

LITERATUUR

- Bresadola, G. (1892). *Fungi tridentini* II.
Kornerup, A. & Wanscher, J.H. (1978). *Methuen Handbook of colour*, 3rd edition. London.
Marchand, A. (1977). *Champignons du nord et du midi* 5, *Les Russules*. Hachette, Perpignan.
Kreisel, H. in Michael, E. Hennig, B. & Kreisel, H. (1983). *Handbuch für Pilzfreunde* 5, 2e druk. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
Rogmagnesi, H. (1967). *Les Russules de l'Europe et de l'Afrique du Nord*. Bordas, Paris.
Quélet, L. (1888). *Flore Mycologique de la France et des pays limitrophes*. Paris.
-

Coolia 30(1) januari 1987

RADIOACTIEF CESIUM IN FUNGI

THOMAS W. KUYPER, *Biologisch Station, Kampsweg 27, 9418 PD Wijster**

SUMMARY

Data on the occurrence of radioactive cesium-137 in fungi are critically reviewed. Recent measurements indicate a drastic increase of radioactive cesium after the Chernobyl disaster. Several species contain more than 600 Bq/kg fresh weight, the norm for food products. Theoretical calculations suggest that even complete collecting of all fruitbodies will reduce radioactivity of the soil with about 1%. The annual decay rate of radioactive cesium is 2.3%. We can therefore conclude that complete collecting of all fruitbodies will have hardly any effect on soil radioactivity. Considering the harmful effects on the mycelia, such mass collecting must be strongly discouraged.

In september 1986 verschenen verschillende berichten in de pers dat verhoogde gehalten aan radioactief cesium (^{137}Cs) in paddestoelen waren waargenomen. Door deze berichten werd de indruk gewekt dat het eten van wilde paddestoelen riskant was. Het was dan ook onvermijdelijk dat sommige (goedwillende) personen het voorstel deden, alle vruchtlichamen weg te plukken en ter vernietiging als radioactief afval aan te bieden. Dergelijke reacties stonden niet op zichzelf: eveneens werd de suggestie gedaan, de in ons land verblijvende Rotganzen maar af te schieten omdat ze radioactief zouden zijn!

Verschillende leden van de NMV hebben op deze paniekerige berichten gereageerd en het overspannen karakter ervan duidelijk gemaakt. Ook heeft de vereniging een persbericht doen uitgaan. Mede daardoor is de zaak gelukkig uit de publiciteit geraakt. Toch lijkt het een goede gedachte, enige achtergrondinformatie te verschaffen; verwacht mag immers worden dat ook het volgend jaar verhoogde gehalten aan radioactief cesium in paddestoelen gevonden worden. Tijdige beschikbaarheid van informatie kan hopelijk helpen voorkomen dat opnieuw

* Mededeling 327, Biologisch Station, Wijster; mededeling D 86-08 Vakgroep Bosteelt & Bosoecologie, Landbouwniversiteit Wageningen.

paniekerig gereageerd wordt. Met nadruk wil ik overigens stellen dat deze bijdrage niet gebaseerd is op eigen onderzoek; hij is slechts gebaseerd op gegevens uit de literatuur.

In de berichtgeving werd gesproken over het aantal Becquerels (Bq) per kilogram verse paddestoelen. De Becquerel is een eenheid voor activiteit van radioactieve stoffen. Nu zegt zo'n getal weinig, want de ene Becquerel is de andere niet. Wat ons uiteindelijk interesseert is de aard van de straling die vrijkomt bij radioactief verval (cesium-137 is een zgn. gamma-straler), de fysische halfwaardetijd van het radioactieve nuclide, en de biologische halfwaardetijd. Voor het beoordelen van de effecten op de gezondheid is het belangrijk te weten op welke plaats de radioactieve stof in ons lichaam terecht komt en hoe lang het daar verblijft.

Het is van belang, scherp onderscheid te maken tussen de fysische halfwaardetijd en de biologische halfwaardetijd: voor cesium-137 bedraagt de fysische halfwaardetijd 30 jaar, de biologische ongeveer 1-2 weken.

Bij de ramp in de kerncentrale bij Tsjernobyl is een groot aantal radioactieve nucliden in de lucht gekomen. De belangrijkste ervan zijn jodium-131 en cesium-137. Van het vrijgekomen jodium is de activiteit inmiddels tot minder dan 1/1.000.000ste deel van de oorspronkelijke activiteit gereduceerd (jodium-131 heeft een fysische halfwaardetijd van ongeveer 8 dagen), en op dit moment lijkt het effect van cesium het allerbelangrijkste. Er is ook radioactief plutonium vrijgekomen, maar noch over de hoeveelheden, noch over de verspreiding valt op dit moment een realistische schatting te geven. In Nederland is in ieder geval geen plutonium gedetecteerd.

Cesium is een metaal dat in een aantal chemische eigenschappen nogal op kalium lijkt. Cesium is dus geen zwaar metaal zoals dat abusievelijk in het persbericht van de NMV werd gesteld. Binnen zekere grenzen kan het essentiële element kalium dan ook door het niet-essentiële element cesium worden vervangen. Net als kalium wordt cesium vooral in ons spierweefsel opgenomen, en - wat belangrijker is - het wordt daar niet geaccumuleerd.

Voor paddestoelen geldt de samenhang tussen cesiumopname en kaliumopname minder duidelijk. Bij onderzoek van Seeger & Schweinshaut (1981) bleek er weliswaar een significante ($p < 1\%$) correlatie tussen de gehalten aan kalium en cesium te bestaan, maar door de relatief lage correlatie en het hoge aantal metingen moeten we deze correlatie met enige voorzichtigheid interpreteren. Dat paddestoelen tussen kalium en cesium kunnen discrimineren bleek uit onderzoek van Ypelaar (1980). Cantharellen en Amanieten bevatten veel minder cesium per gram kalium dan humus; Boleten daarentegen veel meer (2-3 maal zoveel als de humuslaag).

Het meest uitgebreide onderzoek naar het voorkomen van cesium in paddestoelen is verricht door Seeger & Schweinshaut (1981) die 1166 monsters van 433

soorten hebben onderzocht. Er bleken zeer grote verschillen tussen de afzonderlijke soorten te bestaan. Hoge cesiumgehaltenes werden gevonden in de Cortinariaceae, en verder in de Clavariaceae, Entolomataceae en Strophariaceae. De Helvellaceae en Lycoperdaceae bevatten juist heel weinig cesium.

Aangezien het cesiumgehalte van verschillende monsters van dezelfde soort soms opvallend verschilde (soms meer dan een factor 100 verschil!), moeten ook andere factoren het cesiumgehalte meebepalen. De meest voor de hand liggende verklaring, namelijk een verschil in cesiumgehalte van de bodem, wordt door Seeger & Schweinshaut verworpen omdat 10 bodemmonsters uit de Bondsrepubliek en Zwitserland nauwelijks verschilden in het cesiumgehalte. Verrassend is hun waarneming dat paddestoelen van dezelfde vindplaats en van dezelfde soort zeer verschillende gehalten aan cesium kunnen hebben. Zo leverde een monster van *Inocybe bongardii* 6 maal zoveel cesium op als een monster van dezelfde soort dat slechts 10 dagen tevoren op dezelfde plaats was verzameld! Hoewel een verklaring voor dit verschijnsel nog ontbreekt, lijkt het niet onwaarschijnlijk dat weersinvloeden een grote rol kunnen spelen. We kunnen in ieder geval concluderen dat enkelvoudige metingen niet representatief hoeven te zijn.

Omdat de systematische positie een belangrijke rol speelt bij verschillen in cesiumgehaltenes, is het niet verbazingwekkend dat ook de verschillende oecologische groepen verschillen in hun cesiumgehalte. Mycorrhizapaddestoelen blijken over het algemeen wat meer cesium te bevatten dan strooiselsaprophyten, en deze wat meer dan humussaprophyten. Een groot deel van de door de mycorrhizaschimmels opgenomen nutriënten wordt overigens in de mantel opgeslagen en maar mondjesmaat aan de boom afgegeven (Harley & Smith, 1983). Het is dus onwaarschijnlijk dat onze bomen via hun mycorrhizasymbionten besmet zouden raken. Ook is gebleken dat cesium efficiënt aan de humuslaag gebonden wordt en dus niet naar het grondwater uitspoelt.

Het bovenvermelde onderzoek had overigens betrekking op het totaal aan cesium, zowel radioactief als 'koud' cesium. Metingen aan radioactief cesium in paddestoelen zijn op het ogenblik slechts voor een beperkt deel gepubliceerd. In Groningen heeft men één collectie van de Berkeboleet (*Leccinum scabrum*) en één collectie van de Kastanjeboleet (*Xerocomus badius*) onderzocht. De Berkeboleet uit Drenthe bevatte 900 Bq per kilo versgewicht, de Kastanjeboleet uit Midden Nederland 1000 Bq per kilo versgewicht. Onderzoek in Amsterdam aan paddestoelen uit de duinen leverden gehalten van 600 tot 1000 Bq per kilo versgewicht op. Metingen van het Ministerie van Landbouw & Visserij en van verschillende Keuringsdiensten van Waren leverden daarentegen aanmerkelijk lagere getallen op. Gezien de soortsspecifieke verschillen, de invloed van weersomstandigheden en wellicht ook de verschillende meetmethoden zijn deze tegenstrijdige waarnemingen niet verrassend.

In Nederland bedraagt de gezondheidsnorm voor voedsel 600 Bq per kilo versgewicht voor cesium. Sommige paddestoelsoorten zitten daar dus duidelijk boven, en in dat opzicht is het eten van die soorten dus niet aan te bevelen. Overigens moeten we het risico van eten niet overschatten. Je moet ongeveer 100 kilo Berkeboleten uit Drenthe eten om een dosis binnen te krijgen die vergelijkbaar is met de dosis die we gemiddeld jaarlijks via medisch onderzoek ontvangen. Van Eekhoorntjesbrood (*Boletus edulis*) en Cantharellen (*Cantharellus cibarius*) zouden we nog veel meer moeten eten om zo'n dosis te bereiken. Gekweekte champignons (*Agaricus bisporus*) bevatten in het geheel geen radioactief cesium.

Hogere gehalten aan radioactief cesium vinden we bij *Rozites caperatus* uit Zweden: deze tot de Cortinariaceae behorende soort bevat gehalten tot 10.000 Bq per kilo (Machiel Noordeloos, pers. meded.), waarbij we uiteraard rekening moeten houden met het feit dat het hier om een veel sterker besmet gebied gaat.

Het is overigens niet zo dat al het in paddestoelen aanwezige radioactieve cesium het gevolg is van de ramp in Tsjernobyl. We beschikken dankzij Ypelaar (1980) over eerdere metingen van radioactief cesium in paddestoelen en op grond van zijn gegevens kunnen we concluderen dat ongeveer een kwart van de huidige radioactiviteit terug te voeren valt op het cesium dat bij de bovengrondse kernproeven is vrijgekomen.

Uit zijn metingen blijkt dat in 1973 de Berkeboleet 450 Bq per kilo versgewicht bevatte, de Kastanjeboleet 200. In Oostenrijk vond men toen zelfs een gehalte van 5000 Bq per kilo versgewicht bij een collectie van *Cortinarius armillatus* (Haselwandter, 1977).

Het lijkt op het eerste gezicht verbazingwekkend dat in 1973 de Berkeboleet meer dan tweemaal zo radioactief was als de Kastanjeboleet en nu voor beide soorten vergelijkbare gehalten worden gevonden. Dit verschil heeft uitsluitend te maken met het neerslagpatroon in de eerste dagen van mei. In Drenthe is ongeveer 900 Bq per m² neergekomen, en in Midden Nederland 2000-3000 Bq per m². Het meeste cesium kwam neer in Zuidoost Brabant met gehalten van meer dan 6000 Bq per m².

Het is mogelijk, met behulp van deze gegevens en enkele schattingen te berekenen hoeveel radioactief cesium je zou verwijderen als je alle paddestoelen uit een gebied zou wegplukken (gesteld dat dat zou kunnen). Voor Nederland is uitgegaan van een gemiddelde cesiumdepositie van 2000 Bq per m². Seeger & Schweinshaut vonden voor hun 1166 monsters gemiddeld 7.0 mg cesium per kilo drooggewicht; voor *Xerocomus badius* en *Leccinum scabrum* was dat resp. 6.1 en 9.7 mg cesium per kilo drooggewicht. Dit levert ons een cesiumgehalte voor de 'gemiddelde' paddestoel van 1150-1300 Bq per kilo versgewicht. De productie van

paddestoelen (drooggewicht) voor een Nederlands bos is bepaald op 20 kg per ha per jaar. Bohus & Babos (1960) geven voor Hongaarse eikenbossen een productie van 40-80 kg drooggewicht per ha per jaar op, waarvan meer dan 75% op rekening komt van de mycorrhizasymbionten. Juist deze groep is in Nederland in het laatste decennium zeer sterk achteruitgegaan (Arnolds, 1985) en daarom is deze wat lagere schatting aangehouden. Aangezien het drooggewicht van paddestoelen 10-12% van het versgewicht is, rekenen we dus met een productie van 167-200 kg versgewicht per ha per jaar.

Op 1 ha is 20.000.000 Bq cesium neergekomen. Door plukken halen we weg: $(167 \text{ tot } 200) \times (1150 \text{ tot } 1300) = 192.050 \text{ tot } 260.000 \text{ Bq cesium}$. Op deze wijze 'oogsten' we dus 0.9 tot 1.3% op jaarbasis. Rekening houdend met een verlies van radioactiviteit door spontaan verval van 2.3% per jaar, betekent dit dat we van de effecten van het plukken maar weinig zouden merken waar het de radioactiviteit van de bodem betreft.

Het standpunt van de NMV (Jansen & al., 1983) is weliswaar dat nog nergens de schadelijkheid van plukken (mits dat voorzichtig gebeurt) is aangetoond. Er is echter alle reden om aan te nemen dat massale pluk, gepaard gaande met harken etc. wel tot schade aan het mycelium kan leiden. Ook de visuele schade die hierbij zal optreden is buitengewoon groot.

We kunnen dan ook niet anders dan concluderen dat massale pluk - cq. 'paddestoelenvernietigings' acties uitermate verwerpelijk zijn. Als radioactiviteit werkelijk zo'n groot probleem is, zouden we dan niet tot de conclusie moeten komen dat sluiting van kerncentrales de oplossing is?

Met dank aan Annelies Jansen, Peter-Jan Keizer en Aad Termorshuizen voor hun commentaar op een eerdere versie van dit artikel.

LITERATUUR

- Arnolds, E. 1985. Veranderingen in de Nederlandse mycoflora op grond van oude en recente excursieverslagen. *Wetensch. Meded. KNNV* 167: 12-24.
- Bohus, G. & Babos, M. 1960. Coenology of terricolous macroscopic fungi of deciduous forests. *Bot. Jb.* 80: 1-100.
- Harley, J.L. & Smith, S.E. 1983. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London.
- Haselwandter, K. 1977. Radioaktives Cäsium (Cs 137) in Fruchtkörpern verschiedener Basidiomycetes. *Z. Pilzk.* 43: 323-326.
- Jansen, A.E., Jansen, E., Noordeloos, M.E., Schreurs, J., Swart-Velthuyzen, C.M. & Wisman, J. 1983. Over plukken en bescherming van paddestoelen. *Natura*, nov.; 7 p.
- Seeger, R. & Schweinschaut, P. 1981. Vorkommen von Caesium in höheren Pilzen. *Sci. tot. Environ.* 19: 253-276.
- Ypelaar, P. 1980. Het caesium-137 gehalte van verschillende paddestoelsoorten. *Coolia* 23: 86-91.