

Bestrålning av livsmedel?

SOU^{1983:26}

Rapport från en expertkommitté



Ur KB:s samlingar

Digitaliserad år 2013



National Library
of Sweden



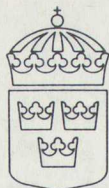
Bestrålning av livsmedel?

SOU^{1983:26}

Rapport från en expertkommitté



Ref.



Statens offentliga utredningar

1983:26

Jordbruksdepartementet

Bestrålning av livsmedel?

Rapport från en expertkommitté

Stockholm 1983

Omslag Johan Ogden
Jernström Offsettryck AB

ISBN 91-38-07573-3
ISSN 0375-250X

minab/gotab Stockholm 1983 74690

Till Statsrådet och chefen för jordbruksdepartementet

Regeringen bemyndigade den 29 april 1982 chefen för jordbruksdepartementet att utse en särskild utredningsman med uppgift att utreda vissa frågor rörande bestrålning av livsmedel.

Med stöd av detta bemyndigande förordnades från den 15 juni 1982 professorn Bo Lindell som särskild utredare. Som experter förordnades numera professorn Carl Erik Danielson, departementssekreteraren Vanja Edwinson, professorn Lars Ehrenberg, numera avdelningschefen Torsten Nilsson och professorn Lars-Erik Tammelin. Som sekreterare förordnades professorn Marie-Louise Danielsson-Tham och avdelningsdirektören Christer Hoel. Professor Ehrenberg har pga arbetsanhopning inte deltagit i merparten av kommitténs arbete och sammanträden.

Regeringen har med beslut den 19 augusti 1982 till kommittén överlämnat en skrivelse om konservering av fisk.

Utredningsarbetet är nu avslutat och kommittén överlämnar härmed sin rapport SOU 1983:26 "Bestrålning av livsmedel?"

Stockholm i maj 1983

Bo Lindell

Marie-Louise Danielsson-Tham

Christer Hoel

Innehåll

<i>Sammanfattning</i>	7
1 <i>Inledning</i>	9
2 <i>Historik över livsmedelsbestrålning</i>	11
3 <i>Teknisk bakgrund</i>	15
3.1 Allmänt	16
3.2 Olika typer av joniserande strålning	18
3.3 Strålkällor	20
3.4 Strålverkningar	26
3.5 Radioaktiva livsmedel?	29
4 <i>Riskuppskattningar och riskvärderingar</i>	37
4.1 Riskbegreppet	37
4.2 Slumpens lagar	40
4.3 Betydelsen av djurförsök	44
4.4 Direkt analys av livsmedel för mutagena ämnen	46
4.5 Riskvärdering	47
5 <i>Orientering om livsmedelsförstörande processer samt om sjukdomsframkallande bakterier som kan finnas i livsmedel</i>	51
5.1 Mikrobiologiska förändringar	52
5.2 Biokemiska förändringar	54
5.3 Kemiska och fysikaliska förändringar	55
5.4 Sjukdomsframkallande bakterier i livsmedel	55
6 <i>Användningsområden</i>	57
6.1 Syftet med bestrålning av livsmedel	57
6.2 Bestrålning av olika livsmedelsslag	64
6.3 Bestrålning av fodermedel	66
7 <i>Oönskade effekter vid strålbehandling</i>	71
7.1 Allmänt	72
7.2 Inducering av radioaktivitet	72
7.3 Oönskad påverkan på mikroorganismer	73
7.4 Kemiska förändringar	76

7.5	Inverkan på livsmedelsförpackningar	92
7.6	Förändringar i näringsvärde	93
7.7	Risker med alternativa metoder	98
7.8	Risker för personal och miljö	100
8	<i>Existerande regler och faktisk förekomst m m</i>	105
8.1	Allmänt	105
8.2	Sverige	107
8.3	Internationella rekommendationer	108
8.4	De nordiska länderna	109
8.4.1	Danmark	109
8.4.2	Finland	110
8.4.3	Island	110
8.4.4	Norge	110
8.5	Övriga länder	111
8.5.1	Amerikas förenta stater	111
8.5.2	Indien	112
8.5.3	Israel	112
8.5.4	Japan	112
8.5.5	Nederländerna	113
8.5.6	Sovjetunionen	113
8.5.7	Storbritannien	114
8.5.8	Sydafrika	114
8.5.9	Förbundsrepubliken Tyskland	114
8.5.10	Ungern	114
8.6	U-landsaspekter	115
9	<i>Kostnader</i>	117
10	<i>Kontrollmöjligheter</i>	119
10.1	Allmänt	119
10.2	Analystekniska kontrollmöjligheter	120
10.3	Importkontroll	121
10.4	Processkontroll och hygienkontroll	122
10.5	Strålskyddskontroll	122
10.6	Märkning	122
11	<i>Utredningsarbetets genomförande m m</i>	125
	Bilaga 1 <i>Kommitténs direktiv</i>	127
	Bilaga 2 <i>Internationella rekommendationer</i>	131
	Bilaga 3 <i>Använda förkortningar och symboler</i>	137
	Bilaga 4 <i>Begreppsförklaringar</i>	139
	Bilaga 5 <i>Sakordsregister</i>	143

Sammanfattning

Bestrålning av livsmedel med joniserande strålning i syfte att bekämpa mikroorganismer eller insekter är en behandlingsmetod som prövats laboratoriemässigt sedan 1940-talet. Insikten om riskerna med alternativa behandlingsmetoder och den ökande övertygelsen bland experter att bestrålning är en acceptabel metod har nyligen fått ansvariga internationella organ att godta livsmedelsbestrålning inom särskilt rekommenderade gränser för stråldos och stråleenergi.

Kommittén har haft i uppdrag att kartlägga och beskriva den inverkan av olika slag som bestrålning av livsmedel kan ha på hälsa och arbetsmiljö. Enligt direktiven kommer ett andra steg av utredningen att utgöras av en parlamentarisk kommitté som skall ge underlag för statsmakternas ställningstaganden. I den rapport som nu lämnas tar kommittén således inte ställning till huruvida metoden bör användas eller ej utan redovisar enbart vad som är känt om dess för- och nackdelar.

En del av för- och nackdelarna berör inte hälsofrågorna utan andra frågor av intresse för producent och konsument, såsom kostnader, tillgänglighet, hållbarhet och kvalitet av bestrålade livsmedel. Denna rapport har emellertid koncentrerats på hälsofrågorna.

En attitydundersökning visar att en allmänt spridd misstro mot livsmedelsbestrålning grundar sig på den felaktiga tron att bestrålade livsmedel blir radioaktiva. Enligt kommittén är det i stället uppkomsten av kemiskt aktiva ämnen, s k radiolysprodukter, som är svårast att bedöma. Mycket omfattande djurförsök har utförts under lång tid utan att några hälsorisker har kunnat påvisas. Det är därför helt klart att förtäring av bestrålade livsmedel inte kan medföra några stora hälsorisker. Kravet att visa att de är helt riskfria går emellertid inte att uppfylla. Det är nämligen generellt i praktiken omöjligt att visa att någonting är helt riskfritt. Radiolysprodukterna är dock inte några okända ämnen utan deras egenskaper är rätt väl kända. Många av dem finns normalt i livsmedel, andra bildas även vid annan behandling, t ex kokning, stekning och grillning. Man har inte påvisat ämnen som är helt specifika för bestrålning. Detta innebär i sin tur också att det f n inte finns några praktiskt användbara metoder att avgöra om livsmedel har bestrålats.

I den mån bestrålning är ett alternativ till annan behandling, t ex med kemiska medel, finns direkta möjligheter till riskjämförelser. Det är kommitténs åsikt att bestrålning av kryddor, vilket är en aktuell fråga, sannolikt medför mindre risker från hälsosynpunkt än nuvarande behandling med det toxiska ämnet etenoxid.

1 Inledning

Bestrålning av livsmedel har under relativt lång tid diskuterats i många länder och internationella organisationer. Även i Sverige har frågan under senare år aktualiserats. Riksdagens jordbruksutskott har uttalat (JoU 1981/82:2 rskr 1981/82:23) att en allsidig och ingående utredning bör företas rörande effekterna av bestrålning av livsmedel. Innan resultatet av utredningsarbetet föreligger bör enligt jordbruksutskottet stor restriktivitet iakttas när det gäller tillståndsgivning för bestrålning av livsmedel i Sverige. Regeringen har beslutat att utredningsarbetet rörande bestrålning av livsmedel skall ske i två etapper. En första etapp, som denna kommitté haft i uppdrag att genomföra, avser i första hand en granskning av det internationella forskningsläget. Stor vikt har lagts vid beskrivning av inverkan på människors hälsa (se vidare kommitténs direktiv, bilaga 1).

Först i en andra etapp, som planeras att genomföras av en parlamentarisk kommitté, skall konkreta förslag för statsmakternas ställningstaganden utarbetas. Kommittén har sökt utforma denna rapport som ett lämpligt underlag härför.

I rapporten finns således *inga förslag eller rekommendationer* om livsmedelsbestrålning i Sverige. De avsnitt som behandlar existerande regler, kostnader, kontrollfrågor m m avser endast att orientera läsaren om vilka frågor som är aktuella och att ge en så allsidig belysning av problemen som möjligt. Tyngdpunkten i rapporten är kapitlen 4, 5, 6 och 7.

2 Historik över livsmedelsbestrålning

Vad detta kapitel säger:

I Förenta staterna har försök med livsmedelsbestrålning pågått sedan år 1943. Intresset var från början militärt. Man ville sterilisera bl a kött för att få hållbar proviant. Senare tillkom intresse att få användning för kärnreaktorernas avfallsprodukter. Detta är inte längre aktuellt. Strålkällorna är numera antingen för ändamålet framställd kobolt-60 som gammastrålkälla eller acceleratorer för elektronstrålning. Till en början jämfördes bestrålning med tillsats av främmande ämnen. De amerikanska myndigheterna krävde då att omfattande utfodringsförsök på djur skulle visa att bestrålade livsmedel är riskfria. År 1963 gav det amerikanska livsmedelsverket tillstånd för strålsterilisering av bacon, men tog tillbaka tillståndet år 1968 efter en offentlig debatt där man bl a ifrågasatt om djurförsöken gav tillräcklig garanti för ofarligheten. År 1964 tillsatte ett antal internationella organ en expertkommitté, "JECFI", att bevaka området. År 1970 startades ett stort forskningsprojekt, "IFIP", i Karlsruhe. Efter omfattande internationella studier av hälsoaspekterna ändrades den avvaktande inställningen. JECFI föreslog år 1976 att livsmedelsbestrålning skulle betraktas som en behandlingsmetod och inte som en tillsats. Därefter uttalade JECFI år 1980 att livsmedelsbestrålning borde vara en acceptabel behandlingsmetod om stråldosen hölls under ett rekommenderat högsta värde. Detta har lett till ett arbete om internationella rekommendationer genom Codex Alimentarius Commission. Den kommersiella användningen är dock ännu mycket begränsad, delvis på grund av konsumenternas oro, men också av praktiska och ekonomiska skäl. På senare år har emellertid intresset från livsmedelsindustrin ökat. Metoden kan vara ett alternativ till behandling med de kemiska medel som inte anses riskfria. Ett exempel på sådan är behandling av kryddor med etenoxid.

Idén att behandla livsmedel med joniserande strålning för att förlänga hållbarheten är inte ny. Tekniken var känd redan i början av 1900-talet. De första egentliga försöken utfördes vid Massachusetts Institute of Technology

år 1943. Initiativtagare var den amerikanska armén. Man bestrålade bl a kött, fisk och olika vegetabilier. Försöken fortsatte på olika håll i USA under 1950- och 1960-talen, men fortfarande huvudsakligen i syfte att tillgodose militära behov. År 1963 godkände amerikanska Food and Drug Administration (FDA) strålsterilisering av bacon.

En orsak till det militära intresset, utöver det faktiska militära behovet av steril proviant, var att stora strålkällor stod under militär kontroll genom kärnvapenutvecklingen. Kärnreaktorer möjliggjorde produktion av konstgjort radioaktiva strålkällor. Reaktoravfallet innehöll långlivade radioaktiva ämnen som eventuellt också kunde användas som strålkällor. Det fanns ett starkt promotorintresse att finna användning för kärntekniska metoder och den myndighet som i USA var närmast intresserad, den amerikanska atomenergikommissionen, hade också ansvaret för kärnvapenproduktionen.

Mot slutet av 1950-talet påbörjades en försöksverksamhet även i Europa. År 1964 tillsatte de internationella organen FAO, IAEA och WHO en gemensam kommitté för att bevaka området (Joint Expert Committee on Food Irradiation, "JECFI").

År 1970 startades ett stort internationellt projekt i Karlsruhe: International Project in the Field of Food Irradiation (IFIP). Verksamheten har finansierats av FAO, IAEA och OECD, via dess Nuclear Energy Agency (NEA). 24 länder har understött projektet. Det internationella arbetet var främst inriktat på hälsoaspekterna av livsmedelsbestrålningen, men intresset av att främja verksamheten kan inte förbises. Såväl IAEA som NEA har till uppgift att stödja tekniska tillämpningar av kärntekniken. Genom IFIP:s försorg utfördes ett stort antal undersökningar av olika hälsoaspekter av livsmedelsbestrålning. IFIP har nu slutfört sitt arbete. Önskemål har dock framförts om fortsatt internationellt samarbete.

Intresset från livsmedelsindustrin har varit svalt. Till en början torde orsaken ha varit rent ekonomisk. Det fanns inget större kommersiellt intresse, eftersom metoden i jämförelse med alternativa behandlingsmetoder framstod som kostsam. Ett hinder var också att strålbehandlingen i USA formellt betraktades såsom en livsmedelstillsats och inte som en behandlingsmetod. Detta ställde krav på omfattande undersökningar som var dyrbara och tidsödande. En del undersökningsresultat hade dessutom tvivelaktigt bevisvärde. Detta ledde bl a till att FDA år 1968, efter en intensiv offentlig debatt, återtog det tillstånd man år 1963 hade gett för strålsterilisering av bacon.

De amerikanska myndigheternas tveksamma inställning ökade konsumenternas tveksamhet. När kärnkraftdebatten i början av 1970-talet blev intensiv i många länder ökade oron för strålning och radioaktiva ämnen. Det kan inte uteslutas att denna debatt i Sverige och i en del andra länder också har påverkat konsumenternas inställning till bestrålning av livsmedel. Det är förståeligt om konsumenternas avvaktande eller negativa inställning också ökade livsmedelsindustrins tveksamhet.

En motsvarande tveksamhet har funnits inom de internationella organisationerna FAO och WHO. Någon omfattande kommersiell användning av metoden har därför inte förekommit. De enskilda länderna har till fram emot

slutet av 1970-talet varit mycket restriktiva med godkännande av livsmedelsbestrålning annat än för försöksändamål.

År 1976 började emellertid inställningen ändra sig genom att JECFI accepterade att bestrålning med joniserande strålning skulle kunna betraktas som en behandlingsmetod och inte behöva jämföras med tillsats av främmande ämnen.

Efter bedömning av den omfattande forskningsverksamheten ansåg JECFI år 1980 att livsmedelsbestrålning borde vara en acceptabel behandlingsmetod under förutsättning att stråldosen inte överstiger 10 kGy och strålenergin 10 MeV, (se kapitel 3). Detta principgodkännande från experternas sida har lett till ännu inte avslutade diskussioner om tekniska internationella rekommendationer genom Codex Alimentarius Commission. Dessutom diskuteras märkning av bestrålade produkter. Antalet nationella tillstånd för bestrålning av olika slags livsmedel har också sedan slutet av 1970-talet ökat påfallande.

Den kommersiella användningen är emellertid fortfarande mycket begränsad. Liksom tidigare synes intresset för livsmedelsbestrålning vara koncentrerat till anläggningar och utveckling av själva tekniken under det att användarna, dvs livsmedelsindustrin och konsumenterna ännu är föga intresserade eller rent negativa.

Det är dock möjligt att användarintresset på någon punkt kan komma att öka. Orsaken är att man alltmer har börjat uppmärksamma riskerna av de alternativa behandlingsmetoder som för närvarande förekommer. Framför allt gäller det de kemiska medel som används i gryningshämmande syfte på exempelvis potatis. Ett annat exempel är insektsmedlet etendibromid som i USA används för behandling av citrusfrukter, men som kommer att förbjudas från och med juli år 1983. Ett för Sverige mer aktuellt exempel är användning av etenoxid mot mikroorganismer i kryddor. Det anses allmänt vara önskvärt att frångå denna metod på grund av etenoxidens giftighet, framför allt i arbetsmiljön.

I Sverige förekommer inte bestrålning av livsmedel. Bestrålning får heller inte ske utan särskilt tillstånd av livsmedelsverket. Något sådant tillstånd har ännu inte utfärdats. Det anses inte särskilt troligt att konsumenter i Sverige hittills har kommit i kontakt med bestrålade livsmedel. Enligt bedömningar av importörer och distributörer kan det vara förenat med betydande ekonomiska risker att distribuera och saluföra bestrålade produkter och man tror inte heller att exportörer ännu är villiga att ta risken att deras produkter blir misstänkta, så länge inte metoden har vunnit konsumenternas fulla förtroende.

3 Teknisk bakgrund

Vad detta kapitel säger:

Den strålning som används för livsmedel kallas joniserande strålning eftersom den har förmåga att slita loss elektroner från atomer i det ämne som bestrålas. Detta är ett exempel på jonisation. En felaktig benämning på strålningen är "radioaktiv strålning". Den joniserande strålningen är nämligen inte radioaktiv, dvs den strålar inte i sin tur och överför inte radioaktivitet. Däremot kan den komma från radioaktiva ämnen. Den vanligaste strålkällan för livsmedelsbestrålning i stor skala är det gammastrålande ämnet kobolt-60. Produktionen av kobolt-60 är begränsad. En alternativ strålkälla är en accelerator som kan ge elektronstrålning med hög energi. Man har dock satt en gräns för den stråleenergi som bör användas. Vid höga energier på strålningen överskrids bindningsenergierna i atomkärnorna och kärnreaktioner kan göra det bestrålade ämnet radioaktivt. Det problemet finns inte vid de energier som rekommenderas för användning. Det är därför fel att tro att livsmedel som bestrålas med exempelvis kobolt-60 blir radioaktiva. Vid de högsta rekommenderade energierna har emellertid elektronstrålningen en mycket begränsad genomträngningsförmåga. Den kan därför bara användas för bestrålning av förhållandevis tunna föremål (några cm). Det pågår därför ett tekniskt utvecklingsarbete med att konvertera elektronstrålningen till röntgenstrålning med stor genomträngningsförmåga och tillräcklig intensitet för praktisk användning. Kapitlet beskriver strålkällorna och diskuterar vad som händer rent fysikaliskt i bestrålade ämnen. Begreppet stråldos förklaras, liksom den använda dosenheten gray (förkortad Gy). Skillnaden vid energiupptagning från joniserande strålning och vid exempelvis vanlig upphettning är att stråleenergin i mikroskopisk skala upptas mycket ojämnt i det bestrålade ämnet. Just där energin upptas blir verkan mycket stor, men den genomsnittliga energiavgivningen blir liten och temperaturen i det bestrålade ämnet ökar därför mycket obetydligt. Radioaktiva ämnen är ämnen vars atomkärnor har ett överskott av energi och därför är instabila. Energiöverskottet kan avges i form av strålning. Det är detta som kallas radioaktivitet. De

radioaktiva atomerna bildas genom kärnreaktioner sedan normalt stabila atomer tillförts energi. Vid bestrålning av livsmedel tillförs energin med fotoner, dvs energikvanta i primär gammastrålning. Vid de viktigaste kärnreaktionerna förlorar den träffade atomen en kärnpartikel, dvs en neutron eller en proton. För att dessa skall frigöras krävs hög energi hos den infallande fotonen. Om inte dess energi överstiger ett visst tröskelvärde kan reaktionen inte ske. Därför måste energin hos den använda strålningen i regel vara högre än den övre energigräns som rekommenderas för användning vid livsmedelsbestrålning. Det finns emellertid ett undantag. Det gäller en reaktion där atomkärnor tar upp energi utan att förlora någon partikel. Den nya kärnan kallas då en isomer. Den avger energin i form av strålning och är alltså radioaktiv. Sannolikheten för uppkomsten av isomerer är dock mycket liten. Vid de energier som rekommenderas för livsmedelsbestrålning är det inte möjligt att påvisa någon radioaktivitet. Man måste uppskatta aktiviteten genom beräkningar. Man finner att den vid bestrålning med gammastrålning från kobolt-60 är så svag att den från strålhygienisk synpunkt bara motsvarar någon miljondel av aktiviteten av de radioaktiva ämnen som normalt finns i livsmedel. Alla livsmedel är nämligen svagt radioaktiva genom naturligt förekommande radioaktiva ämnen. Förekomsten av radioaktiva isomerer är därför närmast en kuriositet utan praktisk betydelse. Det vore således missvisande att säga annat än att bestrålade livsmedel från alla praktiska synpunkter *inte är radioaktiva* vid de stråldoser och stråleenergi som rekommenderas.

3.1 Allmänt

De typer av strålning och de strålkällor, som kan komma till användning för bestrålning av livsmedel, förekommer i många andra sammanhang, t ex inom medicin och teknik. Man kan t o m säga att man först hade strålkällorna (av andra orsaker) och därefter såg sig om efter användningsområden.

Den första omfattande användningen av strålning av det slag som här är aktuellt, dvs *joniserande* strålning, var inom medicinen för behandling av elakartade tumörer och påbörjades redan före sekelskiftet (den första strålbehandlingen mot cancer i Sverige ägde rum år 1899). Strålkällorna var då röntgenapparater och något senare också radiumpreparat.

Redan år 1934 upptäckte Irène Curie och hennes make Frédéric Joliot att man också på konstgjord väg kunde framställa ämnen med radiums egenskaper, dvs med förmågan att utsända joniserande strålning. Det fenomen som innebär att ett ämne strålar kallas *radioaktivitet* och de strålände ämnena kallas *radioaktiva*.

De amerikanska förberedelserna för kärnvapnen ("atombomberna") mot Japan i slutet av andra världskriget ledde till de första kärnreaktorerna som då byggdes för att framställa plutonium, det kärnreaktiva "sprängämne" som användes i bomben över Nagasaki. När man efter kriget ville tämja

kärnenergin för fredliga ändamål ("Operation Plowshare") var det angeläget att kunna peka på civila användningsområden. Kärnreaktorer innehåller radioaktiva ämnen som i strålstyrka vida överträffar vad man tidigare haft att göra med. En del av dessa ämnen har lång livslängd och skapar därför avfallsproblem. Man sökte tidigt efter nyttiga användningsområden för sådana ämnen. Det var rätt naturligt, eftersom radium på 1940-talet hade kostat omkring 100 000 kr per gram (!) och man nu plötsligt hade tillgång till konstgjort radioaktiva ämnen som i strålstyrka motsvarade tonvis med radium. Det bjöd emot att betrakta sådana tillgångar enbart som avfall.

Erfarenheterna av strålningens celldödande verkan inom medicinen samt de omfattande biologiska experiment som gjorts på djur och mikroorganismer för att utröna verkan av strålningen från kärnvapnen pekade på att man med joniserande strålning skulle kunna bekämpa olika skadeorganismer, t ex i livsmedel. Den nära länken till den militära utvecklingen gjorde det också naturligt att börja med att experimentera med bestrålning av proviant för militärer, i syfte att öka livsmedelns hållbarhet.

Historiskt har alltså utvecklingen av metoder för livsmedelsbestrålning först mest intresserat dem som ville få användning för existerande strålkällor, bl a cesium-137 och strontium-90 i reaktoravfallet. En parallell utveckling har varit den tidiga entusiasmen för att använda radioaktiva ämnen som energikällor i batterier för olika mer eller mindre långsökta ändamål, från hjärtstimulatorer ("pace-makers") till fyrbåkar (varav en, med stora mängder strontium-90, användes på försök i Stockholms skärgård under ett antal år). Den senare utvecklingen har avstannat i brist på användarintresse.

Det är viktigt att vara medveten om detta tidiga promotorintresse för livsmedelsbestrålning. Om det från början hade funnits ett lika starkt användarintresse, skulle metoderna ha kommit till vidsträckt användning redan under 1950-talet. Den optimism om användarintresset som då fanns på promotorsidan har emellertid inte infriats. Det är först under senare år som man på användarhåll på allvar sett bestrålning som ett tänkbart alternativ till andra behandlingsmetoder som av olika skäl är mindre lämpliga.

Varför har då optimisterna räknat fel? Det kan ha berott på framför allt följande fyra omständigheter:

- Den praktiska tillämpningen i stor skala har uppfattats som svår
- Användarna har inte varit övertygade om nyttan eller ekonomin
- Det starka promotorintresset och kopplingen till kärnenergin har verkat stötande
- Konsumenterna är oroliga för strålning och tror att bestrålade livsmedel blir radioaktiva

Den sista orsaken är inte den minst sannolika. En intervju-undersökning, som gjordes våren 1982 på begäran av strålskyddsinstitutet, visade att var tredje svensk hade den felaktiga tron att bestrålade livsmedel blir radioaktiva (inom parentes kan nämnas att ett av de största problemen, svårigheten att kontrollera om ett livsmedel har blivit bestrålat, skulle bortfalla om livsmedlet blev radioaktivt; radioaktivitet är mycket lätt att påvisa).

Var tolfte svensk tror till och med att förtäring av bestrålade livsmedel skulle ge högre stråldoser än såväl medicinsk strålbehandling som radon i

våra bostäder och arbete i kärnkraftverk (bland personer över 55 år var det var sjätte som trodde så).

En orsak till detta missförstånd kan vara lekmannens svårighet att skilja mellan radioaktivitet och strålning. Radioaktivitet är det fenomen som gör att ett radioaktivt ämne utsänder joniserande strålning. Det radioaktiva ämnet är en strålkälla, precis som ett glödande järn eller en glödlampa är en källa för vanligt ljus och värmestrålning. Lika litet som ljuset stannar kvar i det belysta föremålet sedan lampan släckts, finns det någon joniserande strålning kvar sedan strålkällan har avlägsnats.

En annan bidragande orsak till missförståndet kan vara oskicket att kalla joniserande strålning för "radioaktiv strålning", vilket vi torde vara ensamma om i Sverige (för en engelsktalande måste "radioactive radiation" te sig som ett språkligt missfoster).

"Radioaktiv strålning" är en slarvig talspråkskonstruktion av samma slag som "elektrisk montör". Strålningen kommer från ett radioaktivt ämne men är inte själv radioaktiv (strålningen *är* strålning - liksom ljus - den utsänder inte i sin tur strålning). Man kan förstå att den som hör talas om "radioaktiv strålning" kan få en bild av radioaktiva ämnen som liksom partiklar bombarderar det bestrålade föremålet och tillför det radioaktivitet. Men det är således en helt felaktig bild (se avsnitt 3.5).

Det är också fel att tro att det är avfallsprodukter från kärnreaktorer som blir strålkällor vid livsmedelsbestrålning. Vid den försöksverksamhet som pågår världen över är det vanligen radioaktiv kobolt (kobolt-60) som används som strålkälla. Den framställs speciellt för ändamålet och är inte någon avfallsprodukt. Man kan också använda elektronstrålning eller röntgenstrålning från acceleratorer.

3.2 Olika typer av joniserande strålning

Den typ av joniserande strålning som är mest aktuell för livsmedelsbestrålning är *gammastrålning* (γ). Den är nära släkt med *röntgenstrålning*, som också går att använda. Skillnaden är att röntgenstrålning bildas i ett röntgenrör genom uppbromsning av elektroner som har accelererats till höga hastigheter med hjälp av ett elektriskt fält, under det att gammastrålningen bildas i de radioaktiva ämnernas atomkärnor.

Gammastrålning och röntgenstrålning är av samma natur som exempelvis synligt ljus, värmestrålning och radiovågor. Alla dessa strålslag kallas med ett gemensamt namn *elektromagnetisk strålning*. Gammastrålning och röntgenstrålning har mycket kortare våglängd än vanligt ljus och har en stor genomträngningsförmåga i ämnen med lätta atomer. Strålningen transporterar energi i vågpaket, fotoner. Fotonernas energi brukar anges i *elektronvolt* (eV), ofta i multipeln miljoner elektronvolt (MeV). Den högsta energi en foton kan få i röntgenstrålning producerad av elektroner som accelererats av en elektrisk spänning av 1 miljon volt (1 MV) är 1 MeV. För att få fotoner med mycket höga energier måste man använda särskilda acceleratorer för att med konstgrepp undvika mycket höga elektriska spänningar. Fotonerna i gammastrålning, dvs med radioaktiva ämnen som strålkälla, har sällan energier överstigande några få MeV. Fotonerna från

kobolt-60 har energierna 1,17 och 1,33 MeV. Fotonerna från cesium-137 (via dess dotterprodukt, kortlivat radioaktivt barium) har energin 0,66 MeV. Detta är viktigt att konstatera, eftersom så låga fotonenergi i praktiken inte räcker till för kärnreaktioner i det bestrålade föremålet (se avsnitt 3.5) och därför inte kan göra det radioaktivt. Om man däremot skulle använda röntgenstrålning från en accelerator som kan ge fotonenergi på 10-tals MeV kan strålningen förorsaka kärnreaktioner som ger upphov till radioaktiva ämnen, s k inducerad radioaktivitet.

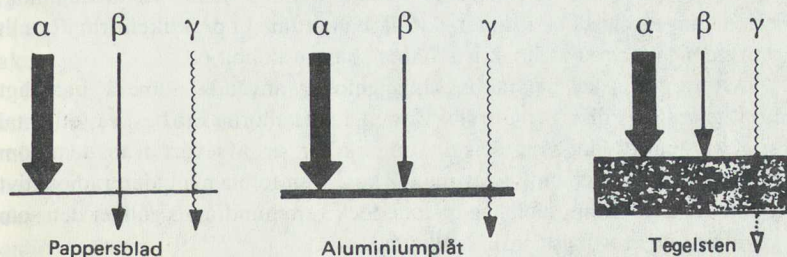
De fysikaliska lagarna låter alltså inte gammastrålningen från radioaktiva ämnen förorsaka radioaktivitet i det bestrålade mediet. Vid energier under 10 MeV är den inducerade aktivitet som teoretiskt kan beräknas uppstå av röntgenstrålning från accelerators enbart av kuriosaintresse och inte påvisbar i praktiken (se avsnitt 3.5).

Den andra typen av strålning som kan komma ifråga är acceleratorproducerad *elektronstrålning*¹. De accelererade elektronerna används direkt för bestrålning i stället för att konverteras till röntgenstrålning. Energin transporteras i form av rörelseenergi hos elektronerna som rör sig med mycket stor hastighet. Elektronstrålning är till skillnad mot den elektromagnetiska strålningen en form av *partikelstrålning*.

Även elektronernas energi anges i elektronvolt. Nackdelen med elektronstrålningen är att den har mycket mindre genomträngningsförmåga än röntgenstrålning och inte förmår tränga in särskilt djupt i en kropp vid energier under 10 MeV (den högsta energi som internationellt rekommenderas för elektronbestrålning av livsmedel). Vill man använda högre energier induceras radioaktiva ämnen, vilket har uteslutit den praktiska användningen av sådana energier.

Också radioaktiva ämnen kan utsända partikelstrålning. I regel är det elektronstrålning som när den kommer från radioaktiva ämnen kallas *betastrålning* (β). Tungta atomer kan också avge heliumatomkärnor med hög rörelseenergi, vilket kallas *alfastrålning* (α). Alfastrålningen har mycket kort räckvidd, bara några centimeter i luft och mindre än en tiondels millimeter i biologiska vävnader. Den har därför inte någon användning i de sammanhang vi här talar om. Betastrålningen kan däremot tränga in till någon centimeters djup, beroende av partikelenergin. Den skulle därför kunna komma ifråga om det gäller bestrålning av tunna skikt, men då kan också elektronstrålning från accelerators användas. I praktiken används därför inte heller betastrålning för livsmedelsbestrålning. Se figur 3.1.

¹Mikrovågsugnar för värmning av mat kallas ibland oegentligt för "elektronugnar", men i dem förekommer ingen elektronstrålning utan bara icke-joniserande mikrovågor, en slags värmestrålning. Sådan strålning faller utanför kommitténs uppdrag.



Figur 3.1 Strålningens genomträngningsförmåga.

3.3 Strålkällor

Såsom framgått tidigare är de strålkällor som kan användas vid bestrålning av livsmedel i princip av två slag: *radioaktiva ämnen* och *acceleratorer* (inkl röntgenapparater).

Radioaktiva ämnen

Radioaktiva ämnen förekommer redan i naturen. Exempelvis är alla livsmedel naturligt svagt, men mätbart, radioaktiva. Antingen är det fråga om långlivade ämnen (uran, torium, kalium-40) som finns kvar sedan jordens skapelse när kärnomvandlingar var ett vanligt fenomen, eller också rör det sig om ämnen (exempelvis kol-14) som bildas i atmosfären vid kärnreaktioner orsakade av den kosmiska strålningen. Det naturligt radioaktiva ämne som har kommit mest till användning som strålkälla är radium (radium-226) som är en dotterprodukt i den sönderfallskedja som inleds med det mycket långlivade uran-238. De naturligt radioaktiva ämnena förekommer emellertid inte i sådana koncentrationer att de kan användas som mycket starka strålkällor.

I radiumhemmets sk "radiumkanoner" användes fram till 1950-talet som mest fem gram radium som enstaka strålkälla. Trots att radiumet placerades mycket nära de patienter som skulle behandlas, var strålintensiteten så låg att det behövdes behandlingstider på många timmar för att åstadkomma de stråldoser som behövdes för att oskadliggöra en tumör. Detta motsvarar ungefär hälften av de lägsta stråldoser som rekommenderas för livsmedelsbestrålning.

I och med möjligheten att framställa konstgjort radioaktiva ämnen förändrades situationen (tabell 3.1). Radium ersattes med bl a *kobolt-60* i mängder som i en enda strålkälla kunde motsvara kilovis med radium. Kobolt-60 är ett exempel på radioaktiva ämnen med inducerad radioaktivitet. Ämnet har gjorts radioaktivt genom neutronbestrålning, vilket kan ske i såväl acceleratorer som kärnreaktorer.

I kärnreaktorer uppstår radioaktiva ämnen också på ett annat sätt, nämligen som restprodukter när kärnbränslet (uran eller plutonium) avgett energi genom kärnklyvning. Klyvningsprodukterna ("fission products") är ämnen vars atomer har ungefär hälften av uranets massa. Många är mycket kortlivade och sönderfaller snabbt inne i reaktorn. Andra är så långlivade att de finns kvar i det använda kärnbränslet vid bränslebyte. Vid uppberedning av bränslet kan man kemiskt separera olika ämnen. Av särskilt intresse är de långlivade ämnena strontium-90 (betastrålande) och cesium-137 (gammastrålande). Det var för dessa ämnen man tidigt sökte en användning. Utvecklingen har dock i stället gått därtill att man i praktiken framför allt använder inducerat radioaktiva ämnen, såsom kobolt-60.

I stora tekniska bestrålningsanläggningar används numera betydligt kraftigare strålkällor än inom sjukvården, men källorna kan bestå av ett antal koboltpreparat som vart och ett inte skiljer sig avsevärt från dem som används vid strålbildning av människor. Den totala mängden radioaktivt ämne i en bestrålningsanläggning kan dock vara hundratals gånger den som används i en stor medicinsk strålkälla.

Tabell 3.1 Radioaktiva ämnen av praktiskt intresse som strålkällor

Ämne	Halveringstid ^a	Stråltyp	Framställningsätt
Kobolt-60	5,3 år	Gammastrålning	Inducerad aktivitet
Strontium-90 ^b	28 år	Betastrålning	Klyvningsprodukt
Cesium-137 ^b	30 år	Gammastrålning	Klyvningsprodukt

^a Med "halveringstid" avses den tid det tar för antalet atomer (och därmed strålintensiteten) av det radioaktiva ämnet att minska till hälften. Efter två halveringstider minskar det till fjärdedelen, etc.

^b Används främst i praktiken.

En viktig skillnad mellan en radioaktiv strålkälla och en röntgenapparat eller accelerator är att det radioaktiva ämnet inte går att stänga av; det strålar ständigt. Man måste därför konstruera en bestrålningsanläggning på sådant sätt att strålkällorna kan skärmas av när man behöver gå in i anläggningen. Det kan antingen ske genom strålskärmar som kan blockera strålknippen eller genom att strålkällorna kan flyttas ut och in ur ett strålskärmat förråd. Som material i strålskärmar kan man använda exempelvis bly eller betong, gärna med järnmalm som ballastmaterial. I en del anläggningar förvaras strålkällan på botten av en vattenbassäng dit man kan sänka ned de föremål som skall bestrålas.

En bestrålningsanläggning med kobolt-60 som strålkälla har således ett väl avskärmat rum dit de föremål som skall bestrålas kan transporteras med någon form av automatik, t ex på transportband. Anläggningar av detta slag används i många länder för bestrålning i syfte att sterilisera medicinska instrument, m m. De är ofta dimensionerade för kobolt-60 i mängder som är upp mot tusen gånger så stora som i medicinska behandlingsapparater. Intensiteten av strålningen inne i behandlingsrummet är så hög att en människa kan få en dödlig stråldos på någon minut. Stora krav ställs därför på arbetarskyddet. Likväl har två dödsolyckor rapporterats, en i Italien och en i Norge (se avsnitt 7.8).

Samma eller liknande anläggningar kan användas även för bestrålning av livsmedel.

Med *aktiviteten* av ett radioaktivt ämne menas antalet kärnsönderfall per sekund. Vid varje sönderfall avges någon form av strålning. Den enhet som används för att ange aktivitet är 1/sekund ("per sekund"), men när det gäller radioaktivt sönderfall kallar man 1 "per sekund" för 1 *becquerel* (Bq) efter radioaktivitetens upptäckare Henri Becquerel. Ett gram radium har en aktivitet av ca 37 miljarder becquerel ($3,7 \cdot 10^{10}$ Bq).

Detta sätt att ange aktivitet är tämligen nytt. Tidigare angavs aktivitet i enheten *curie* (Ci) där 1 curie var 37 miljarder sönderfall per sekund. I detta mått hade alltså ett gram radium aktiviteten 1 curie. Övergången till becquerel har skett så nyligen att de flesta publikationer hittills har angett aktiviteter i curie. Kommittén har därför i denna rapport använt de gamla enheterna.

Aktiviteten av kobolt-60 i en bestrålningsanläggning kan vara en miljon curie (1 MCi), vilket alltså är $10^6 \times 3,7 \cdot 10^{10} = 37 \cdot 10^{15}$ Bq. Talet 10^{15} anges nu med prefixet "peta" (P). Man skriver alltså 1 MCi = 37 PBq. Den övergång som nu sker från de gamla till nya måttenheter är en följd av det konsekventa införandet av det internationella måttenhetssystemet (Système International d'Unités, "SI-systemet"), men gör det tillfälligt svårare att förmedla information.

Kobolt-60 har mer "strålningseffektiva" sönderfall än radium. Räknet per becquerel eller curie ger kobolt-60 60% större stråldos än radium. En bestrålningsanläggning med 1 MCi (37 PBq) kobolt-60 har därför samma bestrålningskapacitet som 1,6 MCi radium, dvs 1,6 ton radium. Med 1940-talets radiumpriser skulle en sådan strålkälla (som naturligtvis då inte fanns att tillgå, därav de höga priserna) ha kostat ett par hundra miljarder kronor. Den bestrålningskapacitet som nu finns tillgänglig är således oerhörd. Antalet bestrålningsanläggningar med kobolt-60 som strålkälla beräknas till ca 100 st. Flertalet används för industriellt eller medicinskt bruk.

Röntgenapparater och elektronacceleratorer

I en accelerator införs laddade partiklar (t ex elektroner) i ett lufttomt kärl. Där accelereras partiklarna till höga hastigheter av ett elektriskt fält.

Röntgenapparater

I det enklaste utförandet, ett röntgenrör, bildas det elektriska fältet genom att man åstadkommer en stor elektrisk potentialskillnad ("spänning") mellan den del där partiklarna införs (katoden) och den del där de slutligen träffar en metallektrod (anoden). I röntgenröret består partiklarna av elektroner som avges av en het glödtråd vid katoden. Om spänningen över röret är V volt får elektronerna en rörelseenergi av V elektronvolt.

Anoden består av en metall med högt atomnummer (t ex wolfram). Elektronerna bromsas snabbt upp när de träffar metallen. Vid inbromsningen bildas en elektromagnetisk våg och en del av elektronernas rörelseenergi överförs till den elektromagnetiska strålningens, dvs röntgenstrålningens, fotoner. Ingen av dessa kan dock få ett större energibelopp än V elektronvolt om rörspänningen är V volt; de flesta har betydligt mindre energi.

Röntgenrör kan byggas för spänningar upp mot några få miljoner volt, därefter blir isolationsproblemen svårhanterbara. Man övergår då till att accelerera elektronerna med elektriska fält som tillför dem energi utan att det behöver finnas någon mycket hög spänning (betatroner, linjäracceleratorer, synkrotroner, etc). Vid energier på upp mot 10 miljoner elektronvolt (10 MeV) och mer får accelererade elektroner så stor genomträngningsförmåga att man kan låta dem passera ut genom ett "fönster" i accelerationsröret och använda elektronstrålningen från acceleratoren.

Elektronacceleratorer

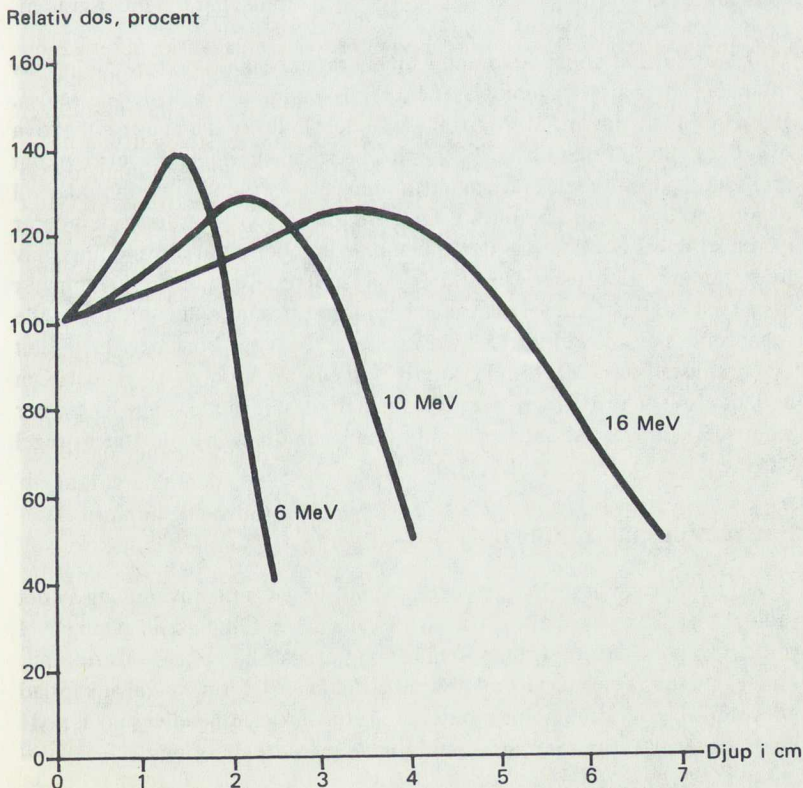
Elektronacceleratorer har under senare tid väckt ett nytt intresse. Hårtill bidrar troligen flera orsaker. En bestrålningsanläggning med en accelerator

har fördelen att strålningen går att stänga av och att det inte finns någon radioaktiv strålkälla som så småningom måste hanteras som avfall. Ovissheten om hurvida man i framtiden kommer att kunna producera tillräckligt med kobolt-60 för ett större antal gamma-bestrålningsanläggningar har också gjort att man har sökt alternativa lösningar.

Nackdelen med acceleratoreorna är att de är rätt komplicerade apparater som kräver speciell sakkunskap för att kunna hållas i funktion. Om energin begränsas till 10 MeV är elektronstrålningens genomträngningsförmåga förhållandevis liten, se figur 3.2.

Djupdosfördelningen beror inte enbart av elektronstrålningens energi utan också av bestrålningsgeometrin. Om bestrålningen sker endast från ett håll, kan man bara få en homogen stråldos över några få centimeters djup. Bättre djupdosfördelning kan uppnås om man bestrålar från två håll, t ex genom att vända objektet och på nytt föra det genom strålknippen.

På grund av den begränsade genomträngningsförmågan lämpar sig elektronstrålar bäst för bestrålning av livsmedel som kan fördelas i tunna skikt, såsom skivor, gryn, mjöl, vätskor etc. Elektronacceleratorn kan lättare än en gamma-bestrålningsanläggning anpassas efter speciella krav. Den kan därför tänkas komma till användning i en löpande process där livsmedel också utsätts för annan behandling. Sådana anläggningar blir då specialbyggda för ett visst ändamål.



Figur 3.2 Elektronstrålningens genomträngningsförmåga i vatten

Flexibiliteten kan naturligtvis också användas i andra syften, t ex för forskningsändamål, varvid man lätt kan variera bla strålenergin. I de diskussioner som förekommit om sådan forskning, bla vid Sveriges lantbruksuniversitet, har man därför talat om acceleratorer med högre energi än de 10 MeV som rekommenderas som gräns för livsmedelsbestrålning.

En accelerator kan användas i många sammanhang, bla för forskning och medicinskt bruk. Även inom industrin finns en stor användning. Endast ett fåtal acceleratorer är fn avsedda eller tänkbara för livsmedelsbestrålning. Det är möjligt att acceleratorer i framtiden kan användas för konvertering av elektronstrålning till röntgenstrålning med sådan intensitet och genomträngningsförmåga att den blir ett alternativ till gammastrålningen från kobolt-60.

Bestrålning för tekniska ändamål

Livsmedel bestrålas ibland utan att syftet är behandling utan i stället någon form av undersökning. Det är då frågan om mycket svag strålning. Ett exempel är genomlysning av livsmedel för att upptäcka eventuella främmande föremål, t ex metallspån. Livsmedlet blir då inte mer påverkat än en människa som genomgår en röntgenundersökning eller det bagage som genomlysas vid flygplatsernas bagagekontroll. Ett annat exempel är nivåvakter, där en svag stråle av gammastrålning bryts när en vätska i ett slutet kärl når en viss höjd. Med hjälp av gammastrålningen kan man "se" in i kärl som är ogenomskinliga för vanligt ljus och kontrollera fyllnadsgraden, exempelvis i ölburkar.

Sådana användningar av strålning innebär rent fysikaliskt "bestrålning" av livsmedel men är från biologisk och kemisk synpunkt helt betydelselösa. Livsmedlet får ofta inte större stråldos än det skulle kunna få av radioaktiva byggnadsmaterial eller kosmisk strålning under sin lagringstid. Det är viktigt att sådana odiskutabelt ofarliga användningar av strålning inte inbjuder till någon onödig tillståndsbyråkrati. Det är därför önskvärt att man definierar någon strålnivå (stråldos) under vilken man inte betraktar användningen av joniserande strålning som "bestrålning" av livsmedel av samma slag som när man med höga stråldoser försöker förhindra groningen eller döda levande organismer i livsmedlet. Strålskyddsinstitutet föreslog i början av 1970-talet att stråldoser under 0,1 kGy kunde försummas i detta avseende. Om undantagsnivån sattes lägre befarade man att onödig möda skulle läggas ner på dosberäkningar. Stråldoserna vid dessa användningar understiger i regel 0,00001 kGy.

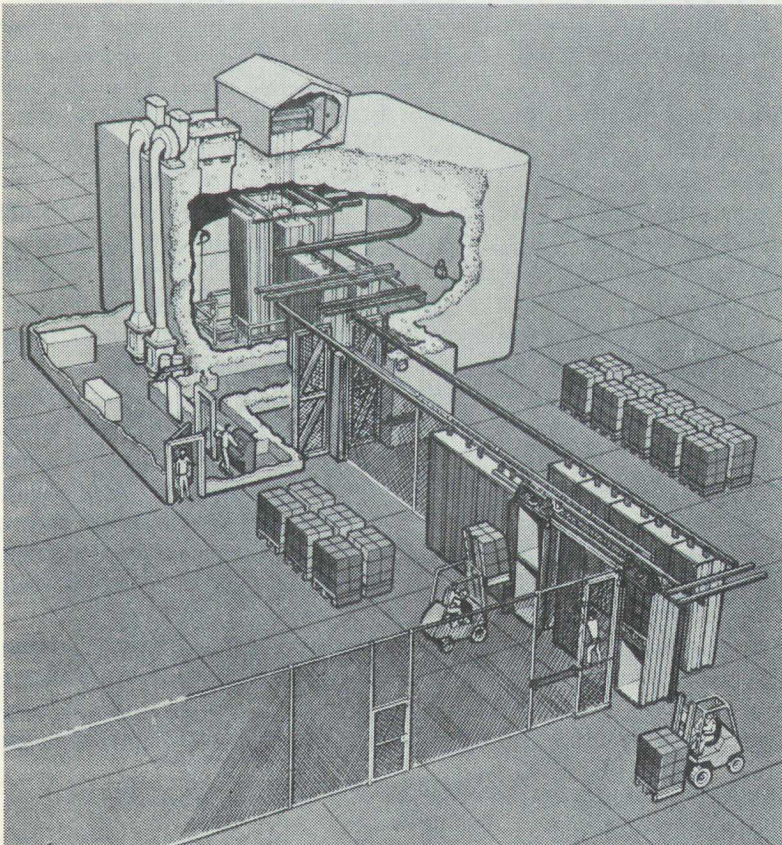
Bestrålningsanläggningar

Som tidigare redovisats har utvecklingen hittills gått mot användning av det radioaktiva ämnet kobolt-60 som strålkälla i bestrålningsanläggningar. I princip är en sådan bestrålningsanläggning av ganska enkel konstruktion. Anläggningens centrala del utgörs av strålkällan i form av väl inkapslad kobolt-60. Den är i allmänhet monterad så att den kan höjas eller sänkas ned i ett strålskärmat förvaringsutrymme, ibland en vattenbassäng.

Själva kammaren där strålkällan och förvaringsutrymmet är inneslutna har tjocka väggar av betong för att skydda omgivningen mot strålning. Kammaren är tillgänglig för inspektion när strålkällan är avskärmad.

Produkter som skall bestrålas får passera strålkällan på lämpligt avstånd och med viss hastighet så att stråldosen blir den rätta. För att stråldosen skall bli jämnt fördelad finns system som möjliggör att produkterna kan vändas i olika vinklar mot strålkällan.

Transportsystemet ut och in i anläggningen kan ha olika utformning. Vanligtvis utgörs det av ett transportband eller en transportör med vilken baxor med produkter transporteras in i resp ut från kammaren. I nyare anläggningar finns för ändamålet särskilt utvecklade lastpallsystem. Det är möjligt att variera hastigheten i transportsystemet och därmed också stråldosen i produkten. Figur 3.3 visar en principskiss över en modern kommersiell bestrålningsanläggning. Arbetet med att lasta de produkter som skall bestrålas måste utföras noggrant i enlighet med givna instruktioner. Felaktig lastning eller packning av produkter medför fel stråldos i en del av produkterna.



Figur 3.3 Principskiss över bestrålningsanläggning utrustad med kobolt-60 strålkälla. Gammaster, Ede, Nederländerna

Till en bestrålningsanläggning hör ett kontroll- och säkerhetssystem som skall förhindra att någon befinner sig i bestrålningskammaren när strålkällan är uppe ur förvaringsutrymmet. Den viktigaste komponenten är att det inte skall vara möjligt att öppna dörren till kammaren när strålkällan är oskärmad. Vidare skall säkerhetssystemet förhindra att kammaren tillsluts om någon person finns kvar inuti denna. Säkerhetsanordningar av detta slag brukar vara dubblerade eller flertaliga och skall i princip vara utformade så att en olycka inte kan inträffa (se dock avsnitt 7.8).

I Sverige finns två bestrålningsanläggningar med kobolt-60 som strålkälla; en i Skärhamn och en i Rotebro. Vid dessa anläggningar bestrålas bl a sjukvårdsmaterial. Anläggningarna skulle dock kunna anpassas till bestrålning av mindre kvantiteter livsmedel, t ex kryddor.

3.4 Strålverkningar

Både elektromagnetisk strålning och partikelstrålning transporterar energi. När strålningen passerar genom ett absorberande ämne avges en del av den överförda energin. Det sker genom att strålningen påverkar ämnets atomer, bl a genom frigörande av elektroner från atomerna (jonisation).

Elektronerna övertar en del av strålenergin. Med en mycket grov liknelse kan man säga att röntgen- eller gammastrålningens fotoner kolliderar med elektroner, varvid dessa övertar en del av fotonernas energi. Resultatet blir att elektroner med stor rörelseenergi genomkorsar det bestrålade ämnet.

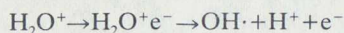
Betastrålning och elektronstrålning från acceleratörer består redan när strålningen träffar det bestrålade föremålet av elektroner. Också i detta fall kommer således energirika elektroner att röra sig i denna. Skillnaden blir att det i detta fall bara blir det yttersta skiktet som blir berört, eftersom elektronstrålningen inte har särskilt lång räckvidd. Inte heller de elektroner som slås ut i den bestrålade kroppen av röntgen- eller gammastrålning har lång räckvidd, men elektronerna frigörs även på djupet eftersom den elektromagnetiska strålningen har stor genomträngningsförmåga.

Frågan blir sedan hur elektronerna, vare sig de är primära eller sekundära, avger sin energi. Eftersom de är elektriskt laddade utövar de en kraftverkan på de elektroner som är bundna i det bestrålade ämnets molekyler. Längs de energirika elektronernas banor (som kan ha en längd av millimeter till några centimeter) slits elektroner loss. Det är den processen som kallas *jonisation*. Vid jonisationen avger de förbirusande elektronerna energi. Molekylerna kan också ta upp en del av deras energi utan att joniseras. Den processen kallas *excitation*.

Energiavgivningen vid jonisation och excitation kan leda till att de krafter som binder atomer samman till mer eller mindre komplicerade molekyler störs och molekylerna spjälkas. Joniseringen kan därför också leda till nya molekylstrukturer och kemiska reaktioner. Bland annat är uppkomsten av fria radikaler viktigt.

Med en *radikal* menar man en grupp atomer som normalt ingår i en molekyl men inte vanligen förekommer ensam. Ett exempel är hydroxylradikalen $\text{OH}\cdot$, dvs ett atompar som består av en syre- och en väteatom.

De flesta levande organismer innehåller stora mängder vatten. En spjälkning av en vattenmolekyl kan ge upphov till fria radikaler, exempelvis OH·. När en vattenmolekyl genom bestrålningen förlorar en elektron blir den en instabil jon (elektriskt positiv). Denna jon (H₂O⁺) sönderfaller i en hydroxylradikal och en vätejon (H⁺). Om elektronen betecknas med e⁻ kan alltså reaktionen skrivas:



De nya produkterna är starkt kemiskt reaktiva och kan därför förorsaka ett antal kemiska förändringar i det bestrålade ämnet (se vidare avsnitt 7.4).

De av strålningen frigjorda elektronerna i det bestrålade ämnet kan därför både direkt och indirekt ge upphov till molekylära förändringar. Vad är då den biologiska verkan av detta?

En cell kan fortsätta att leva mer eller mindre ostört även om molekyler i cellen har förändrats och normala cellfunktioner skadats. De flesta celler kommer emellertid normalt att dela sig och därmed ge upphov till nya celler varmed organismens vävnader tillväxer eller underhålls. Om cellens reproduktionsmekanism skadats kan den kanske inte genomföra delningen eller inte ge upphov till livskraftiga nya celler. Resultatet blir att celler dör vid kommande delning.

Det finns också en möjlighet att skador på cellens genetiska kodmolekyler (DNA) är så små att den klarar en celldelning, men att den genetiska koden har skadats (mutagen verkan) så att de nya cellerna inte fyller sina normala uppgifter utan enbart fortsätter att öka i antal. Detta kan vara en orsak till cancer. Om en DNA-skada har skett i en köns-cell kan den leda till en ärftlig skada på den nya individen. Mot skador på DNA och uppkomsten av "asociala" celler har kroppen reparations- och försvarsmekanismer. Det är därför manifesterade skador av denna typ trots allt är sällsynta.

Skador av det slag det här är frågan om förorsakas inte bara av strålning utan även av en mängd mutagena kemiska ämnen.

Begreppet stråldos

Med *absorberad stråldos* avses den stråleenergi som upptas per massenhet av en kropp. Ordet "dos" leder ofta lekmannen till att tro att stråldosen är den totala energimängd som avges i en kropp. I så fall skulle en dos i en kroppsdel kunna adderas till en dos i en annan kroppsdel. Så är inte fallet, utan stråldosen (liksom temperaturen) har ett värde i varje punkt i kroppen och det är inte meningsfullt att addera stråldoser i olika delar av kroppen, lika litet som man adderar temperaturer i olika delar av kroppen.

Enheten för stråldos är *joule per kilogram*. Man har gett den ett särskilt namn och kallar 1 joule per kilogram för 1 *gray* (Gy) efter den engelska strålningsbiologen L H Gray. Förr använde man enheten *rad*. 1 gray är lika med 100 rad. Ofta används 1 kGy = 1000 Gy och 1 mGy = 0,001 Gy.

Sambandet mellan stråldos och sannolikheten för en viss strålverkan kallas *dos-respons*-samband. För en del strålverknningar finns det ett *tröskelvärde* för stråldosen under vilket ingen skada uppstår. Det är exempelvis fallet när det gäller sådana vävnadsskador som kräver att många celler har förstörts. I andra fall räknar man inte med att det finns något tröskelvärde. Det gäller

Tabell 3.2 Exempel på stråldoser i olika sammanhang

Stråldos	Kännetecken
100 kGy	Nästan totalt avdödande av mikroorganismer (sterilisering, "radappertizing")
10 kGy	Strålpastörisering ("radurization")
1 kGy	Insektsbekämpning
100 Gy	Groningshämning
10 Gy	Tumördödande dos vid lokal bestrålning
1 Gy	Hudrodnad på människor Dödlig dos för människor om hela kroppen utsätts för bestrålning ($LD_{50}=3$ Gy)
100 mGy	Högsta tillåten årsdos vid strålningsarbete (50 mGy)
10 mGy	
1 mGy	Årlig dos från naturlig bakgrundsstrålning (2 mGy)

exempelvis strålningens mutagena verkan, där skador på enstaka celler kan medföra en liten risk för cancer eller ärftliga skador. Den stråldos som medför att 50% av en population dödas kallas *50%-letaldos* (LD_{50}). Exempel på stråldoser i olika sammanhang framgår av tabell 3.2.

Strålningens energiavgivning i en bestrålad kropp sker längs de energirika elektronernas banor och blir därför i mikroskopisk skala ojämn. Trots att en stråldos av 1 gray åstadkommer 100 000-tals jonisationer i varje cell, finns det alltid en viss sannolikhet att en given cell inte blir allvarligt skadad, samtidigt som den mikroskopiska stråldosen i vitala delar av andra celler kan bli mycket högre än den genomsnittliga, makroskopiska dosen.

Även vid höga stråldoser är den totalt avgivna stråleenergin i en bestrålad kropp ganska obetydlig. En stråldos av 1 gray tillför inte en kropp mer energi än den lägesenergi den tillförs om man lyfter den 1 decimeter. En helkroppsdos av 5 Gy till en människa är ganska säkert dödande men innebär inte mer energi än det behövs att klättra en halv meter upp. En sådan stråldos förmår inte höja temperaturen mer än någon tusendels grad. En stråldos av 1 kGy - som är vanligt förekommande vid livsmedelsbestrålning - höjer inte temperaturen ens en kvarts grad.

En jämförelse belyser förhållandet: En hundrameterslöpare och en gevärskula har, grovt räknat, samma rörelseenergi. Om man kolliderar med hundrameterslöparen blir kroppen grundligt omskakad men knappast allvarligt skadad. Kolliderar man med gevärskulan blir största delen av kroppen primärt opåverkad, men inom det lilla område där kulan träffar avges dess energi på ett förödande sätt.

Den ojämn energifördelningen gör pastörisering eller sterilisering med joniserande strålning väsensskild från behandling genom upphettning. Om man kokar vatten är temperaturen i alla delar 100°C och inga molekyler

undandrar sig värmerörelsen. Om man i stället bestrålar vattnet med 1 kGy är temperaturökningen alltför obetydlig för att åstadkomma någon effekt på eventuella mikroorganismer, men den omedelbara energitätheten är på många ställen mycket stor och tillräcklig för att åstadkomma en verkan. Men även om stråldosen är mycket hög finns det alltid en beräkningsbar sannolikhet för att mycket små volymer kan undgå skada. Även om LD_{50} för mikroorganismer kan vara förhållandevis låg och det alltså är lätt att reducera antalet till hälften, krävs det höga doser för att döda nästan alla. Därför är det opraktiskt att använda LD_{50} -begreppet för mikroorganismer. Man talar i stället om de stråldoser som behövs för att reducera antalet bakterier till 1/10 eller 1/100, etc och kallar dem D_{10} resp D_{100} , etc (jfr avsnitt 6.1). För att reducera antalet "vanliga" livsmedelsförstörande bakterier till en miljondel (man talar då om en reduktionsfaktor på 10^6) krävs i regel mellan 1 och 10 kGy. För bakteriesporer och virus krävs ännu högre doser, mellan 10 och 30 kGy. Om man vill uppnå sterilisering och därmed lika god effekt som vid värmekonservering krävs en reduktionsfaktor på 10^{12} , vilket för sporer av *Clostridium botulinum* uppnås först vid över 40 kGy.

Större organismer undandrar sig inte lika lätt att bli "träffade" av strålenergin eller kemiskt aktiva fria radikaler. För att döda insekter och larver kan det räcka med upp emot 1 kGy och för att hämma groddbildning på t ex potatis räcker det med 0,15 kGy. Ju större organismen är, desto svårare har den att undvika allvarliga skador av strålningen (en sanning med modifikation men en hjälp för tanken). Människor kan inte överleva en stråldos av 0,01 kGy i hela kroppen, eftersom en sådan dos innebär en så stor cellförlust i vävnader med snabb cellomsättning (benmärg, magsäck och tarmar) att kroppen inte kan fungera.

3.5 Radioaktiva livsmedel?

Kärnreaktioner

Enligt en tidigare nämnd enkät (se sid. 17) som strålskyddsinstitutet gjorde våren 1982 trodde var tredje svensk att bestrålade livsmedel blir radioaktiva. Det har redan nämnts att en orsak till detta missförstånd kan vara lekmannens svårighet att skilja mellan begreppen radioaktivitet och strålning.

Kan bestrålning någonsin göra livsmedel radioaktiva? För de energier som rekommenderas för användning och framför allt när det gäller bestrålningsanläggningar för gammastrålning från radioaktiva ämnen, t ex kobolt-60, är det enkla svaret *nej*. Fullt så enkelt kan man emellertid inte svara om man vill vara vetenskapligt korrekt. Det kan därför vara lämpligt att diskutera problemet lite mer i detalj.

För att bestrålade ämnen skall bli radioaktiva krävs det att atomkärnor påverkas av strålenergin så att de blir instabila. De kan sedan i ett eller flera steg omvandlas till stabila atomer. De instabila mellanstadierna avger energi i form av strålning.

Vid bestrålning med gammastrålning eller elektronstrålning tillförs atomerna energi av fotoner. Gammastrålningen består av fotoner under det att elektronstrålningen vid elektronernas inbromsning ger upphov till

röntgenstrålning, s k bromsstrålning. Även den består av fotoner, som kan ge kärnreaktioner med atomkärnorna i de ämnen de träffar. Reaktionssannolikheterna ("tvärsnitten") för sådana reaktioner är ingående studerade och finns publicerade i olika tabellverk. Reaktioner med fotoner brukar kallas *fotonukleära reaktioner*. I energiområdet 10–25 MeV för fotonerna har reaktionerna sin största sannolikhet. Man säger att tvärsnitten för fotonukleära reaktioner då har ett resonansmaximum ("giant resonance").

Fotonenergierna för detta maximum är ca 22 MeV för lätta atomkärnor och minskar till ca 13 MeV för tunga kärnor.

Fotonukleära reaktioner

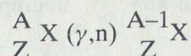
De atomkärnor som upptar energi från fotonerna blir instabila. Detta kan leda till flera olika kärnreaktioner där övergången till ett stabilt tillstånd sker under avgivning av energi, bl a i form av strålning.

Atomkärnor består av två slags masspartiklar: neutroner och protoner. Antalet masspartiklar i en atomkärna kallas *masstalet* och betecknas med "A". Neutronerna är elektriskt oladdade, men protonerna har en positiv elektrisk enhetsladdning. Härigenom blir atomkärnan positivt laddad och förmår binda negativt laddade elektroner i sitt hölje. Elektronhöljet bestämmer atomens kemiska egenskaper, vilka således bestäms av antalet protoner. Detta antal kallas *atomnumret* och betecknas med "Z". En atom av ett grundämne med en viss kemisk symbol, t ex "X", kan därför beskrivas med X, A och Z, oftast på följande sätt (atomnumret Z skrivs ofta inte ut):



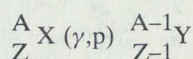
Exempelvis skriver man ${}_{27}^{60}\text{Co}$ eller ${}^{60}\text{Co}$ för kobolt-60.

Den vanligaste fotonukleära reaktionen i energiområdet omkring resonansenergin är i att atomkärnan förlorar en neutron (n). Den får därigenom en enhet mindre masstal men förblir en isotop av samma grundämne. Reaktionen (för grundämnet "X") kan symboliskt skrivas:



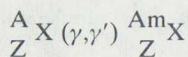
Exempelvis omvandlas natrium-23 genom (γ, n)-reaktionen till natrium-22 plus en frigjord neutron: ${}^{23}\text{Na}(\gamma, n){}^{22}\text{Na}$. Natrium-22 är radioaktivt.

Det är också möjligt att den atomkärna som tar upp fotonenergin förlorar en proton (p). Därmed ändras atomkärnans elektriska laddning och därför också dess kemiska egenskaper. Kvar blir en atom av ett annat grundämne ("Y") med en enhet såväl lägre atomnummer som masstal. Reaktionen skrivs symboliskt:



Exempelvis omvandlas magnesium-25 genom (γ, p) -reaktionen till radioaktivt natrium-24: $^{25}\text{Mg}(\gamma, p)^{24}\text{Na}$.

Det är också möjligt att atomkärnan inte förlorar någon masspartikel utan enbart tar upp energi och därmed försätts i ett sk exciterat tillstånd. Atomkärnan sägs då bli metastabil och den återgår förr eller senare till sitt stabila tillstånd sedan den avgett energi genom strålning. Reaktionen skrivs symboliskt:



Exempelvis omvandlas indium-115 till metastabilt indium 115-m. Processen kallas också isomerbildning: $^{115}\text{In}(\gamma, \gamma')^{115m}\text{In}$.

Det bör understrykas att det vanligen inte är fotonukleära reaktioner man brukar tänka på när man talar om inducering av radioaktiva ämnen, utan neutronreaktioner. Konstgjort radioaktiva ämnen framställs oftast genom neutronbestrålning. Det är nämligen mycket lättare att åstadkomma kärnreaktioner med neutroner än med gammastrålning.

Inducerad aktivitet vid energier överstigande 10 MeV

Energien 10 MeV är av intresse eftersom det är den högsta energi som nu rekommenderas för livsmedelsbestrålning. 10 MeV ligger under resonans-topparna för fotonukleära reaktioner och utgör en praktisk gräns för de energier över vilka inducerad radioaktivitet kan bli påvisbar. Vid bestrålning av livsmedel kan man inte påvisa någon radioaktivitet vid stråleenergi under 14 MeV.

Vid energier överstigande 10 MeV dominerar (γ, n) -reaktionen i praktisk betydelse, men även (γ, p) -reaktionen är av intresse. De högsta inducerade aktiviteterna bildas genom reaktioner med de vanligast förekommande ämnena med undantag av väte. De bildade radionukliderna är emellertid så kortlivade att de inte är av någon praktisk betydelse annat än vid hantering av livsmedel omedelbart efter bestrålningen. Vid 24 MeV och en så hög stråldos som 50 kGy bildas i nötkött följande aktiviteter (1 pCi, pikocurie, är 10^{-12} curie):

kol-11	halveringstid 20,5 minuter:	360 000 pCi/g
kväve-13	halveringstid 10 minuter:	160 000 pCi/g
syre-15	halveringstid 2,1 minuter:	440 000 pCi/g

Vid låga energier räcker inte fotonenergin till för att frigöra en neutron eller proton. Det finns därför tröskelvärden för energin under vilka reaktionerna inte kan ske. Tröskelenergin för reaktionen $^{16}\text{O}(\gamma, n)^{15}\text{O}$ är exempelvis 15,6 MeV. Vid en så låg energi som 10 MeV eller efter ett fåtal timmar är dessa kortlivade ämnen obefintliga.

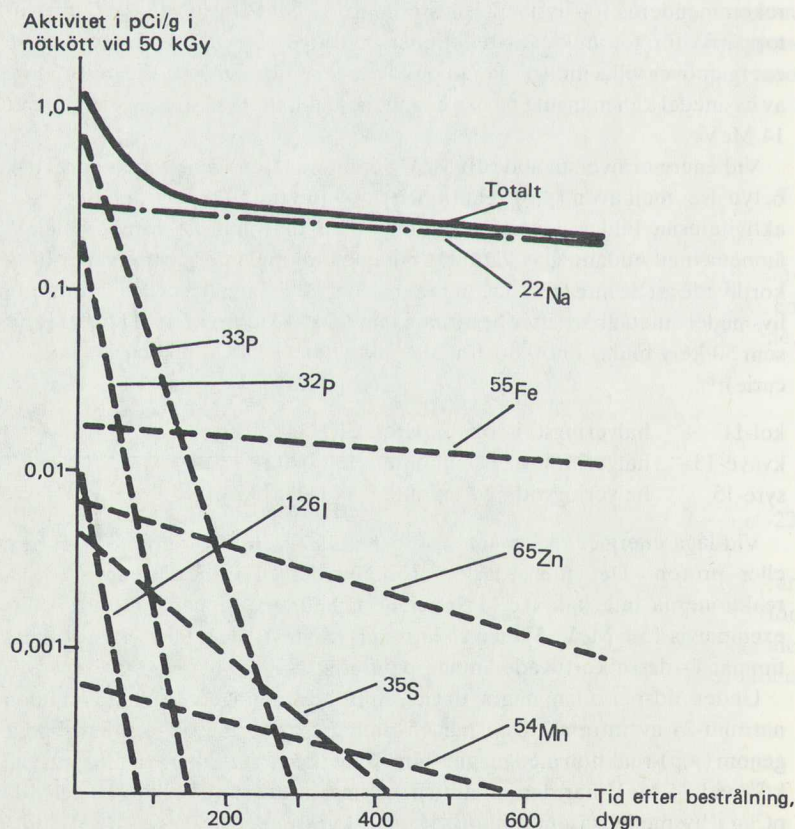
Under tidsperioden några dagar efter bestrålningen är radionukliden natrium-24 av intresse. Den har 15 timmars halveringstid och kan bildas genom (γ, p) -reaktion med magnesium. Omedelbart efter bestrålning med 50 kGy vid 24 MeV har den en aktivitetskoncentration av mellan 10 och 100 pCi/g i livsmedel såsom nötkött, skinka, kyckling och räkor.

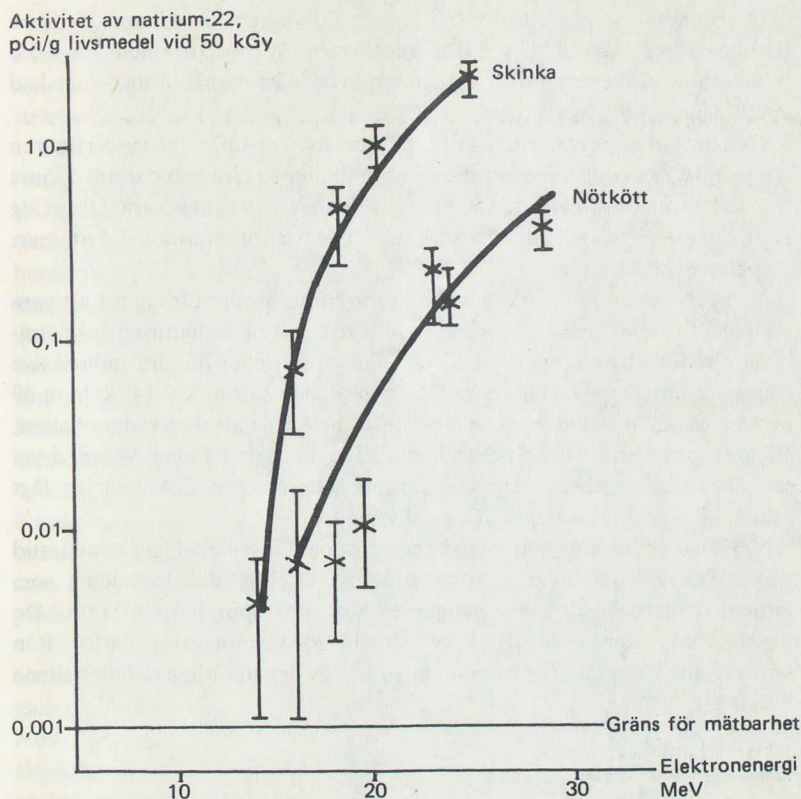
Från praktisk synpunkt är emellertid något mer långlivade radionuklider av större intresse. Den dominerande aktivitetskoncentrationen en vecka efter bestrålningen består av natrium-22 som bildats genom (γ, n)-reaktion med naturligt, stabilt natrium (natrium-23). Natrium-22 har en halveringstid på 2,26 år. Dess dominans framgår av figur 3.4.

Figur 3.5 visar hur den inducerade aktiviteten av natrium-22 ändras med strålenergin vid bestrålning av nötkött och skinka. De högre värdena för skinka beror på att skinka innehåller betydligt mer natrium än nötkött.

Överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta värden är god. Under 14 MeV kan ingen aktivitet påvisas. Värdena i figuren gäller vid en stråldos av 50 kGy. Vid 24 MeV är aktivitetskoncentrationen i skinka ca 2 pCi/g. Som jämförelse kan nämnas att halten naturligt förekommande kalium-40 är ca 3 pCi/g i skinka och nötkött.

Efter bestrålning med energier överstigande 14 MeV kan man således påvisa radioaktivitet i livsmedel. De många mätningar och beräkningar som redovisats i litteraturen är i regel gjorda i syftet att visa att den inducerade aktiviteten är mycket liten och försumbar från hälsosynpunkt. För svenskt vidkommande torde detta sakna intresse så länge man vill följa den internationella rekommendationen att inte använda elektronenergi överstigande 10 MeV och röntgen- eller gammaenergi överstigande 5 MeV (se sid 131).





Figur 3.5 Natrium -22 aktivitet inducerad i nötkött och skinka vid sterilisering med elektroner av olika energier vid en stråldos av 50 kGy.

Det bör nämnas att förklaringen till att man har valt en lägre energigräns för röntgenstrålning än för elektroner är att det är en viss risk att röntgenstrålning från accelerators med högre accelerationsenergi kan vara "förorenad" med en svag neutronstrålning som kan inducera aktivitet lättare än röntgenstrålningen.

Inducerad aktivitet vid energier understigande 10 MeV

Den föregående beskrivningen har visat att det visserligen förekommer mätbar aktivitet av radioaktiva ämnen i livsmedel efter bestrålning med högre energier än 14 MeV, men att aktivitetshalterna är mycket låga.

Eftersom de kärnreaktioner som medför ett frigörande av en kärnpartikel (neutron eller proton) har tröskelvärden som stråleenergin måste överstiga, skulle man kategoriskt kunna säga att livsmedel som bestrålas vid energier under 10 MeV, dvs på rekommenderat sätt, *inte kan bli radioaktiva*.

Teoretiskt sett är emellertid detta påstående inte helt korrekt. Det finns fortfarande en möjlighet till (γ, γ') -reaktioner, dvs isomerbildning med metastabila tillstånd som medför radioaktivitet. Denna aktivitet är dock för svag för att vara mätbar. Den går bara att beräkna teoretiskt.

För att undersöka om isomerbildning i praktiken kan ogiltiggöra uttalandet att bestrålade livsmedel inte blir radioaktiva har forskare bestrålat olika grundämnen för att se om isomerbildning någonsin kan påvisas.

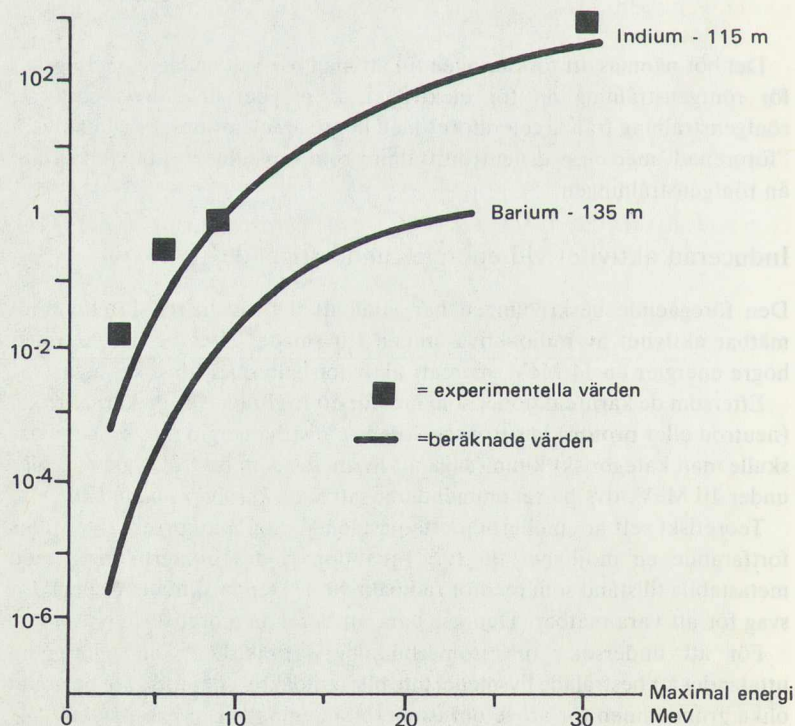
De isomerer som visats ge den högsta aktiviteten är indium-115m och barium-135m. Sannolikheten för reaktionen är proportionell mot 5:e potensen av strålenergin och aktiviteten avtar därför snabbt med minskad energi (figur 3.6).

De samstämmiga experimentella och teoretiska resultat som visas i figuren innebär att aktivitetskoncentrationerna av indium-115m och barium-135m i livsmedel som bestrålats med 50 kGy vid 10 MeV kan väntas vara 0,02 pCi/g respektive 0,08 pCi/g. Halveringstiderna för de två isomererna är 4,5 timmar, respektive 28,7 timmar.

Vad betyder en sådan aktivitetskoncentration, som är för låg för att vara mätbar? En jämförelse kan göras med förekomsten av naturligt förekommande radioaktiva ämnen. Alla livsmedel är mer eller mindre radioaktiva från naturligt förekommande radioaktiva ämnen såsom kol-14, kalium-40 och radium-226. Vi kan göra en jämförelse med den naturliga radiumhalten. Vi får i oss mellan 0,5 och 5 pCi radium-226 dagligen med födan. Vi äter drygt ett kilogram fast föda per dag. Genomsnittshalten radium-226 är därför, lågt räknat, 1 pCi/kg, dvs 0,001 pCi/g, i livsmedel.

Vid en och samma aktivitetskoncentration i livsmedel ger emellertid radium ca 7 000 gånger så stor stråldos (effektiv dosekivalent) som indium-115m och ca 1 400 gånger så stor dos som barium-115m. De förväntade halterna vid 50 kGy och 10 MeV motsvarar därför från strålhygienisk synpunkt 1/350 respektive 1/17 av den naturliga radiumhalten i livsmedel.

Aktivitet, mikrocurie/gram
grundämne vid 50 kGy



Figur 3.6 Aktivitet i indium och barium till följd av isomerbildning vid olika strålenergier. För att ge aktivitetskoncentrationen i livsmedel måste värdena multipliceras med ämnens koncentration i livsmedel, vanligen ca 4 ppm för barium och 0,01 ppm för indium.

Så höga stråldoser som 50 kGy rekommenderas emellertid inte för användning på livsmedel. Vid den högsta rekommenderade bestrålningsdosen 10 kGy blir isomeraktiviteterna endast 1/1700 respektive 1/90 av den strålhygieniskt ekvivalenta naturliga radiumhalten i livsmedel.

Referensenergin 10 MeV gällde den maximala fotonenergin för den röntgenstrålning som använts vid undersökningarna. Om vi vill jämföra med strålningen från kobolt-60 i de vanliga gammabestrålningsanläggningarna (fotonenergi ca 1,3 MeV) måste vi ta hänsyn till att strålningen i det ena fallet består av fotoner med en vid energifördelning och i det andra fallet av fotoner med distinkta energier. Om vi räknar med detta samt med att reaktionssannolikheten varierar med femte potensen av energin, finner vi att isomeraktiviteterna vid användningen av kobolt-60 som strålkälla blir mindre än en tusendel av vad den skulle kunna bli vid 10 MeV röntgenstrålning. Publicerade värden för reaktionssannolikheten för produktion av indium-115m med gammastrålning från kobolt-60 stöder denna uppskattning.

Vid gammabestrålning ger således isomererna inte mer än någon hundratusendel till miljondel av den strålrisk som det i samma livsmedel naturligt förekommande radiumet förorsakar. Dessa låga isomerhalter är, som sagt, inte mätbara. Ingen radioaktivitet i bestrålade livsmedel kan påvisas vid energier under 14 MeV.

Kommittén har kunnat belysa detta genom ett experiment. Paranötter anses vara ett bariumrikt livsmedel. Ett kilogram paranötter bestrålades med gammastrålning från kobolt-60 på radiumhemmet till en stråldos på 8 kGy. Nötterna undersöktes därefter i en känslig gammaspекtrometer på strål-skyddsinstitutet. Figur 3.7 visar tre gammaspektra, nämligen dels från rent socker (varvid en viss bakgrundsstörning av gammastrålning från omgivning-en är påvisbar), dels från de obestrålade och därefter de bestrålade paranötterna. Ingen skillnad mellan de två senare spektralkurvorna kan påvisas, däremot syns tydligt ett gammaspektrum från naturligt radium i paranötterna (1,2 pCi/g). Bariumhalten i nötterna var ca 800 ppm. Isomerernas förekomst kan således betraktas som en kuriositet snarare än som ett praktiskt problem. Det vore missvisande att säga något annat än att bestrålade livsmedel från alla praktiska synpunkter *inte är radioaktiva* vid de stråldoser och stråleenergi som rekommenderas.

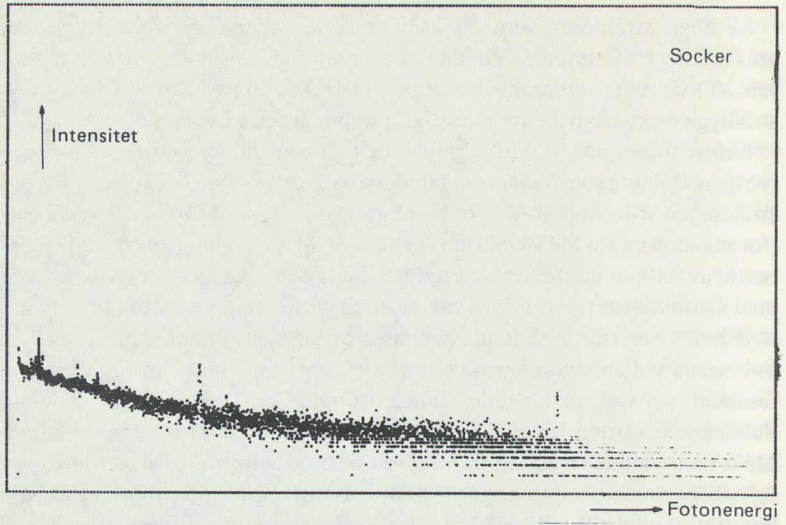
Referenser och översiktslitteratur

Meyer, R. A.: Induced radioactivity in Food and electronsterilization. Health Physics, 1966, 12, 1027.

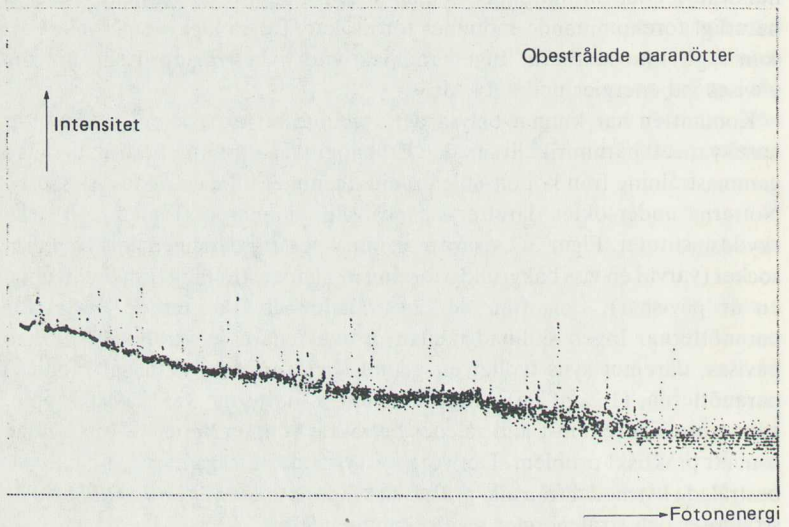
Statens strålskyddsinstitut: Attitydundersökning om strålning, SS1 arbetsdokument s. 82-13, 1982.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Ionizing Radiation-Sources and Biological Effects UNSCEAR Report to the United Nations General Assembly. United Nations, New York, 1982.

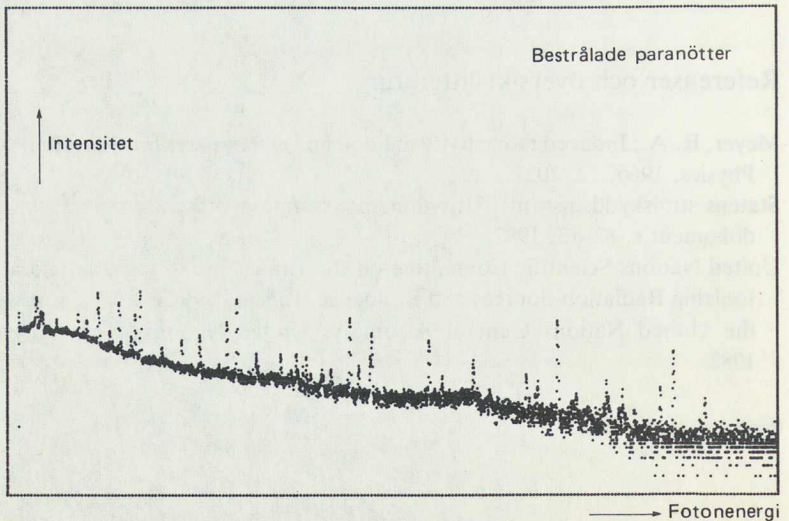
Figur 3.7
 (a) Gammaspektrum från rent socker, inkl bakgrundsstrålning.



(b) Gammaspektrum från obestrålade paranötter, radium-226 mätbart.



(c) Gammaspektrum från paranötter som bestrålats med ca 8 kGy gammastrålning från kobolt-60. Ingen påvisbar skillnad mot (b).



4 Riskuppskattningar och riskvärderingar

Vad detta kapitel säger:

Här diskuteras förutsättningarna för riskanalyser. Termer och begrepp förklaras. Riskuppskattningar är särskilt svåra när det gäller skador som till synes slumpmässigt kan drabba individen och vilkas sannolikhet är liten. En mycket liten sannolikhet för skada kan aldrig med säkerhet påvisas genom experiment t ex på djur. Många utfodringsförsök har gjorts utan att man har kunnat finna någon risk för cancer eller andra skador från bestrålade livsmedel. Man vet därför att hälsorisen inte kan vara stor. Genom den höga ambitionsnivå vi har för skydd även mot mycket små risker har vi emellertid frånhänt oss möjligheten att bevisa att någonting är "tillräckligt" säkert enbart genom utfodringsförsök på djur. Denna svårighet är generell och gäller inte enbart bestrålade livsmedel. Djurförsök är aldrig tillräckliga för att visa att risker som skulle kunna finnas är helt försumbara; man måste gå andra vägar. En möjlighet är att studera *hur* strålning påverkar livsmedel och vilka kemiska förändringar man kan vänta sig. Jämförelser kan göras med motsvarande förändringar av andra orsaker, t ex efter upphettning vid vanlig matlagning. Man kan också finna att ämnen som bildas vid bestrålning redan är väl kända från hälsosynpunkt. Detta diskuteras i ett följande kapitel. Vid riskbedömning måste man skilja mellan *uppskattning* av risken, vilket kan ske med vetenskapliga metoder, och en *bedömning* av risken vilket alltid innebär värdeomdömen som går utanför den vetenskapliga uppskattningen. I denna rapport har kommittén inte sökt bedöma några risker utan har enbart genom uppskattning sökt finna i vad mån de existerar och hur stora de kan vara.

4.1 Riskbegreppet

För att kunna analysera och bedöma riskerna med att använda bestrålade livsmedel måste vi först klarlägga några termer och begrepp.

När vi talar om "risker" menar vi oftast sannolikheten för att någon form av skada skall uppstå, men ibland också graden av skada. Både sannolikhe-

ten för skada och graden av skada beror på i vilken omfattning man exponeras för den företeelse som orsakar risken, "riskkällan". Den kan vara ett giftigt ämne, buller, strålning, trafik etc.

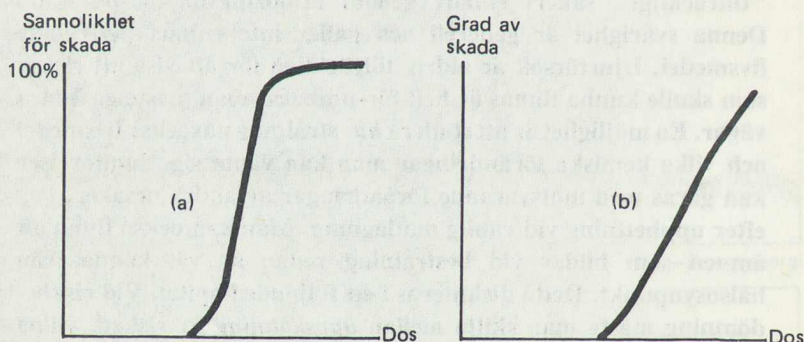
Dosbegreppet

Oavsett riskkällan strävar man efter att beskriva exponeringen för den med något kvantitativt mått. När det gäller giftiga ämnen ligger det nära till hands att ange den materiamängd som tillförs kroppen, när det gäller buller och strålning kan man kanske ange energimängden, och för andra riskkällor kan man ibland kombinera något intensitetsmått med den tid under vilken man utsatts för påverkan. På ett eller annat sätt definierar man därvid den *dos* för vilken man har utsatts.

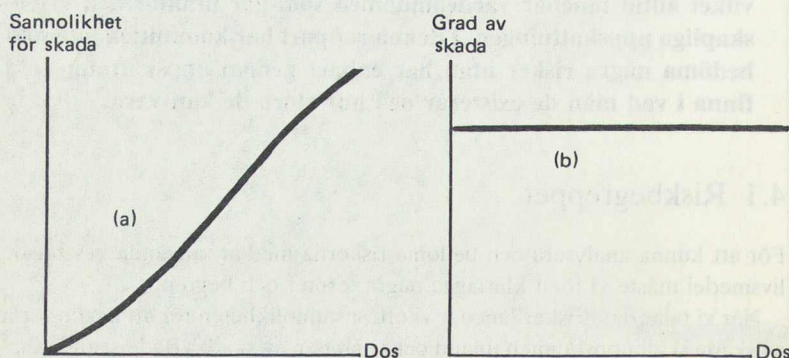
Sambandet mellan dosen och sannolikheten för skada brukar kallas *dos-respons samband*. Sambandet mellan dosen och graden av skada brukar kallas *dos-effektsamband*.

För en del skador finns det ett tröskelvärde för dosen under vilket ingen skada kan uppstå. Det finns då också ofta en dos över vilken förekomsten av skadan är nära 100 %-ig. I sådana fall finns ett klart kausalsamband mellan dos och skada och skadan uppstår inte slumpmässigt. Dessa skadeverkningar brukar därför kallas *icke-stokastiska*. Ofta ökar graden av skada med dosen sedan tröskelvärdet väl överskridits (figur 4.1).

I andra fall räknar man inte med något tröskelvärde för dosen utan tror att även mycket små doser kan medföra en, motsvarande liten, sannolikhet för



Figur 4.1 Dos-respons samband (a) och dos-effektsamband (b) för icke-stokastiska skadeverkningar.



Figur 4.2 Dos-respons samband (a) och dos-effektsamband (b) för stokastiska skadeverkningar; ofta rör det sig om små sannolikheter.

skada. Eftersom skadan i så fall drabbar de exponerade individerna på ett till synes helt slumpartat sätt, kallas verkningarna *stokastiska*. Uppkomsten av cancer, liksom uppkomsten av ärftliga skador, brukar räknas som stokastiska skadeverkningar. För dessa verkningar är graden av skada oberoende av dosen. Om skadan inträffar är den alltid av samma slag, t ex cancer, endast sannolikheten för skada ökar med dosen (figur 4.2).

Vad menas med "risk"?

Ordet "risk" används ofta i flera olika betydelser. Det kan bl a betyda:

- *sannolikheten* (S) för en obehaglig händelse ("risken att bli överkörd på den här gatan är 1 på miljonen")
- *typen* av obehaglig händelse ("risken att gå på den här gatan är att man kan bli överkörd")
- *påföljden* (W) för den drabbade individen om händelsen inträffar ("risken är att man blir invalidiserad")
- *konsekvensen* (Q) i form av kollektiv påföljd om många personer exponeras för riskkällan ("risken är att ett dussin personer skadas varje år")
- *väntevärdet* (E) på konsekvensen ("risken var att tolv personer skulle skadas, men det här året skadades bara nio")
- hela det begrepp som omfattar samtliga ovanstående företeelser ("trafiken på den här gatan innebär en alltför stor risk")

Det är uppenbart att en diskussion där olika personer lägger olika innebörd i ordet "risk" lätt blir förvirrad. Man bör därför helst undvika ordet, annat än i de fall där betydelsen inte spelar någon roll, och i stället använda mer exakta uttryck, såsom "sannolikhet för skada", etc.

Några av ovanstående storheter är relaterade på följande sätt:

$$E = S \times W \times N = \text{väntevärdet på Q}$$

Detta uttryck säger att om man har bestämt sig för att studera en viss skadlig händelse med påföljden W för drabbade individer, så blir väntevärdet på konsekvensen i en grupp av N individer, som alla utsätts för samma sannolikhet (S) för att händelsen skall drabba dem, lika med produkten av sannolikhet, antalet individer och den individuella påföljden.

Följande exempel illustrerar vad detta innebär. Om 10 000 individer (N = 10 000) var och en utsätts för en sannolikhet av 1 på 1 000 (S = 0,001) att drabbas av en sjukdom som i genomsnitt innebär 3 sjukdagar (W = 3 sjukdagar), så blir väntevärdet (E) på total konsekvens:

$$E = 0,001 \times 3 \times 10\,000 = 30 \text{ sjukdagar}$$

Det faktiska utfallet kanske blev en annan konsekvens, t ex Q = 27 sjukdagar.

Ett annat exempel: Om hela Sveriges befolkning (N = 8,4 · 10⁶) var och en i genomsnitt varje år utsätts för en sannolikhet av 1 på 10 000 (S = 10⁻⁴) att dödas i trafiken (W = 1 dödsfall), så blir väntevärdet (E) på den totala årliga konsekvensen av trafiken:

$$E = 10^{-4} \times 1 \times 8,4 \cdot 10^6 = 840 \text{ dödsfall}$$

Det faktiska utfallet kommer att variera från år till år, ett år är kanske $Q = 856$ dödsfall.

4.2 Slumpens lagar

Poisson-fördelning av sannolikhet

I riskanalyser börjar man ofta med att studera sannolikheten för de allvarligaste skadorna, t ex cancer, utan att till en början söka värdera påföljden. I det individuella fallet är frågan således "cancer?" eller "inte cancer?", dvs $W = 1$ cancerfall. Väntevärdet på antalet cancerfall, om var och en av N personer utsätts för en sannolikhet (S) för cancer blir då

$$E = S \times N$$

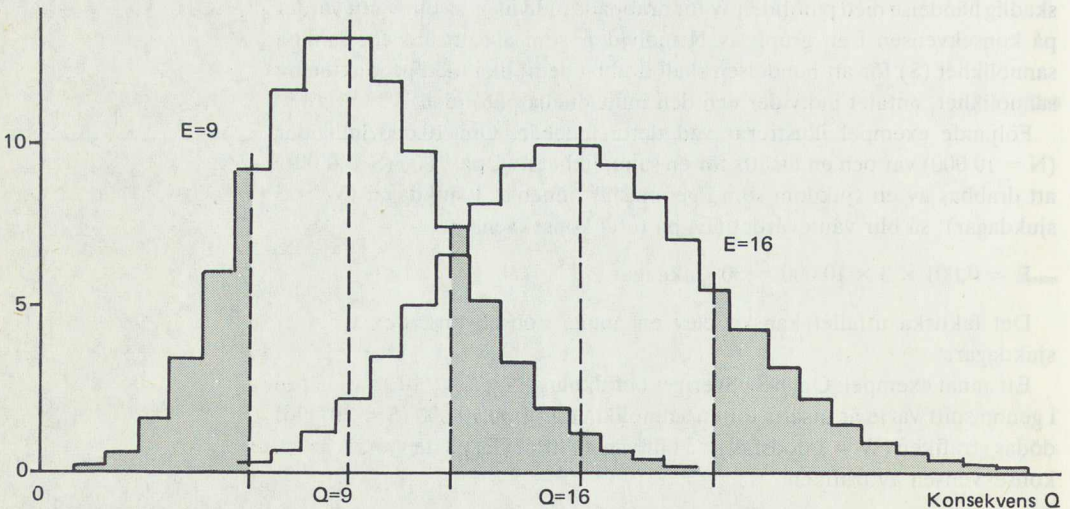
Om N är ett stort tal och S ett litet tal ($N \gg 1$ och $S \ll 1$), uppfyller situationen villkoret för att sannolikheten för ett verkligt utfall Q (den faktiska konsekvensen) skall vara Poisson-fördelad. Detta innebär att sannolikheten för att antalet cancerfall skall bli Q när väntevärdet är E kan beräknas som

$$\text{sann}(Q) = \frac{e^{-E} \times E^Q}{Q!}$$

Innebörden av detta illustreras i figur 4.3.

Figur 4.3 Exempel på Poisson-fördelning av sannolikhet. Om väntevärdet är E (t ex antal cancerfall i en given befolkning) kommer den verkliga konsekvensen Q visserligen att falla i närheten av E , som i nedanstående exempel, men sannolikheten att den skall bli just $Q = E$ är (i detta exempel) bara ca 10 %.

Sannolikhet, uttryckt i procent, att konsekvensen skall bli just Q när väntevärdet är E



Statistisk osäkerhet

När man (såsom i exemplet i figur 4.3) säger att väntevärdet är 16 cancerfall finns det fortfarande en ganska stor sannolikhet att det verkliga utfallet skall bli större än t ex 20 (den skuggade delen av den högra kurvan). Sannolikheten för $Q = 20$ är fortfarande mer än hälften av sannolikheten att man skall få just $Q = 16$ när $E = 16$.

Med *standardavvikelsen* (σ) från väntevärdet avser man ett spridningsmått som anger hur långt från väntevärdet man kan vänta sig att det verkliga utfallet rimligtvis kan ligga. Om man kunde upprepa det slumpartade händelseförloppet gång på gång skulle ca 2/3 av alla värden på Q falla mellan $(E - \sigma)$ och $(E + \sigma)$. En storhet som är Poisson-fördelad har standardavvikelsen $\sigma = \sqrt{E}$.

När man anger ett väntevärde (E) har man således alltid en ofrånkomlig statistisk osäkerhet i förutsägelsen om vad utfallet faktiskt kommer att bli. Oddsen är ca 1:3 att det kommer att bli ett värde Q som ligger mer avlägset från E än $\pm\sqrt{E}$.

Detta innebär en betydande svårighet när det gäller möjligheten att genom epidemiologiska studier av människor eller experiment med djur påvisa en liten ökning av en riskkälla eller tillkomsten av en ny riskkälla som medför samma sorts påföljd. Antag att väntevärdet för antalet cancerfall av en viss typ av cancer i Sverige är 300 för varje år. Under en följd av år kan man då finna exempelvis 301, 308, 287, 319, 290, 298 samt 293 cancerfall, utan att avvikelserna från 300 är större än man har orsak att vänta genom enbart slumpens spel ($\sigma = \sqrt{300} \approx 17$). Inte heller det totala antalet cancerfall över de sju åren (2 096) avviker signifikant från det förväntade antalet ($7 \times 300 = 2 100$).

Under ett enstaka år skulle en ny riskkälla ha kunnat tillkomma utan att bli upptäckt, om avvikelserna från 300 fortfarande hållit sig ungefärligen inom gränserna ± 17 . För hela sjuårsperioden skulle en ny riskkälla förbli oupptäckt om totalantalet cancerfall inte avviker med mer än ca $\sqrt{2 100} \approx 46$. I det senare fallet skulle riskkällan kunna motsvara $46/7 \approx 7$ cancerfall per år.

De slumpmässiga variationerna av den "naturliga" cancerförekomsten kommer alltså att dölja eventuella utfall av nya riskkällor så länge dessa är små.

Små sannolikheter

Cancerrisker, oavsett källan, måste alltså ses mot bakgrunden av den normala cancerförekomsten. De fall av cancer som förorsakas av mutagena ämnen i vår andningsluft och i våra livsmedel, eller av andra orsaker, t ex joniserande strålning, är inte unika till sin natur utan blir tillskott inom de cancerformer vi kanske alltid har varit utsatta för. För att kunna påvisa en ökning av den riskkälla som ligger bakom ett iakttaget utfall Q av en given cancertyp i en studerad population, måste man kunna visa att Q skiljer sig mer än vad bara slumpen kan svara för från det väntevärde som man skulle ha utan någon ändring av riskkällan, dvs:

$$Q > E + k \times \sigma$$

Här är k ett tal som man väljer beroende på vilket bevisvärde man kräver när man prövar hypotesen att värdet på Q inte är bara slumpens verk och påstår att den hypotesen är riktig.

Om vi nöjer oss med $k = 1$ och E inte är ett alltför litet tal ($E \gg 1$) kommer oddsen att Q skall vara större än $E + \sigma$ att vara ungefär 1:6, dvs ca 16 %. Finner man därför $Q > E + \sigma$ och hypotesen är felaktig är detta ett fynd man skulle ha 16 % sannolikhet att göra. Man kan då säga att hypotesen är riktig på $(100 - 16) \% = 84 \%$ konfidensnivå.

Eftersom $\sigma = \sqrt{E}$ kan man skriva om det tidigare villkoret att lyda:

$$Q/E > 1 + k/\sqrt{E}$$

Om vi nöjer oss med 84 % konfidens att vi har funnit en verklig riskökning (en ny riskkälla) måste vi således finna en cancerförekomst som är bråkdelen $1/\sqrt{E}$ större än väntevärdet, dvs om vi normalt hade väntat oss 100 fall måste vi finna fler än 110 och om vi hade väntat oss 10 000 fall måste vi finna fler än 10 100, etc.

I verkligheten blir kravet på ökning betydligt större, eftersom vi i realiteten också har en betydande osäkerhet i värdet på E , dvs på den normala cancerförekomsten. Den senare måste bestämmas ur en jämförelsepopulation som inte utsatts för den misstänkta riskkällan. Svårigheten att finna en relevant jämförelsepopulation är ibland mycket stor och därför blir värdet på E i praktiken alltid mycket osäkert.

Nollresultat

Det är alltså svårt att påvisa en ny riskkälla. Det är emellertid i princip omöjligt att visa att den *inte* finns, om man därmed menar att skadesannolikheten verkligen är noll. Det enda man kan visa, med större eller mindre säkerhet, är att sannolikheten för skada understiger ett visst värde. Om man har ambitionen att med stor säkerhet visa att detta värde är mycket lågt, blir det i praktiken ogenomförbart att visa detta genom praktiska iakttagelser eller experiment.

Sällsynta händelser

Låt oss först betrakta det fall att det inte finns någon annan riskkälla än den vi letar efter. Om inte heller den existerar skulle alltså väntevärdet på antalet skadefall, t ex cancer, vara $E = 0$.

Antag att sannolikheten för cancer är S i det individuella fallet. I en population bestående av N individer blir då väntevärdet på antalet cancerfall $N \times S$, det må gälla människor i en epidemiologisk studie eller försöksdjur i ett experiment.

Sannolikheten att en viss individ *inte* skall få cancer är $1 - S$. Därför blir sannolikheten att ingen av N individer skall få cancer

$$P(0) = (1 - S)^N$$

Om vi vill ha 95 % chans att upptäcka den individuella skadesannolikheten S innebär det att vi är nöjda med att kunna konstatera att risken (β) för att vi inte upptäcker någon skaderisk, trots att den finns där, är så liten som

$\beta = 0,05$ (5 %). Man brukar kalla $1 - \beta$ "statistisk styrka".

Om vi inte observerar något cancerfall kan man således, sedan man bestämt sig för vilken statistisk styrka (konfidensnivå) slutsatsen skall ha, bestämma sig för hur stor den individuella cancersannolikheten S rimligen kan vara. Man kan exempelvis vilja uppskatta hur troligt det är att S ligger i intervallet mellan noll och ett godtyckligt värde S_1 . Ur det nyss givna sambandet kan vi då beräkna S_1 om vi har bestämt oss för en viss konfidensnivå $1 - \beta$:

$$\beta = (1 - S_1)N$$

$$S_1 = 1 - \sqrt[N]{\beta}$$

Detta betyder att om S vore större än S_1 enligt ovanstående uttryck så skulle ett nollresultat uppträda med en frekvens som var mindre än β om studien kunde upprepas ett stort antal gånger. Om N är någorlunda stort kan man för aktuella värden på β beräkna S_1 som $1 - \sqrt[N]{\beta} \approx (-\ln\beta) / N$, varav man ser att S_1 ändrar sig tämligen långsamt med β och är omvänt proportionellt mot N (jfr tabell 4.1).

Detta illustrerar den statistiska osäkerheten hos ett test eller en epidemiologisk undersökning. Om S och N har sådana värden att det förväntade antalet cancerfall är $S \times N = 3$ i en population av storleken N , så kommer man om man många gånger upprepar undersökningen i likadana populationer, att i 5 % av undersökningarna finna noll cancerfall, trots att väntevärdet är 3.

Tabell 4.1 visar att även om vi nöjer oss med en mycket låg statistisk styrka i bevisföringen så kan ett nollresultat vid iakttagelser på N individer dölja en skadesannolikhet av storleksordningen $S_1 = 1/N$ (det bör understrykas att osäkerheten också innebär att skadesannolikheten mycket väl verkligen kan vara noll). Det enda man verkligen har visat med ett nollresultat på N individer är att det inte är troligt att den individuella skadesannolikheten är större än

2,3/N med 90 %	konfidens
3,0/N med 95 %	konfidens
4,6/N med 99 %	konfidens
6,9/N med 99,9 %	konfidens

Tabell 4.1 S_1 vid olika värden på N och β

$\beta =$		0,1	0,05	0,01	0,001
$1 - \beta =$		90 %	95 %	99 %	99,9 %
$N =$	10	0,21	0,26	0,37	0,50
	100	0,023	0,029	0,045	0,067
	1000	0,0023	0,0030	0,0046	0,0069
	10000	0,00023	0,00030	0,00046	0,00069
$N \times S_1 =$		2,3	3,0	4,6	6,9

Ökning från en bakgrundsfrekvens

I de flesta verkliga fall innebär inte den studerade riskkällan någon unik risk utan ger ett risktillskott över en redan existerande "normal" risk. Även om den misstänkta riskkällan är obefintlig finns det således ett väntevärde på utfall, sådant att $E = S_0 \times N$. Den sökta effekten består således i en ökning utöver detta värde.

Normalrisken S_0 är inte utan vidare känd utan måste uppskattas genom iakttagelse av utfallet i en kontrollpopulation. För att denna skall ge en riktig uppskattning av S_0 , gällande för just den population som sedan skall studeras med avseende på den misstänkta extra risken, måste kontrollgruppen vara exakt lika mycket utsatt för alla övriga risker. Detta är mycket svårt att garantera.

Det leder för långt att här redogöra för hur man kan uppskatta det högsta värde på en eventuell tillskottsrisik som kan dölja sig bakom ett utfall som inte avviker signifikant från det normala väntevärdet. Det är uppenbart att den storkälla som den bakomliggande normalrisken utgör medför att den extrarisk som kan förbli oupptäckt blir större än i fallet utan någon bakgrundsfrekvens. Som exempel kan nämnas att ett utfall som inte signifikant (på 5 % signifikansnivå) skiljer sig från det normalt förväntade kan dölja en 50–100 %-ig förhöjning av skadefrekvensen i ett djurexperiment med 100 exponerade djur och 100 kontroldjur, om man vill ha 95 % konfidens att den extra risken inte existerar.

Det framgår av föregående avsnitt att den lägsta skaderisk som man har 95 % konfidens att upptäcka när bakgrundrisken är noll (dvs inga skadefall i en kontrollpopulation) är ca $3/N$, dvs ca 1 % i ett djurexperiment med 300 försöksdjur. Inte ens detta är vad man kan kalla en liten risk.

4.3 Betydelsen av djurförsök

Kommittén har velat erinra om föregående statistiska resonemang, eftersom de utgör grunden för den kritik som har riktats mot de mycket omfattande djurförsök som har utförts för att visa att bestrålade livsmedel är ofarliga från toxikologisk synpunkt.

Den amerikanska livsmedelslagstiftningens så kallade Delaney-klausul kräver att inget ämne som i något försök funnits förorsaka cancer får tillsättas livsmedel. Motsvarande krav har funnits i andra länder. Genom att bestrålning av livsmedel tidigare har likställts med tillsats av främmande ämnen har man därför av formella snarare än sakliga skäl krävt omfattande djurförsök.

I realiteten leder emellertid djurförsök i anslutning till sådana krav till en falsk säkerhet. Om N försöksdjur gets en viss dos av ett misstänkt ämne utan att något fall av cancer har uppstått, kan villkoret vara formellt uppfyllt. Ändå kan ett sådant försök inte utesluta en risk av storleken $1/N$.

Orsaken till att man ändå har krävt så omfattande djurförsök är dels att man tidigt skulle ha kunnat upptäcka mycket stora risker, dels att djurförsök har varit en konventionell metod att upptäcka icke-stokastiska skadeverkningar.

Eftersom man aldrig genom djurförsök kan visa att en risk är mindre än $1/N$ och samhällets ambition är att så långt det är rimligt möjligt eliminera även mycket små risker, måste man finna andra metoder än djurförsök.

Förenta staternas Food and Drug Administration (FDA) har föreslagit en ändring av Delaney-klausulen, bl a för att möjliggöra användning av dietylstilbestrol (DES) i djurfoder. Ändringen skulle möjliggöra en sådan användning, under förutsättning att

- "such additive will not adversely affect the animals" och
- "no residue of the additive will be found in any edible portion of such animal after slaughter or in any food yielded by or derived from the living animal."

FDA vill alltså godkänna ämnets eventuella förekomst så länge det inte är *påvisbart* i livsmedlen. Samtidigt har FDA uttalat att en sannolikhet av 1 på miljonen för DES-inducerad cancer är så låg att den "should not significantly increase the human cancer risk".

Detta belyser myndigheternas dilemma. Å ena sidan vill man inte sätta ett alltför högt värde på en accepterbar eller försumbar cancersannolikhet, å andra sidan finns det inte ens teoretiska förutsättningar att motbevisa förekomsten av en högre risk. Detta är emellertid en generell svårighet och gäller också vedertagna processer och tillsatser, inkluderande konventionell matlagning.

Extrapolation från höga doser

Eftersom man har ofrånkomliga problem när det gäller att bevisa frånvaron av små skadesannolikheter vid låga doser brukar en utväg vara att studera verkan av höga doser och extrapolera iakttagelserna till låga doser genom att anta någon form av dos-responssamband.

Studier av verkningar av höga doser från en riskkälla kan antingen vara epidemiologiska studier på människor eller djurexperiment. När det gäller nya riskkällor är epidemiologiska studier av naturliga skäl inte genomförbara innan riskkällan accepterats. Man är därför i regel hänvisad till djurförsök.

När det gäller stokastiska skadeverkningar (cancer, ärftliga skador, utvecklingsrubbingar på foster) görs allmänt långtidsförsök på djur. Så har också skett med bestrålade livsmedel.

Om försöken kan genomföras med en dos som är M gånger så stor som den man egentligen är intresserad av, skulle ett nollresultat på N djur innebära att man kan utesluta skadesannolikheter som är avsevärt högre än $1/(M \times N)$, om man kan anta ett linjärt dos-responssamband. Det är således av intresse att hålla antalet djur (N) stort och att använda doser som är så många gånger (M) större än den aktuella dosen som möjligt.

När det gäller bestrålade livsmedel är det emellertid svårt att nå ett högt M -värde. Det finns två möjligheter: att öka mängden livsmedel till försöksdjuren och att öka koncentrationen av misstänkt mutagena substanser i livsmedlen. Den förra möjligheten är begränsad av djurens kapacitet att äta, och tyvärr är också den senare möjligheten begränsad. Sambandet mellan koncentrationen av misstänkta ämnen i livsmedlen och den använda

stråldosen vid bestrålningen är kanske inte alltid linjärt vid mycket höga stråldoser.

Översättning djur-människa

En annan osäkerhet är djurförsökens relevans när det gäller risker för människor. Försöksdjur får andra cancertyper än människor och har en annan livslängd. För människor finns ofta en latenstid av storleksordningen 10-30 år mellan den initierande händelsen och en påvisbar cancer. Även om man genom djurförsök skulle nå fram till någon kvantitativ uppskattning av sannolikheten för cancer är det svårt att översätta denna till risken för människor.

Ett sätt att kringgå denna svårighet är att bygga på en analogi med strålning och anta att skillnader i mutagen påverkan mellan djur och människor är likartad för joniserande strålning och mutagena ämnen.

Lars Ehrenberg har genomfört en sådan jämförelse och menar att den sannolikhet för mutagen påverkan av försöksdjur, vilken inte går att utesluta vid nollresultat av laboratorietest i konventionell skala, motsvarar den cancerrisk en mänsklig befolkning skulle löpa om den utsattes för en stråldos av 0,1 Gy per år. Det bör understrykas att det här är frågan om en jämförelse mellan risker från strålning i andra sammanhang och risker från kemiskt mutagena ämnen i bestrålade livsmedel.

En sådan risknivå skulle innebära en fördubbling av den normala cancerförekomsten om alla människor utsattes för den och skulle alltså innebära en helt oacceptabel risk. Nollresultat av laboratorietest på djur ger således inte en tillräcklig garanti för säkerhet.

4.4 Direkt analys av livsmedel för mutagena ämnen

Den väg som återstår är att analysera bestrålade livsmedel för att få reda på vilka eventuellt mutagena ämnen som bildas vid bestrålningen. Bildas överhuvud taget sådana ämnen?

Svaret är utan tvekan ja (se kapitel 7). Det kan då synas underligt att ansvariga internationella expertorgan som FAO och WHO ändå har förklarat metoden acceptabel. Förklaringen är att uppkomsten av mutagena ämnen ingalunda är begränsad till livsmedelsbestrålning. Även gamla, beprövade metoder för livsmedelsbehandling medför uppkomst av sådana ämnen. Vi får ständigt i oss mutagena ämnen av olika slag och av många olika orsaker. Vi vet inte vilken andel av den totala cancerförekomsten dessa intag svarar för, inte heller i vilken omfattning skadliga ämnen bildas i vår egen kropp vid olika kostvanor.

I detta läge kan vi göra två saker: Vi kan göra jämförelser mellan de relativa bidragen av mutagena ämnen från olika håll och klassa en viss källa som "säker" om den ger ett, relativt sett, försumbart bidrag; vi kan, och bör, också se på de risker som alternativa behandlingsmetoder – inkl risker av att låta bli att behandla – kan medföra. Också den senare jämförelsen kan göras relativ, så att man kringgår de svårigheter som i praktiken omöjliggör

absoluta jämförelser. Eftersom naturen inte förunnar oss att leva riskfritt måste vi söka de vägar som medför de, relativt sett, minsta riskerna.

Relativ mutagenrisk

De stora mängder laboratorieförsök på djur som utförts för att utröna farligheten av bestrålade livsmedel har visat att sådana livsmedel inte är "giftiga" i vanlig bemärkelse. Man vet emellertid att det bildas ämnen som anses mutagena, t ex alkener (kolväten av viss molekyllär struktur) som omvandlas till mutagent reaktiva ämnen i kroppen. Ehrenberg har visat att sannolikheten för en cellgenetisk förändring och graden av kemiska förändringar i biologiska makromolekyler under vissa förutsättningar följs åt. En indirekt metod att få åtminstone en relativ uppfattning av den förra är t ex en kemisk bestämning av reaktionsprodukter med blodfärgämnet hemoglobin.

Det är sålunda möjligt att göra relativa riskjämförelser mellan exempelvis alkener i bestrålade livsmedel och de epoxider till vilka en del av alkenerna omvandlas efter förtäring. Vidare kan relativa riskjämförelser göras mellan kemiskt mutagena ämnen och joniserande strålning.

En annan möjlighet till relativ riskjämförelse erbjuder bensen. Man kan jämföra intaget av bensen från förtäring av bestrålade livsmedel med den mängd bensen man inandas vid en given halt av bensen i luften.

För såväl joniserande strålning som bensen i andningsluften finns absoluta uppskattningar av cancerrisken. Detta gör det möjligt att få en viss uppfattning om vad cancerrisken från bestrålade livsmedel kan tänkas vara. Sådana riskuppskattningar görs i kapitel 7.

4.5 Riskvärdering

Bedömningar och beräkningar

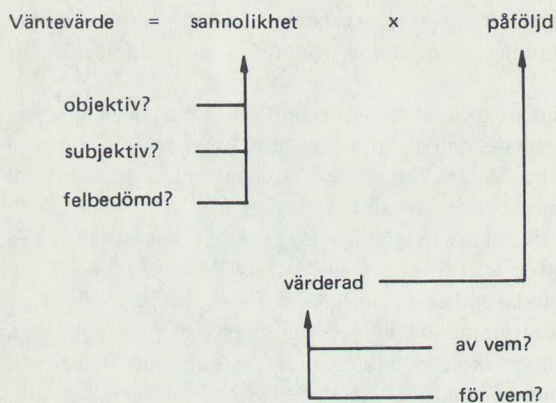
Man talar ibland om sannolikheter av olika slag, t ex "objektiv risk" i motsats till "subjektiv risk". Man måste hålla i minnet att begreppet "sannolikhet" bygger på ovisshet. Om vi visste allt vid exempelvis ett tärningskast (geometri, massfördelning, elasticitet, friktion, luftmotstånd, initialhastighet, vinkelhastighet, etc), skulle vi, i princip, kunna förutsäga resultatet. Sannolikhet är således kopplad till osäkerhet. När man talar om "frekvenssannolikhet" eller "verklig risk" redovisar man bara hur "det gick" i den population som var utsatt för en riskkälla. I det individuella fallet finns ingen verklig "risk": Individens antingen klarade sig eller råkade illa ut.

När man i en ny situation vill sätta en "sannolikhet" för att en viss individ skall drabbas av en skada (och därmed kunna beräkna ett väntevärde på påföljd i en given population av individer) kan man tro att "det kommer att gå ungefär som förra gången" och använda tidigare iakttagna skadefrekvenser som ett mått på sannolikheten. Alternativt kan man sätta upp en modell på skademekanismen och därur beräkna en sannolikhet.

Det sannolikhetsvärde som anges av någon innan en händelse har inträffat är helt beroende av denna någons kunskap och erfarenhet. I det långa loppet

ger kunskap och erfarenhet bättre sannolikhetsuppskattningar, men i enstaka fall kan resterande okunnighet göra att ett okunnigt gissande kommer närmare sanningen ("sömmersketips").

Uttrycket "subjektiv risk" används ofta, men är lite olyckligt. Alla sannolikhetsuppskattningar är subjektiva i den meningen att de återspeglar uppskattningens osäkerhet. Med ökad kunskap följer i regel en bättre uppskattning. Men utöver beräkningar och uppskattningar av sannolikheter kommer också *bedömningar*. Dessa är nödvändigtvis subjektiva. Om vi ser väntevärdet på påföljd för den drabbade individen som produkten av sannolikhet för påföljd och påföljdens grad framstår detta kanske klarare:



Ett sannolikhetsvärde anses vara "objektivt" uppskattat när uppskattningen gjorts av dem som kan tros ha den största kunskapen om de väntade förloppen. Det antas vara "subjektivt" om uppskattaren trots kunskapen påverkas av ovidkommande hänsyn (t ex har känslan "det kan aldrig gälla mig" eller gör den av psykologerna belagda feluppskattningen att ange en låg sannolikhet högre och en hög sannolikhet lägre än de visar sig vara). Extremfallen av subjektiv sannolikhet är när man på grund av okunnighet eller felaktig information sluter sig till fel sannolikhetsvärde. Sådana feluppskattningar kan och bör rättas till (t ex den felaktiga tron att bestrålade livsmedel blir radioaktiva).

Påföljden (t ex cancer) kan också bedömas subjektivt, eller rättare: kan bara bedömas subjektivt. Här är det fullt legitimt att ha olika uppfattning. Värderingen av en påföljd är därför till sin natur ett politiskt och inte ett vetenskapligt beslut.

Vad är en acceptabel risk?

I diskussioner om vilka risker (i ordets alla betydelser) samhället och enskilda individer kan acceptera brukar man nämna tre krav som bör vara uppfyllda för att en riskkälla skall accepteras:

- Förväntade skadliga verkningar av en riskkälla måste uppvägas av den förväntade nyttan
- Det bör inte finnas alternativ som med mindre skadliga verkningar ger

- samma förväntade nytta, eller som ger ett bättre risk/nytta-förhållande
- Nya riskkällor bör inte tillåtas öka den totala skadesannolikheten för de exponerade individerna i nämnvärd grad

Om vi ser på några exempel av föreslagna användningar av bestrålning av livsmedel kan betydelsen av dessa krav variera från fall till fall.

Bestrålning av kryddor

Här är den förväntade nyttan en minskad risk för bl a salmonella-infektion. Det gäller först att avgöra om den eventuella risken av skadliga ämnen gör bestrålningen berättigad. Det gäller därefter att se om andra metoder att uppnå samma syfte, t ex behandling med etenoxid, är att föredra ur risksynpunkt. Det tredje villkoret blir automatiskt uppfyllt om behandlingen minskar användarnas totalrisk. En svårighet är att väga salmonellarisker mot cancerrisker. Men eftersom vid etenoxidbehandling av kryddor ett mutagent och med all sannolikhet cancerframkallande ämne, 2-kloretanol, uppkommer som biprodukt i kryddor, finns även en möjlighet att jämföra de cancerrisker som är förknippade med de två metoderna att eliminera risken för salmonella-infektion.

Bestrålning av jordgubbar

Här är den förväntade nyttan en längre hållbarhetstid, vilket kan innebära fördelar för producenten, distributören och detaljhandlaren. Behandlingen medför dock mer osäkra fördelar för konsumenten, och möjligen nackdelar för lokala odlare som får ökad konkurrens. Risk-nytta-bedömningen blir komplicerad, liksom bedömningen av alternativa metoder. Till skillnad mot fallet med kryddor utsätts inte samma individer för både nyttan och risken. Det tredje villkoret blir därför extra betydelsefullt för att ge konsumenterna trygghet.

Värdering av fördelar

I risk-nytta-bedömningen måste också fördelarna av livsmedelsbestrålning värderas och vägas mot nackdelarna. Även denna värdering av avvägningen mellan storheter som har helt olika "dimensioner" är naturligtvis en politisk fråga. Experter kan bara bidra med att söka beskriva fördelarnas natur.

Det mest karaktäristiska för livsmedelsbestrålning som konserveringsmetod är att man kan förlänga livsmedels hållbarhet, utan att kvaliteten förändras alltför mycket. Olika parter kan ha helt skilda åsikter om värdet av denna fördel.

5 Orientering om livsmedelsförstörande processer samt om sjukdomsframkallande bakterier som kan finnas i livsmedel

Vad detta kapitel säger:

Våra livsmedel kommer nästan uteslutande från växt-och djurriket. Efter skörd eller slakt genomgår livsmedelsråvarorna olika förändringar av mikrobiologisk, kemisk och fysikalisk natur. Vissa förändringar är önskvärda, t ex köttmognad och ostmognad, medan andra är oönskade, t ex förskämning och mögelbildning. För att motverka de oönskade förändringarna har livsmedel under årtusenden utsatts för olika hållbarhetsbefrämjande åtgärder. Av de livsmedelsförstörande processerna är de som orsakas av olika mikroorganismer (bakterier och svampar) de i särklass mest betydelsefulla. För livsmedel av animaliskt ursprung är det främst bakterier som är aktuella som förstörare. Dessa bakterier indelas efter sina angrepp i äggvitenedbrytande, fettspjälkande och kolhydratnedbrytande. Vegetabiliska livsmedel angrips ofta av olika mögel- och jästsvampar. Ibland följs dessa angrepp av bakteriell förstörelse. De biokemiska förändringarna orsakas av olika enzymer. Dessa förändringar sker långsammare ju lägre temperaturen är. Exempel på biokemiska förändringar är mörning av kött och mognad av frukt. En vanlig kemisk förändring är fetthärskning, medan uttorkning är ett exempel på en fysikalisk förändring. Kapitlet avslutas med en orientering om olika sjukdomsframkallande mikroorganismer som kan finnas i livsmedel.

För att underlätta förståelsen av kapitel sex om förlängning av hållbarheten hos livsmedel genom bestrålning ges nedan en kort redogörelse för vilka förändringar som kan ske under lagring i ett icke hållbarhetsbehandlat livsmedel.

Våra livsmedel kommer nästan uteslutande från växt- och djurriket. Efter skörd, eller ifråga om djur, fångst och slakt, genomgår livsmedelsråvaror i likhet med all annan organiskt uppbyggd vävnad en rad förändringar av mikrobiologisk, kemisk och fysikalisk natur. Eftersom många av de kemiska förändringarna är av biokemisk natur behandlas dessa i fortsättningen för sig. Förändringarna griper in i varandra på ett komplicerat sätt och leder till att den organiska substansen förr eller senare bryts ned till enklare föreningar som slutligen på nytt ingår i det biologiska kretsloppet.

All hållbarhetsbehandling av livsmedel syftar till att förhindra eller att minska hastigheten i dessa reaktioner. Ibland är behandlingen specifikt inriktad mot en typ av reaktioner, ibland mot flera samtidigt.

I de följande avsnitten har livsmedlen delats upp i livsmedel av animaliskt ursprung resp vegetabiliskt ursprung. Denna uppdelning har gjorts på grund av att animaliska och vegetabiliska livsmedel har olika kemisk sammansättning och följaktligen förändras på olika sätt.

5.1 Mikrobiologiska förändringar

Av de livsmedelsförstörande processerna är de som orsakas av mikroorganismer mest betydelsefulla. Mycket schematiskt kan de beskrivas på följande sätt.

Livsmedel av animaliskt ursprung

Den viktigaste orsaken till förstöring av animaliska livsmedel är bakterier. Många olika arter deltar i förstöringen. Man kan efter deras aktivitet indela dem i:

Äggvitenedbrytande bakterier bryter ned proteiner till enklare föreningar vilka ofta har obehaglig lukt och smak. Samtidigt förändras konsistensen hos produkten. Den blir lös och smetig. Man använder beteckningen *försämningsbakterier* som ett sammanfattande namn på dessa arter.

Fettspjälkande bakterier kan åstadkomma härskning av fett med bl a bildning av fria fettsyror. De bidrar till smak- och luktförändringar. Fettspjälkande bakterier ingår i försämningsfloran och ibland kan samma art orsaka både äggvite- och fettspjälkning.

Kolhydratnedbrytande bakterier spelar en viss roll vid försämnings av animaliska livsmedel eftersom små mängder kolhydrater ingår i de flesta av dessa.

De flesta av de bakteriearter som ingår i försämningsfloran kan växa inom ett relativt brett temperaturområde. Tillväxt och övrig aktivitet avtar med sjunkande temperatur och upphör för många arter inte helt förrän vid temperaturer omkring 0°C eller t o m något därunder. Detta förklarar varför kylförvaring av animaliska livsmedel (t ex kött och fisk) endast ger en begränsad förlängning av hållbarheten.

De flesta försämningsbakterier är relativt känsliga för olika slags påverkan. De kräver syre för sin ämnesomsättning samt dödas av värme vid relativt måttliga temperaturer. De kräver tillgängligt vatten (hög vattenaktivitet) för att växa och hämmas därför av exempelvis saltning och torkning. De är också relativt känsliga för joniserande strålning.

Förändringar i livsmedel orsakade av försämningsbakterier karaktäriseras framför allt av lukt-, smak- och konsistensförändringar. Dessa uppfattas av de flesta instinktivt som obehagliga och frånstötande och utgör en naturlig varning mot att förtära skämda livsmedel. Genom tillvänjning kan man lära sig tolerera eller rent av uppskatta vissa av dessa smakförändringar. Exempel

på livsmedel med sådana önskade smakförändringar är gammelost och surströmming.

De förändringar som den vanliga förskämningsskivan orsakar i animaliska livsmedel medför normalt inte att produkten blir hälsovådlig. En obetydlig förskämning bör snarare ses som en kvalitetssänkning och många konsumenter har tvingats att acceptera och måhända vant sig vid denna.

Bakteriell förstöring av livsmedel (av såväl äggvita som fett och kolhydrater) kan också orsakas av s k *förruttnelsebakterier*. De flesta tillhör en bakteriegrupp som kallas clostridier och de kan endast växa i en syrefri miljö. De kräver en högre temperatur för tillväxt än de tidigare omnämnda "förskämningsskivorna".

Clostridier kan vid ogynnsamma betingelser övergå i en viloform och bilda s k sporer. Dessa är mycket motståndskraftiga mot yttre påverkan, t ex värme, uttorkning, joniserande strålning m m. Sporbildande bakterier utgör därför det största problemet vid alla former av livsmedelskonservering. Den vegetativa cellen, dvs det stadium under vilket tillväxt och annan cellaktivitet äger rum, är däremot relativt känslig mot påverkan av olika slag: värme, uttorkning, saltning, pH i miljön, m m.

Ett speciellt problem i samband med förekomst av clostridier i livsmedel är att vissa arter kan bilda mycket starka gifter under sin tillväxt. Detta beskrivs närmare på sid 75.

Vegetabiliska livsmedel

Mikroorganismer förstör även livsmedel av vegetabiliskt ursprung, såsom gröna växter och växtdelar, bär, frukter, frön, rotfrukter och matsvampar. Livsmedlen kan angripas av jäst- och mögelsvampar, men också bakterier kan spela en roll.

Angreppen leder till kvalitetsförändringar gällande smak, konsistens och utseende. Förutom att livsmedlet därigenom blir förstört kan det också bli farligt att förtära genom att vissa mögelarter ger upphov till giftiga ämnesomsättningsprodukter, s k mykotoxiner. En del mögelarter angriper selektivt bestämda bär och frukter.

Jäst- och mögelsvampar växer inom ett brett temperaturintervall. Även om den optimala tillväxten sker vid rumstemperatur eller något däröver, kan många arter växa t o m vid kylrumstemperatur.

Utöver kylförvaring och behandling med vissa kemiska preparat eller joniserande strålning finns det inga metoder för hållbarhetsbehandling av färska vegetabiliska livsmedel. Andra behandlingar, såsom värmebehandling eller torkning, påverkar de enzymatiska reaktionerna samt produkternas struktur så, att de inte längre uppfattas som färska. Även kylförvaring har en begränsning genom att många mögelarter kan fortsätta att växa vid låg temperatur. Därför tillgrips ibland behandling med kemiska preparat i kombination med kylförvaring.

5.2 Biokemiska förändringar

Livsmedel av animaliskt ursprung

De biokemiska förändringar som äger rum i animaliska livsmedel efter döden (slakt) orsakas av cellulära enzymer. Reaktionerna sker framför allt i muskulaturen och leder bl a till att äggviteämnena blir mer vattenlösliga. Den nedbrytning av äggviteämnen (proteolys) som delvis orsakas av dessa reaktioner medför att muskulaturen blir mörare samt att en rad smak och aromämnen bildas som är typiska för vissa animaliska livsmedel; framför allt kött. Vid låg temperatur sker förändringarna långsamt, varför det tar lång tid innan livsmedlet genomgått så stora förändringar att kvaliteten påverkas i negativ riktning. Några skadliga nedbrytningsprodukter bildas inte vid dessa reaktioner.

De biokemiska reaktioner som i animaliska livsmedel orsakas av vävnadsegna enzym betyder således i sig ingen kvalitetsnedsättning. Tvärtom har ju under långa tider "hängning" av kött varit en metod för förbättra köttets kvalitet. Däremot kan de medföra att förskämningsskador lättare kan angripa vävnaden.

De biokemiska reaktionerna kan hämmas genom inaktivering av de enzymer som orsakar dem. Från praktisk synpunkt är värmeinaktivering den enda metod som brukar tillämpas i livsmedelssammanhang. En värmebehandling för att döda bakterier medför således också en inaktivering av vävnadsenzymerna och ett hejdande av de biokemiska reaktioner som beror på dessa. I vissa fall är detta en icke önskvärd konsekvens.

Vegetabiliska livsmedel

De biokemiska reaktionerna i vegetabiliska livsmedel är av utomordentligt stor betydelse för kvaliteten. Bl a styrs mognadsprocessen - även efter skörd - av enzymer. Gröna växtdelar förlorar snabbt sin fräschhet genom den inverkan vissa enzymer fortsätter att utöva i växten efter skörd. Vissnande, brunfärgning, gulfärgning osv beror på enzymatiska reaktioner. Genom värmebehandling, s k blanchering, kan flera enzymreaktioner stoppas. Detta påverkar emellertid vävnadernas textur och medför en helt förändrad produkt.

Det vanligaste sättet att påverka de enzymatiska reaktionerna i vegetabiliska livsmedel är genom temperaturreglering. Vid kylförvaring förlöper de långsammare och detta ger möjligheter att lagra produkten en begränsad tid utan att den tappar sin fräschhet.

Genom frysning minskar hastigheten hos flertalet reaktioner mycket kraftigt. Helt upphör de dock inte. I vissa fall måste därför en enzyminaktivering medelst värmebehandling (blanchering) tillämpas även vid frysning.

De biokemiska reaktionerna spelar alltså en viktig roll för kvaliteten vid förvaring av vegetabiliska livsmedel. Reaktionerna har inget direkt samband med de mikrobiologiska förändringarna och bör bedömas oberoende av dessa. Detta är viktigt vid utvärderingen av strålbehandling eftersom denna

metod selektivt kan avdöda mikroorganismerna men har liten effekt på enzymerna.

5.3 Kemiska och fysikaliska förändringar

Kemiska och fysikaliska förändringar spelar en icke oväsentlig roll vid de processer som förstör livsmedel. Strålbehandling har dock ingen påvisbar eller i varje fall en mycket begränsad effekt på sådana förändringar. Några kommentarer lämnas därför ej.

5.4 Sjukdomsframkallande bakterier i livsmedel

Livsmedel av animaliskt ursprung

Såväl råvaror som färdigberedda livsmedel kan utgöra substrat för bakterier som kan ge upphov till sjukdom. Det kan ske antingen genom att bakterierna fortsätter att föröka sig i tarmkanalen hos den person som förtär livsmedlet eller genom att bakterierna har bildat ett gift under sin tillväxt i livsmedlet. Dessa sjukdomsframkallande (patogena) bakterier, ibland kallade matförgiftningsbakterier, kan härröra från djur eller människa. Till de mest kända hör släktena *Salmonella*, *Shigella* och *Staphylococcus*, men många fler släkter finns.

Utmärkande för flertalet av dessa bakterieslag är att de växer i temperaturområdet omkring +10°C. De flesta av dem ger inga, eller endast obetydliga förändringar av livsmedlet. Konsumenten får således inte någon subjektiv varning såvida inte matförgiftningsbakterierna finns tillsammans med förskämningsbakterier, som har orsakat förändringar i lukt och smak. Genom livsmedelsteknologiska processer, t ex värmebehandling, förändring i vattenhalten, förändring i pH, m m kan floran selektivt påverkas så att patogena bakterier finns kvar medan den vanliga förskämningsfloran hämmas. Tillväxt av patogena bakterier kan då ske utan att livsmedlet förändras beträffande smak, lukt och utseende, vilket annars normalt utgör en varning för bakterietillväxt. Detta förhållande måste tas i beaktande vid all behandling av livsmedel, oberoende av om avsikten är att öka hållbarheten eller något annat skäl.

Livsmedel av vegetabiliskt ursprung

I stort sett gäller vad som sagts ovan även för livsmedel av vegetabiliskt ursprung. Som tidigare framhållits utgör mykotoxiner (gifter bildade av mögelsvamp) ett speciellt problem hos dessa livsmedel. Det kan förtjäna att påpekas att mykotoxiner lättare produceras när mögelsvampen utsätts för stress, t ex vid kylförvaring.

6 Användningsområden

Vad detta kapitel säger:

Det främsta användningsområdet för joniserande strålning i livsmedelssammanhang är att förhindra att livsmedel förstörs eller på annat sätt blir olämpliga till människoföda. Beroende på stråldos kan olika effekter uppnås. Användningsområdena är:

- För att förhindra groningen av olika rotfrukter och lök (0,04-0,08 kGy)
- För att fördröja mognaden hos vissa frukter (0,4 kGy)
- För att bekämpa insekter, som antingen förstör livsmedlet eller kan utgöra hälsofara för konsumenter eller växter (0,2-1 kGy)
- För att förhindra eller uppskjuta mikrobiell förstöring samt för att reducera antalet mikroorganismer som kan utgöra en hälsofara för konsumenten (1-10 kGy)
- För att avdöda förstadiet till parasiter som kan överföras från livsmedlen till människa (5-7,5 kGy)

För att underlätta förståelsen ges i kapitlet en kort orientering om groningen och groningshämmning samt fruktmognad och uppskjutande av densamma. De flesta livsmedelsslag har bestrålats vid laboratorieförsök, varvid det framkommit att inte alla lämpar sig för strålbehandling. Vissa produkter får exempelvis smak-och/eller konsistensförändringar. I kapitlet görs en genomgång av olika livsmedelsslag och deras lämplighet för strålbehandling. Bestrålning ökar inte temperaturen i livsmedlet i någon nämnvärd utsträckning, varför metoden kan användas även på djupfrysta livsmedel.

6.1 Syftet med bestrålning av livsmedel

Användande av joniserande strålning i livsmedelssammanhang har huvudsakligen varit inriktad på följande områden:

- olika kontrollfunktioner inom livsmedelsindustrin
- förhindrande av spridning av skadeinsekter med livsmedel
- förhindrande av att livsmedel förstörs eller på annat sätt blir olämpliga till människoföda

De stråldoser som är aktuella för kontrollfunktioner är mycket låga. Som exempel kan nämnas fyllnadskontrollen vid bryggerier, där slumpvis utvalda öl- och läskedrycksburkar utsätts för ca 0,00002 mGy. Genomlysning med röntgen för att upptäcka främmande föremål, t ex metallflisor i chokladkakor, sker också med användande av mycket låga stråldoser som inte ger upphov till förändringar i livsmedlet. Storleksordningen överstiger ej 0,1 Gy och så låga doser ger ej upphov till förändringar i livsmedlet. I Sverige används metoden endast vid en chokladfabrik.

Röntgenundersökning kan också användas om man vet att exempelvis en mutter har lossnat under processen och kan ha hamnat i livsmedlet. Denna typ av undersökning sker oftast ej ute på de enskilda industrierna utan centralt. I Sverige utförs sådan kontroll bl a av Sveriges Tekniska Kontrollinstitut. Efterfrågan är dock liten och för närvarande utförs endast någon enstaka undersökning av livsmedel per år.

Bestrålning i dessa olika kontrollsyften sker med så låga stråldoser att de är helt betydelselösa från hälsosynpunkt. För de båda övriga syftena krävs emellertid stråldoser som är tusen till hundratusen gånger så höga. Följande användningsområden kan särskiljas:

- att förhindra groning av olika rotfrukter och lök
- att fördröja mognaden hos vissa frukter
- att bekämpa insekter, som antingen förstör livsmedlet eller kan utgöra hälsofara för konsumenter eller ett hot mot växter
- att förhindra eller uppskjuta mikrobiell förstöring samt för att döda mikroorganismer, som kan utgöra en hälsofara för konsumenten
- att avdöda förstadier till parasiter, som kan överföras från livsmedel till människa

Beroende av vilken effekt man eftersträvar används olika stråldoser. Man talar i dessa sammanhang om *lågdos-bestrålning*, *mediumdos-bestrålning* och *högdos-bestrålning*.

Stråldos	Effekt
<i>Lågdos-bestrålning:</i> (upp till 1 kGy)	Groningshämning (t ex lök, potatis). Fördröjning av mognad (t ex papaya). Insektbekämpning (t ex spannmål, frukt).
<i>Mediumdos-bestrålning:</i> (1-10 kGy)	Reduktion av livsmedelsförstörande mikroorganismer (t ex förskämningbakterier i rå fisk). Reduktion av icke sporbildande, patogena mikroorganismer (t ex <i>Salmonella</i> i rå kyckling).
<i>Högdos-bestrålning:</i> (10-50 kGy)	Kommersiell sterilisering av kött. Eliminering av virus.

För att visa att hållbarhetsbehandlingen skett med joniserande strålning används ibland utomlands termerna radurization, radication och radappertizing. *Radurization* innebär pastörisering genom strålbehandling (1-10 kGy) för att öka livsmedlets hållbarhet. *Radication* innebär strålbehandling (1-10 kGy) som reducerar antalet patogena bakterier, så att de ej kan påvisas i det bestrålade livsmedlet. *Radication* förstör emellertid ej bakteriesporer. *Radappertizing* innebär strålbehandling (20-45 kGy eller

25-60 kGy) som syftar till kommersiell sterilitet, dvs att levande mikroorganismer och huvuddelen av sporererna slås ut.

Kommittén anser dock inte att dessa "otympliga" termer bör användas på svenska, utan att det är fullt tillräckligt med "strålpastörisering" och "strålsterilisering" (jfr sid 63).

Strålkonsivering ger i motsats till värmekonsivering ej någon inaktivering av olika livsmedelsförstörande enzymer. Därför kombineras strålkonsivering ofta med värmebehandling.

Bestrålning ökar inte temperaturen i livsmedlet i någon nämnvärd utsträckning och kan därför också användas på frysta produkter. En kGy motsvarar en temperaturhöjning på knappt 0,25°C.

I de länder som tillåter strålbehandling får denna normalt utföras endast en gång på samma livsmedel. Vissa livsmedel med låg vattenhalt (t ex spannmål och torkade produkter) kan dock få bestrålas flera gånger i syfte att bekämpa insektsangrepp. Färdiglagad mat, som tillagats av strålbehandlad råvara, får strålbehandlas efter tillredningen. I analogi med tyndalisering (upprepad värmebehandling i konserverande syfte), anses fraktionerad strålbehandling ej som upprepad strålbehandling.

Farhågor har framförts att strålbehandling skulle kunna komma att användas för att "rädda" en dålig produkt eller som ersättare för god hanterings- och produktionshygien. Detta är dock inte troligt eftersom strålbehandling aldrig kan kamouflera dålig lukt, smak etc. Som jämförelse kan nämnas att detta i vissa fall kan göras med exempelvis saltning och rökning.

Groningshämmning

För att motverka groning lagras matpotatis vid relativt låg temperatur, ca +4°C. Trots den låga förvaringstemperaturen börjar potatisknölarna gro efter 4-5 månader. Groningen leder till lagringsförluster samt försämrad kvalitet. För att fördröja groningen används i vissa fall groningshämmande kemiska medel, som pudras på potatisen eller tillförs via fläktluften. I Sverige är det främst den potatis, som skall användas för framställning av "chips", som behandlas med antigroningsmedel, eftersom denna potatis måste lagras vid en temperatur mellan +4°C och +9°C (se avsnitt 7.7).

Om potatisen behandlas med joniserande strålning - ca 0,08 kGy - förhindras groning, eftersom strålbehandling ger en irreversibel hämmning av celldelningen. Strålbehandlad potatis kan lagras utan större kvalitetsförsämringar fram till nästa skördeperiod.

Vid lagring av lök uppstår samma groningsproblem som vid lagring av potatis. Kemisk groningshämmning av lök fungerar dåligt, eftersom lökens vegetationscentrum i motsats till potatisens ligger inuti löken. Dessutom är sådan behandling förbjuden i många länder; bl a i Sverige. Om löken behandlas med joniserande strålning på ca 0,04-0,08 kGy erhålls en bestående groddhämmning.

Fördröjning av mognad

Normala förändringar i vegetabilier under mognad och lagring

Frukt och grönsaker är unika som färskvaror eftersom de är levande och fortsätter att utvecklas efter skörden. Under lagringen fortsätter andning, avgivande av etengas, transpiration och nedbrytning av olika näringsämnen.

Andning: Den viktigaste livsfunktionen efter skörden är andningen. Den innebär en nedbrytning av bl a socker och stärkelse. Till denna process tas syre ur luften under det att koldioxid samt vatten avges. Samtidigt utvecklas värme.

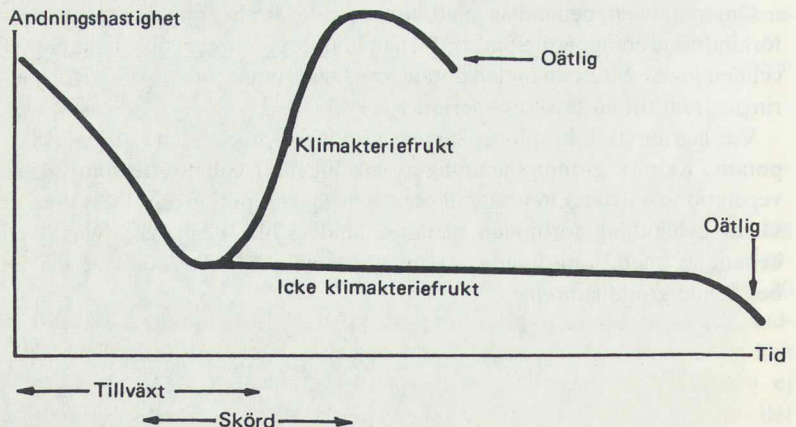
Andningshastigheten under en frukts livscykel framgår av figur 6.1. Andningen minskar under fruktens mognad på trädet, men hos vissa frukter, de s k klimakteriefrukterna, sker en intensiv andningsstegring (klimakteriet) mot slutet av mognaden. Klimakteriefasen övergår i en avtacklingsfas, som slutar med fruktens död.

Exempel på klimakteriefrukter är äpplen, päron, plommon, persikor, bananer och tomater. Icke klimakteriska frukter är bl a apelsiner, citroner, grapefrukt, vindruvor, jordgubbar, körsbär och gurka.

Klimakteriefrukter skördas före klimakteriet; dvs när de är trädmogna, men innan de är ätmogna. Vid lagring och transport strävar man efter att andningsintensiteten skall vara så låg som möjligt; eftersom man vill undvika att frukten kommer in i klimakteriet. Innan frukten sedan säljs, får den ibland genomgå en "snabb-mognad". Ofta tillgår denna så att etengas tillförs luften i mognadsrummet.

Icke klimakteriska frukter skördas först när de är ätmogna och har nått den optimala "ätkvalitén". Vid lagring av dessa vill man hålla andningen på en så låg nivå som möjligt för att frukterna skall få maximal hållbarhet. Detta åstadkommes bl a genom låg temperatur och kontrollerad gassammansättning i lagringsrummen, t ex genom tillförsel av koldioxid.

Transpiration: Under växttiden fordras en vattenavdunstning för att växterna skall kunna suga upp vatten och däri lösta näringsämnen. Efter



Figur 6.1 Livscykeln för klimakterie- resp icke klimakterie-frukter (Från Bøgh-Sørensen et al, 1978)

skörden fortsätter transpirationen och då inget vatten tillförs torkar frukten ut. Avdunstningshastigheten beror på temperaturen och fuktigheten hos den omgivande luften. Ju varmare och torrare den är, desto snabbare sker transpirationen. Vegetabilier innehåller mer än 90% vatten. Redan en så liten vattenförlust som 5-10% ger frukt och grönsaker ett visset och skrumpet utseende.

Mognad: Under och efter fruktens mognad sker en förändring av kolhydratsammansättningen. En grön frukt innehåller mycket stärkelse och lite eller inget socker. Under mognaden sjunker stärkelsehalten och sockerhalten ökar. Under mognaden ändras också konsistensen. Det olösliga protopektinet i cellväggarna omvandlas av enzymet protopektinas till lösligt pektin, varvid fruktköttet mjuknar.

Under mognaden bildas eten (etylen). Det är en gas som bl a stimulerar andningen samt bryter ned klorofyll och olika pektinföreningar. Detta innebär att eten påskyndar mognad och åldrande. Som redan nämnts, används etengas också som "mognadsgas" för att få klimakteriefruktur ätmogna. De frukter som själva producerar minst eten är mest känsliga för etenpåverkan.

Användande av joniserande strålning för fördröjning av mognaden

Mognaden av klimakteriefruktur kan fördröjas genom behandling med joniserande strålning. Bäst effekt uppnås om frukten befinner sig i slutet av preklimateriefasen. Strålbehandlingen skjuter upp mognaden, men frukten lever fortfarande och börjar ånyo mogna om den utsätts för etengas.

Eftersom icke klimakteriska frukter skördas först när de är ätmogna kan man inte uppskjuta mognaden hos dessa genom bestrålning. Däremot kan joniserande strålning bli aktuell för att förhindra eventuell mögelväxt (jfr sid 53 och 65).

Insektsbekämpning

Livsmedel som kontaminerats med insekter betraktas vanligen som otjänliga till människoföda. Bl a kan insekterna vara bärare av mikroorganismer, varav en del kan vara patogena för människa. Risker finns också att insekter sprids med livsmedel från ett område till ett annat, som tidigare varit fritt från insekten ifråga.

Känsligheten för joniserande strålning varierar från art till art, men den är också beroende av insektens utvecklingsstadium. Generellt gäller att känsligheten för joniserande strålning är direkt proportionell mot reproduktionsaktiviteten i cellen och omvänt proportionell mot differentieringsgraden. Hos en vuxen insekt är gonaderna (könskörtlarna) mest strålningskänsliga, vilket resulterar i att den först uppkomna strålningseffekten blir sterilitet. Under larvstadiet sker mycket få celldelningar och det fordras således högre stråldos för att orsaka skada på en larv än på en vuxen insekt. Beroende på stråldos kan man uppnå fullständig avdödning av alla vuxna insekter, "knock-out"-effekt (först utslagning och sedan uppvaknande), förkortad livslängd, sterilitet, försämrad kläckbarhet av äggen, fördröjd utveckling m m.

Reduktion av mikroorganismer

De organismer som är aktuella som förstörare och/eller hälsorisker i livsmedel är virus, bakterier, mögel- och jästsvampar.

Virus: Virus kan inte föröka sig utanför levande celler, och följaktligen kan de i regel inte föröka sig i livsmedel. Därför är virus inte aktuella som livsmedelsförstörare. Många livsmedel kan dock vara bärare av olika virus, som kan orsaka sjukdom hos människa eller djur. De virus som är aktuella för människans vidkommande är bl a gulsots- och poliovirus. På djursidan är det främst mul- och klövsjukevirus. Detta virus kan spridas med livsmedel från plats till plats.

Virus är mycket motståndskraftiga mot joniserande strålning och man räknar med att det behövs 10-20 kGy för avdödning (tabell 6.1). Dessa höga stråldoser ger ofta oönskade förändringar i livsmedlet (bl a smakförändringar), varför eliminering av virus med strålning inte fått någon praktisk användning.

Bakterier: Alla livsmedelstyper innehåller ett större eller mindre antal bakterier. Dessa bakterier kan grovt indelas i:

- livsmedelsförstörande bakterier
- bakterier som kan orsaka infektioner hos människa eller djur
- bakterier som bildar gifter vilka kan vara skadliga för människa eller djur
- önskvärda bakterier
- "naturligt förekommande" bakterier; dvs arter som varken orsakar skada eller är till nytta i produkten

Om man endast eftersträvar en förlängd hållbarhet av livsmedlet under speciella förvaringsbetingelser, t ex kyla, räcker det med en hållbarhetsbehandling som reducerar antalet livsmedelsförstörande bakterier. Vill man däremot ha en produkt som är hållbar, exempelvis ett år i rumstemperatur, måste praktiskt taget samtliga i livsmedlet förekommande bakterier och sporer avdödas. Ett sådant livsmedel måste också skyddas av en förpackning, så att återinfektion förhindras. Hållbarhetsbehandlingen kan alternativt anpassas så att man erhåller en säker avdödning av en speciell patogen bakterie, t ex *Salmonella*.

En bakteries känslighet för joniserande strålning brukar uttryckas i *D-värde*, där D står för absorberad stråldos i produkten (jfr avsnitt 3.4). D_{10} är den stråldos som krävs för att reducera bakterieantalet med en faktor 10; dvs en behandling som ger 90%-ig reduktion av bakterieantalet. D_{10} varierar från bakterieart till bakterieart men är också beroende av antalet bakterier, livsmedelstyp, bakteriernas kondition, osv.

Detta D-värde (dos-värde) får inte förväxlas med förkortningen D = decimeringstiden, som används i värmekonserveringssammanhang. Där står D för den tid, som vid en viss temperatur behövs för att inaktivera 90% av mikroorganismerna. Som exempel kan nämnas att man för bakteriesporer brukar ange decimeringstiden vid 250°F (= 121,1°C) och denna är för *Clostridium botulinum* $D_{250} = 0,217$ minuter.

Bakterier är mer strålningskänsliga än virus (tabell 6.1), och genom att reglera stråldosen kan man uppnå den hållbarhetsgrad som önskas. Detta

Tabell 6.1 Den erforderliga stråldosen vid 20°C för att reducera antalet levande mikroorganismer med en faktor på 10⁶

Mikroorganismer	Dos (kGy)
<i>Bakteriesporer</i>	
Clostridium botulinum typ A och B	10-30
Clostridium perfringens	15-25
Clostridium botulinum typ E	10-20
Bacillus cereus	20-30
Bacillus stearothermophilus	10-20
<i>Gram-positiva bakterier</i>	
Bacillus	2- 3
Lactobacillus	2- 8
Micrococcus	3- 5
Micrococcus radiodurans	30
Staphylococcus aureus	1- 5
Streptococcus faecium	2-20
<i>Gram-negativa bakterier</i>	
Escherichia coli	1- 2
Salmonella	2- 6
Pseudomonas	0,5-2
Moraxella	5- 8
<i>Mögel och jäst</i>	
Aspergillus	2- 5
Penicillium	0,5-2
Saccharomyces	3- 6
<i>Virus</i>	
Mul- och klövsjukevirus	10-30

(Från: Bøgh-Sørensen et al, 1978).

beskrives utförligare under de olika produktrubrikerna.

Mögel- och jästsvampar: Flertalet livsmedel är kontaminerade med mögel- och jästsvampar. Förstöring av frukt och bär orsakas ofta av mögelsvampar. Vissa mögelsvampar kan också bilda gifter, mykotoxiner, som är farliga för konsumenten. Jästsvampar kan ge upphov till icke önskad jäsning av bär- och fruktsafter. Mögel- och jästsvampar uppvisar ungefär samma känslighet för strålbehandling som icke sporbildande bakterier.

I konserveringssammanhang används ofta termerna pastörisering och sterilisering. *Pastörisering* innebär en hållbarhetsbehandling som syftar till att förstöra endast en del mikroorganismer, vanligen vissa försämningsbakterier och/eller speciella patogena bakterier (t ex *Salmonella*). En pastöriserad produkt har begränsad hållbarhet och kräver speciella lagringsbetingelser, t ex kylförvaring. *Sterilisering* är en hållbarhetsbehandling som förstör samtliga mikroorganismer inklusive sporer. I praktiken utförs oftast s k *kommersiell sterilisering*. Denna innebär att produkten hållbarhetsbehandlas så att alla patogena mikroorganismer och deras sporer samt de under normala lagringsbetingelser produktförstörande mikroorganismerna avödas. Riktvärde för kommersiell sterilisering är att *Clostridium botulinum*-sporererna skall reduceras med en faktor 10¹².

Avdödning av förstadier till parasiter som kan överföras från livsmedel till människa

Både animaliska livsmedel och vegetabilier kan innehålla ägg eller larver, som kan utvecklas till parasiter om de förtärs i levande tillstånd. Grönsaker kan vara förorenade med ägg till människans spolmask, griskött kan innehålla trikinlarver eller dynt till människans beväpnade bandmask, nötkött dynt till människans obeväpnade bandmask, vissa fisksorter dynt till människans breda binnikemask osv. För avdödning av trikinlarver fordras ca 7,5 kGy och för avdödning av olika dynt ca 5 kGy. Dessa parasiter utgör på grund av vår goda livsmedelshygien dock inga större problem i vårt land.

6.2 Bestrålning av olika livsmedelsslag

Flertalet livsmedelstyper har bestrålats under experimentella betingelser. Det har då visat sig att inte alla lämpar sig för denna behandling, eftersom de exempelvis får smak- eller konsistensförändringar. I det följande genomgår några viktiga livsmedelsslag.

Kött inklusive fjäderfäkött: Rått kött är normalt kontaminerat med livsmedelsförstörande bakterier, som förökar sig även vid låga temperaturer. Trots kylförvaring har dessa produkter således kort hållbarhet. De livsmedelsförstörande bakteriernas antal kan reduceras markant genom lågdos- till mediumdos-bestrålning. Släktet *Pseudomonas*, en vanlig livsmedelsförstörande bakteriegrupp, har ett D_{10} -värde på 20-50 Gy. En stråldos av storleken 0,5-1 kGy ger således en god reduktion av denna bakteriegrupp. För att även erhålla avdödning av olika patogena bakterier, t ex *Salmonella*, fordras något större stråldoser. *Salmonella typhimurium* har exempelvis ett D_{10} -värde på 0,6 kGy. För att uppnå tillfredsställande reduktion av *Salmonella*-bakterierna krävs en stråldos på ca 5 kGy. Ovan nämnda stråldoser ger endast en pastörisering av köttet. Det måste alltså fortfarande kylförvaras men hållbarheten förlängs markant.

Om man eftersträvar en produkt som är hållbar utan kylförvaring krävs högdos-bestrålning i kombination med värmebehandling (ca 70°C) för enzym-inaktivering. Dessutom bör livsmedlet vara förpackat för att hindra återinfektion efter strålbehandlingen.

För att erhålla säker avdödning av *Clostridium botulinum*-sporer i rått kött behövs ca 45 kGy. En så hög stråldos ger upphov till smakförändringar, som är oacceptabla för konsumenten. Provsamakare har associerat smaken till lukten av "våt hund". Om köttet är rökt och saltat, t ex bacon och rökt skinka, räcker en lägre stråldos, eftersom också saltning och rökning har en hämmande effekt på *Clostridium botulinum*. Sådana produkter uppges ha normal smak även efter högdos-sterilisering.

Fisk, skaldjur och blötdjur: Strålbehandling av dessa livsmedel kan användas till att fördröja den mikrobiella förstöringen under transport och lagring. De bakteriearter som orsakar förstöringen tillhör framför allt *Pseudomonas*, *Lactobacteriaceae*, *Achromobacter*, *Lactobacillus* och *Corynebacterium*. Merparten av dessa är mycket känsliga för joniserande strålning och en mediumdos-bestrålning ger en fullgod pastöriseringseffekt.

För att förhindra förstöring samt utväxt av *Clostridium botulinum* är det viktigt att även de strålbehandlade produkterna kylförvaras. Kylförvaringen kan eventuellt kombineras med vacuum-förpackning eller koldioxidatmosfär. Fiskfiléer som strålbehandlats med 2-4 kGy och sedan kylförvaras uppges ha en hållbarhet på 18-30 dagar. För dessa stråldoser har inga smakförändringar rapporterats.

Frukt och bär: Strålbehandling av frukt sker i syfte att:

- fördröja den mikrobiella förstöringen
- kontrollera skadeinsekter
- fördröja mognaden

Den mikrobiella förstörelsen av frukt och bär orsakas framför allt av olika svamparter. Den huvudsakliga jordgubbsförstöraren är *Botrytis cinera*. Detta gråmögel växer även vid låga temperaturer, varför kylförvaring har begränsad effekt. En stråldos på ca 2 kGy ger en effektiv avdödning. Jordgubbarna måste dock fortfarande kylförvaras eftersom mer strålningsresistenta mögelarter (t ex *Rhizopus stolonifer*) annars växer ut. På äpplen kan *Penicillium expansum* och *Gloeosporium*-arter utgöra problem. För att avdöda dessa krävs ca 2 kGy. Äpplena får efter denna strålbehandling en mjukare konsistens än ett obehandlat äpple. Citrusfrukter är utsatta för angrepp av diverse svamparter såsom *Penicillium italicum* (blåmögel), *Penicillium digitalum* (grönmögel) och *Phytophthora*-arter (brunröta). De stråldoser (2-3 kGy) som krävs för att inaktivera dessa ger dock upphov till skalförändringar. Om strålningen kombineras med värmebehandling (5 min vid 53°C), kan dosen sänkas till 1 kGy. Denna stråldos ger inga skalförändringar.

Strålbehandling kan också användas för att sanera olika tropiska frukter från insekter. De frukter som är aktuella är citrusfrukter (fruktfluga), mango (frövivel) och papaya (fruktfluga). Fruktflugan kan kontrolleras med 0,2-0,3 kGy, medan fröviveln fordrar 0,3-0,8 kGy.

Den största användningen av strålbehandling av frukt är för att fördröja mognaden av olika tropiska frukter. Bananer transporteras i det gröna stadiet och vid framkomsten stimuleras mognaden genom etenbehandling. Om "gröna" bananer strålbehandlas med 0,4 kGy håller de sig 5-6 dagar längre. Strålbehandlingen påverkar inte mognandet när bananen slutligen utsätts för etengas.

Grönsaker och rotfrukter: För denna produktgrupp är det främsta användningsområdet för joniserande strålning att förhindra groning hos potatis och lök. Stråldoserna som fordras är mycket låga - 0,08 kGy för potatis och 0,04-0,08 kGy för lök. Inga bieffekter såsom smak- eller konsistensförändringar har rapporterats. Man har även observerat att potatis som behandlats med joniserande strålning kan ligga framme i ljus utan att bli grön. En stråldos på 0,15-0,20 kGy gör att potatis kan ligga i ljus ca 1 1/2 vecka utan att missfärgas. Strålbehandling används också för att öka hållbarheten hos färska champinjoner. En champinjon som förvaras vid 0-4°C öppnar hatten efter 5-7 dagar. Om den bestrålas med 0,1-1 kGy fördröjs mognaden med 10-14 dagar.

Cerealier och mjöl: De dominerande förstörarna av dessa produkter är olika insekter. Den erforderliga stråldosen för att sanera produkterna är

beroende av vilken effekt man önskar. En momentan död av alla skadeinsekter kräver 3-5 kGy, medan 1 kGy ger fullständig död inom ett par dagar. För sterilisering av de könsmogna individerna räcker det med 0,1-0,2 kGy. Man har också prövat att bekämpa mögelangrepp i cerealier med joniserande strålning. Stråldosen som behövs är dock så hög (2-4 kGy) att behandlingen bedöms som ointressant av ekonomiska skäl.

Kryddor: Flertalet kryddor innehåller stora mängder av olika bakterier och svampar - både livsmedelsförstörande och patogena. Dessutom är de ofta utsatta för insektsangrepp. Med högdos-bestrålning - ca 10 kGy - kan en praktiskt taget steril produkt erhållas. Inga betydande smak- eller färgförändringar har iakttagits efter denna stråldos.

Färdiglagad mat: Intresse för strålsterilisering av färdiglagad mat föreligger främst från försvarsenheter och sjukhus. För försvarets del skulle man slippa problemen med kylförvaring under fältmässiga förhållanden. Dessutom söker man efter alternativ till den traditionella värmekonservingen, eftersom värmesteriliserade helkonserver ofta uppfattas som tråkiga på grund av enahanda smak och konsistens. Som kuriosum kan nämnas att all föda som förtärs av astronauterna under rymdfärder är strålsteriliserad.

I några länder används strålsteriliserad mat till patienter som behöver bakteriefri föda. Det rör sig exempelvis om patienter med reducerat immunförsvar, vilka måste skyddas mot infektioner.

Mjolk- och mejeriprodukter: Med undantag av ytbehandling av ost för att förhindra mögelbildning lämpar sig strålbehandling ej för dessa produkter, eftersom den ger upphov till icke önskade smakförändringar.

6.3 Bestrålning av fodermedel

Varför foder behöver behandlas

Många fodermedel blir i hanteringen starkt kontaminerade med mikroorganismer. Förutom att dessa mikroorganismer kan sänka fodrets näringsvärde och göra det osmakligt för djuren föreligger alltid risken att fodret kommer att innehålla sjukdomsalstrande organismer, t ex *Salmonella* eller giftiga ämnen (exempelvis mykotoxiner, botulinumtoxin).

Slakteriavfall, särskilt från fjäderfäslakt, kan i vissa länder innehålla stora mängder *Salmonella* och andra sjukdomsalstrare. Foderråvaror, som i tropiska länder lagras i stora bingar i ett varmt och fuktigt klimat, är utsatta för ett stort infektionstryck. Detta gäller t ex fiskmjöl och extraktionsmjöl från jordnötter. Jordnötsmjöl t ex används inte i Sverige på grund av att det ofta innehåller stora mängder aflatoxin (cancerframkallande ämne som bildas av bl a mögelsvampen *Aspergillus flavus*). Även i lagerhus i tempererade områden kan fodret infekteras, bl a genom råttor.

Foder måste skyddas genom pastörisering eller i vissa fall sterilisering på ett så tidigt stadium att toxinbildningen ej tagit fart. Sanering av foder innehållande toxiner är, även om det skulle vara teoretiskt möjligt, ej praktiskt genomförbart.

Alla djur skall ha foder med hög hygienisk kvalitet, men när det gäller förekomst av sjukdomsframkallande mikroorganismer i fodret är det särskilt

mot fjäderfä, svin och laboratoriedjur som uppmärksamheten riktats. Dessa djur uppföds ofta i stora anläggningar, vilka kan vara utomordentligt svåra att sanera om en infektion kommit in. Förlusten av djur samt saneringsarbetet kan leda till mycket omfattande ekonomiska förluster. Ifråga om laboratoriedjur tillkommer dessutom kravet på speciella foderhygieniska krav vid uppfödningen av bland annat s k "SPF-djur". För studier inom bakteriologi och immunologi är sådana djur ovärderliga och användningen av dem har ökat mycket starkt under senare år.

Som kuriosum kan nämnas att bestrålning av hampfrö avsett som fågelfoder skulle göra fröet sterilt och förhindra att hampfrö används för illegal sådd av hampa för narkotikatillverkning.

Hittills använda metoder

Traditionellt har foder behandlats med värme, kemikalier (t ex etenoxid) och i vissa fall filtrering (gäller givetvis endast flytande produkter). Under de senaste två decennierna har dessutom joniserande strålning kommit till viss användning utomlands.

Redan pelletering, dvs komprimering av mjöl under högt tryck för att få en hanterlig produkt, innebär sådan tillförsel av värme att bakterieantalet reduceras i materialet. För kommersiella, vegetabiliska fodermedel till höns och svin kan denna process ofta vara tillräcklig om man kan förhindra återinfektion.

När kraven på hygienisk kvalitet ökar måste emellertid andra metoder till. Valet av metod blir då beroende av dess effektivitet, kostnad och effekter på näringsvärde.

Samtliga ovan nämnda metoder kan anses vara effektiva vad gäller att döda mikroorganismer, och man kan i samtliga fall reglera behandlingen från en reduktion av mikroorganismer till en fullständig sterilisering.

Inverkan på näringsvärde

När det gäller effekter på näringsvärde förefaller strålbehandling vara den skonsammaste metoden. Generellt kan man säga att autoklavering har en betydligt mera ogynnsam effekt på fodrets näringsvärde än strålbehandling. Härtill kommer att foderstrukturen ej påverkas vid strålbehandling, medan vid autoklavering materialet sintrar och bakar ihop och kan bli mycket svårhanterligt.

Etenoxidbehandling kan sänka näringsvärdet påtagligt. Dessutom är etenoxiden giftig för dem som utför behandlingen samt måste avlägsnas ur fodret före användning (se sid 98). Kemisk behandling ter sig fin ointressant från flera utgångspunkter.

Erforderliga stråldoser

Flera faktorer måste beaktas, såsom den ursprungliga graden av kontamination, organismernas känslighet och materialets vattenhalt. Eftersom reduktionen av antalet mikroorganismer följer ett exponentiellt förlopp är det uppenbart att man för ett mycket starkt kontaminerat material kan

behöva höja dosen för att reducera antalet till "säker" nivå, även om organismerna i sig skulle vara ganska strålningskänsliga. Behandlingen får aldrig utgöra en ersättning för allmänt dålig processhygien, utan bör vara ett komplement till en i övrigt hygieniskt tillfredsställande process.

De mikroorganismer, som förekommer i foder, skiljer sig oftast inte från dem som finns i livsmedel, varför de stråldoser etc som redogjorts för tidigare i kapitlet är tillämpliga även på fodermedel.

Situationen i Sverige

Bestrålning av fodermedel kan vara av intresse för att förhindra uppkomst av *Salmonella*-infektioner i djurbesättningar och eventuellt efterföljande spridning till människor med infekterade livsmedel. De fodermedel som främst är aktuella är importerat kött- och fiskmjöl. Dessa ingår ofta som delkomponenter i foderblandningar som framställs i Sverige. Bekämpande av *Salmonella* i djur- och fjäderfäbesättningar är dyrbart. Under budgetåret 1981/82 uppgick kostnaderna för de direkta åtgärderna till ca 19 milj kr.

Foderproduktion i Sverige kännetecknas av att stora kvantiteter tillverkas på varje produktionsställe. Enbart till fjäderfä tillverkades 1981/82 495 000 ton färdiga foderblandningar. Motsvarande kvantiteter för svin resp nötkreatur var 845 000 ton resp 966 000 ton. En god hygienisk standard vid tillverkningen är av stor betydelse för att förhindra uppkomst av *Salmonella*. Bestrålning av fodermedel skulle kunna vara ett alternativ till annan behandling (värmebehandling) för att uppnå en god hygienisk standard i fodertillverkning. Detta förutsätter emellertid att kostnaderna för bestrålningen ej nämnvärt överstiger den för annan behandling. Vidare torde en behandling av fodermedel behöva ske vid mycket stora anläggningar, vilket i sin tur kan komma att påverka strukturen i fodermedelsindustrin. De överläggningar som kommittén haft med företrädare för området har visat att det f n inte föreligger något intresse av att utnyttja bestrålning som ett hjälpmedel i fodertillverkningen. För metoden användning inom fodermedelsområdet bör de bedömningar av eventuella risker och de bestämmelser som reglerar användningen inom livsmedelsområdet vara tillämpliga även på fodermedelsområdet.

Referenser och översiktslitteratur

- Bøgh-Sørensen, L., Højmark-Jensen, J. och Jul, M.: Konserveringsteknik, DSR förlag, Köpenhamn, 1978.
- Food Irradiation Information. Tidskrift utgiven av International Project in the Field of Food Irradiation, Karlsruhe,
- Knutsson, P.-G.: Bestrålningsteknik i fodermedelsproduktion och fodermedelshantering. Ur Joniserande Strålning – tillämpning inom lanbruk och industri. Sveriges lantbruksuniversitet, 1980.
- Lapidot, M. och Padova, R.: Treatment of animal feeds with ionizing radiation. In Food Preservation by Irradiation. Proceedings of a symposium in Wageningen 21–25 November 1977. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1978.

Levnedsmiddelbestråling. Redogørelse fra en arbejdsgruppe. Publikation nr 66, 1982. Statens Levnedsmiddelinstitut, Köpenhamn.

Mossel, D.: Rationale for the use of ionizing radiation in the elimination of enteropathogenic bacteria from feeds. In Decontamination of Animal Feeds by Irradiation. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1979.

Proceedings of a Symposium held in Ede: Food Irradiation Now, Haag, 1982

Training Manual of Food Irradiation Technology and Techniques. Technical Reports Series No 114, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1970.

7 Önskade effekter vid strålbehandling

Vad detta kapitel säger:

Här redovisas främst kunskapen om uppkomsten av kemiska produkter från bestrålningen av livsmedel, samt önskad påverkan på mikroorganismer. Kommittén har haft tillgång till det omfattande analysmaterial som har legat till grund för bl a den internationella expertgruppen JECFI:s slutsatser att livsmedel som bestrålats med stråldoser upp till 10 kGy kan förtäras utan hälsorisk. Med kunskap om grunderna för strålningskemin kan man rätt väl förutsäga vilka kemiska ämnen (radiolysprodukter) som huvudsakligen bildas i livsmedel vid bestrålning. Det är dels frågan om byggstenar i molekylerna, såsom fria radikaler som är mycket kemiskt aktiva, dels molekyler som bildas då fria radikaler reagerar med ämnen i livsmedlen. De typer av kemiska ämnen som bildas vid bestrålning av livsmedlens huvudbeståndsdelar (kolhydrater, proteiner och fetter) beskrivs. Huvudparten av dessa ämnen är antingen ämnen som redan finns i livsmedlen eller som är odiskutabelt ofarliga. Inga hittills kända radiolysprodukter är helt unika så att de enbart bildas av strålning. Därför är det också en praktiskt ogenomförbart att genom analyser fastställa om ett livsmedel har blivit bestrålat. Det kan inte uteslutas att en liten andel av radiolysprodukterna är hälsofarliga i större kvantiteter, men sådana ämnen finns också normalt i livsmedel eller bildas vid upphettning under vanlig matlagning. Man har trots omfattande analyser inget belägg för att det bildas något potentiellt skadligt ämne i en sådan koncentration att bestrålad livsmedel skulle vara mindre hälsosamma än livsmedel som behandlats eller tillretts på annat sätt, exempelvis kokats eller stekts. Den användning i Sverige som för närvarande är mest aktuell är bestrålning av kryddor. Det är kommitténs uppfattning att den nuvarande behandlingen med etenoxid sannolikt innebär en större risk från hälsosynpunkt än vad bestrålning skulle göra. Kommittén har särskilt studerat patogenitetsförändringar och andra mutagena effekter på mikroorganismer som kan uppstå vid bestrålning. Kommittén konstaterar, efter genomgång av ett stort antal studier, att den allmänna

uppfattningen är att ofarliga bakteriearter inte blir patogena vid strålbehandling. Från denna regel finns endast redovisat något enstaka undantag rörande *Clostridium botulinum*, för vilken bestrålning uppges medföra en ökad toxinproduktion. Näringsvärdesförsämringar vid strålbehandling är obetydliga. De som förekommer (bl a viss sänkning av halterna vitaminerna B₁ och C) är av ringa betydelse för svenskt vidkommande, eftersom flertalet svenskar äter en blandad kost, där de olika näringsämnen kommer från flera olika kostkomponenter. Om livsmedelsbestrålning tillåts i Sverige kommer sannolikt endast vissa partier av ett litet antal livsmedel att bestrålas, varför endast en ringa del av kosten kommer att utgöras av bestrålade livsmedel. Många livsmedel strålbehandlas inneslutna i förpackningar. De stråldoser som är aktuella ger inte upphov till vandring av förpackningskomponenter till livsmedlet vad beträffar pappers-, glas- eller metallförpackningar. Vad beträffar plastförpackningar är endast vissa plastmaterial lämpliga att använda. I kapitlet ges också en översikt av risker med alternativa metoder, bl a behandling av livsmedel med olika kemiska preparat, samt av risker för personal och miljö.

7.1 Allmänt

En viktig fråga för kommittén att söka besvara är om bestrålning av livsmedel medför några speciella risker från hälsosynpunkt, dvs om det kan vara farligt att förtära bestrålade livsmedel.

Såsom redan har nämnts tror många konsumenter felaktigt att bestrålade livsmedel blir radioaktiva. Denna risk kan således helt avskrivs. En annan farokälla som ofta nämns är att en bestrålning som utförs i syfte att reducera antalet skadliga mikroorganismer i själva verket kan medföra en selektiv påverkan så att farliga bakterier överlever under det att bakterier som medför varningssignaler (smakförändringar, skämd lukt, m m) slås ut. Man har också frågat sig om strålningen kan medföra sådana förändringar av mikroorganismer att de blir mer resistent eller mer skadliga. Slutligen finns farhågorna att strålningen ger upphov till kemiska förändringar så att giftiga eller mutagena ämnen bildas vid bestrålningen.

Kommittén har studerat dessa frågor. En del av dem har redan berörts i tidigare kapitel, varför här endast ges hänvisningar dit. Detta kapitel behandlar ingående frågan om de kemiska förändringarna, vilka enligt kommitténs uppfattning är svårast att bedöma.

7.2 Inducering av radioaktivitet

I avsnitt 3.5 diskuteras i detalj förutsättningarna för att radioaktiva ämnen skall kunna bildas i bestrålade livsmedel. Det är helt klart att detta inte är något problem vid de stråldoser och strålenergier som rekommenderas för

användning. Man måste använda energier avsevärt överstigande 10 MeV för att det skall vara möjligt att påvisa någon inducerad radioaktivitet.

7.3 Önskad påverkan på mikroorganismer

Bakterier och andra mikroorganismer förekommer i stort antal i de flesta livsmedel. De ingår som en naturlig del av vår föda. De flesta arter är helt harmlösa, en del är nyttiga, en del troligen nödvändiga men en liten del är skadliga och ett fåtal kan i vissa fall vara mycket farliga. När ett livsmedel behandlas med joniserande strålning påverkas framför allt mikroorganismerna i detta. Den direkta anledningen till behandlingen är också i de flesta fall att reducera antalet eller att helt slå ut vissa mikroorganismer. Detta behandlas utförligt i kapitlen 5 och 6.

Kan strålningens inverkan på mikroorganismerna medföra speciella risker? Med andra ord, ger joniserande strålning upphov till speciella mikrobiologiska effekter som inte förekommer vid annan behandling av livsmedel och som kan få konsekvenser utöver de avsedda, antingen direkt eller på längre sikt? Denna fråga måste man ta ställning till när man försöker bedöma eventuella risker med strålbehandling av livsmedel. Ett stort antal försök och undersökningar har utförts i avsikt att klarlägga detta.

Det finns flera olika effekter av strålning som man i detta sammanhang har haft anledning att uppmärksamma. De viktigaste är:

- Ger joniserande strålning, som ju har mutagen effekt, upphov till genetiskt förändrade bakteriestammar, t ex sådana som har skadlig eller okänd effekt på människa?
- Får man vid upprepad behandling en utveckling av strålresistenta bakteriestammar?
- Riskerar man att genom strålning förändra bakteriefloran så att de bakterier (förskämningbakterier) slås ut, vilkas effekter vi lärt oss känna igen som varningstecken på att livsmedlet är otjänligt medan farliga varianter överlever?
- Kan det finnas giftiga ämnesomsättningsprodukter (toxiner) kvar i bestrålade livsmedel, trots att man slagit ut de "farliga bakterierna" som har gett upphov till dem?
- Finns det risk för att man slår ut bakterier som är nyttiga och nödvändiga i vissa livsmedelssammanhang, t ex bakterier som används vid framställning av kulturmjolkprodukter, ost, vissa charkuterivaror, m fl?

De här uppräknade frågorna täcker de flesta farhågor för mikrobiologiska effekter som framförts från olika håll. Vår nuvarande kunskap om dessa förhållanden ger emellertid ingen anledning att förmoda att dessa nackdelar finns eller är sådana att de innebär några faktiska risker vid en kontrollerad användning av joniserande strålning i livsmedelssammanhang.

Mutagena förändringar

Frågan om mutagena förändringar som kan leda till ökad patogenitet hos mikroorganismer eller andra förändringar av betydelse i livsmedelssamman-

hang, har varit föremål för många studier. Det finns hittills inga försök som visat att ofarliga bakteriearter blivit patogena efter behandling. Inte heller har kommittén funnit några rapporter som klart visat att patogeniteten ökat hos bakterier som isolerats från bestrålade livsmedel. Motsatsen har däremot påvisats. Det tycks också vara en allmän iakttagelse att bakterier som utsatts för strålbehandling har svårare att klara sig än icke behandlade bakterier och därför snart konkurreras ut av dessa i en naturlig miljö.

Det finns ett undantag från denna allmänna regel om att man inte finner ökad patogenitet hos bestrålade bakterier. Det gäller den i livsmedelssammanhang lyckligtvis sällsynta men fruktade bakterien *Clostridium botulinum*. Det har i något fall hävdats att behandling med joniserande strålning vid vissa tillfällen medfört en ökad toxinproduktion. Frågan är dock omdebatterad. *Clostridium botulinum* tillhör som framgår av tabell 6.1 (sid 63) de mera strålresistenta arterna och kontrollen av dess förekomst och tillväxt i livsmedel sker och måste även framgent ske med hjälp av andra metoder än strålbehandling.

Problemet med patogenitetsförändringar och andra mutagena effekter på bakterier som utsätts för joniserande strålning är viktigt och måste fortlöpande bli föremål för forskning. Det är emellertid kommitténs uppfattning att det hitintills inte gjorts några iakttagelser som talar för att mutagena effekter medför några risker från hälsosynpunkt.

Strålresistenta bakteriestammar

Uppkomsten av strålresistenta bakteriestammar har ibland nämnts som ett tänkbart problem. Selektion av strålresistenta stammar har befarats medföra att man får en flora av mikroorganismer som kräver allt högre och högre doser för att man skall erhålla önskad effekt. Det har vid försök visats att upprepad behandling med subletala doser, dvs doser som ligger strax under gränsen för avdödning, kan leda till en ökad strålresistens. Vissa arter av släktet *Micrococcus* har efter upprepad behandling uppvisat en väsentlig ökning av strålningsresistensen. Dessa bakterier saknar dock intresse från livsmedelssynpunkt både när det gäller patogenitet och livsmedelsförstöring.

Patogena bakterier slås i regel ut av de doser som kommer till användning. Subletala doser kan dock selektera fram stammar med större resistens. Exempel på motsatsen förekommer också. En allmän regel tycks vara att även om strålningsresistensen kan bli högre är den aktuella bakteriestammen känsligare för annan påverkan, t ex värmebehandling. Den konkurreras också ut av andra icke behandlade bakterier.

Eftersom man inte avser att bestråla en given bakteriestam upprepade gånger och en bestrålad bakteriestam inte väntas återinfektera andra livsmedel är uppkomsten av resistenta stammar mest av teoretiskt intresse. Praktisk betydelse kan den tänkas få först vid upprepad strålbehandling av samma livsmedel, vilket inte förekommer eller om en flora av strålresistenta bakterier skulle kunna byggas upp i behandlingsanläggningen och få tillfälle att infektera råvaror. Eftersom enbart förpackade livsmedel behandlas är även denna möjlighet utesluten.

Utslagning av varningsbakterier

Det har ofta framförts farhågor för att strålbehandling kan tänkas förändra bakteriefloran genom att slå ut de bakterier i ett livsmedel vilkas verkan vi har lärt oss känna igen och som därför fungerar som varningssignal att det även kan finnas farliga, dvs sjukdomsframkallande eller på annat sätt skadliga, bakterier. Detta är en viktig fråga. Samma problem finns i princip vid all behandling av livsmedel där avsikten är att påverka bakteriefloran, t ex värmebehandling (pastörisering), saltning, rökning, torkning, osv.

Mikroorganismernas känslighet för joniserande strålning avgör vilka arter som i konkurrens kommer att överleva en behandling med icke steriliserande doser. De Gram-negativa bakterier, framför allt olika arter av släktet *Pseudomonas*, som spelar störst roll vid förstöring av proteinrika livsmedel, t ex kött, fisk, skaldjur, är mycket känsliga för strålning. Dessa arter kommer därför att slås ut först. Mera strålresistenta är Gram-positiva arter som *Micrococcus*, *Corynebacterium*, *Lactobacillus*, men också en del andra arter, även Gram-negativa. Det kommer därför att ske en selektering till fördel mot dessa arter. Den förstöring av livsmedel som dessa bakterier åstadkommer skiljer sig från den som orsakas av den "vanliga" bakteriefloran. Förändringarna är ofta mindre framträdande och det tar lång tid för dessa att utvecklas eftersom den biokemiska aktiviteten hos den överlevande floran oftast är lägre.

Den förbättring av hållbarhet och lagringsduglighet som behandling med joniserande strålning i dessa fall medför beror på ändringen, selekteringen, av bakteriefloran. Den utgör således inget livsmedelshygieniskt problem såvida inte de patogena bakterierna är mera strålningsresistenta och kommer att överleva. Så är normalt ej fallet. Av tabell 6.1, sid. 63, framgår att exempelvis *Salmonella* är relativt känslig för joniserande strålning. Det framgår också att andra bakterier, som kan ge upphov till matförgiftningar är lika känsliga som eller känsligare än *Salmonella*. Även de flesta mögelsvampar elimineras av måttliga doser av joniserande strålning, som därför utgör ett skydd mot utväxt av mögelsvampar med den risk det kan medföra för mykotoxinbildning.

Ett undantag finns. Sporer till sporbildande bakterier är betydligt resistenta än de vegetativa cellerna. Vid lågdos- eller medium-dosbestrålning av ett livsmedel som innehåller sporer till patogena arter av *Clostridium* och *Bacillus* kommer dessa att överleva. Detta kan utgöra en risk från livsmedelshygienisk synpunkt. Om den naturliga konkurrerande floran slagits ut kan dessa sporer växa ut till vegetativa celler och under vissa omständigheter bilda toxin utan att tecken till förändring av livsmedlet uppträder.

Vissa typer av *Clostridium botulinum* kan bilda toxin som är mycket kraftigt och det är därför nödvändigt att all livsmedelshantering tar sikte på att hindra denna bakterie från att växa ut i livsmedel. Toxinet bildas nämligen i den vegetativa cellen och eventuella sporer måste därför gro och bakterien få tillfälle att växa ut för att toxin skall bildas. Eftersom fisk och skaldjur under vissa förhållanden kan infekteras med en typ av *Clostridium botulinum* (typ E), som kan tillväxa även vid relativt låga temperaturer, kan detta innebära en risk. Genom att produkten kan lagras länge därför att de

försämringsbakterier som också har förmåga att växa vid låga temperaturer slagits ut genom bestrålning, skulle detta kunna gynna *Clostridium botulinum*s utväxt. Det är därför nödvändigt, att om behandling av fisk och skaldjur skulle bli aktuell, föreskriva åtgärder som förhindrar toxinbildning, dvs i praktiken förvaring av produkterna vid en temperatur som ej får överstiga +3°C. Sådana åtgärder är för övrigt nödvändiga, även vid andra behandlingsmetoder som medför motsvarande selektiv avdödning av bakteriefloran.

Kvarvarande gifter efter utslagna bakterier

Naturligtvis är det tänkbart att man med strålbehandling kan få en avdödning av de levande bakterierna men att dessa redan kan ha bildat gifter som gör att livsmedlet blir farligt att förtära. I praktiken innebär det dock inga större problem. Den mest fruktade toxinbildande bakterien är som ovan nämnts *Clostridium botulinum*. Den kräver så höga doser för att avdödas att det inte kommer att bli aktuellt med bestrålning med hänsyn till förevarande rekommendationer. Av övriga bakteriella toxiner har framför allt de som bildas av vissa arter tillhörande stafylokocksläktet intresse. Den levande bakterien är känslig för strålning men också för värmebehandling, medan toxinet inte inaktiveras av vare sig strålning eller värmebehandling. Problemet är alltså inte specifikt för strålbehandling.

Utslagning av nyttiga bakterier

Det har också befarats att behandling med joniserande strålning skulle kunna tänkas slå ut nyttiga och nödvändiga bakterier, t ex mjölksyrabakterier, som används vid beredning av kulturmjolk, och andra bakterier som används i livsmedelsproduktionen. Denna farhåga är ogrundad. Inom livsmedelsindustrin använder man allt mer och mer sk startkulturer vid denna produktion. Då kan inte risken finnas ens teoretiskt. Om den naturliga bakteriefloran utnyttjas vid syrning av mjolk, grönsaker, mm kan och kommer den att slås ut om någon till äventyrs behandlar råvaror avsedda för sådan produktion med joniserande strålning. Misstaget torde inte göras mer än en gång.

Det finns ingen risk för att de skador på bakterier som en strålbehandling medför kan överföras till andra bakterier. Någon typ av "smittspridning" i detta avseende i likhet med vad som förekommer när det gäller spridning av antibiotikaresistens hos bakterier, kan inte förekomma.

7.4 Kemiska förändringar

Kommittén har tagit del av det omfattande test- och analysmaterial som har legat till grund för bl a den internationella expertgruppen JECFI:s slutsats att livsmedel bestrålade med doser upp till 10 kGy kan betraktas som helt oskadliga.

Svårigheten att dra en sådan slutsats enbart från resultaten av de omfattande utfodringsförsöken på djur under de senaste 25 åren har belysts i kapitel 4. Annan kunskap har kompletterat bilden, framför allt kännedom

om vilka processer som genom strålverkan (radiolys) leder till uppkomsten av olika strålningsprodukter (radiolysprodukter) samt vilka ämnen det är som kan uppstå genom bestrålningen. Genom kunskap om dessa ämnens egenskaper kan man dra slutsatser om deras eventuella skadlighet. Av särskilt intresse är att veta om dessa ämnen också av andra skäl förekommer i livsmedel, naturligt eller till följd av olika behandlingar. Man vet att många av dem också bildas vid vanlig matlagning.

Kemiska förutsättningar

Strålningens kemiska verkan kvantitativt brukar beskrivas med det s k *G-värdet* som anger antalet förändrade molekyler per 100 elektronvolt (eV) absorberad stråleenergi (se avsnitt 3.4). För nybildade molekyler anges *G-värdet* som positivt, för sönderdelade molekyler anges det som negativt.

En energi (hos t ex en foton eller en elektron) av 1 eV tillförd som rörelseenergi utgör $1,602 \cdot 10^{-19}$ joule. En stråldos av 1 gray är en absorberad energi av 1 joule/kg, dvs $6,242 \cdot 10^{18}$ eV/kg. Om $G = 1$ och stråldosen är 1 gray bildas således $6,242 \cdot 10^{16}$ molekyler per kg. Avogadros tal ($6,023 \cdot 10^{23}$) anger antalet molekyler per mol. En stråldos av 1 gray ger alltså $6,242 \cdot 10^{16} / 6,023 \cdot 10^{23} = 1,036 \cdot 10^{-7}$ mol/kg, om $G = 1$.

Om man i stället vill veta massan av det bildade ämnet måste man multiplicera med molekylvikten. Om stråldosen betecknas med *D* och molekylvikten med *M* blir då koncentrationen *C* av ämnet:

$$C(\text{kg/kg}) = 1,036 \cdot 10^{-7} (\text{mol/kg} \cdot \text{Gy}) \times G \times M(\text{kg/mol}) \times D(\text{Gy})$$

I litteraturen brukar ofta faktorn 1,036 rundas av till 1,0. Det är vanligt att ange koncentrationen i ppm (= mg/kg), stråldosen i kGy och molekylvikten i g/mol. Med dessa mått för storheterna blir koncentrationen:

$$C = 0,1 \times G \times M \times D \quad (\text{ppm})$$

Man vet att joniserande strålning i genomsnitt ger upphov till ett jonpar per 30 à 35 eV absorberad energi. Detta innebär att det i vanliga fall knappast rör sig om högre *G*-värden än ca 3, ehuru det finns molekyler som kan förstöras med värden upp mot $G = -10$.

Vatten är ofta en dominerande beståndsdel i ett livsmedel. De flesta primära strålreaktionerna äger därför rum i vatten under bildning av fria radikaler (se avsnitt 3.4), med följande *G*-värden:

OH·	$G = 2,7$
H·	$G = 0,6$
e^-_{aq}	$G = 2,7$

Dessa radikaler reagerar med varandra och med andra närvarande ämnen. Fett intar en särställning eftersom det är vattenfritt och kan förväntas ge andra primära reaktioner.

Uppskattningar för ett referenslivsmedel

Kommittén har besökt Bundesforschungsanstalt für Ernährung i Karlsruhe och haft tillfälle att diskutera i vilken omfattning radiolysprodukterna är kända genom kemiska analyser. En översiktsartikel av Diehl och Scherz från år 1975 ger en god bild av vad som är känt. Den ligger till grund för följande redovisning.

Diehl och Scherz har gjort försök att uppskatta mängden radiolysprodukter i ett hypotetiskt livsmedel bestående av ca 80 % vatten och ca 7 % av vardera kolhydrater, proteiner och fetter. Uppskattningarna gjordes för en stråldos av 5 kGy.

Kolhydrater

OH \cdot -radikaler från vatten spelar en stor roll i den kemiska förändringen av kolhydrater. De spjälkar loss vätet från -C-H-bindningen och bildar med detta vatten. Kvar blir en kol-radikal (C \cdot), som fortsätter att reagera på diverse sätt. Om detta finns en omfattande litteratur. De övriga radikalerna (H \cdot och e $^-_{aq}$) är mindre reaktionsbenägna med kolhydrater.

OH \cdot -radikalen reagerar ca 10 gånger så snabbt med proteiner som med kolhydrater (hastighetskonstanterna är 10^{10} resp 10^9 M $^{-1}$ s $^{-1}$). Om det finns lika mängder proteiner och kolhydrater kan man därför anta att bara ca 1/10 av OH \cdot -radikalerna kommer att reagera med kolhydrater.

Tabell 7.1 visar exempel på G-värden för radiolysprodukter vid bestrålning av glukos (druvsocker) i 1 %-ig vattenlösning samt mängden bildade produkter.

På grundval av uppgifterna i tabellen har Diehl och Scherz gjort en uppskattning av de kemiska förändringarna av kolhydraterna i sitt hypotetiska livsmedel. Närvaron av proteiner och dessas högre reaktionsbenägenhet med OH \cdot -radikalerna gör att man bara väntar sig 1/10 av de mängder som anges i tabell 7.1. Vid närvaro av syre dominerar glukuronsyra med 90 ppm.

Tabell 7.1 Radiolys av 1 %-ig glukoslösning (från Diehl och Scherz, 1975)

Radiolysprodukt	G-värden		Mängd vid 5 kGy (ppm)	
	med syre	utan syre	med syre	utan syre
<i>Förstöring:</i>				
Glukos	-3,5	-3,5	-325	-325
<i>Nybildning:</i>				
Glukonsyra	0,35	0,4	35	41
Glukuronsyra	0,9	-	90	-
Glukoson	-	0,4	-	41
Erytros	0,25	-	16	-
Deoxykarbonyler och andra deoxyföreningar	-	0,3	-	27
2-deoxyglukonsyra	-	1	-	94
C $_2$ -fragment (osäkra)	0,85	0,8	26	24
C $_3$ -fragment (osäkra)	0,80	0,8	37	37

Vid frånvaro av syre dominerar 2-deoxyglukonsyra, också med ca 90 ppm. Den högsta koncentrationen av en enstaka radiolysprodukt kan därför antas vara ca 10 ppm, under förutsättning att G-värdena kan antas vara desamma vid 6,6 % som vid 1 % glukoskoncentration.

Diehl och Scherz anser att kolhydraterna i ett verkligt livsmedel troligen ger ett ännu lägre utbyte av radiolysprodukter, bl a därför att en del av strålenergin går åt för att spjälka stärkelse till dextriner. De drar därför slutsatsen att ingen radiolysprodukt av kolhydrater kommer att få en större koncentration än 5 ppm vid den antagna stråldosen av 5 kGy. De påpekar dock att antagandet om oförändrade G-värden vid den högre koncentrationen inte är experimentellt underbyggt. Osäkerheten skulle emellertid kompenseras av att övriga antaganden väntas överskatta G-värdena.

Vid bestrålning av rena sockerlösningar (dvs en sockerart åt gången löst i vatten) har vissa forskare (Basson et al, 1979, Holzapfel et al, 1979) observerat att det kan bildas mutagena radiolysprodukter; framför allt olika dikarbonylföreningar. Holzapfel et al (1979) konstruerade därför olika modellfrukter; dvs de blandade olika kolhydrater, proteiner etc så att blandningen fick samma kemiska sammansättning som den riktiga frukten. Dessa modellfrukter bestrålades sedan med samma stråldoser som de rena sockerlösningarna. I modellfrukterna kunde dock inga mutagena ämnen påvisas efter bestrålningen. Författarna drar därför slutsatsen att även om mutagena ämnen skulle bildas vid bestrålning av livsmedel med höga sockerhalter så "neutraliseras" de mutagena ämnena omgående av de övriga komponenterna i livsmedlet.

Slutsats: Radiolys av kolhydrater i vanliga livsmedel väntas inte ge någon enstaka radiolysprodukt i större koncentration än 5 ppm och en totalmängd på mindre än 30 ppm vid en stråldos på 5 kGy.

Proteiner (äggviteämnen) och aminosyror

Proteiner och aminosyror kan reagera både med OH·-radikaler, H·-radikaler och e^-_{aq} . Vilken radikal de "helst" reagerar med beror bl a på aminosyrasammansättningen. G-värdena för radiolytisk sönderdelning av aminosyror i ren vattenlösning ligger i regel mellan 1 och 10 (jfr tabell 7.2).

Tabell 7.3 visar exempel på radiolysprodukter vid bestrålning av aminosyror alanin, cystein och metionin i vattenlösning. G-värdena är förhållandevis höga. Om motsvarande höga destruktions-G-värden skulle gälla för proteinernas aminosyror i livsmedel skulle bestrålning med 5 kGy förorsaka en betydande nedbrytning av protein. Omfattande experimentella resultat vid mycket höga stråldoser visar emellertid att detta inte är fallet. Aminosyror bundna i protein är uppenbarligen mer strålresistenta än fria aminosyror.

Man har inte lyckats påvisa någon signifikant ändring i aminosyraförekomsten vid bestrålning av bl a kött vid så höga stråldoser som 200 kGy, torskfilé vid 100 kGy och vetekli vid 50 kGy. De använda stråldoserna är högre än vad som för närvarande rekommenderas för livsmedelsbestrålning. Möjligheten finns ändå att analysmetoderna inte är tillräckligt noggranna för att påvisa mycket små förändringar. Diehl och Scherz drar dock slutsatsen att

Tabell 7.2 Radiolytisk nedbrytning av aminosyror i vattenlösning (från Diehl och Scherz, 1975)

Aminosyra	konc. molaritet	atmosfär	G-värde	Beräknad förlust vid 5 kGy: ppm (dvs. mg per kg)
Glycin	1,0	kväve	-4,4	17,2
Alanin	1,0	kväve	-5,0	23,1
Serin	0,1	syre	-5,5	30,0
Serin	0,1	kväve	-2,4	13,1
Treonin	0,1	syre	-9,0	55,6
Treonin	0,1	kväve	-6,8	42,0
Metionin	0,1	syre	-6,5	50,1
Metionin	0,01	kväve	-3,8	29,5
Cystein	0,01	vakuum	-9,3	58,5
Fenylalanin	0,015	syre	-2,9	24,8
Tyrosin	0,003	syre	-0,62	5,8
Tryptofan	0,02	argon	-0,7	7,4

experimentella data gör det möjligt att säga att en stråldos på 50 kGy inte bryter ned mer än högst 10 % av någon aminosyra. Laboratorieförsök visar att de mest strålkänsliga aminosyrorna är metionin, cystein, tyrosin, fenylalanin, histidin och lysin samt kanske också treonin och serin. I typiska livsmedelsproteiner förekommer dessa aminosyror i halter av 10 % eller mindre. I det hypotetiska livsmedel som Diehl och Scherz valde som referens, dvs med 6,6 % protein, finns alltså högst 0,66 % eller 6 600 ppm av någon av dessa aminosyror. Härav bryts högst 660 ppm ned vid 50 kGy, dvs av varje aminosyra bildas högst omkring 660 ppm radiolysprodukter. Eftersom varje aminosyra ger en rad nedbrytningsprodukter, olika för olika aminosyror (jfr tabell 7.3), blir den totala mängden av varje radiolysprodukt troligen mindre, trots att samma produkt kan uppstå vid nedbrytningen av flera olika aminosyror.

Vid 5 kGy är det inte troligt att mängden av någon enstaka produkt är

Tabell 7.3 Radiolysprodukter vid bestrålning av alanin (1-M vattenlösning), cystein (0,01-M vattenlösning) samt metionin (0,001-M vattenlösning), samtliga utan närvaro av syre (från Diehl och Scherz, 1975)

Alanin		Cystein		Metionin	
Ämne	G	Ämne	G	Ämne	G
Alanin	-5,0	Cystein	-9,3	Metionin	-3,0
Ammoniak	4,48	Alanin	2,6	Metioninsulfoxid	0,30
Acetaldehyd	0,59	Cystin	3,4	α -Aminosmörsyra	0,46
Pyrodrusyra	1,92	Svavelväte	2,5	3-Metyltiopropylamin	0,5
Propionsyra	1,04	Väte	1,1	Metional	0,08
Etylamin	0,17			Karboxylsyra	0,24
				Merkaptandisulfid	0,61
				Ammoniak	1,48
				Koldioxid	1,45

större än 50 ppm. De högsta koncentrationerna kan förväntas för radiolysprodukter såsom ammoniak, koldioxid, väte m fl ämnen som är ofarliga från toxikologisk synpunkt.

Slutsats: Diehl och Scherz drar slutsatsen att det knappast är troligt att någon radiolysprodukt av toxikologiskt intresse bildas i koncentrationer överstigande 10 ppm från proteiner i ett livsmedel liknande det antagna referenslivsmedlet vid stråldosen 5 kGy.

Fetter

Tidigare har redogjorts för att radiolysprodukter vid bestrålning av kolhydrater och proteiner uppstår som en sekundär effekt av reaktioner med fria radikaler från radiolys av vatten. Så är emellertid ej fallet för fetter, utan där uppstår radiolysprodukter i stället genom molekyl-spjälkning i närheten av esterbindningen. Kemiskt sett är fetter estrar av fettsyror och den trevärdade alkoholen glycerol. Fettsyrorna har en kemisk sammansättning som svarar mot formeln $C_nH_{2n+1}COOH$. Glycerol (glycerin) har sammansättningen $C_3H_5(OH)_3$. En spjälkning av molekylerna ger därför upphov till mindre molekyler baserade på kol och väte, dvs kolväten. Många av dessa kolväten är flyktiga och kan därför analyseras med gaskromatografi.

För att underlätta för läsaren ges nedan en kort orientering om den kemiska uppbyggnaden av de oftast bildade radiolysprodukterna.

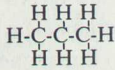
Alkaner är mättade kolväten, vilket betyder att kolatomerna, som var och en har fyra bindningsmöjligheter, endast är förenade med varandra genom en enkelbindning. Molekylernas uppbyggnad blir då



metan



etan



propan

Den allmänna formeln för alkanerna blir således C_nH_{2n+2} . Alla alkaner har namn som slutar på -an. C_4H_{10} är butan och efterföljande alkaner har som namn det grekiska numeriska prefixet följt av -an. Således är namnet på C_8H_{18} oktan, osv. Alkanerna med 1-4 kolatomer är gaser, med 5-15 kolatomer vätskor och högre alkaner fasta ämnen.

*Alken*er och *alkyner* är omättade kolväten, vilket betyder att kolatomerna har dubbel- resp trippelbindningar. Alkenernas namn bildas på motsvarande sätt som alkanernas, men slutar på ändelsen -en om det finns *en* dubbelbindning och på -dien och det finns *två* dubbelbindningar. Motsvarigheten till etan heter alltså eten och har uppbyggnaden.



För de lägre alkenerna förekommer alternativt ändelsen -ylen. Alltså kallas eten ibland etylen. Av alken

er kan i kroppen bildas epoxider som är mutagena. Detta gör alkenerna intressanta ur toxikologisk synvinkel.

Nawar (1972) har undersökt vilka radiolysprodukter som bildas vid

bestrålning av tripalmitin. De hittade alkanerna C_1 till C_{17} , framför allt $C_{15}H_{32}$ ($G=0,14$), $C_{14}H_{30}$ ($G=0,03$) och $C_{17}H_{36}$ ($G=0,01$). Summan av G -värdet för alla de övriga alkanerna var 0,04. Den mest förekommande alkenen var $C_{14}H_{28}$ ($G=0,02$) och G -värdet för alla övriga alkener tillsammans var 0,03. Utöver alkaner och alkener påvisades aldehyder, ketoner och estrar bland radiolysprodukterna.

Diehl och Scherz har på grundval härav gjort följande uppskattning. Om totalmängden alkaner räknas som pentadekan ($C_{15}H_{32}$) och alkenerna som tetradekan ($C_{14}H_{28}$) skulle 24 mg alkaner och 3 mg alkener bildas per kg vid bestrålning av tripalmitin med 5 kGy, dvs 24 resp 3 ppm. I det hypotetiska livsmedlet med 6,6 % fett skulle man på denna grundval kunna vänta sig 1,6 ppm alkaner och 0,2 ppm alkener vid bestrålning med 5 kGy.

Slutsats: Diehl och Scherz drar slutsatsen att det inte är troligt att någon enstaka alkan eller annan radiolysprodukt från nedbrutna fetter kan nå koncentrationer överstigande 0,5 ppm efter bestrålning av referenslivsmedlet med 5 kGy. De konstaterar dock att det är en grov förenkling att grunda slutsatsen enbart på gaskromatografianalys av bestrålad tripalmitin, eftersom denna metod främst påvisar flyktiga ämnen. Således vet man inte så mycket om de icke-flyktiga radiolysprodukterna eller om radiolysen av fetter som inte är triglycerider, t ex fosfatider. Fosfatider är sammansatta fetter och den vanligaste, lecitin, är en ester mellan glycerol, två fettsyror och fosforsyra.

Direkta analyser av radiolysprodukter i bestrådade livsmedel

Såsom de nyss nämnda författarna också själva säger är uppskattningar av det slag som har redovisats här osäkra och grundade på ofullständiga uppgifter. Analysmetoderna (främst gaskromatografi) gör det lättast att påvisa och mängdbestämma flyktiga ämnen. Antagandet att erfarenheterna av bestrålning av rena kolhydrater, aminosyror och fetter är tillämpliga på den mycket mer komplicerade situation som råder i de flesta livsmedel har uppenbara svagheter. Lyckligtvis har dock många analyser gjorts även av bestrådade livsmedel och det är möjligt att jämföra resultaten med de mer teoretiska uppskattningarna.

De exempel som har getts tidigare har gällt bestrålning av livsmedlens huvudkomponenter: vatten, kolhydrater, proteiner och fetter. Det finns i den vetenskapliga litteraturen ett omfattande och inte alltid lättstuderat material om uppkomst av ämnen vid bestrålning och kommittén har därför gjort ett urval för att belysa sammanhangen.

Radiolysens dosberoende

Tabell 7.4 visar analysresultat av flyktiga kolväten bildade i fett från nötkött vid olika stråldoser, enligt Champagne och Nawar (1969). Figur 7.1 visar hur mängden av några av dessa kolväten beror på stråldosen. Koncentrationen visar sig vara proportionell mot stråldosen, såsom antogs i inledningen till detta avsnitt.

Tabell 7.4 Kvantitativa analysresultat av flyktiga kolväten bildade i fett från nötkött bestrålade med olika stråldoser vid en temperatur av 25°C och i frånvaro av luft (från Champagne och Nawar, 1969)

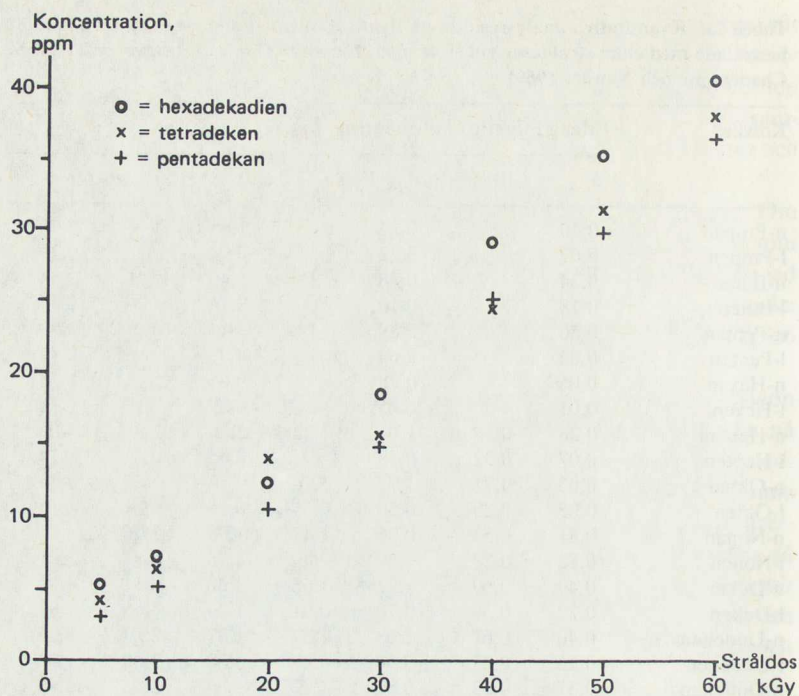
Kolväte	Mängd flyktiga kolväten (mg/kg) vid kGy						
	5	10	20	30	40	50	60
n-Propan	0,40		0,82		1,68		2,98
l-Propen	0,07		0,22		0,21		0,26
n-Butan	0,34		0,88		1,40		2,52
l-Buten	0,18		0,16		0,16		0,17
n-Pentan	0,50		0,89		1,14		2,23
l-Penten	0,02		0,04		0,07		0,15
n-Hexan	0,06		0,28		0,86		1,74
l-Hexen	0,01		0,05		0,29		0,36
n-Heptan	0,26	0,58	1,04	1,72	2,20	2,84	4,02
l-Hepten	0,07	0,22	0,38		0,65	0,68	1,14
n-Oktan	0,03	0,71	1,72	1,76	2,44	3,51	5,30
l-Okten	0,05	0,29	0,50	0,56	0,75	0,81	1,54
n-Nonan	0,81	0,54	0,96	1,48	1,99	2,76	3,74
l-Nonen	0,12	0,28	0,39	0,49	0,74	0,83	1,01
n-Dekan	0,49	0,69	1,27	1,66	2,30	3,11	4,39
l-Deken	0,22	0,38	0,70	0,91	1,24	1,60	1,92
n-Undekan	0,40	0,62	1,08	1,32	1,97	2,57	3,26
l-Undeken	0,16	0,23	0,54	0,67	0,88	1,00	1,30
n-Dodekan	0,37	0,53	0,87	1,22	1,67	2,35	2,96
l-Dodeken	0,67	1,08	1,74	2,49	3,61	4,62	6,18
n-Tridekan	0,95	1,60	2,93	3,79	6,02	8,27	1,31
l-Trideken	0,67	0,87	1,41	1,51	3,12	3,24	4,38
Tridekadien	S	S	S	S	S	S	S
n-Tetradekan	0,55	0,90	1,31	1,58	2,53	3,37	4,75
l-Tetradeken	4,23	6,43	14,00	15,40	24,20	31,10	37,80
Tetradekadien	0,26	0,50	0,86	1,22	1,66	2,02	3,07
n-Pentadekan	2,85	5,04	10,40	14,80	24,50	29,40	36,25
Pentadeken ^a	0,48	0,48	1,01	1,60	2,11	2,59	3,88
l-Pentadeken	0,64	0,97	1,95	2,42	3,50	4,28	7,29
Pentadekadien	0,26	0,41	0,73	1,06	1,68	1,93	2,67
n-Hexadekan	0,60	0,78	1,02	0,96	1,82	2,30	4,50
Hexadeken ^a	S	S	S	S	S	S	S
l-Hexadeken	4,18	5,84	7,78	14,36	23,50	27,70	31,05
Hexadekadien	5,64	7,39	12,60	18,54	29,10	35,20	40,40
n-Heptadekan	4,18	5,00	8,22	12,55	21,40	21,90	26,90
Heptadeken ^a	3,78	5,44	5,94	15,62	25,90	27,00	32,90
l-Heptadeken	S	1,12	1,72	2,22	1,98	4,32	5,10
Heptadekadien	0,96	1,33	2,63	3,10	4,07	6,35	8,20

S = Spår

^a = Icke terminal dubbelbindning

Radiolysprodukter vid bestrålning av kött

Bestrålat kött har analyserats särskilt ofta, vilket dels kan ha sin orsak i det tidiga intresset att sterilisera kött för långtidsförvaring i rumstemperatur, dels kan bero på den mångfald kolväten som kan bildas ur fetter vid höga



Figur 7.1 Dosberoendet av koncentrationen av några radiolysprodukter från bestrålning av fett från nötkött (data från tabell 7.4).

stråldoser. Merritt (1961) har undersökt vilka kolväten som kan påvisas i olika slags kött efter bestrålning med 60 kGy (6 Mrad). Resultaten framgår av tabell 7.5. Den kemiska sammansättningen av kött framgår av tabell 7.6.

Utöver de ämnen som redovisas i tabell 7.5 fann Merritt, särskilt i lammkött, små mängder av etanol, propanol, acetone och butanon (mellan 0,1 och 1 ppm). Enligt Merritt et al (1975) har man kunnat påvisa bensen i oxkött. Vid en stråldos av 60 kGy fann man ca 0,05 ppm alkylbensener mängden ökade linjärt med stråldosen.

Två alkaner (heptadekan och pentadekan) samt två alkenar (tetradeken och hexadekadien) bildas även enligt andra forskare i större mängder än övriga kolväten efter bestrålning av olika slags kött. Vid en stråldos av 10 kGy kan man vänta sig finna ca 10 ppm av hexadekadien och ca 5 ppm av var och en av de tre andra om endast fett bestrålas. Tillsammans utgör de nära hälften av den totala mängd kolväten (räknat i massenheter) som man har funnit efter bestrålning av fett från nöt- och griskött. Den totala mängden vid 10 kGy i fett är alltså ca 50 ppm där hexadekadien kan svara för 10 ppm.

Räknat på 15 % fett blir halten kolväten som radiolysprodukter efter bestrålning med 10 kGy totalt ca 7 ppm varav hexadekadien svarar för ca 1,5 ppm. Med 6,6 % fett och med den lägre stråldos av 5 kGy, som Diehl och Scherz räknat med, skulle halterna bli 1,7 resp 0,3 ppm, vilket är ungefär detsamma som deras resultat.

Tabell 7.5 Radiolysprodukter funna i kött bestrålat med 60 kGy (från Merritt, 1961)

Radiolysprodukt	Oxkött	Kalv	Får	Lamm	Griskött
<i>Alkaner</i>					
Metan	-	-	-	-	-
Etan	+	+	+	+	+
Propan	+	+	+	+	+
Butan	+	+	+	+	+
Pentan	+	+	+	+	+
Hexan	+	+	+	+	+
Heptan	+	+	+	+	+
Oktan	+	+	+	+	+
Nonan	+	+	+	+	+
Dekan	+	+	+	+	+
Undekan	+	+	+	+	+
Dodekan	+	+	+	+	+
Tridekan	+	+	+	+	+
Tetradekan	+	+	+	+	+
Pentadekan	++	++	++	++	++
Hexadekan	+	+	+	+	+
Heptadekan	++	++	++	++	++
<i>Alken</i>					
Eten - undeken	-	-	-	-	-
Dodeken	+	+	+	+	+
Trideken	-	-	-	-	-
Tetradeken	++	++	++	++	++
Pentadeken	+	+	+	+	+
Hexadeken	++	++	++	++	++
Heptadeken	++	++	++	++	++
Tetradekadien	-	-	-	-	+
Pentadekadien	-	-	-	-	-
Hexadekadien	-	-	-	-	++
Heptadekadien	+	-	-	-	++

- = mindre än 0,1 ppm

+ = 0,1-1 ppm

++ = mer än 1 ppm

Tabell 7.6 Ungefärlig sammansättning av kött

Kött	% beståndsdel				
	Fett	Vatten	Protein	NaCl	Mineraler
Griskött	14	62	22	1	2
Skinka	7	68	21	3	4
Kyckling	12	66	21	1	2
Oxkött	15	60	23	1	2

Tabell 7.7 Radiolysprodukter i obestrålade resp bestrålade kolja-filéer (från King et al, 1972)

Obestrålade	Bestrålade med		
	1,3 kGy	6,5 kGy	13 kGy
Acetaldehyd	-	-	-
Aceton	Aceton	-	Aceton
-	Bensen	Bensen	Bensen
Buten	Buten	-	Buten
-	-	-	n-Butan
Dietyleter	-	-	-
Dimetyldisulfid	Dimetyldisulfid	Dimetyldisulfid	Dimetyldisulfid
Dimetylsulfid	Dimetylsulfid	Dimetylsulfid	Dimetylsulfid
-	-	Dimetyltrisulfid	-
-	Svavelväte	-	Svavelväte
-	Metylmerkaptan	Metylmerkaptan	Metylmerkaptan
-	-	Metyltioacetat	-
-	-	-	n-Heptan
-	-	-	l-Heptyn
-	-	-	2-Metyl-1-buten
-	-	-	Metyletylketon
-	-	-	2-Metylpropon
-	-	-	n-Oktan
-	-	-	1-Oktyn
-	-	-	n-Pentan
-	-	-	1-Penten
-	-	-	2-Tiobutan
Toluen	Toluen	Toluen	Toluen

Bestrålning av fisk

Underdal et al (1973) har bestämt G-värden för bildandet av vätgas ($G = 0,2$), koldioxid ($G = 0,2$) samt metan ($G = 0,04$) vid bestrålning av torsk. Vid en stråldos av 10 kGy bildas därför ca 0,4 ppm vätgas, 9 ppm koldioxid och 0,6 ppm metan.

King et al (1972) har undersökt vilka radiolysprodukter man kan finna i kolja (tabell 7.7).

Bestrålning av udda substanser

Frågan kan uppstå om det inte är tänkbart att det i livsmedel finns flera strålningskänsliga substanser, som trots att de förekommer i ringa mängd, ändå genom sin strålkänslighet kan ge upphov till radiolysprodukter av betydelse från hälsosynpunkt.

Diehl och Scherz nämner nukleinsyror som exempel. Ett annat exempel är vitaminer. I den tidigare refererade uppsatsen från år 1975 diskuterar författarna denna fråga, men de drar slutsatsen att man inte kan förvänta sig några betydelsefulla mängder radiolysprodukter och att många av dessa redan förekommer i naturen. En intressant synpunkt är att ju lättare en

molekyl kan spjälkas av strålningen, desto troligare är det att den också kan spjälkas av värme, dvs vid matlagning, samt i matsmältningsorganen.

Vissa livsmedel som förtärs i små mängder, t ex kryddor, kan innehålla ovanliga ämnen vars radiolys inte har studerats. Oftast är effekterna av sådana ämnen i sig själva inte väl kända, och det anses inte troligt att de mycket små mängderna av förändrade ämnen en bestrålning kan medföra innebär någon egentlig förändring från hälsosynpunkt.

Allmänna synpunkter

I det bakgrundsmaterial som legat till grund för JECFI:s slutsatser förekommer en del sammanfattande synpunkter beträffande möjligheten att förutsäga vilka radiolysprodukter av betydelse som kan förväntas i bestrålade livsmedel. Man anser sig ha kartlagt de gemensamma dragen i de processer som ger radiolysprodukter, och att det nu är möjligt att visa vilka som är de väsentliga radiolysprodukterna från proteiner och fetter. Man kan förutsäga vilka mängder som bildas enbart på grund av kännedom om livsmedlets sammansättning, och det är möjligt att överföra slutsatser från ett livsmedel till ett annat.

Bedömning av radiolysprodukternas toxicitet – unika radiolysprodukter

Den totala mängden radiolysprodukter vid en stråldos på 10 kGy kan vara förhållandevis stor för ett referenslivsmedel av det slag som Diehl och Scherz har diskuterat, kanske upp mot 1000 ppm.

Totalmängden kan grovt uppskattas på många olika sätt. Takeguchi et al (1980) har i ett underlag för Food and Drug Administration i Förenta staterna räknat med ett genomsnittligt G-värde av 1 och en molekylvikt av 300 vilket ger en totalmängd av 300 ppm vid 10 kGy. Eftersom det är svårt att se att G-värdet kan vara högre än 3 i genomsnitt skulle 1000 ppm vara en övre gräns. Samma uppskattning ger Diehl och Scherz' antaganden för referenslivsmedlet omräknat till den högre dosen 10 kGy, varvid den stora osäkerheten gäller radiolysprodukterna från proteiner. Som tidigare har nämnts kan man inte utgå från de G-värden man funnit från rena aminosyror, eftersom det skulle innebära en proteinnedbrytning som borde ha kunnat påvisas experimentellt. En övre gräns för radiolysprodukterna från proteiner måste därför istället uppskattas från den noggrannhet med vilken man kan jämföra mängden aminosyror som verkligen bestrålats i livsmedelsproteiner. Den rätt låga noggrannheten gör att den övre gränsen blir hög.

Genom att de kemiska processer som ger upphov till radiolysprodukter är kartlagda och i huvudsak väl beskrivna råder ingen mystik över de ämnen som bildas. Det är kemiska föreningar som är väl kända i andra sammanhang. Många av dem är naturliga beståndsdelar som finns i livsmedlet, oavsett om det bestrålats eller inte. Bestrålningen ändrar därmed endast marginellt proportionerna av ämnen som redan finns i livsmedlen. Takeguchi uppskattar att detta gäller 90 % av den totalmängd av 300 ppm som han utgått från.

Återstoden av radiolysprodukterna är produkter som inte normalt finns i livsmedlet ifråga. Dessa produkter brukar kallas unika radiolysprodukter och uppskattas således av Takeguchi till 30 ppm vid 10 kGy. Av dessa produkter är en del odiskutabelt ofarliga. Andra kan påvisas i livsmedel efter annan behandling än bestrålning, t ex efter upphettning vid vanlig matlagning eller i mikrovågsugn.

Man har inte ännu funnit någon radiolysprodukt som är helt *strålningsunik* såtillvida att den bara skulle uppstå efter bestrålning med joniserande strålning. Om man kunde finna någon sådan, påvisbar radiolysprodukt skulle problemet med identifikation av bestrålade livsmedel i princip vara löst.

MacLeod och Coppock (1976) har kunnat påvisa ett 100-tal flyktiga föreningar i oxkött som kokats eller tillagats i mikrovågsugn. Efter kokning påvisades bl a alkanerna pentadekan och heptadekan samt C₂₀-alkener och efter tillagning i mikrovågsugn alkanerna heptan, 2-metylheptan, oktan, nonan, dekan och undekan samt alkenerna dimetylbuten, hexen, hepten, undeken och dodeken. I det kokta köttet dominerade propylbensen och i det mikrovågstillagade undekan. Stekning och grillning innebär givetvis en ännu större påverkan.

I bakgrundsmaterialet till JECFI år 1980 har Schubert (1977) gjort en jämförande uppskattning av de mängder radiolysprodukter, livsmedelstillsatser och andra föroreningar man skulle vänta få i sig efter en konsumtion av 1,7 kg föda per dag (tabell 7.8).

Tabell 7.8 Uppskattning av det dagliga intaget av livsmedelstillsatser, miljöföroreningar (främmande ämnen), diverse ämnen bildade vid tillverknings- och beredningsprocesser samt radiolysprodukter från bestrålade livsmedel. Beräkningarna är gjorda på en daglig konsumtion av 1,7 kg livsmedel, varav 10 % antas vara bestrålade med låga till medelhöga stråldoser (från Schubert, 1977)

Ämne	Dagligt intag mg
Livsmedelstillsatser ^a	4 000
Oorganiska miljöföroreningar t ex olika metaller	80
Organiska miljöföroreningar t ex pesticid- och läkemedelsrester	2
Ämnen bildade vid tillverknings- och beredningsprocesser	~ 1 000
Icke flyktiga radiolysprodukter	2-20

^a Avsiktligt tillsatta ämnen (t ex färgämnen, bindemedel, konserveringsmedel) för att ge livsmedlen vissa egenskaper

Uppskattning av mutagenrisken

Den del av de unika radiolysprodukterna som kan vara av betydelse från hälsosynpunkt är av allt att döma mycket liten. I kapitel 4 har redan nämnts de försök som gjorts av Ehrenberg att genom indirekta riskuppskattningar få en uppfattning om skadesannolikheten. Metoden innebär en jämförelse av känd mutagenförmåga hos tänkbara radiolysprodukter med mutagenförmågan av joniserande strålning.

Ehrenbergs ursprungliga uppskattning gällde alkener. Ett försök har gjorts att komplettera uppskattningen att gälla även aromatiska kolväten samt karbonylföreningar. Härigenom skulle troligen huvudparten av de tänkbara mutagena ämnena bland radiolysprodukterna ha täckts. Uppskattningen är givetvis osäker men belyser ändå storleksordningen av risken.

Alkener

För etenoxid, en epoxid av alkenen eten, har den mutagena verkan av ett intag av 1 mikromol per kilogram kroppsmassa uppskattats vara densamma som för en stråldos av 0,05 mGy. Av de alkener som tillförs kroppen omvandlas en del till epoxider. Den andel som omvandlas har för eten och propen vid låga nivåer visats vara ca 8 %. För högre alkener är andelen okänd, men ett genomsnitt av 5 % är inte osannolikt.

Mutagenrisken vid intag av alkener kan alltså antas vara ca 5 % av risken vid direkt intag av motsvarande epoxid. Ett intag av en mikromol alkener per kg kroppsmassa skulle således väntas ge samma risk som en stråldos av 0,0025 mGy.

Detta är emellertid troligen en överskattning, eftersom det inte är sagt att samtliga epoxider har samma mutagenförmåga som etenoxid. I själva verket tycks den mutagena effektiviteten minska med växande längd på kolkedjan. Det finns också indikationer på att vissa molekylstrukturer (en icke ändstående epoxigrupp) som kan väntas förekomma genom metabolism av radiolytiskt producerade alkener har en lägre mutagenförmåga. Inflytandet av kolkedjans längd gör det troligt att ett intag av 1 mikromol blandade alkener per kg kroppsmassa därför inte medför en större cancerrisk än vad som motsvarar en stråldos av 0,001 mGy.

Bestrålning av kött med en stråldos av 10 kGy, dvs den högsta rekommenderade, skulle enligt de uppskattningar som har redovisats i föregående avsnitt kunna ge upphov till 0,4–2 ppm alkener, dvs drygt 0,2–10 mikromol alkener per kg kött, om fetthalten antas vara 6,6 %. För en person med en genomsnittlig konsumtion av 0,1 kg kött per dag innebär detta ca 1–5 mikromol alkener per kg kroppsmassa och år.

Detta skulle således genom kemisk påverkan ge samma mutagenrisk som en årlig stråldos av 0,001–0,005 mGy, vilket i sin tur innebär en cancersannolikhet av $(2-10) \cdot 10^{-8}$ per år.

Aromatiska kolväten

Av störst intresse är bensen, som har visats kunna ge upphov till leukemi. Bensen har påvisats i bestrålat kött, men uppträder liksom toluen också i obestrålat kött. Enligt Merritt et al (1975) är totalmängden alkylbensener i

oxkött efter en stråldos av 60 kGy ungefär 0,05 ppm och ökar linjärt med stråldosen. Det kan därför antas att det bildas 0,01 ppm vid 10 kGy. Om en femtedel antas vara bensen utgör bensen ca 0,002 ppm.

Ett intag av 0,1 kg kött per dag ger således ca 0,001 mg bensen per kg kroppsmassa och år om köttet bestråls med 10 kGy.

Som jämförelse kan anges vad som är känt om riskerna av inandning av bensen. En koncentration av 1 ppm bensen i luft motsvarar ett bensenintag av drygt 300 mg per kg kroppsmassa och år. Köttförtäringen skulle därför motsvara en inhalationsexponering av $0,001/300 \approx 3 \cdot 10^{-6}$ ppm \times år.

Leukemiriskn vid inhalation av bensen har uppskattats till $3 \cdot 10^{-4}$ per ppm \times år. Leukemiriskn till följd av daglig konsumtion av kött som bestråls med 10 kGy kan alltså uppskattas vara ca 10^{-9} per år. Troligen är risken ännu lägre. Risksiffran är nämligen grundad på epidemiologiska data för yrkesgrupper som har exponerats för så höga bensenhalter att allvarliga benmärgsskador har uppkommit. Sådana skador kan ha haft promotorverkan, så att de observerade leukemifallen ligger på en snabbt växande del av en icke-linjär dos-responskurva.

Karboxylföreningar

Med karboxylgruppen ($\text{C} = \text{O}$) avses en reaktiv molekyl del som finns i bl a aldehyder och ketoner. Karboxylföreningar utgör den vid sidan av alkener viktigaste klassen av radiolysprodukter som kan misstänkas vara mutagena. En svag mutagen verkan efter uppvärmning av bestrålade kolhydratlösningar (och av även vissa obestrålade ämnen) har också påvisats, av allt att döma beroende på omvandling av vissa radiolysprodukter till mera reaktiva karboxylföreningar. De ämnen som vid uppvärmning kan omvandlas till skadliga produkter är emellertid instabila och försvinner efter några timmar till dagar i ett vattenhaltigt medium.

Det är inte troligt att risken på grund av radiolytiskt bildade karboxylföreningar är större än risken från alkener. Flertalet radiolytiskt bildade karboxylföreningar finns redan i livsmedel eller uppkommer vid tillagning. De bildas också i kroppen vid normal metabolism (formaldehyd, glyoxal). Vid radiolys bildas dessa ämnen i mycket små mängder. Inga karboxylföreningar med hög mutagen förmåga är kända.

Under vissa förhållanden kan emellertid strålning initiera kedjereaktioner av samma slag som vid härskning, med ganska höga halter av karboxylföreningar som följd. Härtill krävs speciella förhållanden med avseende på stråldos, dosrat (dos per tidsenhet), vattenhalt, tillgång till syre, m m. Dessa förhållanden är förmodligen extrema (t ex mycket låg vattenhalt i säd) och kommer inte att föreligga vid livsmedelsbestrålning. Det är inte desto mindre angeläget att identifiera dem.

Hittills inte påvisade radiolysprodukter

Eftersom analyser av bestrålade livsmedel skett med metoder som framför allt kan påvisa lättflyktiga ämnen kan man naturligtvis tänka sig att kunskapen om radiolysprodukter med stora molekyler är bristfällig. Kommittén konstaterar att det f n inte finns några analysmetoder som kan ge besked på denna punkt. Detta är emellertid inte något som är speciellt för

bestrålade livsmedel. Det gäller i lika hög grad för exempelvis värmesterialiserad eller stekt mat.

Totalrisken

De resonemang som här återgetts gör det inte sannolikt att cancerrisken vid förtäring av 0,1 kg bestrålat kött (10 kGy) om dagen kan vara större än ca 10^{-7} per år. För att belysa vad detta innebär i risk kan nämnas att samma cancerrisk erhålls vid en årlig stråldos av 0,005 mGy. Den årliga stråldosen från naturlig strålning är normalt 2 mGy. Det bör observeras att jämförelsen med strålningen görs enbart för att ge en uppfattning om risken. De bestrålade livsmedlen är, såsom redan förklarats, inte radioaktiva och förorsakar ingen stråldos. Den totala sannolikheten för cancer, per år, oavsett orsaken, är i genomsnitt ca $4 \cdot 10^{-3}$ men beror givetvis av åldern. Den skulle alltså stiga några tusendels procent.

Exemplet med kött är extremt. Det finns inga kända planer på omfattande bestrålning av baslivsmedel. Om endast en liten del av våra livsmedel kommer att bestrålas kommer risken att minska i samma proportion. Det måste också understrykas att riskuppskattningar av de slag som här har gjorts är synnerligen osäkra.

Indirekt toxicitet

Mikroorganismer i livsmedel eller själva livsmedlen (frukt och grönsaker med aktiv metabolism) kan påverkas av bestrålning så att livsmedlens halt av toxiska ämnen indirekt förändras. Mikroorganismer kan producera toxiner i mängder som kan minska eller öka beroende av stråldosen. Bestrålning kan ändra exempelvis biosyntesen (biosyntes av fenol är ett exempel).

Förändringar av detta slag är kvantitativa snarare än kvalitativa (dvs inga nya ämnen bildas, endast produktionen av ämnen som redan finns i livsmedlet ändras). En ökad toxicitet av detta skäl är inte särskilt trolig.

Slutsatser

Vid genomgång av tillgänglig litteratur och under besök och diskussioner med sakkunniga i Nederländerna och Förbundsrepubliken Tyskland har kommittén funnit det rimligt att instämma i JECFI:s slutsats att förtäring av livsmedel som bestrålas med stråldoser upp till 10 kGy inte innebär någon hälsorisk. Att strikt vetenskapligt *bevisa* detta påstående möter emellertid principiella hinder, men det är hinder som allmänt gör det omöjligt att bevisa att något livsmedel eller någon annan metod för behandling av livsmedel (inklusive konventionell matlagning) är ofarlig. Varje livsmedel innehåller ämnen som kan vara skadliga. Redan Paracelsus påpekade att inget ämne är ofarligt att förtära, det avgörande är dosen.

Väsentligt är att man nu har en rätt god bild av hur de viktigaste radiolysprodukterna i bestrålade livsmedel uppstår och vilka de är, samt att man inte har funnit något potentiellt skadligt ämne i en sådan koncentration att det kan väntas påtagligt förändra riskbilden vid förtäring. Bestrålning ger vad man hittills vet inte upphov till några helt nya, skadliga ämnen som skulle vara unika för bestrålade livsmedel.

I det fall som för närvarande är mest aktuellt i Sverige, nämligen bestrålning av kryddor, är det kommitténs uppfattning att behandling med det toxiska ämnet etenoxid sannolikt innebär en större olägenhet från hälsosynpunkt än vad en bestrålning skulle innebära (jfr sid 98).

Kommittén vill i detta sammanhang erinra om att den begränsar sina slutsatser till att gälla hälsoriskerna och att den inte har i uppdrag att uttala sig om lämpligheten av metoden i övrigt. För ett ställningstagande till lämpligheten krävs bedömning av ett antal faktorer utöver hälsoriskerna, t ex kostnader, producent- och konsumentintressen, legala aspekter, handelspolitik m m, som enligt direktiven faller utanför kommitténs uppdrag.

7.5 Inverkan på livsmedelsförpackningar

De livsmedel som skall strålbehandlas förpackas ofta före behandlingen. Livsmedlet skyddas på så sätt mot återinfektion efter hållbarhetsbehandlingen. Eftersom förpackningen ofta ligger i direkt kontakt med livsmedlet är det viktigt att det under bestrålningen inte bildas skadliga ämnen som kan vandra över från förpackningen till livsmedlet.

Förpackningar avsedda för livsmedel kan grovt indelas i fyra huvudtyper: pappersförpackningar, glasförpackningar, plastförpackningar och metallförpackningar. Dessutom finns så kallade multiwell-förpackningar, dvs en förpackning uppbyggd av olika lager och där lagren ofta är av olika material.

Pappersförpackningar består kemiskt av cellulosa. Cellulosa är en naturlig polymer och har hög molekylvikt. Förutom "naturlig" cellulosa finns ett stort antal cellulosa-derivat t ex cellofan, rayon och cellulosa-acetat. När cellulosa utsätts för joniserande strålning sker vissa kemiska förändringar i cellulosamolekylen. De mycket långa molekylkedjorna "klippas" bort i av till kortare kedjor, vilket resulterar i en försämrad hållbarhet. Praktiskt har denna hållbarhetsförsämring ingen betydelse och pappersförpackningar används ofta som ytteremballage till livsmedel som skall bestrålas.

Glas: När glas utsätts för joniserande strålning uppstår ofta en brun missfärgning. Brunfärgningen försvinner dock om glaset värms. Förklaringen anges vara att det under bestrålningen bildas fria elektroner som blir "instängda" i glaset. Om man värmer glaset efter bestrålningen frigörs elektronerna och färgförändringen försvinner. Hållbarheten hos glas förändras ej vid bestrålning.

Metallförpackningar: Joniserande strålning med den energi som används i livsmedelssammanhang orsakar inga metallförändringar, som kan påverka livsmedel. Hållbarhetsmässigt har inte heller några förändringar noterats.

Plastförpackningar: Vid bestrålning bildas fria radikaler som leder till olika omlagringar i plastmolekylen. Dessa omlagringar har inverkan på plastens fysikaliska egenskaper. Vilka förändringar som uppstår beror bl a på molekylstrukturen hos den använda plasten. I vissa fall får man exempelvis ett ökat antal tvärbindingar, vilket resulterar i att plastens tänjbarhet och smidighet ökar. I andra fall leder bestrålningen till en "avklippning" av de långa molekylkedjorna och hållbarheten hos plasten blir sämre. I plastindustrin används ofta joniserande strålning för att ge plasten

vissa önskade egenskaper. Följande krav ställs på plastförpackningar avsedda för livsmedel som skall strålbehandlas:

- Plastens hållbarhet får inte försämrats av strålbehandlingen
- Plasten får inte vara känslig för eventuella ämnen, som kan bildas i livsmedlet under bestrålningen
- Strålbehandlingen får ej ge upphov till vandring av toxiska eller misstänkt toxiska ämnen från plasten till livsmedlet.

Sammanfattningsvis kan sägas att de stråldoser som används i livsmedels-sammanhang inte ger upphov till vandring av förpackningskomponenter till livsmedlet vad beträffar pappers-, glas-, eller metallförpackningar avsedda för livsmedel.

Försök gjorda utomlands visar att inte alla plastmaterial som för närvarande används till livsmedelsförpackningar uppfyller kraven. Vissa plaster passar bra för vissa livsmedelsslag, medan de är helt olämpliga för andra osv. Food and Drug Administration har bl a godkänt vaxad kartong, polyeten-film och polystyren-film för förpackning av livsmedel avsedda att bestrålas med högst 10 kGy.

7.6 Förändringar i näringsvärde

Ett livsmedels innehåll (mängd och sammansättning) av protein, fett, kolhydrater, vitaminer, mineraler och spårämnen avgör dess näringsvärde. Hur och om näringsvärdet förändras vid bestrålning beror av stråldosen, men också av under vilka betingelser (t ex fryst eller ofryst livsmedel, syrefritt förpackat eller ej) bestrålningen sker. Nedan kommer endast sådana förändringar som kan ha näringsmässig betydelse att redovisas. En mera detaljerad redogörelse för de kemiska förändringar som kan uppkomma i livsmedel vid bestrålning ges i avsnittet 7.4 "Kemiska förändringar". Eftersom livsmedelsbestrålning kan bli aktuell för u-länderna har även en del näringsförändringar som är av underordnad betydelse för svenskt vidkommande medtagits.

Proteiner

De förändringar av proteinerna i ett livsmedel som kan uppkomma är i första hand spjälkning av proteinmolekylerna samt nedbrytning av olika aminosyror. Mest känsliga uppges de svavelhaltiga aminosyrorna vara. Metionin, som är en essentiell aminosyra (essentiell = kroppen kan inte själv tillverka ämnet, utan detta måste tillföras i färdigbildad form med födan) är ett exempel på en svavelhaltig aminosyra. Ovan nämnda förändringar resulterar i ett näringsmässigt sett sämre protein. Betydelsefulla förändringar inträffar först när stråldosen överstiger 10 kGy. Som nämnts tidigare (avsnitt 3.2) är 10 kGy den högsta stråldos som internationellt rekommenderas för livsmedelsbestrålning.

Fetter

Den påverkan som har störst intresse från näringsmässig synpunkt är möjligheten till oxidation av fleromättade fettsyror. De fleromättade fettsyrorna är viktiga komponenter i kosten och två av dem, linolsyra och linolensyra, är essentiella. En oxidation av fettsyrorna innebär att näringsvärdet försämras. Huruvida det faktiskt sker en oxidation vid bestrålningen beror bl a på om syre finns närvarande eller ej, om antioxidanter finns i livsmedlet och vilken temperatur det bestrålade livsmedlet har. Förstörelsen av de omättade fettsyrorna är också mycket mindre i "sammansatta" livsmedel (dvs livsmedel som innehåller både fett, protein och kolhydrater) än i rena fett-livsmedel, t ex olika vegetabiliska oljor. Nyligen utförda undersökningar vid Wallenberglaboratoriet i Stockholm av ris, vete och råg bestrålade vid olika vattenhalter visar inga förändringar av linolsyra och linolensyra vid stråldoser upp till 4 kGy.

Livsmedel som innehåller höga halter fleromättade fettsyror är exempelvis vissa vegetabiliska oljor, en del margariner och feta fiskar. Inget av dessa är aktuellt att strålbehandla, varför eventuella näringsförsämringar mest har teoretiskt intresse.

Kolhydrater

Vid bestrålning av kolhydrater spjälkas en del sammansatta kolhydrater, t ex stärkelse, till mindre enheter. Det är samma typ av spjälkning som sker när kolhydrater bryts ned i människans mag-tarmkanal. Teoretiskt sett skulle alltså strålbehandling kunna göra kolhydraterna mera lättsmälta; dvs förbättra näringsvärdet. Så är dock inte fallet, eftersom de stråldoser som används i livsmedelssammanhang är alltför låga för att ge upphov till några betydelsefulla förändringar.

Vitaminer

Känsligheten för joniserande strålning varierar från vitaminslag till vitaminslag. De vitaminer som kan påverkas vid de stråldoser som är aktuella är främst de vattenlösliga B₁, B₁₂ och C samt de fettlösliga A och E. I detta sammanhang bör man ha i åtanke att nästan alla livsmedelsprocesser sänker vitamininnehållet i födan.

Vitamin B₁ (tiamin)

Vitamin B₁ är det vitamin inom B-vitamingruppen, som är mest känsligt för joniserande strålning. Undersökningar har visat att vetemjöl, som bestrålats med 0,35 kGy förlorade ca 20% av B₁-innehållet och havregryn som utsattes för 0,25 kGy ca 35%. B₁-vitaminhalten sjunker ytterligare vid lagring – detta gäller såväl bestrålade som icke bestrålade livsmedel. Utförda lagringsförsök ger dock vid handen att B₁-halten sjunker snabbare om livsmedlet har bestrålats. Obestrålade havregryn, som lagrades i tre månader förlorade 7% av tiaminhalten, medan havregryn som bestrålats med 0,25 kGy under samma lagringstid förlorade 25%.

Förlusterna av vitamin B₁ kan minskas om temperaturen i det bestrålade

livsmedlet sänks. Kött som bestrålats i fryst form behåller t ex B_1 -halten bättre än om det bestrålats ofryst. Vidare kan B_1 -förlusterna minska genom att lufttillträde förhindras. Livsmedlet kan t ex inneslutas i en syretät förpackning och den instängda luften i förpackningen ersättas med koldioxid eller kvävgas. De nämnda alternativen lämpar sig dock inte för alla livsmedelslag.

Vitamin B_1 är emellertid också känsligt för många av de processer som livsmedlet utsätts för vid tillagning. Det sönderdelas exempelvis av värme. Nedbrytningen går snabbare i neutral och basisk miljö än i sur. Man räknar med att kött förlorar 15–40% av sitt tiaminnehåll vid kokning, 40–50% vid stekning och upp till 75% vid traditionell värmekonservering. Tiamin är också lättlösligt i vatten och vid kokning av grönsaker i vatten reduceras tiaminnehållet med ca hälften.

B_1 -vitamininnehållet reduceras således ytterligare vid de tillagningsmoment som ett bestrålat livsmedel utsätts för. Vitamin B_1 finns i större eller mindre mängd i praktiskt taget alla livsmedel. De viktigaste vitamin- B_1 -källorna är oraffinerade cerealier, vitaminberikat mjöl, ärtor, bönor, nötter, griskött, lever och njure.

Vitamin B_{12} (kobalamin)

Få undersökningar har gjorts på inverkan av joniserande strålning på vitamin B_{12} . De som är utförda tyder dock på att B_{12} i viss mån inaktiveras vid bestrålning. De huvudsakliga B_{12} -källorna är av animaliskt ursprung, men B_{12} -innehållet är även i dessa generellt lågt. Den viktigaste B_{12} -källan är nötlever. Vitamin B_{12} saknas i vegetabiliska livsmedel. B_{12} -halten i några olika livsmedel framgår av tabell 7.9.

De livsmedel som utgör viktiga B_{12} -källor är knappast aktuella att strålkonservera för svenskt vidkommande, varför eventuella B_{12} -förluster vid bestrålning inte har någon större praktisk betydelse.

Vitamin C (askorbinsyra)

Vitamin C är den mest oxidationskänsliga av alla vitaminer och löper därför risk att förstöras vid bestrålning. De viktigaste C-vitaminkällorna är frukt, bär samt grönsaker, och utomlands har många studier gjorts över inverkan av joniserande strålning på C-vitamininnehållet i dessa. Som exempel kan

Tabell 7.9 Vitamin B_{12} -innehåll i några livsmedel

Produkt	μ g per 100 g
nötlever	80
grislever	32
nötnjure	30
sill, strömming	10
tonfisk	3
ägg	1,5
nötkött	1–2

nämnas att apelsiner som bestrålades med 1 kGy förlorade 1 % av C-vitaminerna och tomater vid samma stråldos 14 %. I papaya som utsatts för 1 kGy kunde ingen sänkning av C-vitamininnehållet iakttagas.

Vid bestrålning av potatis med 0,1 kGy för att förhindra groning minskar C-vitamininnehållet med 0–15 %. En del undersökningar visar att C-vitaminhalten sjunker snabbare i bestrålad än i obestrålad potatis under de två första lagringsmånaderna för att sedan utjämnas så att det inte föreligger någon skillnad efter fem månaders lagring. Andra studier visar att C-vitaminhalten sjunker lika snabbt från början i obestrålad som i bestrålad potatis.

Det är inte bara för potatis som det föreligger motstridiga uppgifter i litteraturen om påverkan på C-vitaminhalten av bestrålning. En del av olikheterna kan förklaras med skillnader i analysmetodik. Vid bestrålning av askorbinsyra omvandlas en del till dehydroaskorbinsyra, som i kroppen gör samma nytta som vitamin C. En del forskare har endast mätt halten askorbinsyra efter bestrålningen, varför vitaminförlusterna framstår som större än vad de egentligen är.

De C-vitaminförluster som sker vid bestrålning och efterföljande lagring, behandling och beredning skall sättas i relation till de C-vitaminförluster som sker vid lagring och beredning av de obehandlade livsmedlen.

Temperaturen vid lagringen spelar en avgörande roll för C-vitaminförlusterna. I obestrålade äpplen som lagras vid rumstemperatur halveras C-vitaminhalten under loppet av en vecka medan halveringen tar tre månader om äpplena förvaras vid +4°C. Äpplen utgör dock ingen viktig C-vitaminkälla.

C-vitaminförlusterna vid tillagning av födan varierar avsevärt allt efter de metoder som används och den typ av födoämne det är frågan om. Förlusterna hänför sig dels till oxidation av vitaminet med luftens syre eventuellt katalyserat av enzym i livsmedlet eller av metalljoner, dels till urlakning vid kokning och blanchering. För rotfrukter beräknas C-vitaminförlusterna vid kokning ligga på 30–40 % och för bladrika vegetabilier på 50–70 %. Stora C-vitaminförluster sker också vid den varmhållning av maten som tillämpas i storhushållen. Bladrika grönsaker såsom sallad och persilja kan förlora merparten av sitt C-vitamininnehåll om de lagras så att de vissnar.

Vitamin A (retinol)

Vitamin A är en fettlöslig, omättad alkohol, som är oxidationskänslig. Vegetabilier innehåller inget egentligt A-vitamin, men däremot olika förstadier till vitamin A, såsom karotener, som kan omvandlas till vitamin A i människans matsmältningskanal. Känsligheten för joniserande strålning är olika för de olika varianterna. Retinol, som framför allt finns i animaliska livsmedel, är ganska strålningskänslig, medan beta-karoten, som bl.a. finns i morötter, är mera tåligt.

De viktigaste A-vitaminkällorna är smör, vitaminberikat margarin, mjölk, ost, ägg, lever och morötter. Ingen av dessa produkter är aktuell för bestrålning i Sverige, varför A-vitaminförlusterna vid bestrålning endast har teoretiskt intresse.

Vitamin E

Vitamin E är mycket oxidationskänsligt och följaktligen känsligt för bestrålning, framför allt om denna sker i närvaro av luft (syre). Undersökningar visar att växtoljor som bestrålas med 1 kGy kan förlora 40–50 % av sitt E-vitamininnehåll. I livsmedel med mer komplex sammansättning blir förlusterna något mindre. Om luftens syre utestängs, t ex genom förpackning i kvävgas, kan förlusterna minska betydligt. Havregryn, som bestrålades och sedan lagrades i åtta månader förlorade 56 % av E-vitaminerna om de var konventionellt förpackade, men endast 5 % om de var förpackade i kvävgas. De främsta E-vitaminkällorna är oljor från cerealier (t ex majsolja) samt spannmål. Frånsett känsligheten för syre är E-vitamin mycket stabilt. Det är värmetåligt och påverkas ej av synligt ljus, men förstörs däremot av ultraviolett ljus. Vid långtidslagring av livsmedel sker en avsevärd minskning av E-vitaminhalten. Detta gäller även om livsmedlet förvaras fryst.

Mineral- och spårämnen

Endast ett fåtal undersökningar är gjorda över eventuella förändringar av tillgängligheten av mineral- och spårämnen vid bestrålning. De utfodringsförsök som har gjorts på djur med bestrålade livsmedel tyder dock på att inga väsentliga försämringar sker.

Bedömning av riskerna för näringsvärdesförsämring

Vid bedömning av eventuell negativ inverkan av joniserande strålning på kostens näringsvärde är det viktigt att utgå från näringsinnehållet i livsmedlet i det ögonblick konsumenten förtär det. Man måste alltså även ta hänsyn till de näringsmässiga försämringar som kan inträffa *efter* bestrålningen; dvs under lagring och tillredning. Ett av användningsområdena för bestrålning är just att förlänga hållbarheten. Man vet att många vitaminer successivt förstörs under lagring – detta gäller i såväl bestrålade som obestralade livsmedel. Även om vitaminförlusterna vid själva bestrålningen är små, kan alltså den utökade lagringstiden som strålbekandlingen ger möjlighet till, medföra att produkten, när den förtärs, har lågt vitamininnehåll. Man bör också ta i beaktande att vissa vitaminer delvis förstörs vid konventionell matlagning. Vitamin B₁ är exempelvis vattenlösligt och samtidigt strålningskänsligt, varför den färdiga maträtten kan komma att innehålla låga B₁-halter, om man enbart använder bestrålade råvaror.

I bedömningen måste man också ta hänsyn till om det bestrålade livsmedlet ingår i stora mängder i kosten och samtidigt är en viktig källa för något näringsämne eller ej. Ris är exempelvis en viktig B-vitaminkälla för vissa befolkningssgrupper, varför användande av enbart bestrålat ris skulle kunna utgöra en hälsorisk. Kryddor är däremot ett exempel på en kostkomponent, som dels ingår i små mängder i normalkost och dels inte utgör huvudkällan för något näringsämne.

Hur är då riskerna för svenskt vidkommande? Flertalet konsumenter äter en blandad kost, där de olika näringsämnena kommer från flera olika kostkomponenter. Om livsmedelsbestralning tillåts i Sverige, kommer

troligen endast vissa partier av ett litet antal livsmedel att bestrålas. Detta innebär att endast en ringa del av kosten kommer att utgöras av bestrålade livsmedel, varför eventuella näringsvärdesförsämringar vid bestrålningen inte bedöms få någon betydelse.

7.7 Risker med alternativa metoder

En hel del kemiska substanser används idag för att minska livsmedelssvinnet, för att minska riskerna för mikrobiellt orsakade matförgiftningar, för att reducera antalet mikroorganismer så att ställda specifikationskrav inte överskrids, för att öka lagringsbeständigheten och för att minska riskerna för spridning av växtsjukdomar och skadeinsekter.

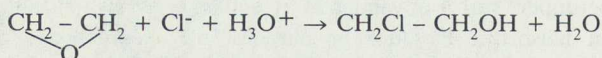
Många av dessa ämnen används före skörd, andra efter det tillväxtprocessen avbrutits och åter andra som tillsatser vid beredningen. Vissa ämnen används för att ge ett kvardröjande skydd under lång tid, medan önskemålet för andra är att de inte skall kunna återfinnas i det behandlade livsmedlet ens kort tid efter det behandlingen avslutats.

På senare tid har man funnit att kemiska behandlingsmedel kan utgöra risker för dem som behandlar eller konsumerar livsmedel. Sådana ämnen är exempelvis etenoxid (etylenoxid), metylbromid, etendibromid och nitrit. För andra ämnen, t ex antigroningsmedlet klorprofam är långtidseffekterna dåligt undersökta.

Etenoxid (etylenoxid): Gasning med etenoxid används för att döda insekter, bakterier och i viss mån mögelsvampar. I Sverige är kryddor de enda livsmedel som gasas med etenoxid, och då endast kryddor för industriell livsmedelsframställning. Enligt uppgift gasas ca 300 ton kryddor per år i Sverige. Etenoxid är kemiskt sett en epoxid, som är gasformig vid rumstemperatur och övergår i vätskeform vid ca +11°C.

På senare år har man i flera länder påtalat att etenoxid kan utgöra risker både från arbetsmiljö- och livsmedelstoxikologisk synpunkt. Etenoxid har visats ha mutagena effekter både på mikrobiella testsystem (t ex Ames' test) och i in vivo-tester på mus. Strukturlikheten med flera kända cancerogena ämnen ger misstankar att etenoxid är cancerogent. För att så skulle vara fallet talar förhöjd tumörfrekvens, såväl i djurexperiment som i två svenska epidemiologiska undersökningar. Den ena av dessa avsåg personer som steriliserar medicinsk utrustning.

Etenoxid är medtaget i svenska arbetarskyddsstyrelsens gränsvärdeslista och där anges att ämnet har cancerframkallande egenskaper. Efter gasning med etenoxid kvarstår ofta resthalter av reaktionsprodukten 2-kloretanol (etenklorhydrin) i kryddorna.



etenoxid

2-kloretanol

Även 2-kloretanol är mutagen och sannolikt också cancerframkallande. 2-Kloretanol kan således utgöra en potentiell risk för livsmedelskonsumenten.

Statens livsmedelsverk gjorde (Gustafsson, 1981) en undersökning av 17 kryddor för industriellt bruk avseende förekomst av 2-kloretanol. Nästan samtliga innehöll påvisbara halter. Mest fanns i basilika (9 740 ppm), kryddpeppar (3 730 ppm), dill (3 570 ppm) och svartpeppar (2 180 ppm).

Vad beträffar bestrålning av kryddor se sid 66.

Metylbromid och etendibromid används för bekämpning av insekter i frukt, grönsaker och spannmål. Etendibromid (1,2 dibromoetan) är förbjuden i Sverige, medan metylobromid får användas inom kvarnindustrin dels för att förhindra att olika insekter får fäste i exempelvis kvarnar och dels för att förhindra att spannmål förstörs av insekter under lagringen. Båda substanserna har relativt hög akuttoxicitet och bedöms som "toxikologiskt betänkliga". Enligt svensk livsmedelslagstiftning får spannmål och kli samt gryn, flingor och mjöl av spannmål innehålla högst 0,5 mg metylobromid per kg.

Etendibromid har i USA tidigare varit tillåten för insektsbekämpning i spannmål och får fram till den 1 juli 1983 användas på dispens på importerade citrusfrukter, tropiska frukter och grönsaker för att förhindra spridning av fruktflugan samt för samma ändamål på grapefrukt som exporteras till Japan. Försök har visat att etendibromid har cancerogena och mutagena egenskaper samt ger upphov till reproduktionsstörningar. Anledningen till dispensen för bekämpande av fruktflugan är att alternativ godkänd metod hittills saknats. Ett alternativ skulle kunna vara behandling med joniserande strålning.

Nitrit: Frågan om användning av nitrit och risken för bildning av nitrosaminer är komplicerad och kan därför inte behandlas fullständigt. Här skall bara en kort sammanfattning ges.

Nitrit har sedan länge använts tillsammans med koksalt vid behandling av framför allt köttvaror. Nitrit förstärker saltets bakteriehämmande effekt samtidigt som det ger produkten en bättre smak; dvs fettsmaken blir ej så framträdande. Genom nitritets inverkan på köttets färgämne får behandlade produkter vid uppvärmning dessutom en tilltalande ljusröd färg.

Nitritets viktigaste bakteriologiska effekt beror på att det motverkar groning och utväxt av bakteriesporer. Om *Clostridium botulinum*-sporer skulle finnas i produkten hindras därför bildning av botulinumtoxin vid närvaro av nitrit.

Det har emellertid visats att nitrit tillsammans med sekundära aminer kan bilda nitrosaminer, som i flera fall visats vara cancerogena. I vissa fall kan nitrosaminer bildas även i livsmedel. Mängderna är mycket små, men de anses ändå utgöra en potentiell risk och användningen av nitrit har därför i de flesta länder begränsats. Om samtidigt askorbinsyra tillsätts minskas riskerna för bildning av nitrosaminer. I Sverige får för närvarande högst 150 ppm nitrit tillsättas vid beredning av charkuterivaror och andra saltade produkter, t ex skinka. Det har inte ansetts försvarbart att helt förbjuda användningen av nitrit med tanke på den risk för bildning av botulinumtoxin som detta skulle kunna innebära.

Behandling med joniserande strålning har ibland angetts som en framkomlig väg för att ytterligare kunna begränsa användningen av nitrit. Försök bl a i USA har visat att joniserande strålning i medelhöga doser ger en viss, dock inte fullständig, avdödning av sporer av *Clostridium botulinum*, vilket gör att nitrittillsatsen kan sänkas. Man har visat att nitrittillsatsen i bacon kan reduceras till 20 ppm om produkten behandlas med 7,5–15 kGy vid 4°C.

Därvid erhöles en produkt som smakmässigt inte skilde sig från vanlig bacon.

Klorprofam används för att hämma groning av potatis. Preparatet sprutas in som en dimma via ventilationssystemet i lagringslokalerna. År 1982 behandlades enligt uppskattningar av produktkontrollnämnden 150 000–200 000 ton potatis i Sverige med klorprofam. Främst är det potatis, som skall användas till pommes frites, chips, potatismospulver etc som behandlas, men även den matpotatis som avses säljas 15 april–15 juli påföljande år är tillåten att behandla. Anledningen till att all potatis som skall användas till förädlade produkter behandlas är att denna potatis måste lagras vid högre temperatur (+6°C–+9°C) än potatis avsedd för direkt konsumtion. Om industripotatisen lagras vid konventionell lagringstemperatur bildas för höga halter av olika reducerande sockerarter. Vid den industriella bearbetningen ger dessa sockerarter tillsammans med potatisproteinerna upphov till mörkfärgning och bränd smak hos produkterna. Om potatis som lagras vid en temperatur mellan +6°C och +9°C ej behandlas med antigröningsmedel börjar den gro i november eller december.

Preparat innehållande klorprofam används för närvarande på dispens i Sverige (dvs utan att vara registrerade hos produktkontrollnämnden). Dispensen gäller t o m 31 december 1983. Anledningen till tvekan att registrera preparaten är bl a att mutageniciteten är otillfredsställande dokumenterad samt att reproduktionsstudier saknas. Angående användande av joniserande strålning för att förhindra groning, se sid 59.

7.8 Risker för personal och miljö

Hantering av kraftiga strålkällor kan, liksom hanteringen av kemiskt aggressiva ämnen, medföra potentiella risker för personal och miljö.

Arbetsmiljön

Bestrålningssystem med kobolt-60 kräver kraftiga betongväggar för avskärmning och pålitliga säkerhetsanordningar och arbetsrutiner för att förhindra att personal kommer in i bestrålningsrummet medan strålkällan är i bestrålningsläge. I de bestrålningssystem som använts hittills, huvudsakligen för sterilisering av medicinsk utrustning eller för tekniska ändamål, har ett antal olyckor inträffat genom brott mot säkerhetsföreskrifter eller till följd av bristande säkerhetssystem.

Om en person befinner sig i bestrålningsrummet medan strålkällan är framme kan någon minut räcka för en dödlig stråldos. Ett par incidenser med stråldoser på ca 2 Gy har rapporterats från USA. I Europa har två olyckor med dödlig utgång inträffat, en i Italien och en i Norge.

Av rapporterna framgår att dessa olyckor hade kunnat undvikas om skyddssystemen uppfyllt rimliga krav och personalen inte hade brutit grovt mot skydds-föreskrifterna. Det finns ingen orsak att tro att arbete med en kommersiell anläggning för livsmedelsbestrålning skulle medföra någon risk för olyckor av detta slag om normala skyddsåtgärder vidtas. Det normala arbetet vid en gamma-bestrålningsanläggning medför mycket små stråldoser

och räknas inte som ett särskilt riskfyllt arbete.

Acceleratorer har fördelen att strålkällan går att stänga av. Elektronstrålningen och sekundär röntgenstrålning är också lättare att skärma av. Strålknipps omfång är begränsat och ger inte samma möjligheter för farliga stråldoser vid vistelse i närheten.

I Sverige krävs tillstånd från statens strålskyddsinstitut för allt radiologiskt arbete och säkerhetssystemen granskas av institutets tillsynsmän. Strålskyddsinstitutet meddelar de närmare föreskrifter som krävs för att strålskyddsförhållandena skall vara goda.

Alternativa behandlingsmetoder för livsmedel innebär hantering av ämnen som kan vara giftiga eller mutagena. Hälsovårdsmyndigheter i olika länder har pekat på de risker detta kan medföra. Det gäller framför allt substanser såsom etenoxid, etendibromid och klorprofam (se avsnitt 7.7).

Den yttre miljön

Varken bestrålning eller andra behandlingsmetoder leder till någon direkt påverkan av den yttre miljön. Avfallsproblemen måste emellertid beaktas.

Kobolt-60 har en halveringstid på 5,3 år. Det betyder att det tar ca 53 år innan strålkällans aktivitet har minskat till 1/1 000. Efter en sådan tid är aktiviteten av det kobolt-60 som använts i en bestrålningsanläggning (ca 1 MCi) inte större än aktiviteten av de koboltpreparat som används för strålterapi inom sjukvården (2–6 kCi). Detta ger en uppfattning om den relativa storleken av avfallsproblemet. Använda koboltpreparat behöver inte omedelbart bli avfall; de kan användas i andra anläggningar eller återaktiveras. De kemikalier som används vid alternativa behandlingar kan också medföra avfallsproblem som måste lösas.

Referenser och översiktslitteratur

- Abrahamsson, K., Molin, N. och De Silva, N.N.: Clostridium botulinum, type E., in relation to irradiation treatment of fresh fish, with special reference to tropical conditions. In Application of Food Irradiation to Developing Countries. Technical Reports Series, No. 54, 1966, IAEA. Vienna, 95.
- Barna, J.: Review on international wholesomeness testing of irradiated food and feed from 1925 to 1976. Central Food Research Institute Biology Dept. II. Budapest. Hungary, 1976.
- Basson, R.: Advances in the radiation chemistry of food and feed components 1976–1980. WAO Geneva, 27 October–3 November 1980.
- Basson, R.A., Beyers, M. och Thomas, A.C.: A radiation chemical approach to the evaluation of the possible toxicity of irradiated fruits. Part 1. The effect of protection in carbohydrates. Food Chemistry, 1979, 4, 131.
- Bøgh-Sørensen, L., Højmark-Jensen och Jul, J.M.: Konserveringsteknik. DSR förlag. Köpenhamn, 1978.

- Champagne, J.R. och Nawar, W.W.: The volatile components of irradiated beef and pork fats. *J. Food Sci.*, 1969, 34, 335.
- Christensen, E.A.: Radiation-induced mutants with increased resistance against ionizing radiation. Technical Report, 1974, IAEA. Vienna, 29.
- Delincée, H.: Radiation chemistry of lipids. Federal Research Centre for Nutrition, 7500 Karlsruhe, F.R. Germany.
- Delincée, H.: Research on the radiation chemistry of proteins 1975–1980. Federal Research Centre for Nutrition, 7500 Karlsruhe, F.R. Germany.
- Diehl, J.F. och Scherz, H.: Estimation of radiolytic products as a basis for evaluating the wholesomeness of irradiated foods. *Int. J. Appl. Rad. Isotopes.*, 1975, 26, 499.
- O'Donell, J.H. och Sangster, D.F.: *Principles of Radiation Chemistry*, Edward, Arnold Ltd, London, 1970.
- Ehrenberg, L.: Strålkonsivering av livsmedel/Toxikologiska aspekter. Ur Joniserande strålning tillämpning inom lantbruk och industri. Sveriges lantbruksuniversitet, 1980.
- Ekström G., Tammelin, L.E. och Ehrenberg, L.: Livsmedelsbestrålning i ett internationellt perspektiv. *Vår Föda*, 1981, 33, 392.
- Elias, T.S. och Cohen, A.J.: *Radiation Chemistry of Major Food Components* Elsevier/North Holland, Amsterdam, 1977.
- Food Irradiation and Information. Tidskrift utgiven av International Project in the Field of Food Irradiation, Karlsruhe.
- Gustafsson, H.K.: Rester av etylenklorhydrin i vissa importerade industri-kryddor. *Vår Föda*, 1981, 33, 15.
- Holzappel, C.W., Niemand, J.G., Oosthuizen, L., Pretorius, I. och van der Linde, H.J.: Investigations into the mutagenic and cytotoxic effects of irradiated sugar solutions – The uloses as possible agents. Proceedings of the 6th Radiation Conference. Tokyo, May 1979.
- Igram, H. och Farkas, J.: Microbiology of foods pasteurised by ionizing radiation. *Acta Alimentaria*, 1977, 6, 123.
- King, F.J., Mendelsohn, J.M., Gadbois, D.F. och Bernsteinas, J.B.: Some chemical changes in irradiated seafoods. *Rad. Res. Rev.*, 1972, 3, 399.
- Levnedsmiddelbestrålning. Redogörelse fra en arbetsgrupp. Publikation nr 66, 1982. Statens Levnedsmiddelinstitut, Köpenhamn.
- MacLeod, G. och Coppock, B.M.: Volatile flavor components of beef boiled conventionally and microwave radiation. *J. Agric. Food Chem.*, 1976, 24, 835.
- Merritt, C. Jr.: Qualitative and quantitative aspects of trace volatile components of irradiated meats. *J. Agric. Food Chem.*, 1961, 9, 55.
- Merritt, C. Jr., Angelini, P., Wierbicki, E. och Shults, G.W.: Chemical changes associated with flavor in irradiated meat. *J. Agric. Food Chem.*, 1975, 23, 1037.
- Meyer, R.A.: Induced radioactivity in food and electron sterilization. *Health Physics*, 1966, 12, 1027.
- Meyer, R.A. och Burkhardt, J.L.: Calculation of induced radioactivity in electron sterilized food. *Health Physics*, 1966, 12, 1581.
- Mossel, D.A.A.: Health protection aspects of food irradiation at the pasteurisation level. *Acta Alimentaria*, 1977, 6, 253.

- Nawar, W.W.: Studies on lipid protein interactions under the influence of irradiation and a comparison of the chemical consequences of heat or irradiation treatment of lipids. Progress in the Chemistry of Fats and other Lipids, 1972, Vol XII/2, Pergamon Press, Oxford.
- Parmentier, N.C., Nénot, J.C., och Jammot, H.J.: A dosimetric study of the Belgian (1965) and Italian (1975) accidents. Ur Medical Basis for Radiation Accident Preparedness. Elsevier/North-Holland, Amsterdam 1979.
- Schubert, J.: Toxicological studies on irradiated food and constituents. In Food Preservation by Irradiation. Proceedings of a symposium in Wageningen 21-25 November 1977, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1978.
- Takeguchi, C.A.: Regulatory and toxicological aspects of food irradiation. Division of Food and Color Additives, Bureau of Foods, FDA, Washington DC, USA, 1982.
- Takeguchi, C.A. och Pauli, G.H.: The food irradiation regulatory picture in the United States. United States Food and Drug Administration, Washington DC, USA, 1982.
- Training Manual on Food Irradiation Technology and Techniques. Technical Reports Series No 114, 1970, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Underdal, B., Nordal, J., Lunde, G. och Eggum, B.: The effect of ionizing radiations on the nutritional value of fish (cod) protein. *Lebensm.-Wiss. Technol.*, 1973, 6, 90.

8 Existerande regler och faktisk förekomst m m

Vad detta kapitel säger:

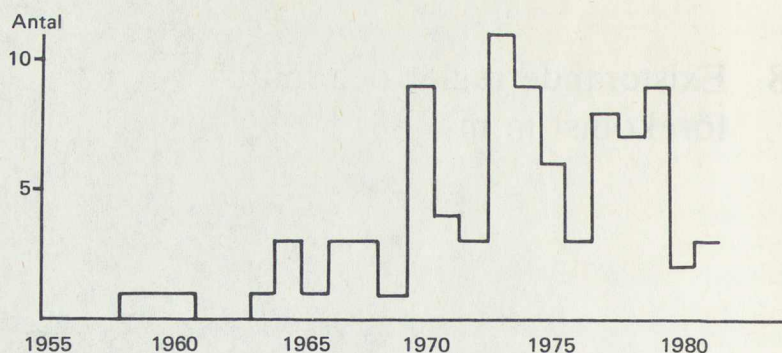
Under 1970-talet har ett relativt stort antal tillstånd för livsmedelsbestrålning beviljats i olika länder. De flesta har gällt groningshämmning på potatis eller lök. Antalet tillstånd ger i sig en missvisande bild av hur stor den verkliga förekomsten är eftersom flertalet tillstånd främst gäller forsknings- och försöksverksamhet. Rent kommersiella tillstånd har ibland dessutom endast utnyttjats till en del eller inte alls. År 1982 hade 23 länder givit tillstånd att bestråla sammantaget 39 olika slag av livsmedel. I Sverige är livsmedelsbestrålning förbjuden. Kommittén konstaterar att det är svårt att få tillförlitliga uppgifter om den faktiska användningen av metoden. Skälet härtill är främst att uppgifter som har kommersiellt intresse inte gärna offentliggörs. I kapitlet ges en översikt av regler m m för livsmedelsbestrålning i Sverige och ett antal andra länder. Vidare lämnas en översikt av arbetet i några internationella organisationer. Kommittén erinrar slutligen om att situationen från risk-nyttasynpunkt är helt annorlunda i u-länderna där man har stora livsmedelsförluster och begränsad tillgång till konventionella konserveringsmetoder.

8.1 Allmänt

Sammantaget 23 länder tillåter f n livsmedelsbestrålning i någon form. I flertalet fall har tillstånd meddelats för enstaka produkter. I sex länder tillåts emellertid bestrålning av fem eller fler olika livsmedel. Kommittén har funnit att bestrålning f n är tillåten av 39 olika livsmedel. För de flesta av dessa finns dock tillstånd endast i något enstaka land. Potatis, lök och i någon mån jordgubbar, kyckling och vitlök är de livsmedel som helt dominerar antalet tillstånd (figur 8.1 och tabell 8.1).

Kvantiteten av bestrålade livsmedel avsedda för försäljning har enligt tillgängliga uppgifter hittills varit mycket begränsad. Huvuddelen utgör 150 000 ton potatis som bestrålats i Japan från år 1973 och framåt. Förhållandevis små kvantiteter av lök, räkor och grodlår har från och till bestrålats vid olika anläggningar. I Sydafrika har mindre partier av bl a

Figur 8.1 Nationella tillstånd utfärdade under perioden 1955-1980



Tabell 8.1 Fördelning av tillstånd på länder och livsmedel

Länder med två eller flera tillstånd	Livsmedel med två eller flera tillstånd	
Nederländerna	21 livsmedel	
Sovjetunionen	9 livsmedel	
Sydafrika	9 livsmedel	
Bulgarien	7 livsmedel	
Ungern	6 livsmedel	
Kanada	5 livsmedel	
Frankrike	4 livsmedel	
Amerikas förenta stater	2 livsmedel	
Israel	2 livsmedel	
Italien	2 livsmedel	
Spanien	2 livsmedel	
Tjeckoslovakien	2 livsmedel	
	Potatis	20 länder
	Lök	12 länder
	Jordgubbar	4 länder
	Kyckling	4 länder
	Vitlök	4 länder
	Färsk frukt	2 länder
	Kryddor	2 länder
	Torkad frukt	2 länder
	Svamp	2 länder

mango och papaya bestrålats och sålts på den öppna marknaden. I Nederländerna bestrålas f n kryddor, vissa partier frysta råkor och frysta grodlår. I övrigt är, enligt tillgängliga uppgifter, kvantiteten bestrålade produkter som hittills försålts obetydlig.

Kommittén konstaterar att det med hänsyn till olika kommersiella intressen har varit svårt att erhålla helt tillförlitliga uppgifter på mängden av bestrålade produkter. Skälet härtill kan vara att det finns intressen av att överbetona den faktiska användningen. Det skulle tex kunna vara av intresse för tillverkare av utrustning att en allmän uppfattning föreligger att livsmedelsbestrålning står inför sitt omedelbara genombrott. Det kan också i enskilda fall vara av direkt kommersiellt intresse att med hänsyn till av förväntade reaktioner hos konsumenterna förringa verksamhetens omfattning. Mot denna bakgrund offentliggörs många gånger inte produktionsstatistik från anläggningar som är igång.

I flertalet fall säljs inte de bestrålade produkterna direkt till konsumenterna utan ingår antingen som delkomponenter i andra livsmedel eller också säljs de till storkök. Bestrålade produkter finns således i allmänhet inte tillgängliga direkt för konsumenten. Kommittén bedömer med hänsyn till bestrålningens begränsade faktiska förekomst det inte vara särskilt troligt att

svenska konsumenter genom livsmedelsimporten hittills kommit i kontakt med bestrålade livsmedel.

Det finns ett stort antal (ca 400) bestrålningsanläggningar i drift. De flesta anläggningarna används dock enbart för forskningsändamål eller för sterilisering av andra produkter än livsmedel, t ex inom läkemedelsindustrin. Man brukar räkna med att ca 100 av dessa anläggningar skulle kunna vara av intresse för livsmedelsbestrålning även om de f n används till annat ändamål. Vissa mycket små kvantiteter av livsmedel kan komma ut på marknaden från dessa anläggningar.

Antalet kommersiella anläggningar som i huvudsak är avsedda för livsmedelsbestrålning är betydligt färre. Enligt Loaharanu (1982) finns i Amerikas förenta stater en färdig anläggning och en planerad som kan användas för livsmedelsbestrålning om tillstånd ges. I Belgien finns en anläggning i bruk. I Frankrike och Ungern planeras vardera en. I Italien är en anläggning under byggnad avsedd för bestrålning av lök och potatis. I Nederländerna finns tre anläggningar. En av dessa är nyuppförd och helt anpassad för bestrålning av livsmedel. I en sk "pilotanläggning" i Wageningen bestrålas därutöver ca 1 500 ton per år av fryst kyckling, frysta godtlår och kryddor. I Sydafrika finns en anläggning som används för bestrålning av frukt och grönsaker.

8.2 Sverige

Livsmedelslagen (SFS 1971:511) och regeringens livsmedelskungörelse (SFS 1971:807) kan i tillämpliga delar appliceras även på bestrålade livsmedel. Enligt 5 § livsmedelslagen får således livsmedel som saluhålls inte ha sådan sammansättning eller beskaffenhet i övrigt att de kan antas vara skadliga att förtära, vara smittförande eller på annat sätt otjänliga till livsmedel. Vid sidan av denna bestämmelse, som rent allmänt ställer krav på livsmedlens oskadlighet, finns andra regler både i livsmedelslagen och i livsmedelskungörelsen som i mer konkreta termer beskriver i vilka hänseenden konsumenterna skall skyddas. Således sägs i 11 § livsmedelslagen att regeringen eller den centrala livsmedelsmyndigheten (dvs livsmedelsverket) kan föreskriva villkor för eller förbjuda hantering eller införsel till riket av visst slag av livsmedel om det är påkallat från hälso- eller näringssynpunkt.

Förutom de nu nämnda bestämmelserna, som samtliga har till syfte att skydda konsumenterna, innehåller livsmedelslagstiftningen preciserade krav på hur färdigförpackade livsmedel skall vara märkta. De grundläggande bestämmelserna om märkningsskyldigheten finns i 13 § livsmedelslagen. Denna paragraf ger dessutom livsmedelsverket befogenhet att föreskriva upplysningsskyldighet utöver de uppgifter som obligatoriskt måste finnas på ett livsmedel, om sådan upplysning har betydelse för konsumenterna. Med stöd av samma paragraf kan livsmedelsverket även ställa krav på märkning av andra livsmedel än färdigförpackade.

Strålbehandling av livsmedel har rent allmänt reglerats i livsmedelskungörelsen. Enligt 10 § kungörelsen får livsmedel inte behandlas med joniserande strålning utan tillstånd av livsmedelsverket. I samband med ett tillstånd kan

verket föreskriva olika villkor, t ex särskild märkning och uppgiftsskyldighet för de bestrålade livsmedlen.

I 16 § andra stycket livsmedelslagen sägs att om det är påkallat från hälso- och näringssynpunkt kan regeringen eller livsmedelsverket förbjuda eller föreskriva villkor för hantering eller införsel av visst slag av livsmedel. Därav följer att det i princip torde vara förbjudet att saluföra livsmedel som har behandlats med joniserande strålning utan att livsmedelsverket lämnat tillstånd enligt 10 § livsmedelskungörelsen. Dock är rättsläget på denna punkt inte helt klart.

Ett ärende rörande import av kryddor ligger f n hos livsmedelsverket för avgörande. Ett företag som importerar och distribuerar kryddor har begärt tillstånd att behandla naturkryddor med joniserande strålning. Som motiv för sin ansökan har företaget anfört att naturkryddor innehåller stora mängder mikroorganismer. Nuvarande metod att behandla naturkryddor med etenoxid har enligt företaget bieffekter som först under de senare åren har blivit klarlagda. B1 a har förekomst av höga halter av den skadliga nedbrytningsprodukten 2-kloretanol påvisats (jfr sid 98). Vidare anføres att användning av etenoxid innebär ett allvarligt arbetsmiljöproblem. Enligt vad kommittén erfarit kommer verket inte att besluta i ärendet innan statsmakterna tagit ställning till pågående utredningsarbete. Med anledning av en salmonellaepidemi förorsakad av ej behandlad svartpeppar i Norge under år 1982 har ett norskt företag förhört sig om möjligheten att i Sverige få bestråla kryddor. Inte heller i denna fråga har verket fattat beslut med hänsyn till pågående utredningsarbete.

En särskild fråga som med hänsyn till rättsläget har diskuterats inom livsmedelsverket, är om nu gällande regler är tillräckliga för att upprätthålla kontroll av import av utomlands bestrålade livsmedel. I detta sammanhang är möjligheterna av identifiering av bestrålade livsmedel av stor betydelse. Det anses allmänt att det f n inte finns någon praktisk användbar undersökningsmetod för att avgöra huruvida livsmedel eller fodermedel har bestrålats (se kapitel 10). Det uppkommer därför betydande kontrollproblem vid införsel av livsmedel. Av denna orsak är det enligt verket inte möjligt att f n skärpa bestämmelserna till att omfatta saluhållande av livsmedel. Nuvarande bestämmelser anses dock trots vissa oklarheter vara tillräckliga att från lagteknisk synpunkt reglera import och saluhållande av livsmedel som bestrålats med joniserande strålning.

8.3 Internationella rekommendationer

Sedan 1960-talet har det pågått internationellt samarbete i avsikt att nå en standardisering i bedömningen av olika livsmedelsfrågor. FAO och WHO har sedan år 1962 bedrivit ett gemensamt standardiseringsprogram. Arbetet bedrivs av Codex Alimentarius Commission med säte i Rom. Inom Codex arbetar ett antal kommittéer med frågeställningar som är av betydelse dels för att underlätta handeln med livsmedelsprodukter, dels för att åstadkomma gemensamma värderingar rörande tillsatser i livsmedel, märkning av livsmedel, livsmedelshygien m m.

Grundat på rekommendationer från den internationellt sammansatta

expertgruppen (JECFI) inom FAO, IAEA och WHO, utarbetade Codex år 1979 en standard för bestrålade livsmedel (Recommended International General Standard for Irradiated Foods) samt råd och anvisningar för användning av bestrålningsanläggningar för behandling av livsmedel (Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities for the Treatment of Foods).

Under åren 1980 och 1981 blev den internationella rekommendationen rörande bestrålning av livsmedel föremål för översyn. JECFI förklarade att livsmedelsbestrålning med doser upp till 10 kGy kan betraktas som helt oskadlig. En vetenskaplig arbetsgrupp från FAO, IAEA och WHO har i juli 1981 upprättat ett revisionsförslag som underställts medlemsländerna inom Codex för yttrande. Förslaget behandlades ånyo av Codex kommitté för livsmedelstillsatser i mars 1982. De nu gjorda justeringarna i de internationella rekommendationerna är inte stora, men berör områden som kan vara av stort intresse, t ex märkningsfrågor. Avsikten är nu att medlemsländerna skall ges möjlighet att kommentera förslaget och att det skall bli föremål för ytterligare behandling av kommittén för livsmedelstillsatser före att det slutligen behandlas av Codex. Förslaget redovisas i bilaga 2.

Märkningsfrågorna har i det internationella arbetet ägnats särskild uppmärksamhet. I Codex rekommendation från år 1979 talas det om att förpackade livsmedel som behandlats med joniserande strålning skall märkas med texten "Behandlad med joniserande strålning". När det gäller varor som saluförs på annat sätt, exempelvis potatis, skall konsumenten informeras genom särskild skyltning på inköpsstället. För alla livsmedel som bestrållats med joniserande strålning rekommenderas att ett dokument föreligger som ger information om att bestrålning utförts och vilken anläggning som utfört densamma. I de förslag till ändring av standarden som föreligger har märkningsbestämmelserna blivit mindre långtgående. Av den senaste versionen framgår att ett bestrålat livsmedel skall åtföljas av ett dokument som visar att behandling med joniserande strålning skett och vilket datum behandlingen ägt rum samt vid vilken anläggning bestrålningen utförts.

I övrigt skall märkningen följa de allmänna rekommendationer om märkning som utfärdats av Codex. Det framgår av redovisningar från möten m m att det funnits olika synpunkter och förslag på hur och i vilken omfattning märkning av bestrålade livsmedel bör utföras.

8.4 De nordiska länderna

8.4.1 Danmark

Det danska miljöministeriet har i september 1982 beslutat att tillåta bestrålning av livsmedel med joniserande strålning. Industrier som önskar utnyttja metoden skall ansöka om tillstånd hos statens levnedsmiddelsinstitut. För varje ansökan skall institutet göra en samlad bedömning av hälsomässiga, näringsmässiga och tekniska aspekter. Livsmedel som bestrållats skall vara märkta, även om endast en komponent i livsmedlet har bestrållats.

Den lagstiftning som tidigare reglerat användningen av bestrålning av livsmedel var från år 1967. Som huvudregel gällde att livsmedel inte fick

behandlas med joniserande strålning. Undantag kunde göras genom en av miljöministeriet utfärdad dispens. Fram till år 1982 har endast en dispens meddelats. Den gällde bestrålning av potatis i gröningshämmande syfte. Dispensen kom aldrig att utnyttjas av hänsyn till den förväntade konsumentreaktionen.

År 1982 framlade statens levnedsmedelsinstitut en rapport, Levnedsmedelbestrålning. I rapporten, som utarbetats av en expertgrupp, redovisades olika aspekter på bestrålning av livsmedel. Expertgruppen har gjort en genomgång av den internationella utvecklingen från kemisk, toxikologisk, näringsmässig, mikrobiologisk och teknisk synpunkt. Med arbetsgruppens rapport som underlag har sedan miljöministern medgivit användning av joniserande strålning för livsmedelsbestrålning, bl a med hänvisning till förevarande risker med alternativen till bestrålning.

8.4.2 Finland

Frågan om strålbehandling av livsmedel har inte diskuterats närmare i Finland. Enstaka förfrågningar från kryddfirmor till livsmedelsmyndigheterna har förekommit. Den ansvariga myndigheten är ännu inte beredd att ta ställning till en eventuell ansökan.

Bestrålning av livsmedel regleras inte i den finska lagstiftningen. Bestämmelser saknas också om märkning av bestrålade livsmedel. Något större behov av att bestråla livsmedel i Finland anses för närvarande inte föreligga.

8.4.3 Island

I Island finns ingen lag eller förordning om bestrålning av livsmedel eller om import av bestrålade livsmedel.

För tio år sedan genomfördes omfattande försök med bestrålning av färsk fisk, räkor och hummer i samarbete med FAO och IAEA. Vid försöken användes gammastrålning och dessa försök genomfördes vid Fiskindustrins forskningsinstitut.

I Island finns det intresse för att använda joniserande strålning för att öka lagringsdugligheten hos livsmedel, särskilt marina produkter. Även kött- och trädgårdsprodukter kan bli aktuella om internationella tillstånd beviljas för handel med bestrålade livsmedel.

Enligt isländska myndigheter är det också av intresse att använda joniserande strålning för att öka lagringsdugligheten hos inhemska fodertillsatser för djur, t ex inälvsprodukter från fisk och val samt för att lagra foder för pälsdjur utan djupfrysning.

8.4.4 Norge

De norska hälsovårdsmyndigheterna har i princip givit sitt godkännande för bestrålning av livsmedel med joniserande strålning. Någon särskild utredning har däremot inte gjorts. Till grund för beslutet har legat de internationella rekommendationer som utarbetats av Codex och JECFI. Ett antal experter har därefter yttrat sig om metoden. Beslutet innebär

principiellt ett generellt tillstånd, men den som önskar bestråla livsmedel måste söka tillstånd hos helsedirektoratet. Hittills har direktoratet endast gett tillstånd för bestrålning av kryddor. Enligt uppgift från direktoratet torde det inom en nära framtid inte vara aktuellt att ge tillstånd för bestrålning av andra livsmedel. Till följd av den tidigare nämnda olyckshändelsen är den norska bestrålningsanläggningen stängd.

8.5 Övriga länder

8.5.1 Amerikas förenta stater

I USA har frågor kring bestrålning av livsmedel varit aktuella under lång tid. Som tidigare nämnts påbörjades experiment med bestrålning av livsmedel redan under 1940-talet. Under 1950-talet byggdes försöksanläggningar för utveckling av bestrålningsprogram för olika livsmedel. Verksamheten finansierades av armén och atomenergikommissionen. Utvecklingsarbetet ledde fram till ett antal tillstånd, bl a för gröningshämning av potatis, insektsbekämpning samt sterilisering av bacon. Det sistnämnda ändamålet var i huvudsak militärt.

Bestrålning av livsmedel betraktades från år 1958 i USA som en livsmedelstillsats och tillstånd beviljades inte innan man kunde visa att "tillsatsen" var ofarlig.

Mot slutet av 1960-talet växte insikten om komplexiteten av frågan. Det framstod klart att de undersökningar av produkternas oskadlighet, som tidigare utförts huvudsakligen i form av djurförsök, lämnade flera frågor obesvarade. Tillståndet att sterilisera bacon återtog år 1968. Intresset att bestråla livsmedel med lägre doser kvarstod emellertid, men det uppmärksammades att djurförsök ofta är ofullständiga hjälpmedel i bedömningen av om bestrålade livsmedel utgör en risk för människan.

Under 1970-talet minskade intresset för metoden. Livsmedelsmyndigheten (Food and Drug Administration, FDA) inriktade under 1970-talet huvudsakligen sitt arbete på att följa arbetet i de internationella organisationerna, främst FAO, IAEA och WHO.

År 1979 intensifierades arbetet ånyo. En särskild vetenskaplig kommitté (FDA:s Irradiated Food Committee) fick i uppdrag att undersöka vilka bedömningsgrunder som bör tillämpas vid handläggning av tillståndsärenden för bestrålade livsmedel.

FDA:s kommitté skulle i sitt arbete beakta toxikologiska, näringsmässiga och kemiska aspekter. Avsikten var att samma säkerhetsnormer skulle gälla för bestrålade livsmedel som för andra livsmedel. Detta ledde till en administrativ process för att på sikt få till stånd regler för bestrålning av livsmedel. Rekommendationerna från FDA:s kommitté kan sammanfattas (Federal Register/vol 46 No 59 år 1981) på följande sätt:

- "Food irradiated at doses of 1 kGy or less will be considered wholesome and safe for human consumption
- "Food irradiated at doses exceeding 1 kGy will be subject to toxicological testing consisting of a battery of four short-term mutagenicity tests and two 90-days feeding studies

- "A food class comprising no more than 0,01 per cent of the daily diet and irradiated at doses of 50 kGy or less will be considered safe for human consumption without toxicological testing."

FDA har accepterat kommitténs rapport. I enlighet med gällande praxis får allmänhet och organisationer lämna synpunkter och kommentarer på förslagen. FDA har också lämnat förslag om den vidare administrativa behandlingen av frågan och uppmärksammat märkningsfrågorna.

I de kommentarer som har lämnats på FDA:s rekommendationer har man från flera instanser bl a pekat på att man i USA bör anpassa sina normer till de rekommendationer som utarbetats av JECFI. I denna rekommendation bedöms en dos upp till 10 kGy som ofarlig.

Frågan om märkning av bestrålade livsmedel har också uppmärksamats. Många har påpekat att fastän bestrålning är klassad som en livsmedelstillsats bör man ändå betrakta den som en process och därmed skulle inte någon särskild märkning erfordras. Från konsumenthåll har krav ställts att om metoden godkänns så skall bestrålade produkter märkas. FDA förväntar sig att märkningsfrågorna kommer att bli svåra att lösa på ett för alla intressenter tillfredsställande sätt.

FDA räknar med att lagstiftningen på området kommer att ske stegvis. I ett första steg fastställs föreskrifter med godkännande av bestrålning med låga doser samt regler om märkning. Ett sådant förslag förväntas inom kort.

8.5.2 Indien

Studierna i Indien har särskilt varit inriktade på att finna metoder för att minska förlusterna i livsmedelshanteringen. Fuktighetsförhållanden och höga temperaturer medför tillväxt av olika slags mikroorganismer som förorsakar mycket stora förluster, särskilt under lagring av grödan. Insekter och gnagare orsakar också betydande förluster. År 1964 påbörjades studier av bestrålning av livsmedel i Bombay.

8.5.3 Israel

Israel tillåter bestrålning av potatis, lök och vitlök. I april 1982 gavs även tillstånd att bestråla kyckling och kycklingdelar med en stråldos av 7 kGy. I Israel finns två äldre anläggningar (nuklida strålkällor) samt en ny elektronaccelerator avsedd för bestrålning av kyckling. Kapaciteten är tiotals ton per timme vid en stråldos av 7 kGy. Forsknings- och försöksverksamhet inom området har varit omfattande.

8.5.4 Japan

Japan var det första land som använde sig av bestrålning av livsmedel i kommersiellt syfte. I Shikoro finns en anläggning särskilt anpassad för bestrålning av potatis. 10-15 tusen ton potatis har bestrålats årligen sedan år 1973. Potatisen används som råvara i livsmedelsindustrin. Bestrålning av lök är aktuell men har hittills inte tillåtits av myndigheterna.

8.5.5 Nederländerna

I Nederländerna har myndigheterna gett ett antal tillstånd för bestrålning av olika livsmedel. Tillstånd ges av hälso-och miljövärdhetsdepartementet efter prövning i en särskild nämnd.

Ansökan om tillstånd skall omfatta uppgift om ändamål med bestrålningen samt vilka kvantiteter och vilka stråldoser som avses. Ansökan skall åtföljas av en vetenskaplig dokumentation. Tillstånden indelas i tre kategorier, nämligen tillstånd enbart för vetenskapliga försök, tillstånd för begränsade kvantiteter under viss tid för exempelvis marknadstester på konsumenter samt generella tillstånd för obegränsade kvantiteter. Generella tillstånd för försäljning till konsumenter finns för lök, kryddor, potatis, svamp, kyckling och jordgubbar.

I Nederländerna finns två anläggningar som utför bestrålning kommersiellt samt en försöksanläggning för livsmedelsbestrålning i anslutning till det halvstatliga forskningsinstitutet ITAL. Företaget Gammaster använder två strålkällor för kommersiell livsmedelsbestrålning och för bestrålning av andra produkter främst från läkemedelsindustrin. En av dessa är en ny strålkälla helt anpassad för livsmedelsbestrålning. Strålkällans styrka är maximalt 3 milj curie kobolt-60. Verksamheten vid den nya anläggningen påbörjades i slutet av år 1982. I januari 1983 bestrålades kryddor, djupfrysta räkor och djupfrysta godtlår.

Någon försäljning av bestrålade produkter direkt till konsumenterna sker inte i Nederländerna. Bestrålade livsmedel ingår som komponenter i andra produkter eller säljs vidare till storkök. Bestrålning utförs även på uppdrag från företag i andra länder. Grönsaker och potatis har hittills endast bestrålats försöksmässigt.

Nederländerna är sedan lång tid ett centrum för forsknings- och försöksverksamhet inom området. I Wageningen finns sedan år 1978 också The International Facility for Food Irradiation Technology (IFFIT), som finansieras av FAO och IAEA. Organisationen har till uppgift att understödja utbildning och forskning inom området, biträda länder och enskilda företag att utveckla och tillämpa metoder för livsmedelsbestrålning samt sprida information om metoden. Verksamheten är i huvudsak inriktad för utvecklingsländernas önskemål och behov.

8.5.6 Sovjetunionen

År 1953 påbörjades ett intensivt forskningsprogram. Särskilt intresse har ägnats åt möjligheter att bestråla fisk för att förlänga hållbarheten. Forskning och försöksverksamhet med bestrålning av frukt och grönsaker resulterade år 1966 i att myndigheterna gav tillstånd för försäljning direkt till konsumenterna av dessa produkter. Tillstånd från denna tid finns även att bestråla potatis upp till 0,1 kGy och att bestråla spannmål upp till 0,3 kGy. Enligt uppgift har emellertid hälsovårdsministeriet dock ännu inte godkänt metoden för industriellt bruk.

8.5.7 Storbritannien

I Storbritannien är livsmedelsbestrålning förbjuden, men undantag kan tillåtas efter särskilt beslut. Regeringen har tillsatt en rådgivande kommitté med uppdrag att följa utvecklingen. En översyn av gällande regler för livsmedelsbestrålning kan enligt uppgift komma att ske under år 1983. I december 1969 godkändes bestrålning av mat till vissa sjukhuspatienter som måste skyddas mot infektioner.

8.5.8 Sydafrika

År 1970 påbörjades ett nationellt utvecklingsprogram för bestrålning av produkter inom livsmedelsområdet. Arbetet bedrevs av statliga myndigheter i samarbete med bl a fruktproducenternas organisation. En lång rad studier och försök med bestrålade livsmedel har utförts. Försöken har gällt i huvudsak bestrålning av frukt och bär, men även svamp, potatis och kyckling. F n finns tillstånd att bestråla potatis, mangofrukt, papaya, avocado, lök, vitlök, jordgubbar och kyckling.

I slutet av 1970-talet gjordes en större informationsinsats med marknads-tester för bestrålade produkter. Partier om sammanlagt 140 ton potatis, 20 ton mangofrukt, 20 ton papaya och 6 ton jordgubbar såldes på öppna marknaden i Johannesburg och Pretoria. Produkterna var försedda med särskild märkning.

Sydafrika har under senare år aktivt medverkat i det internationella forsknings- och utvecklingsprojektet IFFIT.

8.5.9 Förbundsrepubliken Tyskland

Bestrålning av livsmedel är inte tillåten i Förbundsrepubliken. Under år 1982 har fyra företag ansökt om tillstånd att bestråla kryddor. Debatten om livsmedelsbestrålning har under senare år varit omfattande och i januari 1983 hölls i Berlin en kongress där olika konsumentorganisationer diskuterade för- och nackdelar med livsmedelsbestrålning. Från konsumentorganisationerna framfördes att om metoden godkänns är det ett mycket starkt krav att märkning sker av bestrålade livsmedel. Vidare anser konsumentorganisationerna att metoden är acceptabel endast om den medför ekonomiska och hälsomässiga fördelar för konsumenterna. I Karlsruhe har det internationella forskningsprojektet IFIP haft sitt säte i anslutning till Bundesforschungsanstalt für Ernährung.

8.5.10 Ungern

Bestrålning av livsmedel är tillåten i Ungern. Under de senaste 10 åren har ett antal tillstånd getts för livsmedelsbestrålning. Tillstånden avser bestrålning av potatis, lök, kryddor, jordgubbar och svamp. Under åren 1978-1980 bestrålades årligen bl a ca 300 ton lök i groningshämmande syfte.

I Ungern har under lång tid en relativt omfattande forsknings- och försöksverksamhet bedrivits inom området.

8.6 U-landsaspekter

När frågan om livsmedelsbestrålningens lämplighet senare skall bedömas, måste man ha klart för sig den helt annorlunda situationen från risk-nyttas synpunkt i u-länderna.

Konventionella konserveringsmetoder, t ex kyl- och frysteknik, har utvecklats i teknologiskt avancerade länder med tempererat eller torrt klimat. I dessa länder är efterfrågan på nya metoder inte särskilt stor och man har råd med stor försiktighet beträffande hälsorisker.

Man får emellertid inte glömma att det verkliga behovet av strålkonservering föreligger i länder med varmt och fuktigt klimat. Där är förlusterna mellan skörd/slakt och konsumtion stora och det stora flertalet har inte råd att använda kyl- eller frysteknik.

Det torde vara behovet och utvecklingen i dessa länder som blir avgörande för livsmedelsbestrålningens framtid. I u-länderna kan nya, energisnåla konserveringsmetoder vara ett effektivt medel att motverka svält. I u-länderna kan också metoder såsom bestrålning av livsmedel medge ökad tillgång till utländsk valuta genom att möjliggöra export som annars hade varit omöjlig. Den intressanta frågan är hur fattigare länder kommer att ställa sig till metoden och vilka möjligheter den kan ge dem. Ett svenskt ställningstagande måste ses i detta vidare perspektiv, särskilt som det kan väntas påverka u-ländernas bedömning av metoden.

Referenser och översiktslitteratur

- Ekström, G., Tammelin, L.-E. och Ehrenberg, L.: Livsmedelsbestrålning i ett internationellt perspektiv. *Vår Föda*, 1981, 33, 392.
- Food Irradiation Information. Tidskrift utgiven av International Project in the Field of Food Irradiation, Karlsruhe.
- Food Irradiation Newsletter. Tidskrift utgiven av Joint FAO/IAEA Division of Isotope and Radiation Applications of Atomic Energy for Food and Agricultural Development. International Atomic Energy Agency, Viena.
- Joint FAO/IAEA/WHO: The technical basis for legislation on irradiated food. WHO Technical Report Series No 316 Geneva 1966.
- : Wholesomeness of irradiated food with special reference to wheat, potatoes and onions. WHO Technical Report Series No 451 Geneva 1970.
- : Wholesomeness of irradiated food. WHO Technical Report Series No 604 Geneva 1977
- : Wholesomeness of irradiated food. WHO Technical Report Series No 659 Geneva 1982.
- Josephson, E. och Peterson, M.: Preservation of food by ionizing radiation. Vol I, CRC Press, Inc Boca Raton, Amerikas förenta stater, 1982.
- Levnedsmiddelbestråling. Redogörelse fra en arbeidsgruppe. Statens Levnedsmiddelinstitut, Köpenhamn, 1982.
- Loaharanu, P.: Benefits of radiation processing to food industries in developing countries. International Meeting on Radiation Processing. Invited Papers, Dubrovnik, 1982.

Policy for Irradiated Foods: Advance notice of proposed procedures for the regulation of irradiated foods for human consumption. Federal Register, Vol 46, No 59. Food and Drug Administration, Washington, 1981.

Proceedings of the National Symposium on Food Irradiation, Pretoria, 1979.

Recommended International General Standard for Irradiated Foods. Codex Alimentarius Commission. CAC/RS 106-1979, FAO/WHO, 1980.

Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities for the Treatment of Foods. Codex Alimentarius Commission. CAC/RCP 19-1979, FAO/WHO, 1980.

9 Kostnader

I detta avsnitt behandlas vissa kostnadsaspekter på bestrålning av livsmedel med joniserande strålning. En avgörande fråga är om bestrålning av livsmedel från kostnadssynpunkt är jämförbar med annan behandling av livsmedel. Det ankommer dock närmast på livsmedelsindustrin att göra de företagsekonomiska bedömningar som erfordras. Syftet med detta kapitel är enbart att beskriva några förutsättningar som är viktiga att beakta om en kommersiell användning av livsmedelsbestrålning tillåts i Sverige. Kommittén vill understryka att kommersiella erfarenheter saknas i Sverige på detta område. De uppgifter som redovisas bygger på internationella erfarenheter, i huvudsak från USA (Deitch, 1982). I internationella publikationer finns redovisade beräknade kostnader för livsmedelsbestrålning med olika strålkällor. Det bör i detta sammanhang betonas att kostnaderna för själva bestrålningen endast utgör en mindre del av den totala behandlingskosten. Utöver kostnaden för bestrålningen tillkommer bl a transportkostnader som blir följderna av att bestrålningen av tekniska och ekonomiska skäl sannolikt måste utföras vid ett fåtal anläggningar. Vidare tillkommer kringkostnader för hantering av produkterna i anslutning till bestrålningsanläggningen. Vid en beräkning av kostnaderna för bestrålning av livsmedel bör man bl a ta hänsyn till följande faktorer:

- produktens sammansättning, storlek, form, volymvikt etc
- anläggningens geografiska belägenhet och utformning. Härvid bör även beaktas anläggningens möjligheter för annan användning än livsmedelsbestrålning
- strålkällans egenskaper, såsom typ, driftskostnader, utnyttjande, tillförlitlighet, hållbarhet och energiförbrukning
- avskrivningar och finansiering av investeringskostnader

De direkta kostnaderna för bestrålning av olika livsmedelsprodukter varierar beroende av den stråldos som produkten skall erhålla. Vidare påverkar förpackning, produktens storlek, tillåten variation i stråldos och temperatur vid bestrålning kostnaderna.

Det geografiska läget har betydelse för transportvägar och distribution. Anläggningen kan utformas efter två huvudprinciper. Ena möjligheten är att anläggningen ligger i direkt anslutning till en livsmedelsindustri och där utgör en integrerad del av livsmedelstillverkningen. Anläggningen är härvid helt anpassad för bestrålning av en speciell produkt. Den andra möjligheten är att anläggningen utformas så att den kan användas för bestrålning av olika slag

av livsmedel eller andra produkter. Anläggningen ger då service till olika avnämare. Genom ett rationellt hanteringssystem inom anläggningen bör det vara möjligt att utnyttja strålkällan för flera ändamål, vilket medför lägre driftskostnader.

Det bör särskilt uppmärksammas att ett ökat kapacitetsutnyttjande sänker kostnaden för själva bestrålningen per enhet. Detta gäller främst för de anläggningar som utnyttjar radionuklidstrålkällor.

Den erforderliga storleken av en radionuklidstrålkälla bestäms av vilka kvantiteter som kan släppas igenom anläggningen per tidsenhet, vilka stråldoser som erfordras och med vilken effektivitet den totalt avgivna strålningen kan utnyttjas. Effektivitetsfaktorn beaktar det faktum att all den energi som avges inte upptas i den bestrålade produkten. Energiförluster uppstår bl a i förpackningar, transportanordningar etc. Man brukar räkna med en installationskostnad av ca 6 kr per curie för kobolt-60 och 2 kr per curie för cesium-137. Investeringskostnaderna för en medelstor anläggning har uppskattats till ca 1,5 milj kr.

Effektivitetsfaktorn brukar normalt ligga mellan 20% och 40%. En koboltstrålkälla anses räcka mellan 5-10 år. Den genomsnittliga kostnaden per kg livsmedel för själva bestrålningen har beräknats till ca 60 öre/kg vid en stråldos av 10 kGy. Kostnaderna varierar beroende av vilka stråldoser som produkterna erhåller.

Acceleratorer har den fördelen att de kan stängas av när de inte används. Bland annat med hänsyn till den begränsning av tillgång på kobolt-60 som kan förutses bedöms acceleratorer kunna bli konkurrenskraftiga från ekonomisk synpunkt. Mot elektronacceleratorer talar främst att elektroner har en lägre genomträngningsförmåga än gammastrålning. Vid en energi av 10 MeV beräknas den praktiska genomträngningen vid bestrålning på en sida vara ungefär 3 cm. Det är dock tänkbart att man i framtiden kan få tillgång till acceleratorer där man kan konvertera elektronstrålning till röntgenstrålning med tillräcklig intensitet och genomträngningsförmåga.

Kostnaderna för bestrålning med en 10 MeV linjeäraccelerator för livsmedelsbestralning har beräknats till ca 25 öre per kg. Även uppgifter om lägre kostnader finns redovisade. De kostnadsuppgifter som redovisats ovan är dock högst osäkra och bör inte läggas till grund vid ekonomisk kalkylering. Det bör särskilt uppmärksammas att i de exempel som uppgifterna är hämtade ifrån har anläggningarna varit fullt utnyttjade, dvs ca 6 000 timmar per år.

Referenser och översiktslitteratur

- Deitch, J.: Economics of food irradiation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1982, 17, 307.
- Proceeding of a Symposium held in Ede: Food Irradiation Now, Haag, 1982.
- Snygg, B.G.: Strålbehandling av livsmedel. SIK-rapport, 1981, nr 507.

10 Kontrollmöjligheter

Vad detta kapitel säger:

Här diskuteras vilka möjligheter som föreligger att upptäcka och kontrollera om ett livsmedel bestrålats eller ej. Ett flertal studier inom området har gjorts både i Sverige och utomlands. Flera forskare har anvisat metoder för hur bestrålade produkter skulle kunna identifieras. Huvudproblemet är att livsmedel inte reagerar specifikt för bestrålning utan likartade effekter också uppkommer vid annan behandling. För att en metod skall kunna användas för kontrolländamål fordras att den är internationellt accepterad. Den skall vidare kunna användas som rutinmetod vid ett antal laboratorier inom landet. Kommittén har kommit till slutsatsen att det dröjer innan en praktiskt användbar metod finns tillgänglig. Dessutom kommer metoden sannolikt endast att kunna användas på bestämda slag av livsmedel, eftersom olika livsmedel reagerar olika på bestrålning. Om livsmedelsbestrålning tillåts i Sverige krävs speciella regler för processkontroll och hygienkontroll vid anläggningarna. Regler för strålskyddskontroll finns redan.

10.1 Allmänt

Antag att bestrålning av livsmedel även i fortsättningen kommer att vara förbjuden i Sverige. Kontrollfrågorna kommer då att i första hand inriktas mot möjligheten att påvisa om ett livsmedel varit bestrålat. Det gäller då att finna praktiskt tillämpbara metoder som kan användas i kontrollen av importerade livsmedel. De använda metoderna måste vara internationellt accepterade och kunna ligga till grund för en juridisk prövning.

Tillåts bestrålning av livsmedel för kommersiell användning i Sverige kommer kontrollfrågorna främst att gälla hygien- och processkontroll av bestrålningsanläggningar. Därtill kommer även frågor om ren teknisk kontroll av anläggningar avseende bl a arbetsskydd.

10.2 Analystekniska kontrollmöjligheter

Det är viktigt att kunna påvisa om ett livsmedel har blivit behandlat med joniserande strålning eller ej. Livsmedlet påverkas, som tidigare redovisats, i olika avseende vid behandling med joniserande strålning. I detta avsnitt skall närmare diskuteras vilka möjligheter som föreligger att påvisa förändringar med nu känd analysteknik samt om man inom rimlig tid kan förvänta sig analysmetoder för praktiskt bruk.

Både utomlands och i Sverige har relativt många försök gjorts att utarbeta analysmetoder för att påvisa om livsmedel behandlats med joniserande strålning. Ett grundläggande problem vid identifiering av bestrålade livsmedel är att olika livsmedel på grund av sin sammansättning reagerar olika när de utsätts för strålbehandling. Vidare uppstår många gånger samma förändringar vid annan hållbarhetsbefrämjande behandling som vid bestrålning. I dessa fall är det mycket svårt att fastställa om förändringarna orsakats av bestrålning eller av något annat. De undersökningar som utförts utomlands har hittills varit inriktade på fysikaliska och kemiska förändringar av bestrålningen. I exempelvis Japan har försök utförts att påvisa en ändrad elektrisk ledningsförmåga i potatis efter bestrålning.

Biokemiska förändringar

Vid bestrålning med joniserande strålning induceras ett stort antal förändringar i cellerna. I en normal cell, som väger 10^{-8} gram, absorberas 10^{-11} joule per gray. Detta är en liten energimängd, men den åstadkommer ändå ca 100 000 molekylförändringar i cellen. De flesta av dessa förändringar är dock relativt ofarliga för cellen.

Skadebilden på molekylär nivå är mycket komplicerad eftersom strålningen kan inducera skador i stort sett var som helst. Skador på DNA anses vara de mest kritiska för cellens överlevnad. Eftersom DNA är en stor molekyl har man försökt utveckla metoder för detektion av vissa skador i denna, t ex DNA-brott. Direkt efter bestrålning kan DNA-brott detekteras efter stråldoser på 0,01-0,1 Gy. DNA är den viktigaste molekyl i cellen, men cellen har mekanismer för reparation av skadorna och en timma efter bestrålning återstår mindre än 10% av de inducerade DNA-brotten.

I Sverige har bl a Magnus Malmqvist vid Gustaf Werners institut på uppdrag av livsmedelsverket åren 1978-80 studerat möjligheterna att utnyttja strålskador i DNA för identifiering av bestrålade livsmedel. Det visade sig dock inte möjligt att modifiera metoderna för upptäckt av strålningsinducerade strängbrott så att de lämpar sig för analys av livsmedel. Malmqvist utförde även vissa grundläggande studier av immunologiska metoders användbarhet för samma ändamål. Även Försvarets forskningsanstalt (FOA) i Umeå har studerat förändringar i DNA efter bestrålning.

DNA är den molekyl för vilken man har mest kunskap om inducering av strålskador och hur dessa repareras. Problemen vid detektionen är reparationen av DNA-skadorna och DNA:s stabilitet. För livsmedel som består av levande celler, t ex grönsaker, bör det dock enligt FOA finnas möjligheter att utveckla praktiskt användbara metoder för påvisande av om ett parti varit bestrålat eller ej. I livsmedel av animaliskt ursprung är det däremot troligt att

DNA bryts ned till relativt små molekyler till följd av enzymatisk aktivitet i cellerna.

Kemiska radiolysprodukter

Strålskador på fett, t ex lipidperoxidation av omättade fettsyror, kan efter en stråldos på några gray påvisas i blodserum och lever hos försöksdjur. Eventuellt kan den kliniska metoden användas också för att avgöra om livsmedel med hög fetthalt blivit bestrålade eller ej. En komplikation är dock att likartad lipidperoxidbildning kan ske av andra orsaker.

Vid strålningsbiologiska institutionen vid Stockholms universitet har Carl-Johan Calleman och Lars Ehrenberg studerat hur karbonylföreningar bildas vid bestrålning av livsmedel. Studien har syftat till att utvärdera om radioaktivt märkta aminer kan reduceras till alkylaminer. Dessa är i sin tur stabila kemiska föreningar som kan isoleras. Genom bl a dessa kemiska reaktioner kan de karbonylföreningar som uppkommer vid bestrålning identifieras och sålunda erbjuda en metod att avgöra om ett livsmedel varit utsatt för bestrålning eller ej. Preliminära resultat antyder att metoden skulle kunna användas för kolhydratrika livsmedel. Metoden har emellertid begränsningar, framför allt av analysteknisk natur.

Den svårighet som ligger i att radiolysprodukterna är ämnen som också kan bildas i livsmedlet vid annan behandling, t ex värmebehandling, kan möjligen kringgås om man mängdbestämmer ett antal radiolysprodukter och iakttar deras relativa proportioner. Spektret av radiolysprodukter kan tänkas vara karaktäristiskt för bestrålningen av ett givet livsmedel.

Analys av fria radikaler har diskuterats men är inte praktiskt användbar på grund av att de så snabbt försvinner. Möjligen skulle detta vara en användbar metod vid kontroll av torra material, t ex säd, eller djupfrysta produkter.

Sammanfattningsvis kan konstateras att för samtliga tillgängliga studier som utförts, såväl utomlands som i Sverige, gäller att mycket återstår av forsknings- och utvecklingsarbete för att få fram en metod som uppfyller rimliga krav på säkerhet och tillämpbarhet för praktisk användning.

10.3 Importkontroll

Import av livsmedel äger huvudsakligen rum vid ett antal importhamnar i södra och mellersta Sverige. Varje leverans kontrolleras dels stickprovsmässigt avseende importvarornas hygieniska kvalitet, dels avseende eventuell förekomst av bekämpningsmedelsrester m m. Laboratorieundersökningarna utförs vid ett antal anvisningslaboratorier, som förordnats av livsmedelsverket. Någon kontroll av om livsmedel bestrålats förekommer inte, och någon sådan kontroll har inte heller ännu ansetts påkallad. Om importkontrollen utsträcks till att omfatta även kontroll av eventuell bestrålning krävs en internationellt accepterad metod. Undersökningarna måste kunna utföras till skäligen kostnader och inom rimlig tid. Som tidigare redovisats finns f n ingen sådan metod och det är inte sannolikt att någon sådan kommer att utvecklas inom rimlig framtid.

10.4 Processkontroll och hygienkontroll

Om bestrålning av livsmedel tillåts måste de anläggningar som utför bestrålningen kontrolleras. Livsmedelslagstiftningen bygger dels på livsmedelsindustrins egenkontroll och dels på lokal, regional och central offentlig kontroll. För den lokala offentliga kontrollen ansvarar kommunernas hälsovårdsnämnder. Den processkontroll som bör göras är en kontroll av att den stråldos som man ger livsmedlet faller inom föreskriven ram. Stråldosen i den bestrålade produkten kan som tidigare nämnts vara relativt ojämnt fördelad. Den internationella standarden föreskriver att den genomsnittliga dosen i livsmedlet inte får överstiga 10 kGy. I rekommendationen föreskrivs att rutinmässig doskontroll skall utföras. I praktiken tillgår detta så att särskilda dosmätare placeras intill eller i de förpackade livsmedel som skall behandlas.

Den uppmätta dosen ligger sedan till grund för den rapportering som erfordras till kontrollmyndigheterna. Uppgifter behövs därutöver om strålkällans intensitet, om den tid under vilken livsmedlet varit utsatt för bestrålning samt om tidpunkt för behandlingen.

Om stråldosen i livsmedlet blir lägre än den rekommenderade uppstår andra problem. Den förväntade hållbarhetsökningen kan utebli och livsmedlet blir således dåligt snabbare än vad som förväntas. I andra fall, t ex infekterade kryddor, kan livsmedlet vara olämpligt att förtära utan behandling. En för låg stråldos reducerar då inte antalet patogena bakterier tillfredsställande. Processkontrollen måste således även inkludera kontroll av att stråldosen inte varit för låg.

10.5 Strålskyddskontroll

Enligt strålskyddslagen (SFS 1958:110) erfordras särskilt tillstånd av statens strålskyddsinstitut att bedriva verksamhet med en radioaktiv strålkälla eller en accelerator. Strålskyddsinstitutet utfärdar i samband med tillståndsgivningen särskilda föreskrifter. Som villkor för tillstånd gäller att en i enlighet med strålskyddslagen utsedd särskild föreståndare ansvarar för strålskyddet.

Vidare skall strålskyddsinstitutet granska och godkänna anläggningen ur teknisk synvinkel. Tillstånd krävs för att till Sverige införa radioaktiva ämnen samt att försälja och inneha sådana. Strålskyddsinstitutets medgivande krävs också för laddning av strålkällan. Slutligen har strålskyddsinstitutet rätt att inspektera och utfärda ytterligare föreskrifter om institutet anser det påkallat.

10.6 Märkning

Frågan om märkning av bestrålade livsmedel har varit föremål för diskussioner i olika länder och organisationer. Kommittén konstaterar att regler för märkning och sammanhängande frågor enligt direktiven avses bli behandlade i andra etappen av utredningsarbetet.

Märkning av bestrålade livsmedel har i princip två syften. Det ena syftet är att ge information till konsumenter som av olika skäl inte önskar köpa bestrålade produkter. Det andra syftet är att ge konsumenten information om att produkten har bestrålats och därmed har andra kvalitetsegenskaper (längre hållbarhet, fri från smittämnen) än obehandlade produkter.

Som tidigare redovisats (se kap 2) betraktades bestrålning av livsmedel från början som en livsmedelstillsats. Därmed var det självklart att de skulle märkas i enlighet med vad som allmänt gäller vid livsmedelstillsatser. I och med att man mot slutet av 1970-talet kom att betrakta bestrålning som en fysikalisk process har frågan om märkning ytterligare komplicerats. I två underkommittéer till Codex, Kommittén för livsmedelstillsatser och Kommittén för märkning, har frågan diskuterats vid ett flertal tillfällen utan att någon slutlig rekommendation ännu föreligger. Två huvudståndpunkter i märkningsfrågan kan urskiljas:

- Konsumenten skall genom märkning i butiken informeras om att produkten är bestrålad
- Eftersom bestrålning av livsmedel är en ofarlig fysikalisk process bör konsumenten i butiken inte upplysas om en fara som inte föreligger

Till diskussionen kan föras ytterligare frågor, t ex märkning av produkter i vilka bestrålade ingredienser (kryddor) ingår eller märkning av livsmedel som tillverkats av bestrålade råvaror.

Internationellt råder enighet om att partier av livsmedel som bestrålats skall åtföljas av ett dokument som talar om att bestrålning ägt rum samt vid vilken anläggning och vilken tidpunkt den är utförd. Sådan information är nödvändig för att bli undvika att livsmedel bestrålas flera gånger.

Kommittén bedömer sammanfattningsvis att märkningsfrågorna under lång tid framöver kommer att bli föremål för ingående diskussioner i såväl internationella organisationer som på nationell nivå.

Referenser och översiktslitteratur

- Calleman, C.-J. och Ehrenberg, L.: Rapport om reduktiv alkylering av märkta aminer som en metod att påvisa karbonylföreningar bildade vid bestrålning av livsmedel. Strålningsbiologiska institutionen, Stockholms universitet, 1979.
- Hayashi, T., Iwamoto, M. och Kawashima, K.: Identification of irradiated potatoes by impedance measurements. *Agric. Biol. Chem.*, 1982, 46, 905.
- Levnedsmiddelbestråling. Redogörelse fra en arbeidsgruppe. Publikation nr 66, 1982. Statens Levnedsmiddelinstitut, Köpenhamn, 1982.
- Malmqvist, M.: Identifiering av bestrålade livsmedel. Grundläggande problem och försök till lösningar. PM om arbete utfört 1978-1980.

11 Utredningsarbetets genomförande m m

Kommittén har studerat tillgänglig litteratur inom området. Litteraturen har utvalts dels genom egen litteratursökning, dels i kontakter med medarbetare i det nyligen avslutade internationella forskningsprojektet (IFIP) i Karlsruhe och dels också genom den danska rapporten *Levnedsmiddelbestråling* utgiven av statens levnedsmiddelinstitut. Kommittén har under sitt arbete varit i kontakt med statens livsmedelsverk och produktkontrollnämnden, som biträtt med information. Avsnitt av rapporten har granskats av svenska forskare verksamma inom olika områden.

Kommittén har haft överläggningar med livsmedelsindustrin, styrelsen för teknisk utveckling samt företrädare för fodermedelsbranschen. En överläggning har hållits med företrädare för olika konsument- och miljöorganisationer. Kommittén har haft överläggningar med företrädare för Svenska Livsmedelsinstitutet om bl a det tidigare utförda forsknings- och utvecklingsarbetet i Sverige.

Kommittén har besökt Nederländerna och Förbundsrepubliken Tyskland för att studera praktisk livsmedelsbestrålning samt för diskussion av forskningsresultat m m. Studiebesök har också gjorts hos Helinos AB i Skärhamn som utför bestrålning av sjukvårdsprodukter m m.

I rapporten har uppgifter som kommit kommittén till del t o m mars 1983 beaktats.

Bilaga 1 Kommitténs direktiv

Chefen för jordbruksdepartementet, statsrådet Dahlgren, anför.

Det har beräknats att en fjärdedel eller mer av världens livsmedel förstörs på grund av svinn, skadegörelse och förskämning. Man söker därför över hela världen efter förbättrade metoder att öka hållbarheten hos livsmedel. Bland de fysikaliska metoderna att öka hållbarheten har under lång tid behandling med joniserande strålning betraktats som en möjlig framkomstväg. En omfattande internationell forskning på området har bedrivits sedan 1940-talet. Även i Sverige har det förekommit forskning rörande sk strålkonsivering även om den varit av begränsad omfattning. Intresset för metoden har varierat. Bland de länder som i dag visar stort intresse för metoden är flera att finna bland u-länderna. Apparatur finns i dag kommersiellt tillgänglig.

Med hänsyn till syftet med behandlingen kan bestrålning av livsmedel ske med varierande stråldoser. För att åstadkomma helt sterila produkter, helkonserver, krävs höga doser, som också ger förändringar i de flesta livsmedel. En förlängd hållbarhet, pastörisering, erhålls med medelhöga eller låga doser, som ger en reduktion men inte fullständigt avdödande av bakterier samt jäst- och mögelsvampar. En hämning av groning samt oskadliggörande av de flesta skadeinsekter erhålls med låga doser. Sedan länge arbetar man vid livsmedelsbestrålning uteslutande med låga eller medelhöga doser. Den strålning som används är röntgenstrålning, gammastrålning från radioaktiv källa eller elektronstrålning från speciella elektronacceleratorer. Alla tre strålslagen och de apparater med vilka de genereras används i mycket stor utsträckning i dag på sjukhusen för såväl röntgendiagnostik som strålbehandling av tumörer. För livsmedelsbehandling används i de flesta fall de två sistnämnda strålslagen.

Vidare används joniserande strålning i dag i kommersiellt sammanhang för att sterilisera förbandsmaterial, kirurgiska instrument o d.

Frågan om bestrålning av livsmedel berörs i flera olika författningar.

Strålskyddslagen (1958:110) syftar till att ge skydd mot bl a joniserande strålning. I arbetsmiljölagen (1977:1160) finns bestämmelser om arbetsmiljöns beskaffenhet.

Enligt 11 § livsmedelslagen (1971:511) kan regeringen eller myndighet som regeringen bestämmer förbjuda eller föreskriva villkor för hantering eller införsel till riket av visst slag av livsmedel, om det är påkallat från hälso- eller näringssynpunkt.

I 16 § livsmedelslagen stadgas vidare bl a att livsmedel inte får saluhållas

om det kan antas vara otjänligt som människoföda. I förarbetena till livsmedelslagen uttalade departementschefen (prop 1971:61) att ett saluförbud bl a kan behövas i fall då man kan misstänka att visst livsmedel utsatts för joniserande strålning i för hög grad.

I 10 § livsmedelskungörelsen (1971:807) sägs att livsmedel inte får behandlas med joniserande strålning utan tillstånd av livsmedelsverket. Något sådant tillstånd har ännu inte lämnats. Nyligen har emellertid en importör av kryddor begärt tillstånd av livsmedelsverket att få använda joniserande strålning för reduktion av mikroorganismer i naturkryddor. Verket har beslutat att inte avgöra detta ärende förrän statsmakterna tagit ställning till de förslag, som den nu planerade utredningen kommer fram till.

Av det anförda framgår att frågor om bestrålning av livsmedel faller inom olika myndigheters ansvarsområden. Strålskyddsinstitutet är förvaltningsmyndighet enligt strålskyddslagen för ärenden om skydd mot joniserande och icke-joniserande strålning. Livsmedelsverket är central förvaltningsmyndighet för ärenden som rör livsmedel, i den mån handläggningen av sådana ärenden inte ankommer på annan statlig myndighet. Sveriges lantbruksuniversitet har till uppgift att planera, initiera och bedriva forskning inom livsmedelsområdet. Livsmedelsteknisk forskning och därmed sammanhängande industriell forskning stöds av styrelsen för teknisk utveckling (STU). Toxikologisk forskning och forskning kring riskfrågor stöds av de medicinska och naturvetenskapliga forskningsråden och är en väsentlig del av livsmedelsverkets verksamhet.

I arbetet med att utveckla metoder för strålbehandling av livsmedel och få till stånd ett internationellt godkännande av denna teknik har forskningen i stor utsträckning gått ut på att undersöka om metoden är ofarlig och om giftiga ämnen uppstår i livsmedlen vid bestrålning. Under senare tid har ansträngningar gjorts för att få metoden internationellt godkänd. Det internationella organet för livsmedelshygien och livsmedelsstandard, WHO/FAO, Codex Alimentarius Commission, har utvecklat standard och rekommendationer för bestrålade livsmedel. Metoden med joniserande strålning av livsmedel i konserverande syfte godkändes sommaren 1981 formellt av de internationella organen FAO (FN:s jordbruks- och livsmedelsorganisation), IAEA (Internationella atomenergiorganet) och WHO (Världshälsoorganisationen).

Diskussionen om bestrålning av livsmedel har tilltagit under senare år. Vid användning av gängse teknik för bestrålning av livsmedel blir de bestrålade produkterna inte radioaktiva. När radioaktiva ämnen används som strålkälla är källan så inkapslad att det bestrålade materialet inte skall kunna bli förorenat av det radioaktiva ämnet. För strålbehandling av livsmedel krävs apparatur och anläggningar som ställer stora krav på strålskyddet.

De invändningar som framförs mot bestrålning av livsmedel avser emellertid inte i första hand strålrisker utan befarade effekter på livsmedel som skulle kunna innebära risker för konsumenten.

Frågan om riskerna vid bestrålning av livsmedel behandlades i beredningen (Jo 1978:A) för livsmedels- och näringsfrågor under våren 1981.

I ett antal riksdagsmotioner till 1981/82 års riksmöte har motionärerna bl a yrkat att strålbehandlade livsmedel inte får produceras eller importeras så

länge effekterna inte är tillräckligt klarlagda. Samtliga motionärer uttalar farhågor för att bestrålade livsmedel släpps fria på den svenska marknaden innan man är helt säker på att de är ofarliga för konsumtion.

Jordbruksutskottet har i ett betänkande (JoU 1981/82:2, rskr 1981/82:23) om bestrålning av livsmedel uttalat att starka skäl talar för att en allsidig och ingående utredning företas rörande effekterna av bestrålning av livsmedel för att tjäna till vägledning för den fortsatta utvecklingen på området. Innan resultatet av den föreslagna utredningen föreligger finns det enligt utskottets mening all anledning att bl a iaktta stor restriktivitet vid meddelandet av tillstånd till bestrålning av livsmedel i vårt land. Riksdagen beslöt i enlighet med utskottets hemställan att ge regeringen till känna vad utskottet anfört om utredning rörande effekterna av bestrålning av livsmedel m m.

Enligt min mening bör en allsidig utredning rörande joniserande strålning av livsmedel i konserverande syfte nu komma till stånd. Jag förordar att en särskild utredare tillkallas för ändamålet.

Utredningen bör ske i två etapper. Utredningens första etapp bör utföras av utredaren tillsammans med experter med sakkunskap från skilda områden. I Sverige har forskning beträffande strålkonservering av livsmedel bedrivits i begränsad omfattning. Viss bevakning av utvecklingen internationellt sker bl a genom livsmedelsverket och STU. Det är därför angeläget att utredaren gör en granskning och utvärdering av det internationella forskningsläget och belyser på vilka delområden det i dag finns kunskap resp saknas kunskap om strålbehandling av livsmedel. Effekter från toxikologisk, bakteriologisk och näringssynpunkt bör beskrivas.

Arbetet i den första etappen bör inriktas på att kartlägga och beskriva den inverkan av olika slag som bestrålning av livsmedel kan tänkas ha på hälsa och arbetsmiljö. Härvid är det av vikt att belysa hur livsmedlens egenskaper och kvaliteter påverkas.

All bestrålning av livsmedel ger upphov till kemiska förändringar hos livsmedlen. Eftersom de kemiska reaktionerna inte kan dirigeras till de bakterieceller, mögelceller m m som man vill oskadliggöra kommer ett antal olika kemiska förändringar att uppträda i bestrålade livsmedel. Förändringarna bör beskrivas och värderas med hänsyn till mängd och natur.

Utredaren bör beskriva hur livsmedlens egenskaper påverkas av att vissa mikroorganismer slås ut vid strålbehandlingen. Exempelvis är det möjligt att tillväxt av sjukdomsframkallande bakterier gynnas genom att ofarliga bakteriestammar slås ut. Av intresse i det här sammanhanget är att kartlägga vilka följder som kan uppstå om vissa bakterier och insekter blir resistenta mot bestrålning.

Möjliga toxiska, genetiska och cancerframkallande effekter av strålbehandling av livsmedel bör kartläggas.

Utredaren bör även ta upp frågor som rör bestrålning av foder och foderprodukter i syfte att förebygga sjukdomar hos djur.

Utredaren är därutöver förhindrad att i samband med det fortlöpande arbetet ta de initiativ som anses vara påkallade.

Utredaren bör redovisa första etappens arbete senast den 1 maj 1983.

Utredningsmaterialet skall läggas till grund för en andra etapp av utredningsarbetet som bör bedrivas av en parlamentarisk kommitté. Dess arbete skall syfta till att ge ett underlag för statsmakternas ställningstagande i

hithörande frågor. Därvid torde bli få bedömas de handelspolitiska konsekvenserna av svenska särregler, märkningsregler och kontrollmöjligheter samt organisatoriska frågor. Till frågan om direktiv för denna senare etapp återkommer jag.

Bilaga 2 Internationella rekommendationer m m

Följande standard är grundad på rekommendationer från den internationellt sammansatta expertgruppen inom FAO, IAEA och WHO (JEFCI). Standarden är reviderad av en särskild arbetsgrupp inom ovan nämnda organisationer och behandlad av Codex' kommitté för livsmedelstillsatser i mars 1982.

Revised Draft Recommended International General Standard for Irradiated Foods

1 Scope

This standard applies to foods processed by irradiation. It does not apply to foods exposed to doses imparted by measuring instruments used for inspection purposes.

2 General Requirements for the Process

2.1 *Radiation sources*

The following types of ionizing radiation may be used:

- (a) Gamma rays from the radionuclides ^{60}Co or ^{137}Cs ;
- (b) X-rays generated from machine sources operated at or below an energy level of 5 MeV;
- (c) Electrons generated from machine sources operated at or below an energy level of 10 MeV.

2.2 *Absorbed Dose*

The overall average dose absorbed by a food subjected to radiation processing should not exceed 10 kGy.

2.3 *Facilities and Control of the Process*

- 2.3.1 Radiation treatment of foods shall be carried out in facilities licensed and registered for this purpose by the competent national authority.
- 2.3.2 The facilities shall be designed to meet the requirements of safety, efficacy and good hygienic practices of food processing.
- 2.3.3 The facilities shall be staffed by adequate, trained and competent personnel.

- 2.3.4 Control of the process within the facility shall include the keeping of adequate records including quantitative dosimetry.
- 2.3.5 Premises and records shall be open to inspection by appropriate national authorities.
- 2.3.6 Control should be carried out in accordance with the Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities used for the Treatment of Foods.

3 Wholesomeness of Irradiated Foods

- 3.1 The wholesomeness of foods irradiated so as to have absorbed an overall average dose of up to 10 kGy is not impaired. In this context the term wholesomeness refers to safety for consumption of irradiated foods from the toxicological point of view. The irradiation of foods up to an overall average dose of 10 kGy introduces no special nutritional or microbiological problems.
- 3.2 The food should comply with the provisions of the General Principles of Food Hygiene and, where appropriate, with the Code of Hygienic Practice relative to a particular food.
- 3.3 Any relevant national public health requirement effecting microbiological safety and nutritional adequacy applicable in the country in which the food is sold should be observed.

4 Technological Requirements

4.1 *Conditions for Irradiation*

The irradiation of food is justified only when it fulfils a technological need or where it serves a food hygiene purpose and should not be used as a substitute for good manufacturing practices.

4.2 *Packaging and Food quality Requirements*

Foods to be irradiated and their packaging materials shall be of suitable quality, acceptable hygienic condition and appropriate for this purpose and shall be handled, before and after irradiation, according to good manufacturing practices, taking into account the particular requirements of the technology of the process. The doses applied should be commensurate with the technological and public health purposes to be achieved and should be in accordance with good radiation processing practice.

5 Re-Irradiation

- 5.1 Except for foods with low moisture content (cereals, pulses, dehydrated foods and other such commodities) irradiated for the purpose of controlling insect reinfestation, foods irradiated in accordance with sections 2 and 4 of this standard shall not be re-irradiated.
- 5.2 For the purpose of this standard, food is not considered as having been re-irradiated when:
 - (a) the food prepared from materials which have been irradiated at

low dose levels, e.g., about 1 kGy, is irradiated for another technological purpose;

- (b) the food, containing less than 5 % of irradiated ingredients, is irradiated; or when
 - (c) the full dose of ionizing radiation required to achieve the desired effect is applied to the food in more than one instalment as part of one process.
- 5.3 The total overall average dose absorbed should not exceed 10 kGy as a result of re-irradiation.

6 Labelling

6.1 *Inventory control*

For irradiated foods, whether prepackaged or not, the relevant shipping documents shall give appropriate information to identify the registered facility which has irradiated the food, the date of treatment, and lot identification.

6.2 *Prepackaged foods intended for direct consumption*

The labelling of prepackaged irradiated foods shall be in accordance with the relevant provisions of the Codex General Standard for the Labelling of Prepackaged Foods.

6.3 *Foods in bulk containers*

The declaration of the fact of irradiation shall be made clear on the relevant shipping documents.

Revised Draft recommended International Code of Practice for the Operation of Irradiation Facilities used for the Treatment of Foods

1 Introduction

This code refers to the operation of irradiation facilities based on the use of either a radionuclide source (^{60}Co or ^{137}Cs) or X-rays and electrons generated from machine sources. The irradiation facility may be of two designs, either "continuous" or "batch" type. Control of the food irradiation process in all types of facility involves the use of accepted methods of measuring the absorbed radiation dose and of the monitoring of the physical parameters of the process. The operation of these facilities for the irradiation of food must comply with the Codex recommendations on food hygiene.

2 Irradiation Plants

2.1 *Parameters*

For all types of facility, the doses absorbed by the product depend on the radiation parameter, the dwell time or the transportation speed of the product, and the bulk density of the material to be irradiated. Source-product geometry, especially distance of the product from

the source and measures to increase the efficiency of radiation utilization, will influence the absorbed dose and the homogeneity of dose distribution.

2.1.1 *Radionuclide sources*

Radionuclides used for food irradiation emit photons of characteristic energies. The statement of the source material completely determines the penetration of the emitted radiation. The source activity is measured in Becquerel (Bq) and should be stated by the supplying organization. The actual activity of the source (as well as any return or replenishment of radionuclide material) shall be recorded. The recorded activity should take into account the natural decay rate of the source and should be accompanied by a record of the date of measurement or recalculation. Radionuclide irradiators will usually have a well separated and shielded depository for the source elements and a treatment area which can be entered when the source is in the safe position. There should be a positive indication of the correct operational and of the correct safe position of the source which should be interlocked with the product movement system.

2.1.2 *Machine sources*

A beam of electrons generated by a suitable accelerator, or after being converted to X-rays, can be used. The penetration of the radiation is governed by the energy of the electrons. Average beam power shall be adequately recorded. There should be a positive indication of the correct setting of all machine parameters which should be interlocked with the product movement system. Usually a beam scanner or a scattering device (e.g., the converting target) is incorporated in a machine source to obtain an even distribution of the radiation over the surface of the product. The product movement, the width and speed of the scan and the beam pulse frequency (if applicable) should be adjusted to ensure a uniform surface dose.

2.2 *Dosimetry and Process Control*

Prior to the irradiation of any foodstuff, certain dosimetry measurements should be made, which demonstrate that the process will satisfy the regulatory requirements. Various techniques for dosimetry pertinent to radionuclide and machine sources are available for measuring absorbed dose in a quantitative manner.

Dosimetry commissioning measurements should be made for each new food, irradiation process, and whenever modifications are made to source strength or type and to the source-product geometry.

Routine dosimetry should be made during operation, and records kept of such measurement. In addition, regular measurements of facility parameters governing the process, such as transportation speed, dwell time, source exposure time, machine beam parameters, can be made during the facility operation. The records of these measurements can be used as supporting evidence that the process satisfies the regulatory requirements.

3 Good Radiation Processing Practice

Facility design should attempt to optimize the dose uniformity ratio, to ensure appropriate dose rates and, where necessary, to permit temperature control during irradiation (e.g., for the treatment of frozen food) and also control of the atmosphere. It is also often necessary to minimize mechanical damage to the product during transportation, irradiation and storage, and desirable to ensure the maximum efficiency in the use of the irradiator. Where the food to be irradiated is subject to special standards for hygiene or temperature control, the facility must permit compliance with these standards.

4 Product and Inventory Control

- 4.1 The incoming product should be physically separated from the outgoing irradiated products.
- 4.2 Where appropriate, a visual colour change radiation indicator should be affixed to each product pack for ready identification of irradiated and non-irradiated products.
- 4.3 Records should be kept in the facility record book which show the nature and kind of the product being treated, its identifying marks if packed, or if not, the shipping details, its bulk density, the type of source or electron machine, the dosimetry, the dosimeters used and details of their calibration, and the date of treatment.
- 4.4 All products shall be handled, before and after irradiation, according to accepted good manufacturing practices, taking into account the particular requirements of the technology of the process. Suitable facilities for refrigerated storage may be required.

Introduction	1
Chapter I	10
Chapter II	20
Chapter III	30
Chapter IV	40
Chapter V	50
Chapter VI	60
Chapter VII	70
Chapter VIII	80
Chapter IX	90
Chapter X	100
Chapter XI	110
Chapter XII	120
Chapter XIII	130
Chapter XIV	140
Chapter XV	150
Chapter XVI	160
Chapter XVII	170
Chapter XVIII	180
Chapter XIX	190
Chapter XX	200
Chapter XXI	210
Chapter XXII	220
Chapter XXIII	230
Chapter XXIV	240
Chapter XXV	250
Chapter XXVI	260
Chapter XXVII	270
Chapter XXVIII	280
Chapter XXIX	290
Chapter XXX	300
Chapter XXXI	310
Chapter XXXII	320
Chapter XXXIII	330
Chapter XXXIV	340
Chapter XXXV	350
Chapter XXXVI	360
Chapter XXXVII	370
Chapter XXXVIII	380
Chapter XXXIX	390
Chapter XL	400
Chapter XLI	410
Chapter XLII	420
Chapter XLIII	430
Chapter XLIV	440
Chapter XLV	450
Chapter XLVI	460
Chapter XLVII	470
Chapter XLVIII	480
Chapter XLIX	490
Chapter L	500
Chapter LI	510
Chapter LII	520
Chapter LIII	530
Chapter LIV	540
Chapter LV	550
Chapter LVI	560
Chapter LVII	570
Chapter LVIII	580
Chapter LIX	590
Chapter LX	600
Chapter LXI	610
Chapter LXII	620
Chapter LXIII	630
Chapter LXIV	640
Chapter LXV	650
Chapter LXVI	660
Chapter LXVII	670
Chapter LXVIII	680
Chapter LXIX	690
Chapter LXX	700
Chapter LXXI	710
Chapter LXXII	720
Chapter LXXIII	730
Chapter LXXIV	740
Chapter LXXV	750
Chapter LXXVI	760
Chapter LXXVII	770
Chapter LXXVIII	780
Chapter LXXIX	790
Chapter LXXX	800
Chapter LXXXI	810
Chapter LXXXII	820
Chapter LXXXIII	830
Chapter LXXXIV	840
Chapter LXXXV	850
Chapter LXXXVI	860
Chapter LXXXVII	870
Chapter LXXXVIII	880
Chapter LXXXIX	890
Chapter LXXXX	900
Chapter LXXXXI	910
Chapter LXXXXII	920
Chapter LXXXXIII	930
Chapter LXXXXIV	940
Chapter LXXXXV	950
Chapter LXXXXVI	960
Chapter LXXXXVII	970
Chapter LXXXXVIII	980
Chapter LXXXXIX	990
Chapter LXXXXX	1000

Bilaga 3 Använda förkortningar och symboler

Ba	kemiska symbolen för barium
Bq	becquerel (enhet för aktivitet)
C	kemiska symbolen för kol
C	(i kap 7) koncentration
Ci	curie (gammal enhet för aktivitet)
Cl.	<i>Clostridium</i> (bakteriesläkte)
Co	kemiska symbolen för kobolt
CO ₂	kemiska symbolen för koldioxid
Codex	Codex Alimentarius Commission
Cs	kemiska symbolen för cesium
D	absorberad stråldos
D ₁₀	den stråldos som krävs för att reducera bakterieantalet med en faktor 10; dvs en behandling som ger 90 %-ig reduktion av bakterieantalet
DES	dietylstilbestrol
DNA	deoxyribonukleinsyra
e	2,71828 . . . basen för naturliga logaritmer
e _{aq}	hydrerad elektron
E	symbol för väntevärde (statistik)
eV	elektronvolt
FAO	Food and Agriculture Organization (Förenta nationerna)
FDA	Food and Drug Administration (Amerikas förenta stater)
Fe	kemiska symbolen för järn
FOA	Försvarets forskningsanstalt
G	antal förändrade molekyler per 100 eV
Gy	gray (enheten för absorberad stråldos uttryckt i joule per kg)
H	kemiska symbolen för väte
H·	väteradikal
I	kemiska symbolen för jod
IAEA	International Atomic Energy Agency
IFFIT	International Facility for Food Irradiation Technology
IFIP	International Project in the Field of Food Irradiation
In	kemiska symbolen för indium
J	joule (enheten för energi)
JECFI	Joint Expert Committee on Food Irradiation
kGy	kilogray (1 000 gray)

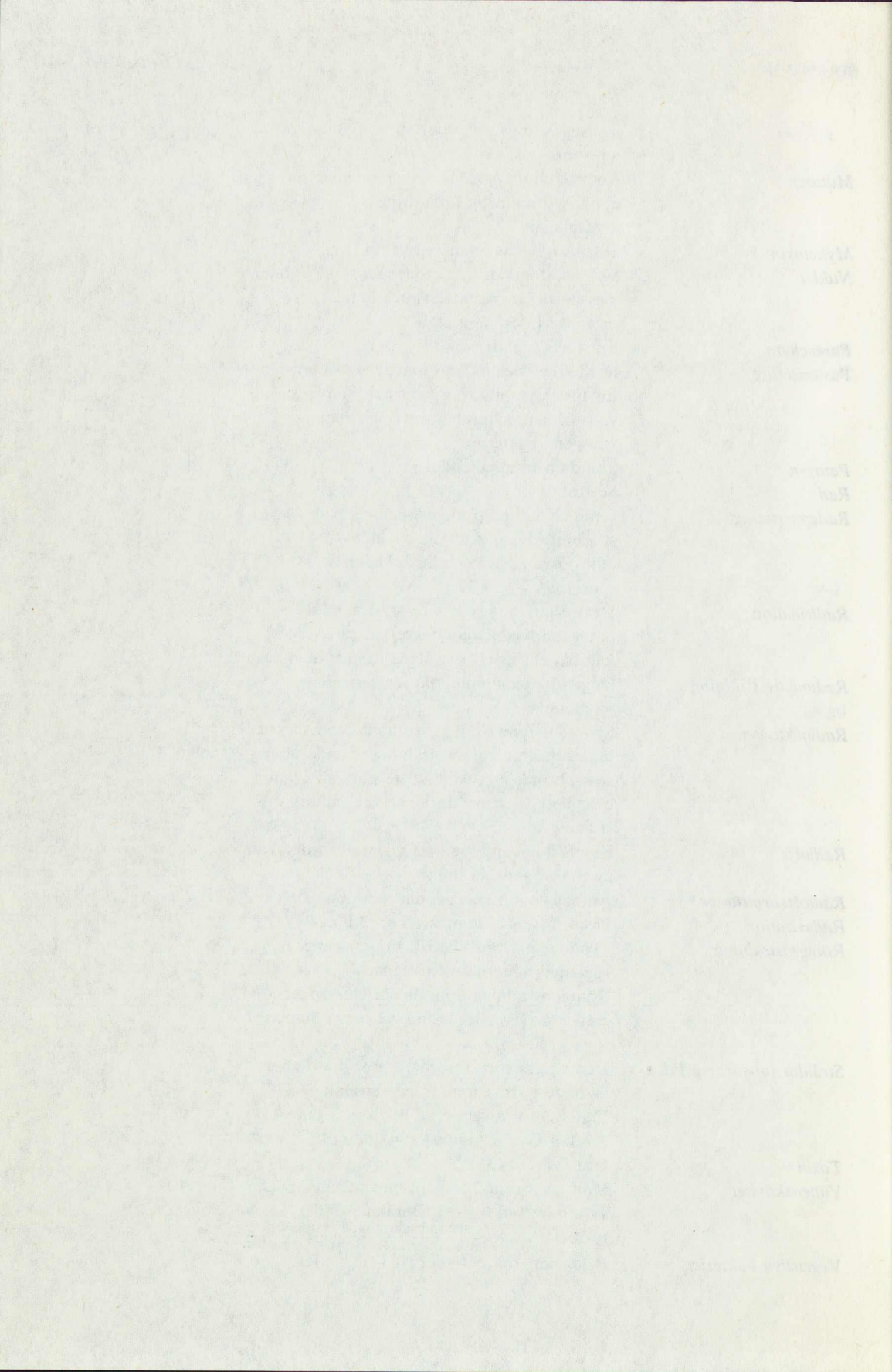
LD	letal dos (dödlig dos)
M	(i kap 4) en faktor vid experiment med höga doser
M	(i kap 7) Mol
M	(i kap 7) Molekylvikt
MCi	megacurie, miljoner curie
MeV	megaelektronvolt, miljoner elektronvolt
mg	milligram, tusendels gram
mGy	milligray, tusendels gray
Mn	kemiska symbolen för mangan
N	(i kap 4) antal individer i en studerad population
N	kemiska symbolen för kväve
Na	kemiska symbolen för natrium
NEA	Nuclear Energy Agency (inom OECD)
nm	nanometer = 10^{-9} m
O	kemiska symbolen för syre
OH·	hydroxylradikal
P	kemiska symbolen för fosfor
PBq	petabecquerel, 10^{15} becquerel
ppm	parts per million, miljondelar
Q	(i kap 4) konsekvensen av en skadlig händelse
S	(i kap 4) sannolikheten
S	kemiska symbolen för svavel
SFS	svensk författningssamling
SI	Système International d'Unités, internationella enhetssystemet
SPF-djur	Special pathogen free animals
W	(i kap 4) påföljden för en individ av en skadlig händelse
WHO	World Health Organization, Världshälsoorganisationen
Zn	kemiska symbolen för zink
α	alfa, t ex i alfa-strålning
β	beta, t ex i beta-strålning
γ	gamma, t ex i gamma-strålning
σ	sigma, statistiskt spridningsmått, standardavvikelse

Bilaga 4 Begreppsförklaringar

<i>Aflatoxin</i>	Gift bildat av bl a <i>Aspergillus flavus</i> .
<i>Aktivitet</i>	Antalet atomkärnor som sönderfaller per tidsenhet i en given mängd radioaktivt material. Enheten för aktivitet kallas becquerel (Bq). 1 Bq = ett sönderfall per sekund. 1 Curie (Ci) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq.
<i>Alfapartikel</i>	Den positivt laddade atomkärnan av helium. Består av två protoner och två neutroner.
<i>Alfastrålning</i>	Alfapartiklar utsända vid radioaktivt sönderfall.
<i>Autolys</i>	Kemisk sönderdelning som orsakas av enzymer.
<i>Avogadros tal</i>	Antalet molekyler i en grammolekyl ($6,023 \cdot 10^{23}$).
<i>Becquerel</i>	Se aktivitet.
<i>Betapartikel</i>	Negativt laddad partikel (elektron) från radioaktivt sönderfall.
<i>Betastrålning</i>	Strålning bestående av betapartiklar.
<i>Blanchering</i>	Värmebehandling av exempelvis grönsaker för att förstöra vissa enzymer.
<i>Botulinumtoxin</i>	Nervgift som bildas av <i>Clostridium botulinum</i> .
<i>Cancerogena ämnen</i>	Ämnen som kan ge upphov till cancer.
<i>Cerealier</i>	Olika sädeslag, t ex majs, ris, vete, korn, råg och havre.
<i>Cesium-137</i>	Radioaktivt ämne som bildas vid kärnklyvningsprocessen i kärnreaktorer och kan erhållas ur utbränt kärnbränsle.
<i>Curie</i>	Se aktivitet.
<i>Elektromagnetisk strålning</i>	Strålning bestående av en elektromagnetisk fältvåg forplantad med ljusets hastighet. Omfattar bl a radiovågor, värme-strålning, synligt ljus, röntgenstrålning och gammastrålning.
<i>Elektronstrålning</i>	Produceras i sk acceleratorer. Elektronstrålar med energier i intervallet 0,2–10 MeV har teknisk användning. Den

	undre gränsen sätts av praktiska skäl, den övre för att förhindra uppkomst av inducerad radioaktivitet i det bestrålade livsmedlet.
<i>Elektronvolt, eV</i>	Energienhet. $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19}$ joule. 1 MeV (megaelektronvolt) = 1 milj elektronvolt.
<i>Enzym</i>	Ämne som påverkar kemiska reaktioner utan att självt förändras.
<i>Essentiell</i>	Kroppen kan inte själv tillverka ämnet, utan detta måste tillföras i färdigbildad form med födan.
<i>Foton</i>	Energikvantum av elektromagnetisk strålning.
<i>Fria radikaler</i>	Molekyler eller atomer med oparade elektroner. Fria radikaler är ytterligt reaktiva och engageras lätt i kemisk bindning med varandra eller med andra atomer eller molekyler.
<i>Gammastrålning</i>	Elektromagnetisk strålning som utsänds vid sönderfall av radioaktiva ämnen.
<i>Gram-negativ</i>	Indelning av bakterier efter deras förmåga att färgas enl Gram-metoden.
<i>Gram-positiv</i>	
<i>Gray</i>	
<i>Icke-joniserande (foton-) strålning</i>	Se stråldos.
<i>Isomer</i>	Elektromagnetisk strålning med en våglängd överstigande 10^{-8} m. Hit hör ultraviolet strålning, synligt ljus, infraröd strålning, mikro- och radiovågor.
<i>Joniserande strålning</i>	Exciterat tillstånd av en radionuklid.
	Strålning i form av partiklar eller elektromagnetiska "vågpaket" (fotoner) med sådan energi att de kan orsaka jonisation, dvs slå ut elektroner från atomer eller molekyler och därmed orsaka kemiska förändringar i bestrålat material. Energin hos strålningen anges i elektronvolt.
	Joniserande strålning för praktiskt bruk erhålls dels från radioaktiva ämnen, dels genom att accelerera laddade partiklar i elektriska fält. För acceleration av elektroner används linjära eller cirkulära accelerators. De radioaktiva ämnena framställs på konstlad väg i kärnreaktorer.
<i>Kobolt-60</i>	Radioaktivt ämne som framställs i kärnreaktorer genom infångning av överskottsneutroner i kobolt.
<i>Kommersiell sterilitet</i>	Hållbarhetsbehandling som syftar till att förstöra alla patogena mikroorganismer och deras sporer samt de under normala

	lagringsbetingelser produktförstörande mikroorganismerna.
<i>Mutagen</i>	Kemisk eller fysikalisk påverkan som ger upphov till plötslig förändring av arvsanlagen.
<i>Mykotoxin</i>	Gift som bildas av mögelsvamp.
<i>Nuklid</i>	Slag av atomkärna, karakteriserad av antalet masspartiklar (masstalet) och antalet protoner (atomnumret).
<i>Parenchym</i>	En storts grundvävnad i växter.
<i>Pastörisering</i>	Hållbarhetsbehandling som syftar till att förstöra vissa mikroorganismer, vanligen vissa förskämningebakterier och/eller patogena bakterier.
<i>Patogen</i>	Sjukdomsframkallande.
<i>Rad</i>	Se stråldos.
<i>Radappertizing</i>	Strålbehandling som ger kommersiell sterilitet; dvs slår ut alla levande mikroorganismer och huvuddelen av sporererna.
<i>Radicidation</i>	Strålbehandling som reducerar antalet patogena, vegetativa bakterier, så att de ej kan påvisas i det bestrålade livsmedlet.
<i>Radioaktiv strålning</i>	Oegentlig benämning på joniserande strålning.
<i>Radioaktivitet</i>	Spontant sönderfall av instabila atomkärnor under utsändning av strålning. Den strålning som utsänds kan vara av tre slag: alfa (α)- eller beta (β)-partiklar och/eller gamma (γ)-strålar.
<i>Radiolys</i>	Kemisk omvandling i ett material förorsakad av joniserande strålning.
<i>Radiolysprodukter</i>	Ämnen som bildas genom radiolys.
<i>Radurization</i>	Pastörisering genom strålbehandling.
<i>Röntgenstrålning</i>	Typ av elektromagnetisk strålning med våglängd mindre än ca 10 nm. Röntgenstrålning uppstår när elektroner med stor hastighet bromsas i tunga ämnen (t ex wolfram).
<i>Stråldos (absorberad dos)</i>	Den energi som absorberas per massenhet av materia från joniserande strålning. Enheten för absorberad dos kallas gray (Gy). 1 Gy = 1 joule/kg = 100 rad.
<i>Toxin</i>	Gift.
<i>Vattenaktivitet</i>	Mått på för mikroorganismer tillgängligt vatten i ett livsmedel. Beräknas enligt formeln: $a_w = \frac{\text{ångtrycket över livsmedel}}{\text{ångtrycket över destillerat vatten}}$
<i>Vegetativa bakterier</i>	Bakterier som befinner sig i tillväxtfas.



Bilaga 5 Sakordsregister

- Acceleratorer 20, 21, 22, 23, 101
 Acetaldehyd 86
 Aceton 84, 86
 Achromobacter 64
 Aktivitet (av radioaktivt ämne) 21
 Alanin 80
 Aldehyder 90
 Alfastrålning 19
 Alkaner 81
 Alkener 81, 84, 89, 90
 Alkylaminer 121
 Alkyner 81
 Alternativa behandlingsmetoder 98
 Amerikas förenta stater 12, 45, 87, 99, 100, 106, 107, 111
 Ames' test 98
 Aminosyror 79, 87, 93
 Ammoniak 80
 Analys av livsmedel 46, 87
 Analystekniska kontrollmetoder 120
 Andning 60
 Animaliska livsmedel 52, 54, 55
 Ansvarig föreståndare 122
 Användningsområden 57
 Apelsiner 96
 Arbetskydd 21, 100
 Arbetsmiljö 98
 Aromatiska kolväten 84
 Askorbinsyra 95
 Aspergillus flavus 66
 Atomkärnor 30
 Atomnummer 30
 Avdödning av parasiter 64
 Avfall 101
- Bacon 12, 64, 111
 Bakteriell påverkan 52, 62
 Bakterier 62
 Bakterier, nyttiga 76
 Bakterier, sporer 63, 75
 Bananer 65
 Bandmask 64
 Barium - 135 m 34
 Becquerel 21
 Begreppsförklaringar 139
- Belgien 107
 Bensen 47, 86, 89, 90
 Bestrålningsanläggningar 20, 21, 22, 24, 100, 107
 Bestämmelser 105
 Betakaroten 96
 Betastrålning 19, 26
 Betatroner 22
 Binnikemask 64
 Biokemiska förändringar 54, 120
 Biologisk strålverkan 27
 Blanchering 54, 96
 Blåmögel 65
 Blötdjur 64
 Botrytis cinera 65
 Brunröta 65
 Butan 83, 85, 86
 Butanon 84
 Buten 83
 Bär 65, 114
- Cancerrisker 28, 37, 44, 89, 96, 97
 Cerealier 65, 95
 Cesium-137 17, 19, 20, 21
 Champinjoner 65
 Citrusfrukter 13, 65, 99
 Clostridier 63
 Clostridium botulinum 29, 53, 63, 64, 65, 74, 75, 76, 99
 Clostridium perfringens 63
 Codex Alimentarius Commission 13, 108, 109, 131
 Corynebacterium 75
 Curie 21
 C-vitamin 95
 Cystein 80
- D₁₀, D₁₀₀, etc 28, 62
 Danmark 109
 Decimeringstid 62
 Dehydroaskorbinsyra 96
 Dekan 85, 88
 Delaney-klausulen 44
 DES 45
 Dietylstilbestrol 45

- Dimetylbuten 88
 Dimetyldisulfid 86
 Dimetylsulfid 86
 Djupdosfördelning 23
 Djurförsök 41, 44, 76, 111
 DNA 27
 DNA-förändringar 120
 Dosbegreppet 38
 Dosberoende 82
 Dos-effektsamband 38
 Dosenheter 27
 Dosgränser 13, 109, 131, 132
 Dosmätningar 122, 134
 Dos-responssamband 27, 38
 Druvsocker 78, 79
 Dynt 64
 Dödsolyckor 21, 100

 Effektivitetsfaktor 118
 Elektromagnetisk strålning 18, 22
 Elektronaccelerator 22, 23
 Elektroner 26
 Elektronstrålning 18, 19, 23, 24, 26
 Elektronugnar 19
 Elektronvolt 18, 19, 22
 Energigränser 31, 131
 Enzymer 54
 Epidemiologiska undersökningar 41, 43, 45, 98
 Epoxider 47, 89
 Essentiella aminosyror 93
 Essentiella fettsyror 94
 Estrar 81
 Etan 81, 85
 Etanol 84
 Etendibromid (Etyldibromid) 13, 88, 99
 Etengas 61, 98
 Etenklorhydrin 98
 Etenoxid 11, 92, 98, 108
 Etylen 81
 Excitation 26
 Exciterade tillstånd 31

 FAO 12, 108, 109, 111, 128
 Fenol 91
 Fenylalanin 80
 Fetter 81, 94
 Fettspjälkande bakterier 52
 Fettsyror 94
 Finland 110
 Fisk 64, 86, 110
 Fiskmjöl 66
 Fjäderfäoder 66
 Fleromättade fettsyror 94
 Fodermedel 66, 110, 129
 Food and Drug Administration (USA) 12, 45, 87, 93, 111
 Formaldehyd 90
 Forskning 12, 13, 121
 Fosfatider 82

 Fotoner 18, 29
 Fotonukleära reaktioner 29
 Frankrike 106
 Fria radikaler 26, 77
 Frukt 65, 107, 113, 114
 Frukters livscykel 60
 Fruktfluga 65, 99
 Frysning 54, 95
 Frö mivel 65
 Fysiskaliska förändringar 55
 Färdlagad mat 66
 Förekomst 105
 Förkortningsförklaring 137
 Förpackningsmaterial 92
 Förrottnelsebakterier 53
 Förskämningbakterier 52
 Försvarets forskningsanstalt 120

 Gammaster 13, 25
 Gammastrålning 18, 20
 Gaskromatografi 82
 Genetiska förändringar av bakterier 73
 Genetiska skador 27
 Genomträngningsförmåga 19, 23
 Gifter från bakterier 53, 62, 73, 76
 Gifter från mögelsvamp 53, 55, 63
 Glasförpackningar 92
 Glukos 78
 Glukuronsyra 78
 Glyoxal 90
 Gram-negativa bakterier 63, 75
 Gram-positiva bakterier 63, 75
 Grapefrukt 99
 Gray 15
 Grillning 88
 Griskött 64, 85
 Grodlår 106, 107, 113
 Groningshämmning 28, 58, 59, 65, 100, 111, 114
 Grönmögel 65
 Grönsaker 65, 99
 Gulsotsvirus 62
 Gustaf Werners institut 120
 G-värde 77

 Halveringstid 21
 Hampfrö 67
 Havregryn 94
 Helinos AB 125
 Heptadekan 83, 84, 85
 Heptadeken 83, 85
 Heptan 83, 85
 Hepten 83, 85
 Hexadekadien 83, 85
 Hexadeken 83, 85
 Hexan 85
 Histidin 80
 Historik 11
 Hummer 110
 Hydroxylradikal 27, 78
 Hygienkontroll 122

- Härskning 52
 Högdos-bestrålning 58
- IAEA 12, 109, 111, 128
 Icke-stokastiska skador 38
 Identifiering 108, 119
 IFFIT 113
 IFIP 11, 114, 125
 Import 108, 121
 Importkontroll 121
 Indien 112
 Indirekt toxicitet 91
 Indium-115 m 34
 Inducerad aktivitet 19, 31, 72
 Insektsbekämpning 29, 58, 61, 65, 99
 Internationella rekommendationer 108, 128
 Internationellt arbete 12, 108
 Island 110
 Isomerer 31, 33
 Israel 106, 112
 ITAL 113
 Italien 107
- Japan 105, 112, 120
 JECFI 11, 12, 13, 88, 91, 104, 131
 Jonisation 26
 Joniserande strålning 15, 16, 18
 Jordbruksutskottets betänkande 9, 129
 Jordgubbar 49, 65, 106, 114
 Jästsvampar 53, 63
- Kalium-40 20, 32, 34
 Karbonylföreningar 90, 121
 Karlsruhe 12, 114, 125
 Karotener 96
 Kemiska förändringar 55, 76
 Kemisk behandling 13, 98, 101
 Ketoner 82
 Klimakteriefasen 60
 Klimakteriefrukter 60
 Klorretanol 99, 108
 Klorprofam 100
 Klyvningsprodukter 20
 Kobalamin 95
 Kobolt-60 11, 15, 20, 21, 22, 25, 30, 35, 100, 101, 113
 Kokning 85, 95, 96
 Kol-11 31
 Kol-14 20, 34
 Koldioxid 81, 86
 Koldioxidbehandling 60, 65, 95
 Kolhydrater 78, 94
 Kolhydratnedbrytande bakterier 52
 Kommersiell användning 105, 107
 Kommersiell sterilisering 58
 Kommitténs arbete 125
 Kommitténs direktiv 127
 Konfidens 42
 Konsekvensbegreppet 39
 Kontrollmetoder 24, 58, 108, 119
- Kostnader 117
 Kryddor 13, 49, 66, 92, 98, 106, 108, 111, 113, 114, 128
 Kväve-13 31
 Kvävgasatmosfär 95, 97
 Kyckling 85, 105, 106, 112, 113, 114
 Kylförvaring 52, 53, 54, 65, 76
 Kärnreaktioner 29
 Kärnreaktorer 20
 Kärnvapen 16
 Kött 64, 83, 85, 89, 91
- Lactobaciller 64, 75
 Lactobacteriaceae 64
 Lagring 94, 96, 97
 LD₅₀ 28, 29
 Lecitin 82
 Letaldos 28
 Leukemi 89
 Lever 95, 96
 Linjäraccelerator 22
 Linolensyra 94
 Linolsyra 94
 Livsmedelsförpackningar 92
 Livsmedelsförstörande processer 52
 Livsmedelskungörelsen 107, 108, 128
 Livsmedelslagen 107, 127
 Livsmedelstillsetser 88
 Livsmedelsverket 13, 108, 120, 125, 128
 Lysin 80
 Lågdos-bestrålning 58
 Lök 59, 65, 105, 106, 107, 112, 113, 114
- Mango 65, 106, 114
 Margarin 94, 96
 Marknadstester 113, 114
 Masstalet 30
 Matförgiftning 75
 Matförgiftningsbakterier 55
 Matlagning 97
 Medium-dosbestrålning 58
 Mejeriprodukter 66
 Metan 81, 85, 86
 Metastabila tillstånd 31, 33
 Metionin 80, 93
 Metylbromid 98, 99
 Metylmerkaptan 86
 Mikrobiologiska förändringar 52
 Mikrokocker 75
 Mikrovägsugnar 19, 88
 Militära ändamål 12, 111
 Miljöförorenningar 88
 Miljöpåverkan 101
 Mineralämnen 97
 Missfärgning av potatis 65, 100
 Mjöl 65, 95
 Mjölk 66
 Mjölksyrabakterier 76
 Mognadsfördröjning 58, 60, 65
 Mognadsprocessen 60

- Mognadspåskyndande 60, 65
 Morötter 96
 Mul- och klövsjukevirus 62, 63
 Mutagena ämnen 46
 Mutagenrisker 27, 73, 89
 Mykotoxiner 53, 55, 63, 66
 Märkning 108, 109, 122, 130
 Mögelsvampar 53, 55, 62, 63, 65, 66, 75
- Natrium-22 30, 32, 33
 Natrium-23 30, 32
 Natrium-24 31
 Naturlig bakgrundsstrålning 28, 91
 Naturligt radioaktiva ämnen 20
 NEA 12
 Nederländerna 25, 106, 107, 113, 125
 Neutroner 30
 Neutronstrålning 33
 Nitrit 98, 99
 Nitrosaminer 99
 Nivåvakt (fyllnadskontr) 24, 58
 Njure 95
 Nollresultat 42
 Nonan 85, 88
 Norge 21, 100, 108, 110
 Nukleinsyror 86
 Näringsvärdesförändringar 67, 93
 Nötkreatursfoder 66
 Nötkött 32, 33, 64, 95
 Nötter 95
- OECD/NEA 12
 OH-radikal 26, 27, 77
 Oktan 81, 83, 85, 86, 88
 Olyckor 21, 100
 Ost 53, 66, 96
 Oxkött 84, 85, 90
 Önskad påverkan på mikroorganismer 73
- Papaya 58, 65, 96, 106, 114
 Pappersförpackningar 92
 Paranötter 35
 Parasitavdödning 58, 64
 Partikelstrålning 19
 Pastörisering 63
 Patogena bakterier 55, 58, 62, 74, 75
 Patogenitetsförändringar 73
 Penicillium italicum 63, 65
 Penicillium digitalum 63, 65
 Pentadekan 82, 83, 84, 85, 88
 Phytophthora 65
 Plastförpackningar 92, 93
 Poisson-fördelning 40, 41
 Poliovirus 62
 Potatis 13, 58, 59, 62, 65, 96, 100, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 129
 Processkontroll 119, 122
 Produktkontrollnämnden 100, 125
 Promotorintressen 12, 17
 Propan 81, 83, 85
- Propanol 84
 Propylbensen 88
 Proteiner 79, 87, 93
 Proteolys 54
 Protoner 30
 Protopektinas 61
 Pseudomonas 63, 64, 75
 Pältdjursfoder 110
- Rad 27
 Radappertizing 28, 58
 Radicidation 58
 Radikal 26, 77, 121
 Radioaktiva livsmedel 17, 29
 Radioaktiva ämnen 12, 16, 20, 122
 Radioaktivitet 12, 16, 17, 18, 29
 Radioaktiv kobolt 18
 Radioaktiv strålning 18
 Radiolys 78
 Radiolysens dosberoende 82
 Radiolysprodukter 77, 121
 Radium 16, 17, 20, 21, 34
 Radurization 28, 58
 Reaktions sannolikhet 30
 Reduktion av mikroorganismer 58, 62
 Reduktionsfaktor 29
 Referenslivsmedel 78
 Regler 105
 Retinol 96
 Rhizopus 65
 Riksdagsmotioner 128
 Ris 94, 97
 Risk 39
 Riskbedömning 47
 Riskbegreppet 37
 Risker med alternativa metoder 98
 Riskjämförelser 45
 Riskuppskattning 91
 Riskvärdering 47
 Rotebro 26
 Rotfrukter 53, 58, 65
 Råkor 105, 106, 110, 113
 Rökning 64
 Röntgenapparat 22
 Röntgen genomlysning 24, 58
 Röntgenstrålning 18, 19, 24, 26
- Saccaromyces 63
 Salmonella 49, 55, 58, 62, 63, 64, 68, 75, 108
 Saltning 52, 64
 Saluföring 107, 108
 Sannolikhet 38
 Selektiv påverkan 74, 75
 Serin 80
 Shigella 55
 Sill 95
 SI-systemet 22
 Sjukdomsalstrande bakterier 55
 Sjukhuskost 66, 114
 Skadeinsekter 28, 57, 58, 61, 65, 66, 99

- Skaldjur 64, 75, 76
 Skinka 32, 33, 64, 85, 99
 Skämda livsmedel 52
 Skärhamn 26, 125
 Slumpens lagar 40
 Smakförändringar 52, 55, 62, 64, 66
 Smör 96
 Sockerlösningar 79
 Sovjetunionen 106, 113
 Spanien 106
 Spannmål 58, 97, 99
 Spolmask 64
 Sporer 29, 53, 58, 59, 62, 63, 75, 99
 Spårämnen 97
 Stafylokocker 55, 63, 76
 Standardavvikelse 41
 Statens levnedsmedelsinstitut 109, 110, 125
 Statens livsmedelsverk 98, 107, 108, 120, 121, 125, 128
 Statistisk osäkerhet 41
 Statistisk styrka 43
 Stekning 91, 95
 Sterilisering av livsmedel 58, 64, 67
 Sterilisering av instrument 21
 Stokastiska skador 38
 Stora molekyler 90
 Storbritannien 114
 Streptokocker 63
 Strontium-90 17, 20, 21
 Stråldos 27, 58, 62, 63, 117, 122
 Strålkonservering 59
 Strålkänslighet 29, 61, 75
 Strålningsarbete 28, 100
 Strålningsbiologiska institutionen, Stockholms universitet 121
 Strålningsunika radiolysprodukter 88, 91
 Strålpastörisering 28, 59, 63
 Strålresistenta bakterier 73, 74
 Strålskyddsföreskrifter 101, 122
 Strålskyddsinstitutet 17, 24, 29, 101, 122, 128
 Strålskyddskontroll 122
 Strålskyddslagen 122, 128
 Strålsteriliserad mat 66
 Strålsterilisering 12, 28, 29, 59, 63, 66, 111
 Strålverkningar 26
 Strömning 95
 Styrelsen för teknisk utveckling 125, 128
 Stärkelse 79, 94
 Subjektiv risk 47, 48
 Svamp (matsvamp) 66, 106, 113, 114
 Svartpeppar 98, 108
 Svavelväte 86
 Svenska livsmedelsinstitutet 125
 Sverige 9, 13, 24, 68, 98, 99, 100, 107, 108, 121, 127, 128
 Sveriges lantbruksuniversitet 24, 128
 Svinfoder 66
 Sydafrika 106, 114
 Sydfrukter 65, 99
 Symbolförklaringar 137
 Synkrotron 22
 Syre-15 31
 Sällsynta händelser 42
 Teknisk bakgrund 15
 Temperaturförhöjning 28, 59
 Tetradeken 81, 82, 83, 84, 85
 Tiamin 94, 95
 Tillstånd 101, 105
 Tjeckoslovakien 106
 Toluén 86
 Tomater 60, 96
 Tonfisk 95
 Torkning 52, 53
 Torsk 79, 86
 Toxicitet 87, 98
 Toxiner 62, 73, 75, 76, 99
 Transpiration 60
 Treonin 80
 Triglycerider 81
 Trikinlarver 64
 Tripalmitin 82
 Tropiska frukter 65, 99
 Tröskelvärde 27, 38
 Tumörbehandling 16, 28
 Tyndalisering 59
 Tyrosin 59
 Tyskland (Förbundsrepubliken) 114, 125
 Udda substanser 86
 U-landsfrågan 93, 115
 Undantagsnivå 24
 Undekan 88
 Undeken 88
 Undersökningsmetoder 108, 119
 Ungern 106, 107, 114
 Unika radiolysprodukter 87, 89
 USA se Amerikas förenta stater
 Utredningens etapp 2 129
 Varningsbakterier 73, 75
 Vattenaktivitet 52
 Vattenradiolys 27, 77
 Vegetabiliska livsmedel 12, 53, 54, 55, 60, 61
 Vegetabiliska oljor 94
 Virus 29, 58, 62, 63
 Vitamin A 96
 Vitamin B₁ 94, 95, 97
 Vitamin B₁₂ 95
 Vitamin C 95, 96
 Vitamin E 97
 Vitaminer 94
 Vitlök 105, 106, 112, 114
 Väntevärde 39, 41, 48
 Värdering av fördelar 49
 Värmebehandling 53, 54, 55, 59, 75, 76, 86, 95, 121
 Värmeconservering 62, 66
 Vätejon 27
 Vätgas 81, 86

Växtoljor 97

Wallenberglaboratoriet 94

WHO 12, 108, 109, 111, 128

Yrkesrisker 98, 99, 100, 101

Yttre miljön 101

Ägg 95, 96

Äggvitenedbrytande bakterier 52

Äpplen 60, 65, 96

Ärftliga skador 27, 28

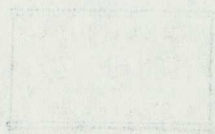
Statens offentliga utredningar 1983

Kronologisk förteckning

1. Fristående skolor för inte längre skolpliktiga elever. U.
 2. Nytt militärt ansvarssystem. Ju.
 3. Skatteregler om traktamenten m. m. Fi.
 4. Om hälften vore kvinnor. A.
 5. Koncession för försäkringsrörelse. Fi.
 6. Radon i bostäder. Jo.
 7. Ersättning för miljöskador. Ju.
 8. Stämpelskatt. Fi.
 9. Lagstiftningen på kärnenergiområdet. I.
 10. Användning av växtnäring. Jo.
 11. Bekämpning av växtskadegörare och ogräs. Jo.
 12. Former för upphandling av försvarsmateriel. Fö.
 13. Att möta ubåtshotet. Fö.
 14. Barn kostar. S.
 15. Kommunalforskning i Sverige. C.
 16. Sysselsättningsstrukturen i internationella företag. I.
 17. Näringspolitiska effekter av internationella investeringar. I.
 18. Lag mot etnisk diskriminering i arbetslivet. A.
 19. Den stora omställningen. I.
 20. Bättre miljöskydd II. Jo.
 21. Vilt och jakt. Jo.
 22. Utbildning för arbetslivet. A.
 23. Lag om skatteansvar. Fi.
 24. Ny konkurslag. Ju.
 25. Internationella faderskapsfrågor. Ju.
 26. Bestrålning av livsmedel. Jo.
-

Kinologisk forskning

1. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utbildningen	1
2. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för yrkesutövningen	2
3. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av yrket	3
4. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av utbildningsväsendet	4
5. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av samhället	5
6. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av vetenskapen	6
7. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av tekniken	7
8. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av kulturen	8
9. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av ekonomin	9
10. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av miljöns förhållanden	10
11. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans hälsa	11
12. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans liv	12
13. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans själ	13
14. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans samfund	14
15. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans värld	15
16. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans framtid	16
17. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans ödes	17
18. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans ära	18
19. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans ära	19
20. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans ära	20
21. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans ära	21
22. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans ära	22
23. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans ära	23
24. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans ära	24
25. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans ära	25
26. Kinologiska forskningsrådets utvärdering av forskningens betydelse för utvecklingen av människans ära	26



Statens offentliga utredningar 1983

Systematisk förteckning

Justitiedepartementet

Nytt militärt ansvarssystem. [2]
Ersättning för miljöskador. [7]
Ny konkurslag. [24]
Internationella faderskapsfrågor. [25]

Försvarsdepartementet

Former för upphandling av försvarsmateriel. [12]
Att möta ubåtshotet. [13]

Socialdepartementet

Barn kostar. [14]

Finansdepartementet

Skatteregler om traktamenten m. m. [3]
Koncession för försäkringsrörelse. [5]
Stämpelskatt. [8]
Lag om skatteansvar. [23]

Utbildningsdepartementet

Fristående skolor för inte längre skolpliktiga elever. [1]

Jordbruksdepartementet

Radon i bostäder. [6]
Utredningen om användningen av kemiska medel i jord och skogsbruket m. m. 1. Användning av växtnäring. [10] 2. Bekämpning av växtskadegörare och ogräs. [11]
Bättre miljöskydd II. [20]
Vilt och jakt. [21]
Bestrålning av livsmedel. [26]

Arbetsmarknadsdepartementet

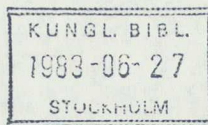
Om hälften vore kvinnor. [4]
Lag mot etnisk diskriminering i arbetslivet. [18]
Utbildning för arbetslivet. [22]

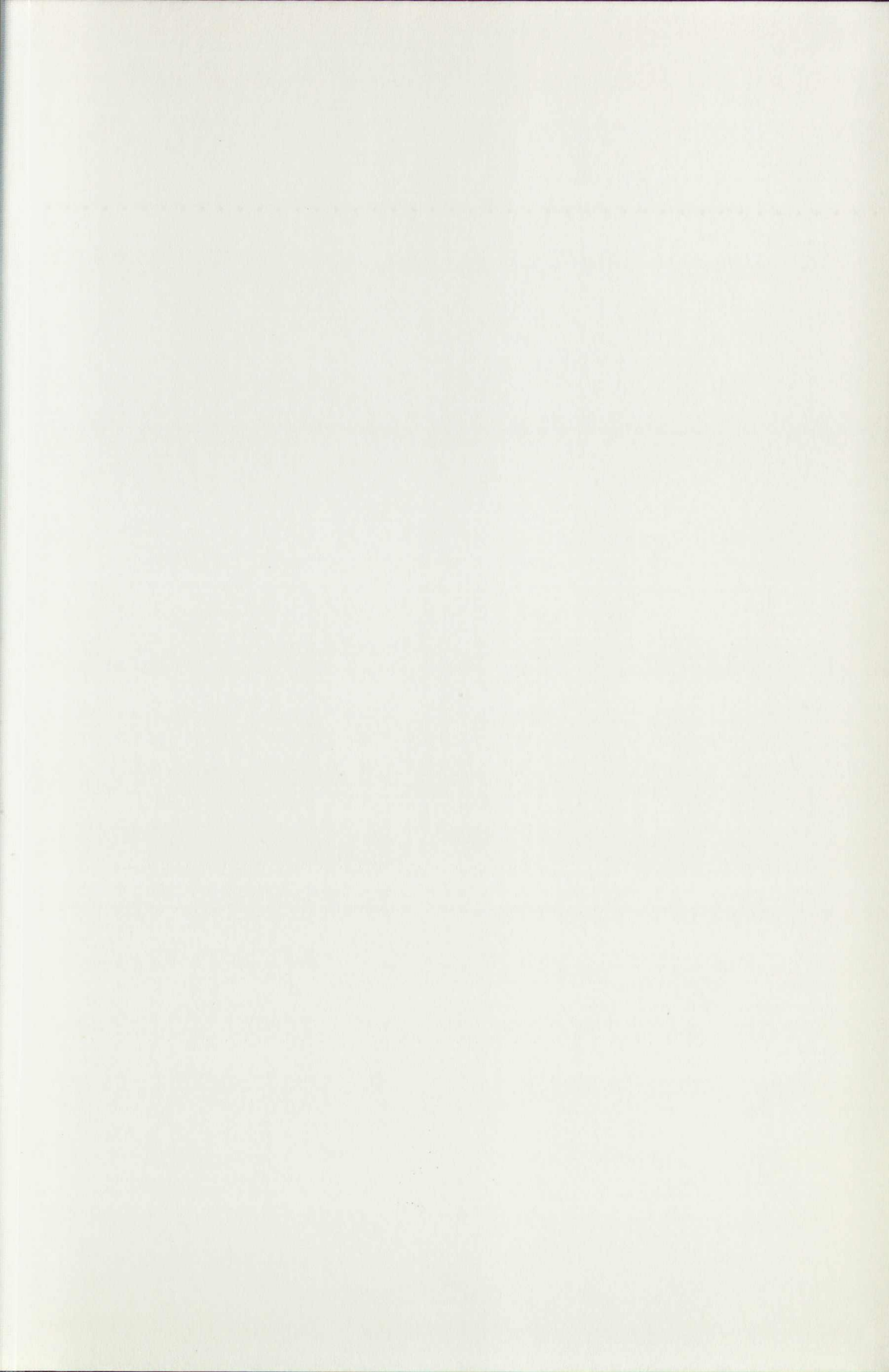
Industridepartementet

Lagstiftningen på kärnenergiområdet. [9]
Direktinvesteringskommittén. 1. Sysselsättningsstrukturen i internationella företag. [16] 2. Näringspolitiska effekter av internationella investeringar. [17]
Den stora omställningen. [19]

Civildepartementet

Kommunalforskning i Sverige. [15]





 **Liber**
AB Allmänna Förlaget

ISBN 91-38-07573-3
ISSN 0375-250X