

VU Research Portal

Modelling climate-vegetation interactions during the last and current interglacials

Li, H.

2020

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Li, H. (2020). *Modelling climate-vegetation interactions during the last and current interglacials*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam].

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Samenvatting

Vegetatie is één van de belangrijke onderdelen van het klimaatsysteem. Uitwisselingen tussen vegetatie en de atmosfeer vinden plaats op verschillende tijdschalen, variërend van uren tot eeuwen, en op verschillende ruimtelijke schalen, variërend van de regionale tot mondiale schaal. Planten reageren op klimaatverandering zodra de klimaattolerantie van de debetreffende soort overschreden wordt. Tegelijkertijd beïnvloedt de vegetatie ook het klimaat door veranderingen in de eigenschappen van het aardoppervlak, zoals in albedo en bodemvochtgehalte (door middel van zogeheten biogeofysische terugkoppelingen), en door veranderingen in biogeochemische cycli, zoals van koolstof. Het bestuderen van deze uitwisselingen tussen klimaat en vegetatie gedurende klimaatveranderingen in het geologisch verleden biedt de mogelijkheid om ons inzicht in de gevoeligheid van vegetatie voor verschillende klimaatomstandigheden te vergroten, en om beter zicht te krijgen op het belang van terugkoppelingen tussen klimaat en vegetatie. In de afgelopen 2,6 miljoen jaar is het klimaat op aarde onderhevig geweest aan wisselingen tussen relatief warme interglacialen en koude glacialen. Deze wisselingen geven ons de mogelijkheid om klimaat-vegetatie-interacties in detail te bestuderen.

We onderzochten klimaat-vegetatie-interacties met behulp van het iLOVECLIM klimaatmodel en twee dynamische mondiale vegetatiemodellen, de zogeheten “Dynamical Global Vegetation Models” (DGVM’s: LPJ-GUESS en VECODE). We beschouwden hierbij vier verschillende CO₂ scenario’s, van zeer laag tot zeer hoog, en vier perioden uit het verleden met klimaatveranderingen. Deze vier perioden zijn een koude fase rond 8.2 ka BP (“kilo annum before present” oftewel duizend jaar voor 1950 AD), het midden-Holoceen (6 ka BP), de lange-termijn verandering in het Holoceen (11.7 ka BP tot heden) en het laatste interglaciaal (LIG, 130-116 ka BP). De twee DVGM’s verschillen enorm in complexiteit, aangezien LPJ-GUESS veel complexer is dan VECODE. Door deze twee DGVM’s te gebruiken, kan dus informatie worden verkregen over het effect van modelverschillen op de gemodelleerde interacties tussen klimaat en vegetatie. Als eerste stap, hebben we een aantal vegetatie-simulaties uitgevoerd met beide DGVM’s, gebruik makend van 4 typen klimaatomstandigheden die identiek waren in beide modellen, te weten 6 ka BP en pre-industriële randvoorwaarden met verschillende atmosferische CO₂ concentraties: gehalveerd (140 ppm, of “parts per million”), verdubbeld (560 ppm) en verviervoudigd (1120 ppm). Dit stelde ons in staat om de gevoeligheid van deze twee DGVM’s voor

veranderingen in klimaat en CO₂ te onderzoeken, alsmede de invloed van de verschillen in modelcomplexiteit op deze gevoeligheid. Vergeleken met de pre-industriële omstandigheden, wordt het klimaat van 6 ka BP gebruikt als een referentie voor de relatief warme condities die heersten gedurende een deel van het Holoceen. Deze warme condities houden verband met de toenmalige hoge instraling in de zomer. Nadat de gevoeligheid van de twee DVGVM's was onderzocht, simuleerden we het effect van de koude fase rond 8.2 ka BP op de vegetatie en we vergeleken de gesimuleerde vegetatie met stuifmeelgegevens uit Europa en Noord Afrika. De koude fase rond 8.2 ka BP is duidelijk de meest uitgesproken periode met abrupte afkoeling op gematigde en hoge breedtegraden op het noordelijk halfrond in het Holoceen. Deze fase wordt gekarakteriseerd door een afname van de jaargemiddelde temperatuur van -0.6°C tot -1.2°C gedurende 100 tot 150 jaar in het gebied rond de Noord-Atlantische Oceaan, en door een droger klimaat in het Middellandse Zee gebied en de tropen op het noordelijk halfrond. Daarnaast onderzochten we de verandering in vegetatie gedurende het LIG, en de sterkte van regionale en mondiale terugkoppelingen waarbij de vegetatie een rol speelde. Hiervoor gebruikten we wederom het iLOVECLIM klimaatmodel, gekoppeld met VECODE of LPJ-GUESS als vegetatiecomponent. Vervolgens gebruikten we dezelfde modelopzet om de interacties tussen klimaat en vegetatie tijdens het Holoceen te simuleren en om een vergelijking met het LIG te maken. Gedurende het vroege LIG en Holoceen, was Noord Afrika veel groener dan vandaag, met een vochtiger klimaat. In beide interglacialen werd deze groene fase gevolgd door een fase van verwoestijning, gestuurd door een afname in de zomerse instraling. We bestudeerden in onze simulaties de verschillen in de snelheid van de woestijnuitbreiding tussen de twee perioden en ook de terugkoppelingsmechanismen waarin vegetatie een grote rol speelde.

Beide DGVM's laten eenzelfde beeld zien van vegetatieveranderingen in het midden-Holoceen ten opzichte van het pre-industriële tijdperk. Echter, in de twee modellen was de reactie van de vegetatie op de veranderende CO₂ concentraties (140, 280, 560 en 1120 ppm) zeer verschillend. Het meer complexe model LPJ-GUESS suggereert grotere veranderingen in vegetatie onder invloed van verschillen in CO₂ concentratie dan VECODE, met name in de tropen. De gevoeligheid van bladoppervlakte-index (de "leaf area index") in beide DGVM's neemt af met toenemende CO₂ concentratie van 140 tot 1120 ppm. Bovendien varieert de gevoeligheid van de tropische vegetatie voor temperatuurveranderingen sterk tussen de twee modellen. Deze gevoeligheid, gedefinieerd als de verandering in boombedekking per graad Celcius, varieert in LPJ-GUESS van 0.5 (°C⁻¹), 0.25 (°C⁻¹) tot 0.15 (°C⁻¹) bij ½*CO₂, 2*CO₂, and 4*CO₂ scenario's, terwijl dezewaarden rond de 0.05 (°C⁻¹) liggen voor alle scenario's in VECODE. De hogere gevoeligheid voor CO₂ concentraties in LPJ-GUESS houdt verband met de hogere complexiteit van dit model, met meer gedetailleerde ecofysiologische processen in vergelijking tot VECODE. Daarnaast heeft deze hogere complexiteit ook effect op de hoeveelheid neerslag die de

gemodelleerde vegetatie nodig heeft, aangezien dit ervoor zorgt dat vegetatie een meer efficiënt watergebruik heeft bij een toenemende CO₂ concentratie. Zo hebben tropische bomen in LPJ-GUESS 800 mm neerslag nodig bij een 4*CO₂ scenario (1120 ppm), en maar liefst 1500 mm bij een pre-industriële CO₂ waarde van 280 ppm. In VECODE, daarentegen, verandert deze benodigde neerslag nauwelijks doordat de vegetatie-fractie onafhankelijk is van de atmosferische CO₂ concentratie.

De koude fase rond 8.2 ka BP heeft een duidelijk effect op de gemodelleerde vegetatie in Europa en Noord Afrika. Dit is te zien in de tijdsafhankelijke response van zogeheten “plant functional types” (PFT’s) in simulaties met het LPJ-GUESS model. Opvallend is dat de verschillende PFT’s niet hetzelfde reageren op de klimaatverandering. Gedurende de koude fase, leidt de afkoeling tot een afname in de gematigde, bladverliezende loofbomen in Noordwest en Noordoost Europa met respectievelijk 17% en 14% binnen 50 jaar. Tegelijkertijd treedt een duidelijke uitbreiding van boreale groenblijvende naaldbomen op in beide regio’s. In West Europa nemen de gematigde, bladverliezende loofbomen af met 7% in 20 jaar door veranderingen in temperatuur en neerslag, terwijl de groenblijvende loofbomen slechts afnemen met 2% in ongeveer 60 jaar. In Oost Europa, laten alleen de gematigde, bladverliezend loofbomen een afname zien van 5% aan het begin van de koude fase. In Zuid Europa, daarentegen, neemt de bedekking door grassen toe ten koste van groenblijvende loofbomen, en de aanvankelijke minieme bedekking van tropische bomen (2%) verdwijnt onmiddellijk na aanvang van de koude fase. In Noord Afrika neemt de grasbedekking af met maar liefst 15% in 50 jaar, voornamelijk als gevolg van de grote vermindering (met meer dan 50%) in de hoeveelheid zomerse neerslag. Na afloop van de koude fase, keert de bedekking van de meeste PFT’s terug tot het niveau voor de klimaatverandering, behalve de gematigde, bladverliezende loofbomen, welke niet herstellen van de verstoring in het noordoosten, westen en oosten van Europa. Dit kan er op duiden dat verschillende vegetatietypes, met verschillende samenstellingen van soorten, kunnen voorkomen met gelijksoortige klimaatomstandigheden. Het gesimuleerde effect van de koude fase rond 8.2 ka BP op de vegetatie in Europa komt over het algemeen overeen met wat fossiele stuifmeelgegevens laten zien, met uitzondering van de gesimuleerde noord-zuid gradiënt die een duidelijkere vegetatierespons in het noorden toont dan in het zuiden, welke niet te zien is in de vegetatiereconstructies die gebaseerd zijn op fossiel stuifmeel.

In eerder onderzoek naar het LIG klimaat, werd in klimaatmodellen aangenomen dat de vegetatie tijdens het LIG gelijk was aan dat van het pre-industriële tijdperk. Vergeleken met dit eerdere onderzoek, laten onze simulaties met een model dat de vegetatie laat aanpassen aan het LIG klimaat, en dus interacties tussen klimaat en vegetatie expliciet meeneemt, een betere overeenkomst zien met reconstructies van het LIG klimaat welke gebaseerd zijn op geologische gegevens, zoals fossiel pollen. Dit is met name het geval in polaire gebieden en in de tropen. Onze simulaties geven aan dat

de arctische boomgrens verder naar het noorden lag dan eerder aangenomen, en dat de bedekking van bomen ook tot 50% hoger was tijdens het LIG dan in het pre-industriële tijdperk. In ons model resulteerde dit in een flink hogere temperatuur (meer dan 2.5°C warmer) op hogere breedtegraden. Ook in Noord Afrika simuleerden we een opmerkelijke toename van 1.5°C in vergelijking met eerder onderzoek. Deze resultaten passen in het mondiale beeld van een warmere wereld gedurende het LIG, onder invloed van vegetatie-klimaat interacties. Ondanks deze gesimuleerde hogere temperaturen, onderschatten onze resultaten nog steeds de gereconstrueerde LIG temperaturen op basis van geologische gegevens.

Een vergelijking van de gesimuleerde verwoestijning in Noord Afrika tijdens het LIG en het Holoceen laat zien dat de afname in vegetatiebedekking de afname in zomerse instraling op 20°N nauwgezet volgt. In het begin van beide interglacialen is de vegetatiebedekking in Noord Afrika relatief hoog, met waarden van meer dan 70% in het vroege LIG en 60% in het vroege Holoceen. Als de zomerse instraling op 20°N echter gelijdelijk afneemt, wordt de vegetatiebedekking snel minder in beide interglacialen. De afname in vegetatiebedekking bereikt waarden van 25%/1000 jaar rond 122 ka BP in het LIG, en 10%/1000 jaar rond 6 ka BP in het Holoceen. De verwoestijning versnelt als de positieve vegetatie-albedo terugkoppeling niet langer kan compenseren voor de afname in neerslag welke het gevolg is van de zwakkere zomermoesson. Tijdens het LIG is de verwoestijning meer abrupt dan tijdens het Holoceen als gevolg van een sterkere afname in zomerse instraling op 20°N tijdens het LIG, wat weer direct gevolgen heeft voor de sterkte van de klimaat-vegetatie terugkoppeling en de hoeveelheid jaarlijkse neerslag.

In vergelijking met woestijn, heeft een begroeid oppervlak een lagere albedo, wat tot een grotere absorptie van inkomende zonnestraling leidt, en een warmer oppervlak. In Noord Afrika, resulteert de hogere temperatuur van het begroeide landoppervlak in het vroege LIG en Holoceen tot een groter thermisch contrast met de relatief koude Atlantische Oceaan, met als gevolg een sterkere zomermoesson en meer neerslag. Deze neerslag zorgt er weer voor dat de vegetatie in Noord Afrika kan blijven groeien, zodat een positieve terugkoppeling tussen vegetatie en klimaat ontstaat. Gedurende het vroege LIG en Holoceen, is deze terugkoppeling zeer actief en versterkt de vegetatie de neerslag met een factor 2 tot 3 zodra de vegetatiebedekking boven de 60% komt. Als de vegetatiebedekking lager wordt, neemt het belang van de terugkoppeling ook snel af. De bepalende factoren voor de sterkte van de positieve terugkoppeling zijn de vegetatiebedekking en de verschillen in albedo tussen een begroeid oppervlak en woestijn. De zomerse instraling op 20°N speelt verder een centrale rol als drijvende factor voor de aanvoer van vocht door de atmosfeer (zomermoesson), en daarmee voor de hoeveelheid neerslag en de ontwikkeling van vegetatie in Noord Afrika. In vergelijking met VECODE, laat het LPJ-GUESS model een geleidelijkere verwoestijning zien tijdens het LIG en Holoceen. Dit verschil tussen beide

vegetatiemodellen is gerelateerd met het verschil in complexiteit tussen VECODE en LPJ-GUESS.

In onze simulaties resulteert een “groene” Sahara in een toename van de mondiale temperatuur gedurende het LIG. In vergelijking met een woestijnbedekking, leidt een groene Sahara tot een toename van de regionale oppervlaktetemperatuur en een afname in de luchtdruk door lokale terugkoppelingen. Deze veranderingen leiden tot een toename in de noord-zuid temperatuurgradient en luchtdrukgradient, waardoor de westenwinden op gematigde breedtegraden toenemen. Dit resulteert in een toename in het noordwaartse warmtetransport van de tropen naar het noordpoolgebied. Tijdens het LIG (rond 125 ka BP), kan hierdoor 30% van de opwarming in het noordpoolgebied worden verklaard door de impact van de groene Sahara en de bijbehorende terugkoppelingen.