

# EEN FEESTJE ONDER DE GROND?<sup>1</sup>

Thomas W. Kuyper

Bodembiologie, Wageningen Universiteit, Postbus 47, 6700 AA Wageningen

Kuyper, T.W. 2020. An underground party? *Coolia* 63(2): 93–96.

Several mushroom species, which belong to taxonomically unrelated groups, can produce the hallucinogen psilocybin. Mushrooms with that ability belong to the genera *Psilocybe*, *Panaeolus*, *Gymnopilus*, *Pluteus* and *Inocybe*, and possibly some other genera produce this substance as well. Outside the Agaricales psilocybin has never been recorded, raising the question about the multiple and independent evolutionary events that resulted in this natural product. Recent research has shown that the occurrence of psilocybin in saprotrophic Agaricales is due to the horizontal transfer of a gene cluster responsible for the substance, and not to independent evolutionary events. Only for the genus *Inocybe* has an independent origin of psilocybin evolution been demonstrated. Horizontal gene transfer of the psilocybin cluster raises questions about its benefits. Hallucinogenic effects of psilocybin have been shown to occur in mammals (humans, sheep, dogs) and also in spiders, but there is no evidence about such effects in insects. An alternative suggestion that needs further testing is that psilocybin actually contributes to enhancing mutualistic relationships between mushrooms and insects.

In een eerdere artikel in deze reeks meldde ik dat ik bij lezingen over paddenstoelen voor geïnteresseerde leken een paddenstoelenquiz organiseer. Een van mijn vragen, naast die over het verzamelen van truffels door varkens, is daarbij: Hoeveel paddenstoelensoorten moet een Nederlandse burger kennen? De mogelijke antwoorden zijn:

- Geen, van een inwoner van een mycofoob (paddenstoelenmijdend) land als Nederland hoeft natuurlijk geen paddenstoelenkennis verwacht te worden;
- Eén, de Vliegenzwam (*Amanita muscaria*), want als deel van de inburgeringscursus wordt het liedje over de rood-met-witte paddenstoel geleerd;
- 188, het cijfer dat in het opstel “188 soorten paddo’s” door Rob Chrispijn (2018) genoemd wordt;
- 189, vanwege antwoord c, en daar komt vanwege alternatief b nog de Vliegenzwam bij.

Het juiste antwoord is 188. Dat antwoord volgt uit het feit dat elke Nederlander geacht wordt de wet te kennen, en in aanhangsel 2 over hallucinogene paddenstoelen bij de herziene Opiumwet staan niet alleen 186 soorten paddenstoelen (paddo’s) die psilocybine en psilocine produceren, maar ook twee soorten amanieten (Vliegenzwam, Panteramaniet) die muscimol en iboteenzuur produceren. Antwoord d is daarom ook niet bijna goed, want een Nederlander wordt inderdaad geacht de Vliegenzwam te kennen – niet als deel van een inburgeringscursus maar gewoon omdat de Vliegenzwam een van die 188 soorten is.

Rob Chrispijn vroeg zich af waar die lijst vandaan komt. Hij heeft gelijk dat geen Nederlandse mycoloog met enige ervaring aan het samenstellen van die lijst heeft bijgedragen. Want anders waren de Dennenvlamhoed (*Gymnopilus penetrans*; in de lijst *G. sapineus*, dennevlamhoed genaamd), de Gewone hertenzwam (*Pluteus cervinus*; in de lijst *P. atricapillus* en zonder Nederlandse naam), de Gazonvlekplaat (*Panaeolina foenisecii*) en het Oranjegeel trechtertje (*Rickenella fibula*; in de lijst *Gerronema fibula* en daar zonder Nederlandse naam) nooit op die lijst terecht gekomen. Die lijst komt uit een artikel van Guzmán et al. (2000) uit een tijdschrift dat als uitermate onbekend mag worden beschouwd, de annalen van het stedelijk museum

<sup>1</sup> Dit is Aflevering 24 in de serie over recent ecologisch onderzoek aan paddenstoelen en schimmels.



**Figuur 1.** Vliegenzwam. (Foto: Anneke van der Putte)

in Rovereto, Italië. (Gelukkig hebben we in Nederland ijverige en nijvere ambtenaren die zulke literatuur weten te vinden. En niet alleen dat, ze zijn zelfs taxonomisch deskundig, want *Amanita regalis* die ook in het artikel wordt genoemd, is door de wetgever niet als eigen soort geaccepteerd. Blijkbaar heeft die ambtenaar mijn artikel uit Coolia (Kuyper, 2007) ook aandachtig bestudeerd.) Die lijst met 216 soorten bevat hoofdzakelijk soorten (186 soorten) waarvan gerapporteerd is (maar niet altijd betrouwbaar!) dat ze psilocybine of psilocine bevatten; slechts 32 soorten van die lijst bevatten andere middelen die als neutrotroop (dat wil zeggen met effecten op het zenuwstelsel) of meer specifiek als geestverruimend worden beschouwd, zoals de Vliegenzwam.

Bij de soorten waarbij Guzmán et al. (2000) van mening waren dat ze psilocybine bevatten, vinden we zeer algemene soorten als de gazonvlekplaat (*Panaeolina foenisecii*), die vermoedelijk wel in zowat elke tuin, voor zover die niet geheel betegeld is, voorkomt. En omdat de wet bepaalt dat het verboden is deze paddenstoelen 'aanwezig te hebben' (Artikel 3) (en je hebt die paddenstoel aanwezig als die in je tuin groeit...), wonen we in een nogal crimineel landje. En ja, mycologen die paddenstoelen voor determinatie en hun herbarium verzamelen zitten natuurlijk ook fout. Maar gelukkig hoeft u zich geen zorgen te maken. Niet alleen zal geen enkele agent paddenstoelen, die u op naam wil brengen, voor u determineren om vast te stellen dat u een strafbaar feit heeft begaan, maar de minister heeft het bestuur van de NMV bericht, in een brief van 23 januari 2009, dat het niet in de bedoeling ligt de wet na te leven. Ook is het publiceren van dit verhaal niet strafbaar; dat staat zelfs uitdrukkelijk in de wet (Artikel 3b).

Het feit dat paddenstoelen psilocybine produceren is een interessant gegeven. Psilocybine is een relatief simpele verbinding die het bij alle organismen voorkomende aminozuur tryptofaan als uitgangsmateriaal heeft. Maar ondanks de simpele structuur komt psilocybine niet voor bij planten of dieren, maar alleen bij paddenstoelen. (Een verwante stof, met eveneens hetzelfde uitgangsmateriaal, serotonine, komt wel bij zoogdieren voor en is daar bij de overdracht van zenuwsignalen betrokken.) Binnen de paddenstoelen komt psilocybine alleen voor in de Agaricales. Maar daar is het aanwezig bij verschillende soorten, geslachten en families. Zo is psilocybine met zekerheid gerapporteerd bij *Psilocybe* (Strophariaceae), *Panaeolus* (Psathyrellaceae), *Gymnopilus* (Cortinariaceae), *Pluteus* (Pluteaceae) en *Inocybe* (Inocybaceae). Die paddenstoelen zijn niet zeer nauw aan elkaar verwant – in alle gevallen zijn er nauwere verwanten van die geslachten (of soorten binnen die geslachten) die geen psilocybine produceren. Blijkbaar is het trucje om psilocybine te produceren voor paddenstoelen niet al te lastig.

Die redenering veronderstelt dat bij deze geslachten het vermogen om psilocybine te produceren onafhankelijk geëvolueerd is. Want wat zijn eventuele alternatieve verklaringen voor het feit dat psilocybine in niet-verwante groepen voorkomt? Een alternatief is dat de gemeenschappelijke voorouder van al deze geslachten al dat vermogen bezat en dat dit kenmerk herhaaldelijk in de evolutie verloren is geraakt. Dat lijkt een veel minder voor de hand liggende verklaring,

doordat die een aanzienlijk groter aantal gevallen van verlies om psilocybine te produceren noodzakelijk maakt. Maar er is nog een derde mogelijkheid, namelijk die van horizontale genoverdracht. Daarbij wordt erfelijk materiaal rechtstreeks van de ene soort naar de andere soort overgebracht, zonder dat die soorten zelf verwant hoeven te zijn. (In zulke gevallen zijn de moleculaire stambomen op basis van dat gen misleidend.) Horizontale genoverdracht is bij sommige Basidiomyceten beschreven. Zo is een bepaalde klasse van enzymen, die we wel bij de ectomycorrhizavormende amanieten, maar niet bij de saprotrofe amanieten vinden, verwant aan en vrijwel zeker verkregen via horizontale overdracht van dat enzym door bepaalde bacteriën (Chaib de Marais et al., 2014). Zou het mogelijk zijn dat er ook sprake is van horizontale overdracht van het vermogen om psilocybine te produceren tussen paddenstoelengeslachten? Ikzelf zou nooit aan die mogelijkheid gedacht hebben, maar twee onderzoeksgroepen hebben onafhankelijk van elkaar die vraag onderzocht. Uit onderzoek van Reynolds et al. (2018) en Awan et al. (2018) blijkt dat hetzelfde cluster van genen, dat verantwoordelijk is voor de synthese van psilocybine, voorkomt in niet-verwante hallucinogene paddenstoelen. Dat hele cluster is aangetroffen bij soorten van het geslacht *Psilocybe*, maar ook bij *Panaeolus cyanescens*, *Pluteus salicinus* en *Gymnopilus dilepis*. De afzonderlijke genen van dit cluster tonen elk een iets andere evolutionaire geschiedenis, maar de combinatie van die genen in (vrijwel) alle psilocybine-producerende soorten kan tot geen andere conclusie leiden dan dat dit hele complex van genen naar andere geslachten is overgesprongen. Daardoor kan een moleculaire analyse van genen voor de psilocybineproductie dus niet gebruikt worden voor het bepalen van verwantschappen. Hierboven schreef ik '(vrijwel) alle soorten'; want, inderdaad, er zijn ook paddenstoelen die psilocybine produceren maar dat cluster niet hebben. Daar blijkt ook de synthese van psilocybe anders te verlopen. Dat betreft vezelkoppen, soorten in de verwantschap van *Inocybe corydalina*.

Zou het toeval zijn dat alle soorten die dit cluster bevatten saprotroof leven, en de enige groep waarvoor een onafhankelijke evolutie van de vorming van psilocybine aantoonbaar is, ectomycorrhiza vormt? Dat lijkt een aantrekkelijke gedachte, maar het antwoord op die vraag weten we nog niet. We moeten daarbij wel bedenken dat die saprotrofe soorten ecologisch ook nogal verschillend zijn: sommige groeien op mest of in grasland, andere op hout of houtsnippers. Als overdracht tussen saprotrofe soorten met een nogal verschillende ecologie mogelijk is, is het niet vanzelfsprekend dat de ecologie van paddenstoelen een barrière voor horizontale overdracht vormt. Overdracht van vreemd DNA van de ene soort naar de andere kan namelijk op verschillende manieren plaatsvinden. Allereerst natuurlijk doordat paddenstoelen op hetzelfde substraat met elkaar in contact komen. Ook kan deze overdracht via bacteriën en virussen verlopen. En tenslotte valt niet uit te sluiten dat via consumptie van paddenstoelen het DNA van de ene soort met dat van een andere soort in een dierenmaag in contact kan komen.

Als horizontale overdracht van erfelijke informatie voor het maken van psilocybine de verklaring is voor het voorkomen bij verschillende geslachten van saprotrofe paddenstoelen, dan ligt het voor de hand te veronderstellen dat dat vermogen ook een voordeel oplevert in de strijd om het be-



**Figuur 2.** *Grauwgroene hertenzwam.*  
(Foto: Anneke van der Putte)

**Figuur 3.** Gazonvlekplaat.  
(Foto: Anneke van der Putte)



staan. Want zonder zo'n voordeel zou dat overgedragen, vreemde DNA, geen lang leven beschoren zijn in een soort waar dat vermogen voordien niet voorkwam. Dat mogelijke voordeel om psilocybine te kunnen produceren leidt tot een nieuwe vraag: zouden paddenstoelen (of het mycelium van die soorten), die psilocybine produceren, minder begraasd worden? Zouden vruchtlichamen minder gegeten worden? Zou een springstaart, na een portie geestverruimende middelen ingenomen te hebben, niet meer in staat zijn om gewoon te functioneren en gezonde nakomelingen te produceren? We weten immers dat niet alleen bij mensen, maar ook bij honden en schapen psilocybine effecten heeft op de geestesgesteldheid. En ja, ook zo'n exotische vraag trekt onderzoekers aan die daarop graag het antwoord willen weten. Zo hebben onderzoekers al in de zestiger jaren aan spinnen psilocybine toegediend om te onderzoeken of psilocybine (en andere geestverruimende middelen) effect hebben op het bouwen van spinnenwebben (Christiansen et al., 1962). En inderdaad, spinnenwebben veranderen onder invloed van geestverruimende middelen.

Maar voor insecten is het antwoord minder duidelijk. In vruchtlichamen van *Psilocybe cyanescens* werden larven van paddenstoelenmugjes aangetroffen. Deze larven groeiden echter gewoon en na uitkomen van de pop ontwikkelden ze zich tot volwassen vliegen. Blijkbaar levert het vermogen om psilocybine te produceren geen of maar beperkte bescherming op tegen insectenvraat. Maar wie heeft er ooit gekeken of er in vruchtlichamen van *Pluteus cervinus* of van *P. salicinus* meer insecten worden aangetroffen?

#### Literatuur

- Awan, A.R., J.M. Winter, D. Turner, W.M. Shaw, L.M. Suz, A.J. Bradshaw, T. Ellis & B.T.M. Dentinger (2018). Convergent evolution of psilocybin biosynthesis by psychedelic mushrooms. BioRxiv, preprint. <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/374199v1>
- Chaib de Mares M., J. Hess, D. Floudas, A. Lipzen, C. Choi, M. Kennedy, I.V. Grigoriev, A. Pringle (2014). Horizontal transfer of carbohydrate metabolism genes into ectomycorrhizal *Amanita*. *New Phytologist* 205:1552–64.
- Christijjn, R. (2018). Paddenstoelengeluk. Nijgh & Van Ditmar.
- Christiansen, A., R. Baum & P.N. Witt (1962). Changes in spider webs brought about by mescaline, psilocybin, and an increase in body weight. *The Journal of Pharmacology and experimental Therapeutics* 136: 31–37.
- Guzmán, G., J.W. Allen & J. Gartz (2000) ('1998'). A worldwide geographical distribution of the neurotropic fungi, an analysis and discussion. *Annali del Museo civico di Rovereto* 14: 189-280. [http://www.museocivico.rovereto.tn.it/annali\\_14](http://www.museocivico.rovereto.tn.it/annali_14)
- Kuyper, T.W. (2007). Vliegenzwammen determineren. *Coolia* 50: 39–41.
- Reynolds, H.R., V. Vijayakumar, E. Gluck-Thaler, H.B. Korotkin, P.B. Matheny & J.C. Slot (2018). Horizontal gene cluster increased hallucinogenic mushroom diversity. *Evolution Letters* 2(2): 88–101.