

RADIOAKTIEWE UITSTRALINGS EN HULLE BETREKKING OP DIE BESTAANSVOORWAARDES VAN DIERE*

Die vorm en funksie van enige lewende organisme is enersyds 'n manifestasie van oorerflike intrinsieke faktore wat inherent kenmerkend van sy samestelling is en andersyds 'n uitdrukking van die invloed van ekstrinsieke faktore wat aan die werking van omgewingstoestande toegeskryf moet word. Aangesien erflike en omgewingsfaktore in gedurige wisselwerking met mekaar verkeer, is die lewe eintlik 'n uitdrukking van 'n voortdurend variërende ewewig tussen hierdie twee kragte. Biologiese navorsing is dus nie beperk tot die ondersoek van slegs die morfologiese en funksionele aspekte van die organisme nie, maar dit trag ook om die probleme van die ingewikkelde verhoudings tussen die organismes en hulle fisiese omgewing en die onderlinge verhoudings tussen plant, dier en mens te probeer ontrafel.

Moderne ekologie ontleed die omgewingsinvloede tot in hulle eenvoudigste eenhede en bepaal die waarde van elkeen, nie slegs kwalitatief nie, maar ook kwantitatief. Dit bring onvermydelik mee dat die diere-koloog ook die sfeer van die plantkunde, die skeikunde, die fisika, die statistiek, die geologie, die meteorologie, die hidrografie, die bodemkunde en nog ander natuurwetenskappe self moet binnegaan of hulp van sodanige dissiplines moet ontvang. Hierdie uitvoerige analise is nie beperk tot slegs die omgewing nie, maar dit word uitgebrei tot 'n studie van die reaksies van die organismes op variasies in die omgewingstoestande. Die waarde van sodanige reaksies moet weereens met behulp van noukeurige kwalitatiewe en kwantitatiewe fisiese en chemiese ondersoeke vasgestel word.

Een van die afdelings van die moderne ekologie waar die ekoloog homself onmiddellik op die gebied van die fisikus bevind, is radio-ekologie. Die snelle ontwikkeling van atoomenergie vir militêre en vredes-tydse gebruik en die verspreiding van potensieel gevaarlike radioaktiewe stowwe in die omringende omgewing, het hierdie vakgebied van primêre belang gemaak. Radio-ekologie is 'n studie van die invloed van uitstraling op individue, bevolkings, gemeenskappe en ekosistels sowel as 'n ondersoek na die lot van radioaktiewe stowwe wat in die omgewing

* Inouguere Rede gelewer by die aanvaarding van 'n professoraat in Dierkunde aan die Potchefstroomse Universiteit vir C.H.O., deur dr. P. A. J. Ryke, op Vrydag 5 April 1963.

vrygelaat word, en die wyses waarop die ekologiese gemeenskappe en bevolkings die verspreiding van radioaktiwiteit beheer.

Dit is vir die mens van hierdie atoomere uifers noodsaaklik om kennis te dra van die uitwerking wat bv. radioaktiewe stronsium en jodium na atombomontploffings op die biologiese wêreld het. Van nog meer aktuele belang is die invloed en lot van radioaktiewe stowwe wat in gronde en natuurlike waters as atoomafval neergelê word. Baie organismes neem hierdie stowwe op en konsentreer dit in hulle weefsels, 'n toestand wat, as die konsentrasie hoog is, verskillende biologies belangrike gebeurtenisse, soos die induksie van mutasies, kankers en selfs die dood, tot gevolg kan hê. Maar ook die invloed van selfs die heel verdunde hoeveelhede radioaktiewe stof wat tans in baie omgewings voorkom, is nog feitlik onbekend. Die omstandigheid dat die bioloog ook van hierdie radioaktiewe stowwe gebruik kan maak om tot nou toe ontoeganklike geheime-nisse van die lewensprosesse en lewensaktiwiteite van organismes te kan ontrafel, gee aan die radio-ekologie 'n status en belangrikheid waarvan elke bioloog in die besonder, maar ook alle natuurwetenskaplikes in die algemeen, kennis moet dra.

EKOLOGIES BELANGRIKE KERNFISIIESE BEGRIPPE

Ioniserende uitstralings

Uitstralings soos lig, wat gewoonlik deur organismes vir hulle voordeel gebruik word, dra relatief klein hoeveelhede energie en doen baie min of glad geen skade aan die organismes wat dit absorbeer nie. In teenstelling met hierdie onskadelike uitstralings is daar ander wat die vermoë besit om elektrone vanuit atome te verwyder en hulle aan ander atome te koppel, sodat positiewe en negatiewe ionpare geproduseer word. Dit word algemeen aanvaar dat ionisering die hooforsaak van protoplasma-beskadiging is en dat die mate waarin sodanige ioniserende uitstralings skade aanrig, in direkte verhouding is tot die aantal ionpare wat in die absorberende stof gevorm word. Twee van die drie ioniserende uitstralings wat van primêre ekologiese belang is, is korpuskulêr (alfa en beta) terwyl een elektromagneties is (gammautstraling en die verwante X-strale). Al drie tipes uitstraling word vanuit radioaktiewe stowwe op die aarde uitgestuur of vanuit die buitenste ruimte ontvang.

Korpuskulêre uitstraling bestaan uit strome atoom- of subatoomdeeltjies wat hulle energie oordra op enigiets waarteen hulle stuit. Omdat hulle 'n bepaalde massa besit, beweeg die deeltjies net 'n kort afstand deur die lug of stof, maar waar hulle gestuit word, vind 'n groot mate van lokale ionisering plaas. Die relatief groot alfadeeltjies is dele van heliumatome wat slegs 'n paar sentimeters in lug beweeg en maklik gestuit word

deur 'n dun papier of die dooie lae van die vel van mens of dier. Beta-deeltjies, wat baie kleiner is, is elektrone wat teen 'n hoë snelheid beweeg en die vermoë besit om 'n aantal voet in lug te beweeg of 'n paar sentimeters in weefsel in te dring.

Ioniserende elektromagnetiese uitstralings, aan die ander kant, is soos lig, maar net van baie korter golflengte. Hulle beweeg oor groot afstande, dring stowwe geredelik binne en versprei hulle energie oor lang en verskeie roetes. Gammastrale dring biologiese materiaal maklik binne en 'n bepaalde „straal” kan of regdeur 'n organisme gaan sonder om enige uitwerking te hê of dit kan ionisering langs 'n lang roete voortbring. Die eintlike effek hang grootliks af van die aantal en energie van die strale en die afstand wat die organisme hom van die uitstralingsbron bevind, want intensiteit neem eksponensieel met afstand af.

Die alfa, beta, gamma-reeks neem dus toe in indringingsvermoë, maar daar is weer 'n afname in konsentrasie van ionisering en lokale beskadiging. Bioloë klassifiseer dus radioaktiewe stowwe wat alfa- of betadeeltjies uitstuur dikwels as „interne senders”, omdat hulle effek waarskynlik die grootste sal wees wanneer hulle of geabsorbeer, geëngesteer of op een of ander manier inwendig neergelê word, of wanneer hulle op die maklik deurdringbare oppervlak van klein „onbeskutte” diere soos mikroorganismes te lande kom. Aan die ander kant word radioaktiewe stowwe wat primêr gamma-uitsenders is „eksterne senders” genoem, aangesien hulle indringend is en effekte kan voortbring sonder dat hulle in die inwendige dele van die organismes ingeneem hoef te word. Die effek van gamma-uitstraling van binne of beta van buite-af, kan egter nie in radiobiologiese ondersoeke buite rekening gelaat word nie.

Radio-isotope

Die indringingsvermoë van uitstraling staan in direkte verband met sy energie. Die meerderheid radio-isotope wat van ekologiese belang is, het energiewaardes tussen 0.1 en 5 miljoen elektronvolts (MeV) en hoe groter die energie hoe groter is die gevaar vir biologiese materiaal wat binne trefafstand van die bepaalde tipe uitstraling is. Aan die ander kant is dit weer makliker om minimale hoeveelhede van die energierike isotope op te spoor, sodat hulle dus geriefliker as spoorvormers in biologiese navorsing gebruik kan word.

Vanuit 'n ekologiese standpunt gesien, kan radio-isotope in vier min of meer goed-afgebakende groepe ingedeel word.

(1) Natuurlik-voorkomende radio-isotope: Dit sluit in Uranium-235, Uranium-238, Radium-226, Torium-232, Kalium-40 en Koolstof-14. Die ioniserende uitstralings van hierdie natuurlike radioaktiewe stowwe in grond en water, tesame met kosmiese strale, vorm die sogenaamde „agter-

gronduitstraling" waaraan die organismes wat tans op die aarde leef, aangepas is. Dit is selfs moontlik dat die mens en die diere en plante van hierdie uitstralings afhanklik is vir die behoud van hulle genetiese plastisiteit. Omdat hierdie agtergronduitstraling heelwat verskil in verskillende dele van die biosfeer, kan dit 'n belangrike bepalende faktor in die geografiese en stratigrafiese verspreiding van organismes op die aarde wees.

(2) Radio-isotope van elemente wat noodsaaklike bestanddele van organismes is: Hierdie groep is nie slegs belangrik a.g.v. die uitstralings wat hulle voortbring nie, maar ook weens hulle gebruik as spoorvormers in ekologiese studies soos bv. gemeenskapmetabolisme. Dit sluit in Kalsium-45, Koolstof-14, Koper-64, Jodium-131, Yster-59, Tritium, Mangaan-54, Fosfor-32, Kalium-42, Natrium-22, Natrium-24, Swawel-24, Swawel-35, Sink-65, Barium-140, Broom-82, Kobalt-60, Molibdeen-99 en ander spoorelemente.

(3) Radioaktiewe neerslag en afvalstowwe: Hierdie groep isotope is belangrik in splitsingsprodukte wat die biosfeer binnekom a.g.v. radioaktiewe neerslag of deur die verwydering van atoomafval. Met uitsondering van Jodium-131 is dit elemente wat nie noodsaaklik in die metabolisme van organismes is nie. Hierdie isotope is egter die gevaarlike groep, aangesien hulle in groot hoeveelhede geproduseer word deur kernontploffings of beheerde kernoperasies wat kernkrag of ander nuttige vorme van energie voortbring. 'n Aantal van die isotope het 'n dogterisotoop wat gedurende hulle ontbinding gevorm word en wat soms selfs meer energieryk as die ouerisotoop is: Stronsium-90 en Yttrium-90, Stronsium-89, Sesium-137 en Barium-137, Sesium-134, Serium-144 en Praseodimium-144, Serium-141, Rutenium-106 en Rodium-106, Rutenium-103, Sirkonium-95 en Niobium-95, Barium-140 en Lantaan-140, Neodimium-147 en Prometium-147, Yttrium-91, Plutonium-239, Jodium-131, Uraan-235 en Uraan-238.

Hoewel die meeste van hierdie isotope nie noodsaaklike bestanddele van protoplasma is nie, gedra baie van hulle hulle op 'n chemies soortgelyke wyse as essensiële elemente, sodat hulle ook in lewende stelsels gekonsentreer word. So bv. omdat stronsiumisotope hulle net soos kalsium gedra, gaan hulle gereedelik voedselkettings binne en veroorsaak 'n ophoping in die radiosensitiewe beenmurgweefsel van die bene van die mens en die werwelidiere.

(4) Etiketterisotope: Hierdie groepie is isotope wat baie nuttig gebruik kan word om diere te merk of etiketteer, aangesien hulle energierike gammastrale uitstraal wat oor 'n afstand opgespoor kan word: Kobalt-60, Skandium-46 en Tantaal-182.

BESOEDELING VAN DIE BIOSFEER

Potensiële gevare verbonde aan radioaktiewe besoedeling van die biosfeer kan in twee hoofgroepe verdeel word. Die eerste ontstaan a.g.v. radioaktiewe stof wat as 'n neerslag na atoombomontploffings op die aarde val en die tweede spruit voort uit afvalstowwe wat deur installasies vir die produksie van atoomenergie in die omringende omgewing vrygelaat word.

Radioaktiewe neerslag

Hoewel ons hier in die Republiek van Suid-Afrika tans nog redelik gevrywaar is van die effekte van radioaktiewe stof wat deur atoombomme uitgewerp word, moet ons ons nogtans deeglik vergewis van die moontlike gevare wat dit vir mens, dier en plant kan inhou. Die biologiese wêreld is so 'n ineenangestremde eenheid, hoofsaaklik a.g.v. die ekologiese voedselkettings, dat daardie dinge wat die plant uit die abiotiese omgewing ontvang of direk of indirek d.m.v. diere op die mens oorgedra word. Dit sal dus 'n vrugtelose poging wees om die mens teen uitstraling te probeer beskerm sonder dat al die kategorieë van die organismewêreld deeglik in 'n sodanige program ingesluit word.

Ten tye van atoombomontploffings is Koolstof-14 die hoofproduk van die reaksies, maar a.g.v. sy swak beta-aktiwiteit en uitgebreide verdunning, hou dit geen of baie min gevaar in. In die meeste gevalle was dit die splitsing van uranium wat hoofsaaklik vir omgewingsbesoedeling verantwoordelik was. Radioaktiewe neerslag wat deur wapens vrygestel word, verskil van die gewone atoomafvalstowwe daarin dat dit in die vorm van relatief onoplosbare deeltjies voorkom, aangesien die isotope versmelt is met yster, silika, stof en ander dinge wat toevallig in die omgewing van die ontploffende bom is. Hierdie deeltjies, wat onder die mikroskoop soos klein verskillend-gekleurde deeltjies lyk, varieer in grootte van 'n paar honderd mikron tot byna kolloïdale dimensies. Hoewel meeste van die radioaktiewe deeltjies langs 'n bepaalde baan beweeg en dan op die aarde neersak, kan die kleiner deeltjies vir 'n lang tyd nog rondom die aarde beweeg. Uit 'n ekologiese oogpunt is dit dus 'n belangrike faktor om in gedagte te hou dat daar 'n vertraging, soms selfs van jare, kan wees voordat hierdie stof die biologiese stelsels binnegaan en kan affekteer.

Een van die verrassende ontdekkings wat in die omgewings van ontploffings gemaak is, is dat plante en diere wat 'n 100 myl of meer weg van die middelpunt hulle bevind het, selfs meer van sekere isotope geabsorbeer het as individue van dieselfde spesies wat so te sê in die skadu van die bom geleef het. Volgens Nishia and Larson (1957) is hierdie feit herhaakdelik deur radio-ekoloë by die Nevada-toetsterrein in

die V.S.A. vasgestel. Die verklaring van hierdie verskynsel lê waarskynlik daarin dat die kleiner deeltjies wat verder deur die lug beweeg makliker oplosbaar is en dus gou deur die organismes geabsorbeer word.

By 'n ondersoek van die wêreldwye neerslag van radioaktiewe stof is die teenwoordigheid van drie splitsingsprodukte nl. Sr-90, I-131 en Cs-137 reeds in 1957 in menslike weefsels vasgestel. Dit dui dus daarop dat neerslagisotope die voedselketting van die mens net so maklik as die van diere kan binnegaan. Sesium stem met stronsium in dié opsig ooreen dat hulle beide gasvoorlopers het en dus met „langafstandneerslag” geassosieer word. Sesium gedra hom soos kalium en word geredelik deur organismes geabsorbeer maar, in teenstelling met stronsium, bly dit slegs vir 'n kort rukkie in die liggaam. Radiojodium, wat in groot hoeveelhede deur wapens en reaktors gevorm word, het 'n wye verspreiding, kleef maklik aan plante vas, en word vinnig via die voedselkettings in die skildkliere van werwelidre gekonsentreer. Nieteenstaande sy kort halflwe bereik dit tog die end van die voedselketting, nl. die werwelidre of die mens. Na elke reeks kernwapentoetse is vasgestel dat die I-131-hoogte in die skildkliere van plaasdiere en, tot 'n mindere mate, ook die mens, toegeneem het.

Sover vasgestel kon word, is die inwendige konsentrasie van bogenoemde drie isotope by die mens tans nog onderkant die vlak wat as skadelik beskou word. In die algemeen hou uitstraling dus nog nie 'n gevaar in nie, maar lokale toestande kan skielik ontwikkel wat die prentjie drasties kan verander. Caster (1957) stel selfs die moontlikheid dat die maksimum toelaatbare vlak wat nog redelik veilig vir die mens se gesondheid is, oor 'n tiental jare oorskry kan word. 'n Algemene gevolgtrekking wat gemaak word is dat vleiseters waarskynlik minder las van radioisotope sal hê as planteters, want sowel die werking van diskriminerende prosesse as die tydsverloop langs die voedselketting bied geleentheid vir radioaktiewe ontbinding.

Verwydering van atoomafval

Hoewel dit eintlik die radioaktiewe neerslag van oorlogswapens is wat die meeste aandag van die publiek geniet, is die afval in die vredesgebruik van atoomenergie potensieel 'n baie groter probleem. Daar word tans nog te min aandag aan die ekologiese invloed van die verwydering van afvalstowwe bestee, 'n aspek wat miskien die beperkende faktor vir die volledige eksplorasie van atoomenergie kan wees. Die potensiele gevare vir die mens se biologiese omgewing kan in twee kategorieë verdeel word. Die eerste is die direkte gevaar. Radioaktiewe stowwe wat direk met huis-, plaas- en wilde diere in aanraking kom, kan ongunstige effekte meebring en, as genoegsame hoeveelhede afvalstowwe teenwoordig is, kan dit 'n afname in die bevolkings tot gevolg hê. Die tweede gevaar

is indirek, maar van groter belang as die eerste. Dit staan i.v.m. radioaktiewe stowwe wat via biologiese voedselkettings op die mens oorgedra kan word. Aangesien hoë-vlakse afvalstowwe in spesiale groot houers gestoor word, is hulle eintlik nie hier ter sake nie. Die lae-vlakse afvalstowwe wat egter in die omgewing vrygelaat word omdat hulle massa te groot is om geberg te word, gaan wel deeglik die sfeer van die ekoloog binne. Aangesien die isotope maar die gewone weg van die voedselketting neem, is dit veral belangrik om vas te stel op watter wyse die stowwe deur plante opgeneem word en watter omgewingsfaktore die tempo van opname beïnvloed. Romney et al. (1957) het bv. alreeds vasgestel dat, onder eksperimentele toestande, die grondtipe en die soort plante 'n groot rol in die opneemtempo speel.

Van die verskeie beskermingsmaatreëls wat in gebruik is om veiligheid t.o.v. radioaktiewe afvalstowwe te verseker, is die sogenaamde „biologiese waarskuwing” een van die betroubaarste. Daar is twee tipes van biologiese waarskuwing en albei maak van organismes as indikatore gebruik (Kornberg, 1958). In die een geval word geselekteerde eksemplare, onder beheerde laboratoriumtoestande, blootgestel aan produksiefloere met hoër konsentrasies as dié waarmee die organismes in hulle natuurlike habitat te kampe sou hê. Sodoende word die maksimum konsentrasie afval wat geen toksiese effekte op die organismes van die omgewing sal hê nie, vasgestel. In die tweede geval word die hoeveelheid radioaktiewe elemente in die plaaslike wilde plante en diere vasgestel sodat dit as 'n aanwysing kan dien om die gevare van besmetting van die omgewing, dadelik die hoof te bied. Die organismes wat in 'n natuurlike gemeenskap die meeste deur die besmettende radio-elemente geaffekteer word, word uitgesoek en hulle dien dan as indikatore by toekomstige roetine-ondersoeke.

Dit wil voorkom of putte in die grond tans in die meeste gevalle die mees ekonomiese en gerieflikste manier is om van lae-vlakse afvalstowwe ontslae te raak. Met die oog op die talle laboratoria en klein installasies wat waarskynlik in die toekoms dwarsoor die wêreld tot stand sal kom, is 'n studie van die beweging van afvalstowwe deur die grond en die moontlikheid dat dit plantwortels of die watertafel kan bereik, van die allergrootste belang. So het Brown et al. (1956) vasgestel dat by die Hanford-installasie rutenium relatief gou tot naby die diep watertafel van die half-woestyngebied beweeg het. By Oak Ridge het dieselfde isotoop weer oor 'n groot afstand horisontaal beweeg vanaf die afvalputte en uiteindelik in die blare van bome verskyn (Krumholz, 1954). Dit was 'n baie onverwagte en onaangename ontdekking, en dit het onmiddellik duidelik geword dat intensiewe biologiese veldstudies in sodanige gevalle altyd noodsaaklik is.

Die moontlikheid om grootskaalse atoomafval in die see te deponeer,

word tans nog ondersoek, maar kleinskaalse toetse is alreeds in verskeie dele van die wêreld uitgevoer. Aan die een kant is die verdunningsfaktor 'n groot voordeel, maar die neiging van baie organismes om die isotope in hulle liggame te konsentreer, veral in die vlakwaters langs die kus waar litorale organismes geoes word, skep dadelik weer probleme. So by. het Seligman and Dunster (1956) vasgestel dat slegs 'n paar curies per dag met veiligheid in die Ierse See vrygelaat kan word, 'n gevolgtrekking wat gebaseer is op die omstandigheid dat daar 'n ophopingsneiging van isotope in kommersieel belangrike seegewasse en mariene organismes voorkom.

GEVOELIGHEID VAN ORGANISMES VIR RADIOAKTIEWE UITSTRALING

Daar is feitlik niks bekend aangaande die moontlike uitwerking van volgehoue lae-vlakuitstralings op ekosistels nie, maar 'n aansienlike hoeveelheid gegewens is reeds versamel oor die gevoeligheid van organismes vir radioaktiewe uitstraling. Selfs voordat die geweldige belangstelling in die biologiese uitwerking van ioniserende uitstralings gedurende die afgelope vyftien jaar begin het, is heelwat navorsingswerk met X-strale gedoen, waardeur aanduidings gelever is dat organismes, t.o.v. hul vermoë om groot dosisse te kan verdra, baie van mekaar verskil. X-strale is elektromagnetiese uitstralings, baie soortgelyk aan gammastrale, maar hulle word nie vanuit radioaktiewe stowwe wat in die omgewing versprei is, uitgestuur nie. Aangesien hulle dieselfde effek as gammastrale het, en maklik bekombaar is in bv. 'n X-straalapparaat, kan hulle baie gerieflik in eksperimentele studies oor individue, bevolkings en selfs kleiner ekosistels gebruik word. Dit moet egter benadruk word dat dosisse wat in navorsingseksperimente gebruik word baie hoër is as wat organismes normaalweg in die natuur mee te kampe het.

Odum (1959) het die gevoeligheid van drie geheel verskillende groepe organismes nl. soogdiere, insekte en bakterieë t.o.v. enkele dosisse X- of gammauitstraling, ondersoek. Volgens hierdie outeur se resultate word die verdelingsnelheid van 'n sensitiewe mikroörganisme deur 'n dosis van 10,000 rad (1 rad = geabsorbeerde dosis van 100 erg energie per gram weefsel) beïnvloed, terwyl 'n dosis van 1 miljoen rad of selfs meer nodig is om alle bakterieë, insluitende spore en ander weerstandbiedende stadia, te vernietig. Op soortgelyke wyse sal 5000 rad sommige inseksoorte steriliseer, maar 100,000 rad is nodig om alle individue van die meer geharde spesies dood te maak. Volgens dieselfde algemene kriteriums is soogdiere die sensitiefste van alle organismes en sal deur 1000 rad uitgewis word, terwyl die laer werweldiere effens meer weerstandbiedend is. Uit 'n ekologiese oogpunt beskou is, volgens Odum, bogenoemde voorstelling egter baie misleidend, aangesien selfs die geharde organismes

stadiums in hulle lewensiklus, of kritieke periodes in hulle bevolkingsgroei het, wat deur baie kleiner dosisse geaffekteer word. So is bv. vasgestel dat vir *Drosophila*, een van die meer weerstandbiedende insekte, 'n dosis van ongeveer 10^3 rad nodig is om die helfte van die volwasse vlieë dood te maak (LD_{50}), terwyl slegs 163 rad die helfte van die individu sal vernietig as blootstelling gedurende die sensitiefste stadium in die ontwikkeling (nl. die eier gedurende kliewing) geskied. Selfs so 'n lae dosis as 8 rad per dag kan 'n meetbare effek op die groei en ontwikkeling van sekere sprinkaanneuroblaste hê. Dieselfde algemene verskynsel is ook by plante waargeneem.

Die resultate van navorsing dui daarop dat gevoeligheid vir radio-aktiewe uitstraling afneem met toenemende ouderdom en dat die vroeë ontwikkelingsstadiums, wanneer alle selle vinnig verdeel, dikwels veral baie kwesbaar is. Jong kinders onder die ouderdom van vier jaar gaar Sr-90 by, heelwat vinniger op as volwassenes en is dus blykbaar meer radiosensitief. Daar is ook aanduidings dat dit ook op groter komponente soos 'n hele dierbevolking wat vinnige vermeerdering ondergaan, van toepassing is. Selfs lae-vlakuitstralings het gedurende hierdie periodes 'n invloed op organismes, terwyl taksonomiese verwantskappe blykbaar nie hier 'n rol speel nie.

Een rede waarom bevolkings van klein organismes meer weerstand teen X- en gamma-uitstraling bied, is die omstandigheid dat hulle biomassa so klein per eenheid volume van die omgewing is, dat daar relatief min lewende stof is wat die energie kan absorbeer. Dat liggaamsgrootte egter nie die enigste faktor is wat hierby betrokke is nie, blyk duidelik uit Puck en Marcus (1956) se waarnemings dat geïsoleerde soogdiere selle meer sensitief is as mikroörganismes van ongeveer dieselfde grootte. Daarbenewens het klein organismes ook 'n hoë voortplantingspotensiaal, sodat hulle vinnig kan herstel van die skade wat aan die bevolking aangereg is. As 90% van die mikroörganismes bv. deur uitstraling gedood word, kan die oorblywende 10% baie gou weer die gebied bevolk. As, aan die ander kant, 90% van die selle van 'n groot komplekse organisme beskadig word, is dit duidelik dat hy nie sal kan herstel nie. Die effek van elektromagnetiese uitstraling op klein organismes is dus dikwels net een wat die bevolking tydelik tot stilstand bring of vertraag. Onder sekere omgewingstoestande kan alfa- en betadeeltjies wat in staat is om intense lokale effekte in klein areas teweeg te bring, egter groter skade aan klein organismes as aan groter aanrig. So bv. sal 'n soogdiereier wat deur die moeder se liggaamswand beskerm word nie deur 'n hoeveelheid beta-uitstralende isotope wat in die grond gedeponeer is, geaffekteer word nie, terwyl 'n sprinkaaneier of 'n grondorganisme die volle intensiteit van die uitstraling sal ondervind.

'n Verskynsel wat selfs interessanter is as die verskil in radiosensi-

tiwiteit tussen uiteenlopende diergroepe, is die treffende verskille wat by taksonomies verwante organismes optree. Jenkins (1957) het vasgestel dat vir die vlieg *Callitroga* 'n dosis van 5000 rad X- of gammastraling nodig is om 100% sterilisering teweeg te bring, terwyl vir ander insekte soos *Habrabracon*, *Drosophila* en *Lyctus* 7500, 16.000 en 32.000 rad respektiewelik nodig is. Sels individue en veral rasse of subspecies van dieselfde spesie kan 'n groot mate van verskil in verdraagsaamheid t.o.v. uitstraling vertoon. Die gevoeligheidsvariasies by verskillende rasse van laboratoriummuis is welbekend. Rugh and Wolff (1958) het bv. gevind dat swart muis minder sensitief vir uitstralings is as wit muis, terwyl in kruisingseksperimente tussen die twee rasse vasgestel is dat die nakomelinge meer weerstandbiedend is as beide die wit en swart ouers.

Verskil in weerstandsvermoë teen uitstraling is van groot ekologiese belang. As die natuur 'n hoër vlak van uitstraling ontvang as waaraan hy gewoon is, sal aanpassings van die organismes noodwendig moet volg, en sensitiewe rasse of spesies sal uitgeskakel word. As die geëlimineerde organisme-eenheid dan deur 'n ekologies-ekwivalente groep vervang word — wat dus dieselfde rol in die gemeenskap kan speel — sal dit nie 'n groot uitwerking op die ekosisteem hê nie, d.w.s. as ons aanneem dat die uitgeskakelde komponent nie die mens is nie. As egter aan die ander kant die onderhawige komponente heeltemal verskillend is of tot verskillende trofiese vlakke behoort, kan dit 'n aansienlike totale effek meebring wat die ewig in die ekosisteem heeltemal sal versteur. 'n Sodanige verskynsel is deur Auerbach (1958) waargeneem in sy bestralingseksperimente met predatoriese en prooi-myntbevolkings in grond. Dit het geblyk dat die roofdierbevolking meer gevoelig was en in aantalle afgeneem het, terwyl die prooi-bevolking, a.g.v. die verslapping in predatordruk, sels toegeneem het. Die implikasies wat sulke resultate vir die toegepaste ekologie inhou, spreek vanself.

Aangesien die mens blykbaar minstens net so gevoelig vir radioaktiewe uitstraling is as enige dier of plant, bestaan daar 'n gevoel dat, soos Loutit (1956) dit stel: „...if we take sufficient care radiobiologically to look after mankind, with few exceptions the rest of nature will take care of itself. Sensitivity to ionizing radiation is well correlated with the degree of evolutionary complexity. Thus, man and his domestic mammals will be expected to be among the first to suffer from overexposure to radiation”. Dat 'n sodanige veronderstelling beslis 'n ooreenvoerding is, blyk duidelik uit die voorafgaande gegewens. Dit sal ook beteken dat dáárdie groot gedeeltes van die biosfeer soos rivier, oseaan en grond, waarin die mens nie permanent leef nie, maar geïgnoreer kan word, terwyl dit in werklikheid baie nou by die biogeochemiese kringlope en voedselkettings ingeskakel is.

OPHOPING VAN RADIOAKTIEWE ISOTOPE IN VOEDSELKETTINGS

Wanneer radio-isotope in die omgewing vrygelaat word, versprei hulle gewoonlik, sodat die biota in baie verdunde vorm met hul in aanraking kom. Soms gebeur dit egter dat hulle onverwagte bewegings uitvoer en op sommige plekke in die ekosisteme ophoop. Hoewel isotope dus tot 'n relatief onskadelike vlak verdun kan word wanneer dit in die omgewing vrygelaat word, kan hulle tog deur organismes of 'n reeks organismes tot 'n kritieke punt gekonsentreer word. Met ander woorde die mens kan aan die natuur 'n skynbaar onskadelike hoeveelheid radio-aktiwiteit gee en dit dan, soms wanneer hy dit die minste verwag, in 'n dodelike pakkie terugkry.

Een van die intensiefste ondersoeke van 'n ekosisteme waar opeenhopingsneigings in sekere voedselkettings voorkom, is gedoen in die Columbiarivier, Washington, waar die Hanford Atoominstallasie geleë is. Volgens Hanson and Kornberg (1956), Foster and Davis (1956) en Kornberg (1958) word hierdie omgewing op drie verskillende maniere deur radioaktiewe stowwe besmet. Baie klein hoeveelhede hoogs oplosbare radioaktiewe isotope word teen 'n konstante tempo in die water vrygelaat, eintlik as normale bestanddele van water wat slegs radioaktief geword het deur induksie waar die water deur die reaktors vloei. Hierbenewens bereik radioaktiewe stowwe ook die lokale omgewing d.m.v. afvalgasse, veral I-131 wat in die lug vrygelaat word, terwyl 'n derde tipe besmetting geskied via die afvalvloeistowwe, wat splitsingsprodukte bevat.

Die resultate van die ondersoeke by die Hanford-installasies het aangetoon tot watter mate konsentrasie van isotope in die plante, insekte en ander ongewerweldes, en werwelidre, plaasgevind het. Die sogenaamde konsentrasiefaktor, d.w.s. die verhouding van 'n radio-isotoop in die organisme tot dié in die omgewing, was in sommige gevalle verrassend hoog. So bv. is vasgestel dat die hoeveelheid stabiele fosfor in die eierdooier van die watervoëls in die omgewing 2 miljoen keer hoër as in die water van die Columbiarivier was. 'n Mens sou nie verwag om net so 'n hoë konsentrasiefaktor vir radioaktiewe fosfor te kry nie aangesien, terwyl dit deur die voedselketting na die eiers beweeg, daar 'n groot mate van ontbinding sal plaasvind wat die hoeveelheid aansienlik sal verminder. Tog is soms 'n konsentrasiefaktor so hoog as 1,500,000 aange-teken; die gemiddelde was egter laer.

Hoewel radioaktiwiteit nie die opneem van isotope deur lewende stelsels beïnvloed nie, kan dit natuurlik die weefsels affekteer sodra dit geabsorbeer is. In die geval van bogenoemde eiers was die hoeveelheid in die eier, ten spyte van die hoë konsentrasie, nog nie genoeg om die uitbroeibaarheid te verminder nie. As die konsentrasie fosfor-32 in die rivierwater egter toegelaat sou word om die maksimum toelaatbare hoogte vir drinkwater te bereik (in plaas van om heelwat onderkant hier-

die hoogte gehou te word), sal die voëls en eiers sekerlik beskadig word en dus ook ongeskik vir menslike gebruik wees. Dit is dus duidelik dat die moontlikheid van ekologiese konsentrasie van radioaktiewe isotope altyd in berekening gebring moet word, terwyl isotope wat natuurlik in sekere weefsels gekonsentreer is soos bv. jodium in die skildklier en stronsium in die been, en/of daardie isotope met 'n lang effektiewe halflewe, klaarblyklik diesulkes is waaroor 'n wakende oog gehou moet word.

Die konsentrasiefaktor sal ook neig om groter te wees in omgewings wat arm aan voedingstowwe is, soos Bryant et al. (1957) bv. bewys het dat skape op arm weivelde meer radiostronsium in hulle bene kry as skape op vrugbare weivelde. So ook bv. as die konsentrasie fosfor in die Columbiarivier hoog was i.p.v. laag, sou minder P-32 in die bene en eiers beland het. In die algemeen kan egter verwag word dat die konsentrasiefaktor hoër in varswater as in die see sal wees en groter in water as op land. Daar is egter nog soveel onbekende kompliserende faktore wat uitsonderings kan voortbring, dat veralgemenings met groot versigtigheid gemaak moet word.

BENUTTING VAN RADIOAKTIEWE UITSTRALING IN EKOLOGIESE NAVORSING

Aktiewe bestraling

Die gewoonte van baie plaaginsekte, waarmee die bosbou te kampe het, om hulself in die plantweefsel te verberg, skep talle probleme i.v.m. navorsing oor hul ontwikkeling en gedrag asook die vasstelling van bevolkingsdigtheid. Die ondersoek van hout, bas- of boomtoppe om die insekte te lokaliseer en hulle getalle vas te stel, bring altyd mee dat die medium waarin hulle leef, vernietig word. Verskeie tegnieke vir die kunsmatige teel van sodanige insekte is alreeds in die verlede beproef, maar hulle is dikwels onsuksesvol en bly in elk geval onnatuurlik om die ontwikkeling en gedrag van insekte te bestudeer. Geeneen van hierdie metodes is bv. bevredigend om 'n ekologiese ondersoek van die bevolkingsdinamika uit te voer nie.

Berryman and Stark (1962) het egter gevind dat die gebruik van X-strale toegang verleen tot moontlikhede om die houtboorderinsekte en ander parasiete *in situ* te bestudeer sonder die vernietiging van hul natuurlike habitat. Uitstraling, in die hoeveelhede wat hulle gebruik het, het baie min of geen slegte effek op die organismes gehad nie en uitstekende resultate is verkry in radiografiese opnames van denneboomkewerlarwes en papies, die rooi terpentynkewer, juweelkewers en die boorgange van verskillende soorte houtboorinsekte. Selfs insekte wat verskillende soorte sade aanval, kon *in situ* waargeneem word.

Variasies van radiografiese tegnieke het ook moontlike toepassings

in die studie van baie klein insekte en ander artropodes soos inwendige parasiete, parasiete en predatore in dieselfde verborge medium as die gasheer, en moontlik selfs in taksonomiese en morfologiese ondersoeke.

Die gebruik om parasiete en ander siekteveroor sakende organismes met bestraling te vernietig of onder beheer te hou is reeds vir 'n hele aantal jare toegepas. Ekologiese ondersoek van die hele ekostelsel waarin sulke organismes voorkom, moet sodanige praktyke egter altyd voorafgaan. Hierdie bestrydingsmetode is met sukses toegepas deur Baumhover et al. (1955) toe hulle sekere insekteplae bekamp het deur die diere aan net genoeg gammauitstraling hloot te stel om hulle steriel te maak. Op 'n soortgelyke wyse het Dennis (1961) vasgestel dat insekte wat gebergde voedselprodukte besmet suksesvol bestry kon word deur gammauitstraling, 'n proses wat moontlik gemaak is deur die afvalstowwe van kernreaktors te benut. Ook is onlangs deur Vilella et al. (1961) vasgestel dat muise wat eksperimenteel met die serkarië van die Bilharzia-parasiet, *Schistosoma mansoni*, besmet is, 'n immuniteit vir herinfeksie ontwikkel het nadat die eerste serkarië aan kobalt-60-bestraling blootgestel is. Intensiewe navorsing i.v.m. die gevoeligheid van beide gasheer en parasiet t.o.v. verskillende radioaktiewe uitstralings is egter noodsaaklik voordat 'n algemene grootskaalse gebruik van hierdie bestrydingsmetodes moontlik sal wees.

Spoorvormers

Die radioaktiewe spoorvormertegniek het alreeds belangrike bydraes gelewer tot ons kennis aangaande die juiste aard van baie van die komplekse chemiese reaksies wat in die lewende dier en plant plaasvind, en daar is waarskynlik min biochemiese probleme waar hierdie tegniek nie met vrug toegepas kan word nie (Francis et al., 1959). As dit gebruik word tesame met nie-isotopiese ondersoeke en as 'n aanvulling vir ander moderne tegnieke soos chromatografie en elektroforese, sal dit ongetwyfeld bydra tot die opheldering van baie van die halsstarrigste probleme van die natuurwetenskap en die geneeskunde. Dit het alreeds sy waarde bewys as 'n werktuig vir diagnostiese doeleindes in kliniese geneeskunde, terwyl dit in 'n wyer veld inligting voortbring het i.v.m. intermediëre metabolisme, skildklierwerking, bloedsirkulasie en uitruilings tussen weefsels en liggaamsvloei stowwe wat vir die mediese wetenskap van baie groot waarde was. Deur die gebruik van radioaktiewe en stabiele isotoopspoorvormers word 'n unieke geleentheid geskep vir die bestudering van lewende prosesse onder fisiologiese toestande, en talle ander probleme wat voorheen met geen hoop op sukses aangepak sou moes word, kom nou binne die bereik van ontrafeling.

Isotope het bv. 'n groot rol gespeel in die opheldering van baie

probleme i.v.m. plantvoeding, en plantfisioloë en grondskeikundiges het alreeds goeie gebruik van die isotoopspoorvormertegnieke in bemesting-ondersoeke gemaak. Dit het ook sy toepassings in die farmakologie, mikrobiologie, paleontologie, geofisika en ander dissiplines van die natuurwetenskap gevind. Isotoopondersoeke het in baie gevalle slegs gedien om standpunte wat lank voor die spoorvormer-era gehuldig is, te bevestig. Selfs hierdie hydraes moet egter as van groot belang beskou word aangesien baie van die teorieë en hipoteses op baie min meer as omstandighedsgetuienis berus het. Dit is miskien misleidend en onverstandig om oordrewe aansprake vir enige bepaalde tipe van ondersoek te maak, maar daar bestaan regverdiging vir die sienswyse dat die isotoopspoorvormer-metode homself sal uitwys as die vrugbaarste fisiese tegniek wat sover in biologiese navorsing toegepas is.

Terwyl die fisioloog dus reeds die radioaktiewe spoorvormers tot 'n groot mate geëksploiteer het, is die ekoloog slegs in die beginstadium om tegnieke binne sy navorsingsgebied te ontwikkel. Dit het egter nou duidelik geword dat hulle toegepas kan word in studies oor die samestelling en funksies van dier- en plantgemeenskappe aangesien, met die nodige voorsorgmaatreëls, radioaktiewe spoorvormers net so veilig in die veld as in die laboratorium gebruik kan word. Dit moet benadruk word dat navorsing met behulp van spoorvormers in ekosistels, net soos in enkele organismes, so beplan word dat die hoeveelheid radioaktiewe element wat gebruik word baie klein is in vergelyking met die hoeveelheid nie-radioaktiewe element wat alreeds in die stelsel aanwesig is. Nóg die radioaktiwiteit nóg die bykomende ione versteur dus die ewewig in die stelsel. Die lot van die spoorvormer, wat maklik opgespoor kan word a.g.v. die uitstralings wat dit uitstuur, is bloot 'n weerspieëling van wat normaalweg met daardie bepaalde stof in die stelsel gebeur.

Aangesien damme en mere selfonderhoudend is, leen hulle hulle uitstekend vir sodanige ekologiese ondersoeke en talle eksperimente is bv. al uitgevoer om, met behulp van radiofosfor navorsing te doen oor die sirkulasie van fosfor in watermassas (Hutchinson, 1957). Volgens hierdie metode is vasgestel dat fosfor nie gelykmatig en gladweg van organismes na die omgewing en terug beweeg nie, maar dat op enige bepaalde tydstip die meeste van die fosfor òf in organismes òf in soliede organiese of anorganiese deeltjies van die bodemsediment van die watermassa, gebonde is. In mere bv. is slegs ongeveer 10% die maksimum hoeveelheid wat in oplosbare vorm gedurende een of ander bepaalde tydstip aanwesig is. Studies met P-32-behandelde bemestingstowwe in landekostelsels vertoon dieselfde basiese patrone (Comar, 1957).

Op soortgelyke wyse is gebruik gemaak van Koolstof-14 om die produktiwiteit en omset van 'n ekosistelsel te meet, terwyl Skandium-46 ingespan is om rioolafloopbesoedeling van seewater by strandes gou te

kan bepaal. Ander radioaktiewe isotope bied baie moontlikhede wat nog ondersoek moet word, en dit is dus waarskynlik dat die volgende aantal jare die ontwikkeling van baie nuwe tegnieke in hierdie afdeling van ekologiese navorsing sal meebring.

'n Tegniek wat ook van landboukundige waarde is en tans in groter mate gebruik word, is om die ekologiese verhouding van insekte tot verskillende gewasse te bepaal deur die plante met radioaktiewe isotope te behandel. Die prosedure wat gevolg word is om of die isotope met behulp van 'n sproeier op die plante te spuit sodat dit geabsorbeer kan word, of deur dit direk in die bepaalde plant in te spuit. Alle diere wat daarna radioaktief word, behoort dus sonder twyfel aan die voedselketting wat met daardie bepaalde plantsoort begin. Deur herhaling van dieselfde eksperiment met ander plantsoorte, kan dit 'n beeld gee van die verhouding van plantetende en selfs predatoriese diere tot die plante waarmee hulle op een of ander wyse assosieer.

Die benutting van radio-isotope om diere te „merk” sodat hulle bewegings en gedrag nagegaan kan word, is 'n metode wat tans baie aandag geniet (Comar, 1955; Pendleton, 1956; Jenkins, 1957; Vogt, 1957). Sekere opvallende kenmerke van radio-isotope maak hulle besonder geskik om as merkstowwe vir diere gebruik te word. In die eerste plek bied hulle die voordeel bo die gewone sigbare „etikette” dat hulle nie deur die sintuie van diere waargeneem word nie. 'n Tweede belangrike oorweging vir hulle gebruik is die omstandigheid dat hulle met gemak aan groot groepe diere toegedien kan word sonder die tydrawende manipulasies wat met vroeëre metodes gepaard gegaan het. In sommige gevalle maak die radio-isotooptegniek dit selfs moontlik dat die organismes wat ondersoek word glad nie deur die navorser gesien, gehanteer of weer versamel hoef te word nie. 'n Derde groot voordeel van hierdie tegniek is dat die „etiket” eintlik deel van die dier word, sodat individue dwarsdeur die eksperiment herken kan word sonder die gevaar dat die identifikasiemerk verlore kan raak. Dit is ook moontlik dat, deur van die bekende ontbindingsnelheid van 'n radio-isotoop gebruik te maak, verskillende organismes wat op agtereenvolgende tye losgelaat is, volgens die intensiteit van die radioaktiwiteit wat afgegee word, met behulp van instrumente herken kan word.

Die meeste van die navorsingswerk met hierdie merkstowwe is met insekte gedoen (Jenkins, 1957) en daar is selfs in geslaag om hele natuurlike bevolkings in die veld van sodanige „etikette” te voorsien. Barnes (1959) het 'n insekbevolking met radio-isotope gemerk deur die isotoop te meng met 'n sterk reuk- en smaaklokaas, wat op bepaalde plekke gedeponeer is. Deur daarna weer lokvalle op verskillende punte op te stel, kon 'n beeld van die vlieggewoontes van die insekte opgebou word. Soortgelyke tegnieke is ook al met vrug gebruik in navorsing oor die ekologie

van insekte wat as oordraers van siektes dien en het dus reeds hulle waarde in die mediese entomologie bewys. Selfs die ondergrondse bewegings van die landboukundig-belangrike parasitiese inseklarwes is reeds met sukses gevolg, terwyl ons kennis van die ekologie van insekte in die algemeen met behulp van hierdie metodes aansienlik uitgebrei is.

Nie net die insekte nie, maar feitlik die hele diereryk kan aan isotoop-etikettering onderwerp word. Die bemoedigende resultate wat uit ekologiese navorsing op Protozoa en ander klein organismes verkry is, gee reeds vir ons 'n voorsmaak van talle mikro-ekologiese ondersoeke wat kan volg. Aan die ander kant is die gebruik van radioaktiewe etikette as implimente om die bewegings van kleiner soogdiere vas te stel, ook vinnig aan die toeneem. Voordat van isotope gebruik gemaak is, moes navorsers net op lokvalle staat maak om die omvang van die tuisgebied van hierdie soogdiere te kan bepaal. Die nuwe tegniek kan egter heelwat meer inligting aangaande die individuele diere verskaf, terwyl die navorsing in die dag of nag asook onder alle weersomstandighede voortgesit kan word. In die afgelope dekade is Zn-65 en veral Co-60 en P-32 dikwels in sodanige eksperimente gebruik, terwyl Kaye (1960) onlangs ook Au-198 suksesvol ingespan het. Hierdie outeur het muise met onderhuidsgeslaaste goud-198-draadjes gemerk en hulle bewegings met behulp van 'n draagbare Geiger-teller gevolg. Goud is in hierdie geval verkies omdat dit 'n kort halfleeftyd het, maar tog genoegsame gamma-energie vrystel. Die moontlikheid om soortgelyke metodes ook op groot wilde diere toe te pas, word tans ondersoek. Dit hou natuurlik veral groot praktiese implikasies vir wildbewaring in, want 'n kennis van die ekologie van diere in wildtuine is noodsaaklik om die biologiese ewewig in sodanige natuurreservate te behou.

Dit bly egter noodsaaklik dat alle navorsing wat met behulp van die radio-isotooptegnieke uitgevoer word, baie versigtig beplan moet word. Hierdie isotope is beslis handige hulpmiddels vir sekere ondersoeke wat tot nou toe as onmoontlik beskou is, maar hulle is nie in alle gevalle beter as die goed-gevestigde konvensionele metodes nie. As gevolg van die toenemende gevare moet radioaktiewe spoorvormers met groot versigtigheid gebruik word, en ook net in daardie ondersoeke waar hulle beslis die gewone metodes oorskadu. Hulle hou egter groot belofte in vir talle navorsingsprojekte waar tans nog geen ander bevredigende metodes ontdek is nie.

LITERATUURVERWYSINGS:

- AUERBACH, S. I. 1958. The soil ecosystem and radioactive waste disposal to the ground. *Ecol.* 39: 522-529.
- BARNES, M. M. 1959. Radiotracer labeling of a natural tephritid population and flight range of the walnut husk fly. *Ann. ent. Soc. Amer.* 52: 90-92.

- BAUMHOVER, A. H. et al. 1955. Screw-worm control through release of sterilized flies. *J. econ. Entom.* 48: 462-466.
- BERRYMAN, A. A. and STARK, R. W. 1962. Radiography in forest entomology. *Ann. ent. Soc. Amer.* 55: 156-166.
- BROWN, R. E. et al. 1956. Disposal of liquid wastes to the ground. *Proc. Int. Conf. Peaceful Uses Atomic Energy* 9: 669-675.
- BRYANT, F. J. et al. 1957. Radiostrontium in soil, grass, milk and bone in U.K.; 1956 results. *J. Nuclear Energy* 6: 22-40.
- CASTER, W. O. 1957. Strontium-90 hazards: relationship between maximum permissible concentration and population means. *Science* 125: 1291.
- COMAR, C. L. 1955. Radioisotopes in biology and agriculture. Principles and practice. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York.
- COMAR, C. L. (Edit.). 1957. Atomic energy and agriculture. Amer. Assoc. Adv. Sci., Publ. No. 29: 1-450.
- DENNIS, N. M. 1961. The effects of gamma-ray irradiation on certain species of stored-product insects. *J. econ. Ent.* 54: 211-213.
- FOSTER, R. F. and DAVIS, J. J. 1956. The accumulation of radioactive substances in aquatic forms. *Proc. int. Conf. peaceful Uses atomic Energy* 13: 364-367.
- FRANCIS, G. E. et al. 1959. Isotopic tracers. A theoretical and practical manual for biological students and research workers. Second edition. The Athlone Press, Univ. London.
- HANSON, W. C. and KORNBERG, H. A. 1956. Radioactivity in terrestrial animals near an atomic energy site. *Proc. int. Conf. peaceful Uses atomic Energy* 13: 385-388.
- HOLLAENDER, A. (Edit.). 1954. Radiation biology. Vol. I. High energy radiation. Vol. II. Ultraviolet and related radiation. Vol. III. Visible and near-visible light. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York.
- HUTCHINSON, G. E. 1957. A treatise on limnology. Vol. I. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- JENKINS, D. W. 1957. Radioisotopes in entomology *in* Comar 1957: Atomic energy and agriculture pp. 195-229.
- KAYE, S. V. 1960. Gold-198 wires used to study movements of small mammals. *Science* 131: 821.
- KORNBERG, H. A. 1958. Radiation biology as a supporting function for atomic energy installations. *Proc. 2nd int. Conf. peaceful Uses atomic Energy*. 18: 329-335.
- KRUMHOLZ, L. A. 1954. A summary of findings of the ecological survey of White Oak Creek, Roane County, Tennessee, 1950-1953. U.S. Atomic Energy Comm., Publ. ORO 132.
- LOUTIT, J. E. 1956. The experimental animal for the study of biological effects of radiation. *Proc. int. Conf. peaceful Uses atomic Energy* 11: 3-6.
- NISHIA, H. and LARSON, K. H. 1957. Summary of certain trends in soil-plant relationship studies of the biological availability of fall-out debris. Univ. Calif. Los Angeles, Atomic Energy Project Report No. 401: 1-67.
- ODUM, E. P. 1959. Fundamentals of ecology. Second Edition. W. B. Saunders Co. Philadelphia and London.
- PENDLETON, R. C. 1956. Labeling animals with radioisotopes. *Ecology* 37: 686-689.
- PUCK, T. T. and MARCUS, P. I. 1956. Action of X-rays on mammalian cells. *J. exp. Med.* 103: 653-666.
- ROMNEY, E. M. et al. 1957. Plant uptake of Sr90, Y91, Ru106, Cs137 and Ce144 from soils. *Soil Science* 83: 369-376.

- RUGH, R. and WOLFF, JOAN. 1958. Increased radioresistance through heterosis. *Science* 127: 141-145.
- SELIGMAN, H. and DUNSTER, H. J. 1956. The discharge of radioactive waste products into the Irish Sea. *Proc. int. Conf. peaceful Uses atomic Energy* 9: 701-704.
- VILLELLA, J. B. et al. 1961. Immunization to *Schistosoma mansoni* in mice inoculated with radiated cercariae. *Science* 134: 1073-1075.
- VOGT, W. J. 1957. Atomic power for peace Vol. 3. Radioisotopes and tracers in industry, agriculture, meteorology and medicine. *Atomic Power Review*. Johannesburg.