



PADDENSTOELEN ALS REGENMAKERS¹

Thomas W. Kuyper

Bodembiologie, Wageningen Universiteit, Postbus 47, 6700 AA Wageningen

Kuyper, T.W. 2019. Mushrooms as rainmakers. *Coolia* 62(3): 159–162.

Mushrooms disperse gigantic amounts of spores into the atmosphere. Spores of Basidiomycetes possess a unique discharge mechanism with a catapult mechanism powered by drops of fluid on the spore surface and at the sterigma. This fluid contains hygroscopic sugars of which mannitol is the most important one. Mannitol concentrations in the atmosphere allow calculations of the amount of spores that are annually discharged into the atmosphere and subsequently settle on the ground. While in the atmosphere, spores act as nuclei for condensation of water or ice and this subsequently stimulates the formation of rain. Mushrooms are therefore a likely important element in the feedback between vegetation, the mushrooms of that vegetation and the hydrological cycle, and contribute to maintaining high amounts of rainfall especially in tropical forest ecosystems.

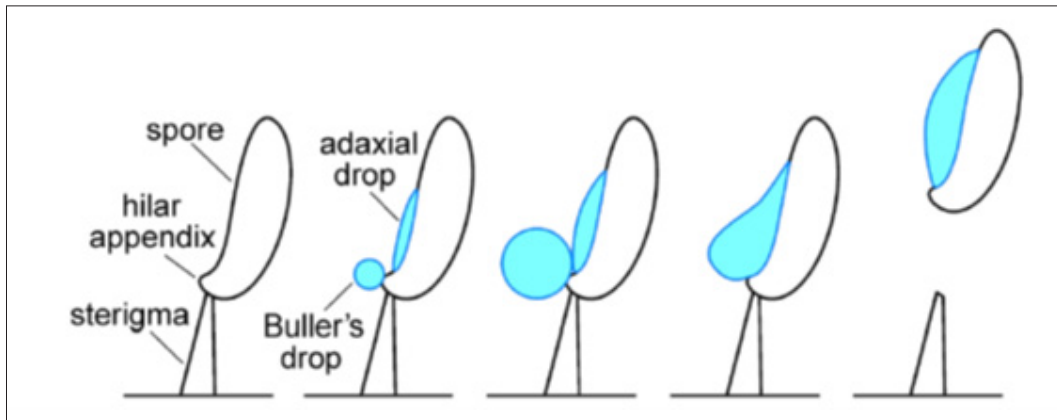
Paddenstoelen en regen horen bij elkaar. Niets brengt zoveel vreugde in het leven van een mycoloog als een warme en vooral natte zomer en herfst. En niets brengt zoveel treurnis als een warme en droge zomer en herfst, zoals die van 2018, 1976 of 1959. Maar in deze gevallen hebben we het over de invloed van regen op paddenstoelen. We kunnen de vraag ook omdraaien. Zouden paddenstoelen ook invloed kunnen hebben op de regen? Dat lijkt misschien een merkwaardige vraag, die we dan ook met een simpel nee zouden kunnen beantwoorden. Maar zoals vaker in de mycologie: paddenstoelen zorgen altijd weer voor verrassingen. Dat realiseerde ik me toen ik een artikel van Hassett et al. (2015) las met de intrigerende titel ‘Paddenstoelen als regenmakers’.

Eerst enkele woorden over het maken van regen. Planten verdampen water en ook uit de bodem verdampt water. Dit water stijgt op en zal uiteindelijk weer condenseren, hetzij op lagere hoogte in de atmosfeer (warme regen) hetzij op grotere hoogte waar ijskernen worden gevormd die vervolgens naar beneden vallen en in warmere luchtlagen weer smelten. Bij het ontstaan van condensatiekernen spelen vaste deeltjes een grote rol. Dat kunnen kleine deeltjes zijn die door menselijke activiteit worden uitgestoten, maar ook materiaal dat door planten en bodemorganismen in de lucht terecht komt, zoals pollen of sporen van paddenstoelen. Op die manier ontstaat er een positieve terugkoppeling (Morris et al., 2014): een vegetatie op vochtige grond verdampt veel water dat in de atmosfeer komt. In dat milieu voelen paddenstoelen zich op hun gemak zodat grote aantallen sporen in de lucht terecht komen. Die sporen fungeren als condensatiekernen waardoor het water ter plekke weer naar beneden valt en het water weer beschikbaar komt voor de vegetatie. Dat systeem wordt dus mede in stand gehouden door de sporen die paddenstoelen de lucht in schieten. Vooral in de tropen lijkt dat proces een zeer belangrijke rol te spelen bij de regionale vochthuishouding (Elbert et al. 2007). Om die reden wordt er in het Amazonegebied veel onderzoek verricht aan het ontstaan van condensatiekernen en de rol van schimmels daarbij (Womack et al., 2015).

We moeten daarom kijken naar het mechanisme waarmee sporen in de lucht komen. We beginnen met het simpele voorbeeld van een basidiomycete. Bij het afschieten van hun sporen van het basidium speelt de befaamde druppel van Buller (zie daarvoor ook de bijdrage van Else Vellinga in dit nummer) de hoofdrol.

1. Dit is Aflevering 23 in de serie over recent ecologisch onderzoek aan paddenstoelen en schimmels.





Figuur 1. Het mechanisme waarmee sporen van basidiomyceten worden afgeschoten. Boven de apiculus bevindt zich een wateraantrekkende structuur. Ook op de apiculus condenseert een waterdruppel (de druppel van Buller). Beide druppels vloeien samen en dit verschuift het zwaartepunt van de spore waardoor ze als het ware gekatapulteerd wordt. Overgenomen van Hassett et al. (2015).

Figuur 1 laat zien hoe een spore aan het basidium vastzit. De spore zit asymmetrisch aan een sterigma (het steeltje bovenop het basidium) vast. Vlak boven de apiculus bevindt zich een aparte structuur die hygroscopisch is. Op die plek kan water condenseren. Ook aan de apiculus wordt een waterdruppel gevormd, de druppel van Buller. Beide zwellen doordat ze water aantrekken en komen uiteindelijk met elkaar in contact. Door dat contact versmelten beide druppels en dat leidt tot een plotseling verplaatsing van het zwaartepunt die er op haar beurt voor zorgt dat de spore gelanceerd of gekatapulteerd wordt, met een snelheid van bijna 7 kilometer per uur. Dankzij de modernste cameratechnieken kan dat proces ook in beeld worden gebracht (Pringle et al., 2005). De vorming van die druppels wordt veroorzaakt door speciale suikers met hygroscopische (wateraantrekkende) eigenschappen, waarvan mannitol de voornaamste verbinding is.

Aangezien een paddenstoel in zijn leven veel sporen produceert, moet ook de lucht soms vol zitten met paddenstoelensporen. Dat aantal valt niet gemakkelijk te bepalen, al kun je natuurlijk met een soort stofzuiger lucht door een filter halen en de sporen van dat filter afhalen, tellen en determineren. Maar het is makkelijker om het mannitolgehalte in de lucht te meten – waarvan we weten dat de bron de sporen van basidiomyceten zijn. Zo is het mogelijk om boven het tropisch regenbos mannitol in de lucht aan te tonen. Een schatting van Elbert et al. (2007) van de hoeveelheid mannitol in de lucht gaf aan dat er wereldwijd jaarlijks 17 teragram (17 miljard kilo) sporen van basidiomyceten in de atmosfeer terecht komen. Als we de sporen van andere schimmels meerekenen, blijkt die massa ongeveer drie keer zo groot te zijn. We kunnen zulke onvoorstelbare getallen ook terugrekenen naar aantallen sporen. Die berekening geeft aan dat er jaarlijks ongeveer 6 miljard sporen op elke vierkante meter op de bosgrond terecht komen (Sesartic & Dallafior, 2011). Inderdaad, door hun kleine sporen kunnen paddenstoelen het zich veroorloven buitengewoon royaal, zo niet verkwistend, met hun sporenproductie te zijn.

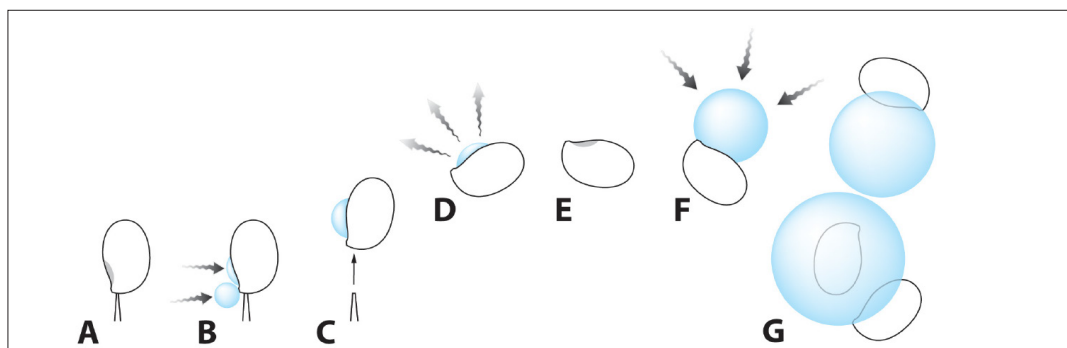
Het gaat om zoveel sporen dat het ook mogelijk is die sporen te concentreren in een klein buisje, uit die sporen het DNA te halen en dan met de modernste moleculaire technieken vast te stellen welke soorten er in de lucht aanwezig zijn. Dat onderzoek is uitgevoerd door Abrego



et al. (2018). Zij presenteren hun onderzoek als een methode om met minimale inspanning een soortenlijst te produceren zonder dat je enige kennis van paddenstoelen hoeft te hebben. Zij pasten hun methode toe in vier bossen in Finland. De door hun gebruikte methode was nog wat grofstoffelijk en zij konden slechts tot op geslachtsniveau de samenstelling van hun luchtmonsters bepalen. Maar hun soortenlijst liet zien dat in die bossen plaatjeszwammen van de genera *Cortinarius*, *Baeospora*, *Mycena*, *Russula*, naast buisjes- en korstzwammen zoals *Trametes*, *Phlebia*, *Trechispora* en *Stereum* algemeen voorkomen. Bovendien bleek er sprake van een duidelijk seizoensaspect, dus moet er per jaar enkele malen verzameld worden. Uit eerder onderzoek (Elbert et al., 2007) bleek dat de dichtheid van sporen (vooral van basidiomyceten) 's nachts hoger was dan overdag. Kortom een nieuwe toekomst voor mycologisch onderzoek: 's nachts bij kaarslicht op een terras sterke verhalen vertellen uit de oude mycologische doos, terwijl tegelijkertijd sporen uit de lucht worden opgezogen en voor een klein bedrag op naam worden gebracht: het nieuwe paddenstoelengeluk.

Maar voordat die sporen weer op de grond terecht komen, richten we onze aandacht op de effecten van de sporen zolang ze in de atmosfeer zijn. We zagen al dat sporen van basidiomyceten worden afgeschoten doordat de twee waterdruppels op het sporenoppervlak samenvloeien. In de lucht verdampt dat water langzaam. Maar de eigenschappen van dat mannitol zorgen er voor dat de sporen in de atmosfeer condensatiekernen kunnen worden waar ze opnieuw kleine druppels op hun oppervlak verzamelen die uiteindelijk samenvloeien. Op die manier dragen sporen bij tot de vorming van wolken en het ontstaan van regen. Onderzoekers hadden vroeger al eens de gedachte geopperd dat zulke condensatiekernen, niet alleen door sporen van paddenstoelen, maar ook door bijvoorbeeld pollenkorrels, een belangrijke rol kunnen spelen bij het handhaven van de hoge luchtvochtigheid boven tropische bossen. Maar niemand had speciaal naar de rol van paddenstoelen gekeken voor het onderzoek van Hassett et al. (2015) werd gepubliceerd.

Uit hun onderzoek bleek dat paddenstoelen buitengewoon effectief zijn in het doen ontstaan van condensatiekernen en een belangrijke bijdrage leveren aan de vorming van regen-druppels. Daardoor zouden paddenstoelen dus het vochtige klimaat rond bossen, waarin ze een belangrijke rol spelen als ectomycorrhizasymbionten en als afbrekers van strooisel en hout, in stand kunnen houden. Na het lanceren van de sporen en het verdampen van het water,



Figuur 2. Sporen als regenmakers. Na afschieten van de sporen (A-C) verdampt het water (D). Maar de aanwezige suikers trekken opnieuw water aan (E), waardoor nieuwe druppels ontstaan die tot steeds grotere druppels kunnen samenvloeien (F). Uiteindelijk kunnen meer sporen samenkomen in één waterdruppel (G), waarmee de vorming van regendruppels wordt ingezet (G). Overgenomen van Hassett et al. (2015).



kunnen er opnieuw waterdruppels gevormd worden. Die waterdruppels kunnen groeien in hoge luchtvochtigheid. De uiteindelijke druppel kan zelfs groter worden dan het volume van de spore zelf. De grootste druppels die op sporen zijn gemeten hadden een diameter van 13 tot 27 μm . Zulke grotere druppels kunnen vervolgens samensmelten met druppels op het oppervlak van nabije sporen in de lucht (Figuur 2), en uiteindelijk kan dit het begin zijn van de actieve vorming van regendruppels.

Geldt dat mechanisme voor alle paddenstoelen? Voor zover we weten geldt dit in mindere mate voor ascosporen, die op een heel andere manier afgeschoten worden en waarbij water een kleinere rol speelt. Onder droge omstandigheden is de bijdrage van ascomyceten aan sporenaantallen in de lucht belangrijker dan die van basidiomyceten. Bovendien is de sporenwand bij sommige ascomyceten waterafstotend, hetgeen hun bijdrage aan de vorming van regen verder vermindert (Iannone et al. 2011). Interessant is ook de vraag hoe het zit met de buikzwammen (Gasteromyceten), die basidiomyceten zijn maar waarbij de sporen niet actief worden afgeschoten. Hun sporenoppervlak blijkt anders van structuur, want daar werden bij hoge luchtvochtigheid weliswaar dunne waterlaagjes over het hele sporenoppervlak gevormd, maar vond geen condensatie in de vorm van waterdruppeltjes plaats. Blijkbaar heeft het verlies van het mechanisme voor actieve sporenverspreiding ook geleid tot een ander karakter van het sporenoppervlak en een kleinere kans dat zulke sporen als condensatiekernen kunnen fungeren.

Er is dus inderdaad sprake van een positief terugkoppelingsmechanisme: veel regen biedt de mogelijkheid voor paddenstoelen om vruchtlichamen te vormen. Hun sporen op hun beurt kunnen, nadat ze zijn afgeschoten, weer als condensatiekernen fungeren, waardoor de luchtvochtigheid boven het bos gehandhaafd blijft en er ter plaatse veel regen kan vallen. Het gaat misschien wat ver om de grote droogte aan de paddenstoelen zelf te wijten, maar het is goed te bedenken dat klimaatverandering deze terugkoppeling kan verstoren waardoor de afname van aantallen paddenstoelen een eventuele droogte kan versterken.

Literatuur

- Abrego, N., V. Norros, P. Halme, P. Somervuo, H. Ali-Kovero & O. Ovaskainen. 2018. Give me a sample of air and I will tell which species are found from your region. *Molecular identification of fungi from airborne spore samples*. *Molecular Ecology Resources* 18: 511–524.
- Elbert, W., P.E. Taylor, M.O. Andreae & U. Pöschl. 2007. Contribution of fungi to primary biogenic aerosols in the atmosphere: wet and dry discharged spores, carbohydrates and inorganic ions. *Atmospheric Chemistry and Physics* 7: 4569–4588.
- Hassett, M.O., M.W.F. Fischer & N.P. Money. 2015. Mushrooms as rainmakers: how spores act as nuclei for raindrops. *PLoS One* 10: artikel 140407.
- Iannone, R., D.I. Chernoff, A. Pringle, S.T. Martin & A.K. Bertram. 2011. The ice nucleation ability of one of the most abundant types of fungal spores found in the atmosphere. *Atmospheric Chemistry and Physics* 11: 1191–1201.
- Morris, C.E., F. Conen, J.A. Huffman, V. Phillips, U. Pöschl & D.C. Sands. 2014. Bioprecipitation: a feedback cycle linking Earth history, ecosystem dynamics and land use through biological ice nucleators in the atmosphere. *Global Change Biology* 20: 341–351.
- Pringle, A., S.N. Patek, M. Fischer, J. Stolze & N.P. Money. 2005. The captured launch of a ballistospore. *Mycologia* 97: 866–871.
- Sesartic, A. & T.N. Dallafior. 2011. Global fungal spore emissions, review and synthesis of literature data. *Biogeosciences* 8: 1181–1192.
- Womack, A.M., P.E. Artaxo, F.Y. Ishida, R.C. Mueller, S.R. Saleska, K.T. Wiedemann, B.J.M. Bohannan & J.L. Green. 2015. Characterization of active and total fungal communities in the atmosphere over the Amazon rainforest. *Biogeosciences* 12: 6337–6349.

