



DE WONDERLIJKE ROL VAN BODEMDIEREN IN HET RECYCLEN VAN DODE BLADEREN

François-Xavier Joly * and Jens-Arne Subke

Biological and Environmental Sciences, University of Stirling, Stirling, United Kingdom

YOUNG REVIEWERS:



JUAN DIEGO

AGE: 15

MICRO-ORGANISMEN

Microscopisch kleine organismen, meestal onzichtbaar met het blote oog, zoals bacteriën en schimmels. Ook wel 'microben' genoemd.

Wanneer plantenbladeren doodgaan vallen ze op de bodem. Daar vindt een belangrijk proces plaats: ze breken af. Dit afbraakproces is essentieel om voedingsstoffen weer beschikbaar te maken voor planten en wordt voornamelijk uitgevoerd door een leger van **micro-organismen** (of kortweg: microben) die de bladeren langzaam laten verrotten. Maar grotere beestjes, zoals miljoenpoten en slakken, eten ook dode bladeren. Ze verteren deze bladeren echter niet zo best en de dode bladeren eindigen grotendeels als poep in de bodem, die dan vervolgens verder wordt afgebroken door micro-organismen. Heeft deze transformatie invloed op de afbraak van dode bladeren? Wij verzamelden uitwerpselen van verschillende soorten bodemdieren die verschillende soorten dode bladeren eten en we vonden dat de uitwerpselen gemiddeld meer dan drie keer sneller afbraken dan de originele, intacte, bladeren. Dit toont aan dat bodemdieren helpen bij de afbraak van dode bladeren, niet zozeer door ze te verteren maar door ze te transformeren tot poep.

WAAROM BESTUDEREN WE DODE BLADEREN?

Planten vormen de basis van al het leven op aarde. Dankzij hun bladeren kunnen planten de energie van de zon gebruiken om koolstofdioxide uit de lucht te halen en om te zetten in suikers. Dit proces, **fotosynthese** genoemd, is essentieel voor het leven op aarde. De suikers worden gebruikt om meer plantendelen te produceren (bladeren, stengels, wortels), die vervolgens door veel verschillende organismen kunnen worden gegeten. Maar de bladeren van een plant leven slechts enkele maanden tot jaren. Vroeg of laat hopen dode bladeren zich op op de bodem waar een ander belangrijk proces begint: dode bladeren breken af. Dit afbraakproces, ookwel **decompositie** genoemd, is net zo belangrijk als fotosynthese omdat zo de koolstof waaruit de bladeren zijn opgebouwd terug kan keren naar de atmosfeer als koolstofdioxide. Deze koolstofdioxide kan dan weer door andere planten worden gebruikt. Door afbraak keren ook voedingsstoffen die in de dode bladeren zitten terug naar de grond, waar ze opnieuw door planten kunnen worden gebruikt om nieuwe bladeren te vormen. Dankzij dit fragiele evenwicht tussen fotosynthese en afbraak blijft de cyclus van het leven in stand.

MICRO-ORGANISMEN BREKEN DODE BLADEREN AF

Hoe werkt afbraak? Dit proces wordt voornamelijk uitgevoerd door één groep van bodemorganismen: micro-organismen. Micro-organismen bestaan uit schimmels – dezelfde organismen die paddenstoelen vormen – en bacteriën. Micro-organismen zijn zo klein dat ze meestal niet zichtbaar zijn met het blote oog, maar ze zijn zeer talrijk aanwezig in de bodem. Slechts één gram grond kan 10 miljard micro-organismen bevatten. Deze micro-organismen gebruiken dode bladeren als voedsel. Ze verteren bladeren door de productie van **enzymen**. Deze enzymen zijn als een schaar en knippen de grote dode bladeren in microscopisch kleine stukjes. Micro-organismen kunnen deze bladdeeltjes vervolgens verteren om energie te krijgen en te groeien. Vervolgens geven de micro-organismen de koolstof terug aan de atmosfeer als koolstofdioxide. De levenscyclus gaat door.

Maar micro-organismen kunnen niet alle dode bladeren met dezelfde snelheid afbreken. Sommige planten, zoals beuken en dennen, vormen vrij dikke en stevige bladeren (of naalden) die weinig voedingsstoffen bevatten. Deze bladeren zijn niet erg goed in fotosynthese, maar ze kunnen zelfs in moeilijke omstandigheden overleven. Wanneer ze dood zijn breken deze bladeren langzaam af omdat ze weinig voedingsstoffen en weinig oppervlakte bieden waarop micro-organismen kunnen groeien. Anderzijds zijn er ook planten die dunnere bladeren produceren die meer voedingsstoffen bevatten, zoals essen en klavers. Deze bladeren zijn minder goed beschermd tegen beschadiging maar ze zijn beter in fotosynthese. Wanneer deze dunnere, voedzamere bladeren afsterven, bieden ze veel meer voedingsstoffen en meer oppervlakte voor micro-organismen, en daarom breken ze sneller af.

FOTOSYNTHESE

Het proces waarbij planten de energie uit zonlicht gebruiken om koolstofdioxide en water om te zetten in suikers.

DECOMPOSITIE

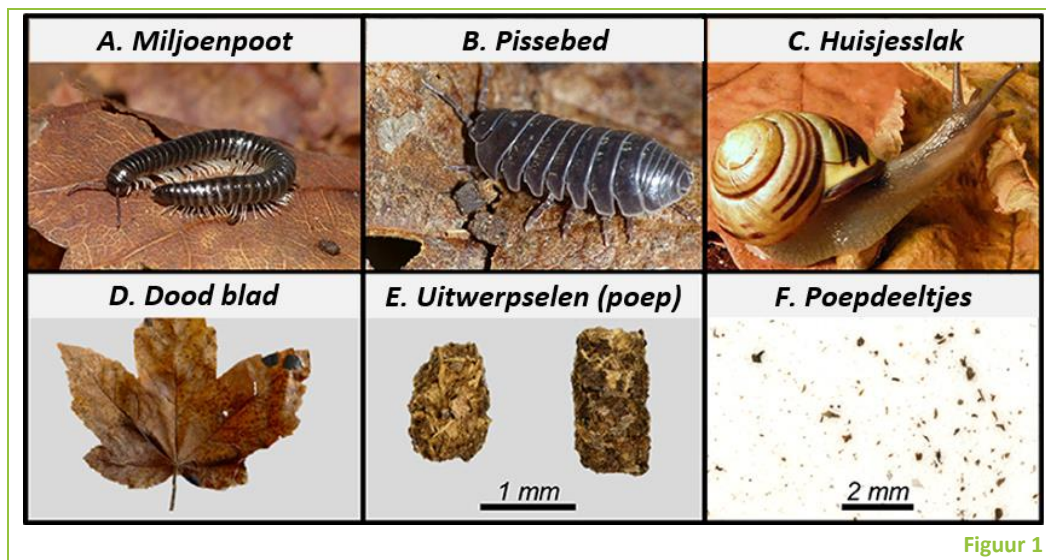
Het proces waarbij complexe plantaardige of dierlijke materie wordt afgebroken tot een eenvoudigere vorm. Hierbij worden koolstofdioxide en voedingsstoffen geproduceerd.

ENZYMEN

Eiwitten die grote en complexe moleculen kunnen afbreken tot kleinere en eenvoudigere moleculen.

FIGUUR 1

(A–C) Voorbeelden van bodemdieren die dode bladeren eten en omzetten in uitwerpselen. (A) Miljoenpoot, (B) Pissebed, (C) Huisjesslak. (D) Voorbeeld van dode bladeren die deze dieren kunnen eten. (E) Voorbeelden van uitwerpselen (poep) van dieren die dode bladeren eten. (F) De uitwerpselen van bladetende bodemdieren bestaan uit veel kleine bladdeeltjes.



BODEMDIEREN HELPEN MICRO-ORGANISMEN BIJ AFBRAAK

Micro-organismen zijn niet de enige organismen die zich tegoed doen aan dode bladeren. Grotere bodembeestjes, zoals duizendpoten, miljoenpoten, regenwormen, pissebedden en slakken, voeden zich ook met dode bladeren (**Figuur 1A-C**). In sommige bossen en zelfs in woestijnen worden de meeste dode bladeren die elk jaar vallen door deze bodemdieren opgegeten [1-4]. Van alle bladeren die deze bodemdieren eten wordt echter maar een klein deel daadwerkelijk verteerd en gebruikt. Het grootste deel komt als **uitwerpselen** terug in de bodem, oftewel poep (**Figuur 1E**). Dit betekent dat in ecosystemen waar veel bodemdieren voorkomen poep de belangrijkste bron van organisch materiaal is voor bacteriën en schimmels, en niet dode bladeren. Deze uitwerpselen zijn altijd veel kleiner dan dode bladeren: ze zijn gemaakt van tienduizenden kleine stukjes blad (**Figuur 1F**). Dit is ongeacht het soort dode bladeren dat wordt gegeten. Deze transformatie van grote, intacte dode bladeren naar kleine stukjes biedt veel meer oppervlakte voor micro-organismen om op te groeien en om af te breken.

We weten echter nog steeds niet goed wat het belang is van het omzetten van dode bladeren in uitwerpselen. Zijn uitwerpselen makkelijker afbreekbaar door micro-organismen dan intacte dode bladeren? Zo ja, is dit effect dan belangrijker voor dikke, stevige bladeren dan voor dunne bladeren die sowieso al gemakkelijk kunnen worden afgebroken door micro-organismen? Helpen alle bodemdieren die dode bladeren eten de micro-organismen met het afbreken van bladeren? In dit onderzoek wilden we antwoorden vinden op deze vragen [5].

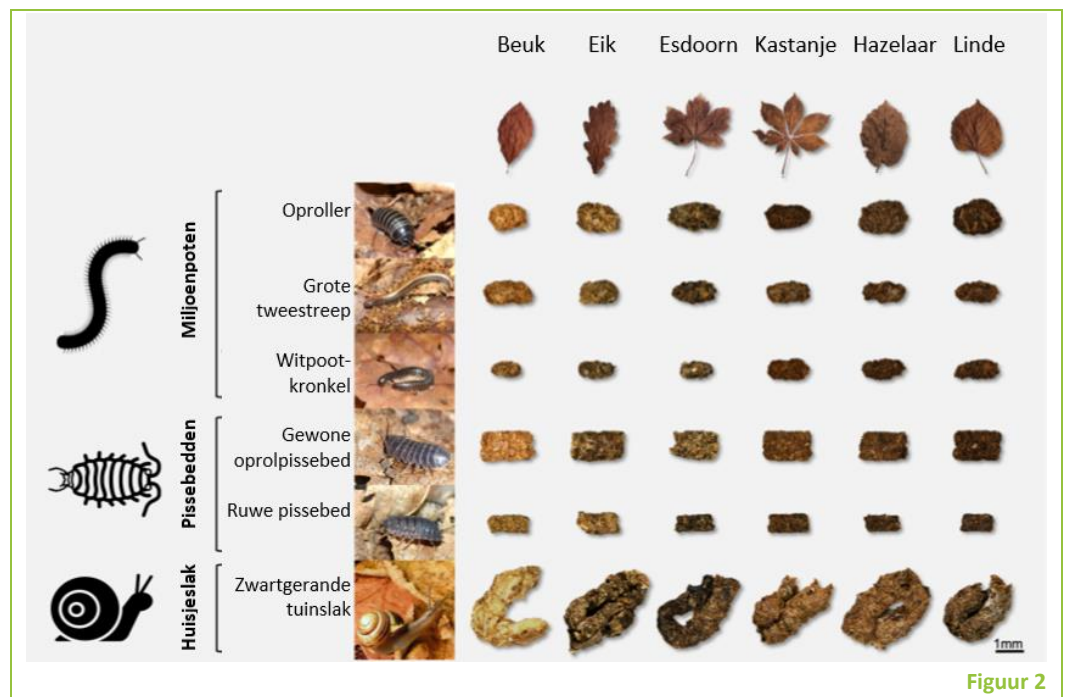
DE POEPFABRIEK: AFBRAAK BESTUDEREN IN HET LAB

Om het belang van het omzetten van dode bladeren in uitwerpselen te bestuderen, moesten we tienduizenden verse uitwerpselen van verschillende bodemdieren die verschillende soorten dode bladeren eten zien te vinden. In het wild is dit een onmogelijke taak omdat de uitwerpselen erg klein zijn. In het

FIGUUR 2

Uitwerpselen verzameld van zes verschillende bodemdieren (van boven naar beneden: miljoenpoten (Oproller, Grote tweestreek, Witpootkronkel), pissebedden (Gewone oprolpissebed, Ruwe pissebed), huisjesslak (Zwartgerande tuinslak)) die zich voedden met zes verschillende soorten dode bladeren (van links naar rechts: Beuk, Eik, Esdoorn, Paardenkastanje, Hazelaar, Linde). De uitwerpselen zijn op schaal afgebeeld, maar de bladeren en dieren niet. Je kan zien dat de kleur van de uitwerpselen afhangt van de dode bladeren die zijn gegeten, met een lichte kleur wanneer de dieren beukenbladeren aten en een donkerdere kleur wanneer ze lindebladeren aten. Andere kant, de vorm van de uitwerpselen hangt af van het soort dier, met ovale uitwerpselen voor duizendpoten, rechthoekige uitwerpselen voor pissebedden en cilindervormige uitwerpselen voor slakken. (Afbeelding gebaseerd op [5])

wild is het ook onmogelijk om de diersoort te bepalen die de uitwerpselen produceerde en het is ook niet mogelijk om te bepalen welk type dode bladeren het dier heeft gegeten. Daarom bedachten we een nieuw en bijzonder experiment: een poepfabriek. We begonnen in verschillende bossen en graslanden in de Schotse Laaglanden waar we duizenden bodemdieren verzamelden behorend tot zes soorten: drie soorten miljoenpoten, twee soorten pissebedden en één slakkensoort. We verzamelden ook dode bladeren van zes boomsoorten waarvan bekend is dat ze met verschillende snelheden afbreken: eiken, beuken, hazelaars, esdoorns, paardenkastanjes en lindes (Figuur 2). We brachten alle monsters terug naar het laboratorium. Daar combineerden we elke diersoort met elk type dood blad in een groot aantal plastic bakjes. In totaal hadden we 36 blad-dier combinaties. Daarna lieten we de dieren eten van de dode bladeren en twee keer per week verzamelden we hun uitwerpselen. Deze uitwerpselen waren zeer divers: ze varieerden in kleur afhankelijk van de dode bladeren die werden gegeten en ze varieerden in vorm afhankelijk van het type dier (Figuur 2).



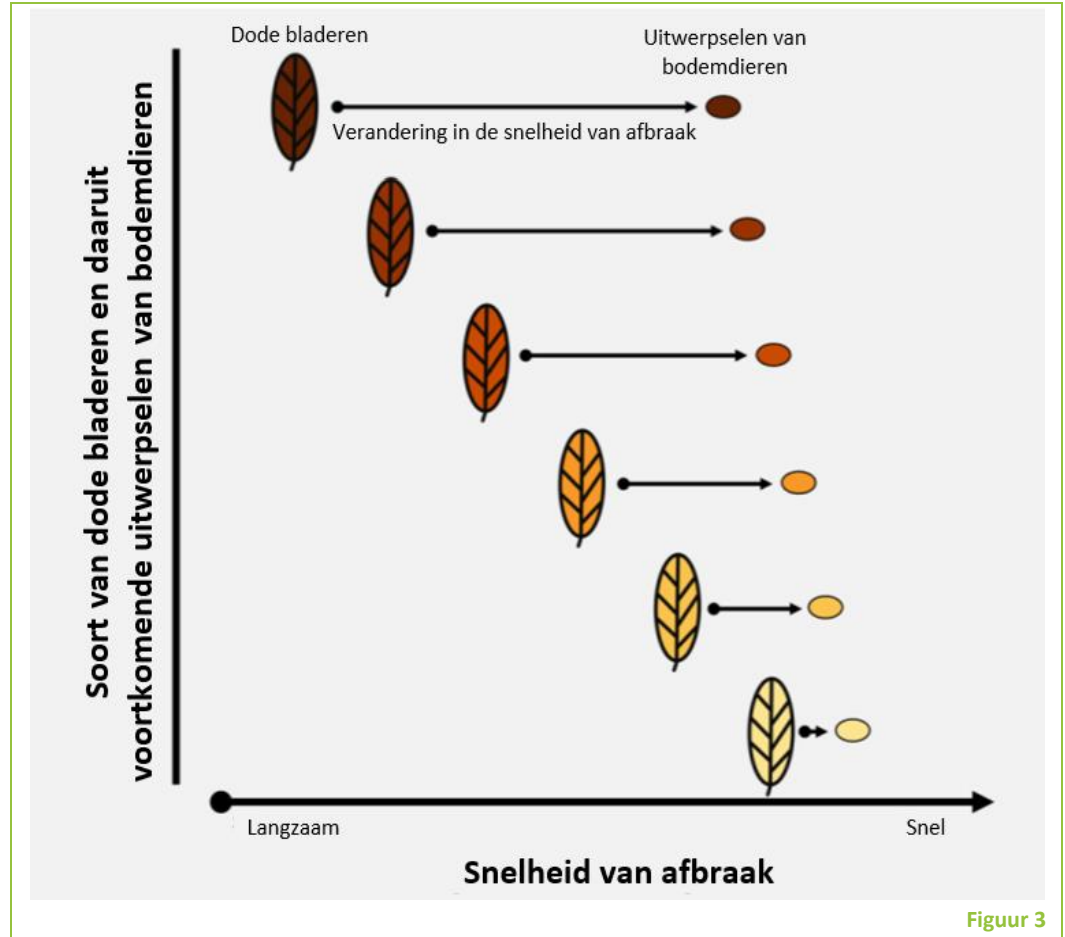
Figuur 2

Nadat we de uitwerpselen hadden verzameld, hebben we gemeten hoe snel deze uitwerpselen afbraken in vergelijking met intacte dode bladeren. We wilden dit meten onder omstandigheden die andere onderzoekers over de hele wereld zouden kunnen herhalen om zo onze resultaten te verifiëren of om onze bevindingen te kunnen vergelijken met bevindingen voor andere diersoorten. Daarom maakten we kleine, kunstmatige bodemsystemen in het laboratorium. We vulden kleine potjes met lokale grond en plaatsten een kleine hoeveelheid uitwerpselen of dode bladeren bovenop deze grond. De uitwerpselen en grond waren gescheiden van het grondoppervlak door een fijn gaas. Dit gaas stelde ons in staat om de resterende stukken uitwerpselen of dode bladeren gemakkelijk te kunnen verzamelen terwijl het de micro-organismen uit de grond doorgang gaf om de uitwerpselen en dode bladeren af te breken. We hebben de potjes zes maanden in een donkere, warme, vochtige ruimte geplaatst. De potjes werden elke week bewaterd om het

bodemvochtgehalte optimaal te houden voor de micro-organismen. Na zes maanden hebben we de resterende uitwerpselen en dode bladeren verzameld. Deze hebben we toen gedroogd en gewogen. Door het eindgewicht te vergelijken met het begingewicht konden we uitrekenen welk percentage van de uitwerpselen en bladeren door de micro-organismen was afgebroken gedurende de zes maanden van het experiment.

FIGUUR 3

Door dode bladeren om te zetten in uitwerpselen beïnvloeden bodemdieren de snelheid waarmee dode bladeren worden afgebroken. De x-as geeft de snelheid van afbraak aan, van langzaam (links) naar snel (rechts). Op de y-as zie je het type dode bladeren en de daaruit voortvloeiende uitwerpselen van bodemdieren. De uitwerpselen van bodemdieren breken gemiddeld 38% sneller af dan de intacte dode bladeren. Dit effect is afhankelijk van het type dode bladeren. Wanneer dieren dode bladeren aten die gemakkelijk konden worden afgebroken door micro-organismen (weergegeven in lichtgeel), braken hun uitwerpselen niet veel sneller af dan de eigenlijke dode bladeren. Maar wanneer dieren dode bladeren aten die juist moeilijk konden worden afgebroken door micro-organismen (weergegeven in donkerbruin), braken hun uitwerpselen veel sneller af dan de niet-opgegeten bladeren.



Figuur 3

WAT WAREN DE BEVINDINGEN?

Onze experimenten hebben geleid tot twee zeer interessante ontdekkingen. Ten eerste ontdekten we dat voor alle diersoorten die we bestudeerden de uitwerpselen gemiddeld 38% sneller afbraken in vergelijking met de dode bladeren (Figuur 3). Deze resultaten waren zeer consistent ondanks dat slakken, miljoenpoten en pissebedden heel verschillende soorten dieren zijn. We denken dat uitwerpselen sneller afbreken omdat de bodemdieren de grote dode bladeren tot duizenden kleine stukjes transformeren die gemakkelijker zijn voor micro-organismen om op te groeien en om af te breken. Ten tweede ontdekten we dat de verhoogde afbraaksnelheid niet hetzelfde was voor alle soorten dode bladeren. Wanneer dieren dode bladeren aten die gemakkelijk konden worden afgebroken door micro-organismen, braken hun uitwerpselen niet veel sneller af dan de eigenlijke dode bladeren. Maar wanneer dieren dode bladeren aten die juist moeilijk konden worden afgebroken door micro-organismen, braken hun uitwerpselen veel sneller af dan de niet-opgegeten bladeren. Dit betekent dat grote verschillen in de afbraaksnelheid van

verschillende soorten dode bladeren grotendeels verdwijnen als de bladeren eerst door bodemdieren worden opgegeten en omgezet in uitwerpselen.

BODEMDIEREN DRAGEN BIJ AAN DE CYCLUS VAN HET LEVEN

Samengevat: door dode bladeren om te zetten in uitwerpselen versnellen bodemdieren de afbraak uitgevoerd door micro-organismen. Dit is de reden dat we geen dode bladeren zien ophopen op de grond, in het bijzonder voor planten met langzaam afbrekende bladeren. Maar nog belangrijker is dat door dode bladeren om te zetten in uitwerpselen, de bodemdieren helpen om de koolstof uit de bladeren terug te geven aan de atmosfeer als koolstofdioxide en om de voedingsstoffen terug te laten keren naar de bodem. Hier kunnen deze voedingsstoffen weer door planten worden gebruikt. Zo dragen bodemdieren bij aan het evenwicht tussen fotosynthese en afbraak. Dit houdt de groei van planten in stand - en daarmee al het leven op aarde!

HET ORIGINELE ARTIKEL

Joly F-X, Coq S, Coulis M, David J-F, Hättenschwiler S, Mueller CW, Prater I, Subke J-A. Detritivore conversion of litter into faeces accelerates organic matter turnover. *Commun Biol* (2020) 3:660.

VERKLARING OMTRENT DE BIJDRAGE VAN DE AUTEURS

FXJ en JAS bedachten het oorspronkelijke idee. FXJ schreef de eerste versie van het manuscript en maakte de figuren. JAS en FXJ werkten samen verder aan het manuscript en gaven de definitieve goedkeuring voor indiening.

BIJDRAGE AAN HET ONDERZOEKSVELD

Dit manuscript presenteert de resultaten van een recent gepubliceerd artikel op een manier die toegankelijk is voor een breder en jonger publiek, voor het *Frontiers for Young Minds* onderzoeksonderwerp Bodembiodiversiteit. Dit manuscript legt de nadruk op de weinig bestudeerde rol van bodemdieren bij het recyclen van plantenafval, en bespreekt met name hoe bodemdieren de afbraak van plantenafval beïnvloeden door dode bladeren om te zetten in uitwerpselen.

BRONVERMELDING

1. Sagi, N., Grünzweig, J. M., and Hawlena, D. 2019. Burrowing detritivores regulate nutrient cycling in a desert ecosystem. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 286:20191647. doi: 10.1098/rspb.2019.1647
2. David, J. F., and Gillon, D. 2002. Annual feeding rate of the millipede *Glomeris marginata* on holm oak (*Quercus ilex*) leaf litter under Mediterranean conditions. *Pedobiologia.* 46:42–52. doi: 10.1078/0031-4056-00112

3. Coulis, M., Hättenschwiler, S., Coq, S., and David, J. F. 2016. Leaf litter consumption by macroarthropods and burial of their faeces enhance decomposition in a mediterranean ecosystem. *Ecosystems*. 19:1104–15. doi: 10.1007/s10021-016-9990-1
4. Cárcamo, H. A., Abe, T. A., Prescott, C. E., Holl, F. B., and Chanway, C. P. 2000. Influence of millipedes on litter decomposition, N mineralization, and microbial communities in a coastal forest in British Columbia, Canada. *Can. J. For. Res.* 30:817–26. doi: 10.1139/x00-014
5. Joly, F.- X., Coq, S., Coulis, M., David, J.- F., Hättenschwiler, S., Mueller, C. W., et al. 2020. Detritivore conversion of litter into faeces accelerates organic matter turnover. *Commun. Biol.* 3:660. doi: 10.1038/s42003-020-01392-4

EDITED BY: Rémy Beugnon, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany

SCIENCE MENTOR: Maria Claudia Segovia-Salcedo

CITATION: Joly F-X and Subke J-A (2022) The Bizarre Role of Soil Animals in the Decomposition of Dead Leaves. *Front. Young Minds* 10:638736. doi: 10.3389/frym.2022.638736

VERKLARING OMTRENT BELANGENCONFLICT: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die als potentieel belangenconflict zouden kunnen worden opgevat.

COPYRIGHT © 2022 Joly and Subke. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

YOUNG REVIEWERS

JUAN DIEGO, AGE: 15

Hi, my name is Juan Diego, I just turned 15. I am from Ecuador but I grew up in the United States. I have many hobbies. My favorite pass time is playing video games because it allows me to play with my friends now that I am locked in because of the pandemic. I enjoy animals and nature. That is why as part of a school project, currently, I am working on a small stickers book about endangered species of Ecuador.



BIOGRAFIËN



FRANÇOIS-XAVIER JOLY

François-Xavier is een Franse bodemecoloog die werkt aan de Universiteit van Wenen in Oostenrijk. Zijn onderzoek richt zich op het begrijpen hoe bodemorganismen bijdragen aan de afbraak van dode planten en hoe dit proces kan veranderen als gevolg van wereldwijde veranderingen, zoals verlies van biodiversiteit en klimaatsverandering.



JENS-ARNE SUBKE

Jens-Arne is ecosysteem-ecoloog aan de Universiteit van Stirling en is geïnteresseerd in de interacties van planten, bodem en het milieu. Hij probeert vragen te beantwoorden over de manier waarop koolstof die door planten uit de atmosfeer wordt opgenomen in de bodem kan worden vastgelegd om zo de atmosferische CO₂-concentraties te verminderen.

TRANSLATORS

PAUL KARDOL

Paul works at the Swedish University of Agricultural Sciences.