

Samenvatting

In de landen ten zuiden van de Sahara vormt de onvruchtbaarheid van de grond de belangrijkste belemmering voor verhoging van de landbouwproductie, en het element waaraan het ernstigste tekort bestaat is stikstof. Introductie van agroforestry systemen met boom-leguminosen is voorgesteld als een remedie voor het stikstoftekort in landbouwsystemen met weinig aanvoer van externe hulpbronnen. De gewassen worden verbouwd tegelijk met de boom-leguminosen die zorgen voor organisch materiaal van hoge kwaliteit (snoeisels met een hoog stikstofgehalte), dat gebruikt kan worden als organische meststof voor het gewas. De bomen leveren ook hout dat gebruikt kan worden als brandstof of in de woningbouw. Bovendien kunnen de bomen bijdragen aan de verbetering van de bodemvruchtbaarheid door nutriënten vanuit de ondergrond 'op te pompen' en door organische koolstof in de bodem vast te leggen.

Hoewel agroforestry systemen, waarbij bomen en gewas gelijktijdig in het veld staan, veel voordelen kunnen hebben, zijn er ook nadelen aan verbonden. Het laatste spruit voort uit de concurrentie tussen bomen en gewas. Er is veel kennis nodig om deze systemen goed in de hand te houden, omdat de systemen zeer ingewikkeld zijn en nog niet alle interacties tussen boom en gewas volledig begrepen worden. Een hoofdprobleem van agroforestry systemen is dat gewoonlijk slechts weinig van de stikstof, die uit het toegediende organische materiaal vrijkomt, in het gewas belandt – het zogenaamde element-rendement is vaak niet meer dan 20 tot 30 % - terwijl de rest verloren gaat in de omgeving of helemaal niet teruggevonden wordt. Het lage element-rendement is een belangrijk obstakel voor de verhoging van de gewasopbrengst in agroforestry systemen. Het lage stikstof-rendement is toegeschreven aan (i) ongelijktijdigheid van het vrijkomen van stikstof uit de organische materialen en de stikstofbehoefte van het gewas, met het gevolg dat stikstof verloren gaat door uit- en afspoeling en door denitrificatie, en (2) concurrentie tussen gewas en boom, wanneer die gelijktijdig in hetzelfde veld staan, om de ondergrondse voedingsstoffen.

Het werk dat in dit proefschrift gepresenteerd wordt wil bijdragen aan een beter begrip van de maatregelen die de gebruiksefficiëntie kunnen verbeteren van stikstof in

agroforestry systemen met boom-leguminosen. In het bijzonder was het doel de volgende grootheden vast te stellen

- (1) De snelheid van de afbraak en de snelheid van de stikstofmineralisatie van organische materialen van hoge en lage kwaliteit, en mogelijke interacties wanneer ze in combinatie worden toegediend;
- (2) De kunstmest-vervangingswaarden (van mengsels) van organische materialen, als functie van tijdstip en methode van toediening (gedeelde gift of alles ineens) van organische materialen;
- (3) Wortelverdeling en dichtheid van wortellengtes in systemen met bomen en tussengewassen; koolstofvastlegging en kringlopen van nutriënten in agroforestry systemen.

Om deze doelstellingen te bereiken werden verscheidene proeven uitgevoerd in de kas, het laboratorium en het veld. De hoofdstudies werden verricht in lang-lopende agroforestry veldproeven in Malawi, in Sub-Sahara Afrika. Een inleidend onderzoek werd gedaan in een kas van de Wageningen Universiteit, Nederland. De achtergrond van het promotie-onderzoek en de gecompliceerde, in Malawi in gebruik zijnde, gemengde-teeltsystemen worden besproken in Hoofdstuk 1. Hoofdstuk 2 geeft de belangrijkste karakteristieken van de langlopende agroforestry veldproeven, die in de daaropvolgende hoofdstukken worden besproken, en van de methoden die gebruikt zijn voor de verzameling van proefgegevens en andere informatie.

Hoofdstuk 3 brengt verslag uit van de resultaten van de inleidende kasproef onder gecontroleerde omstandigheden. Met behulp van de dubbele-pot techniek werd voor verschillende organische materialen nagegaan met welke snelheden stikstof werd gemineraliseerd, geïmmobiliseerd en geremineriseerd. Organische materialen van een lage (maisstengels) en een hoge kwaliteit (snoeisel van boom- leguminosen) werden ofwel afzonderlijk ofwel in mengsels toegediend aan met kwartszand gevulde potten, met mais als proefgewas. De mineralisatie, immobilisatie en remineralisatie werden afgeleid uit de opname van stikstof door de mais. Alle andere nutriënten werden in overvloed aangeboden zodat stikstof de enige variabele was.

De mengsels van maisstengels en boomsnoeisel lieten aanvankelijk stikstofimmobilisatie zien. Later werd de geïmmobiliseerde stikstof ten dele weer gemineraliseerd. De remineralisatie verliep sneller in het 1:2 mengsel van

maisstengels en boomsnoeisel dan in het 1:1 mengsel. De kunstmest-
vervangingswaarden (SVs) van de boomsnoeisels namen toe met de tijd. De SVs van
gliricidia waren lager dan die van sesbania wegens de aanwezigheid van fytoxiciteit
in het gliricidia-snoeisel. Voor verder onderzoek onder veldomstandigheden werd
gekozen voor 1:1 en 1:2 mengsels van maisstengels en boomsnoeisel, zoals besproken
in Hoofdstuk 5.

In Hoofdstuk 4 bespreken we de effecten van tijdstip van toediening van
boomsnoeisels op de anorganische stikstof in de bovengrond, de stikstofopname door
mais en de kunstmest-vervangingswaarden. De stikstofopname door mais en de
kunstmest-vervangingswaarden varieerden sterk met het tijdstip van toediening. De
kunstmest-vervangingswaarden waren het hoogst (tot 66%) wanneer het snoeisel voor
het zaaien van de mais werd toegediend en namen af wanneer het snoeisel later in het
seizoen na het zaaien werd toegediend. De stikstofmineralisatiesnelheid zelf werd niet
beïnvloed door het tijdstip van toediening. De lage SVs van laat toegediend materiaal
(tussen 20 en 30%) waren toe te schrijven aan ongelijktijdigheid van het vrijkomen
van stikstof uit het snoeisel en de stikstofbehoefte van het gewas. Deling van de gift
van organisch materiaal verlengde de periode van beschikbaarheid van anorganische
stikstof in de bovengrond, maar leidde niet tot verhoging van de maisopbrengst onder
de heersende regenvalverdeling. Deze resultaten toonden aan dat beschikbaarheid van
anorganische stikstof vroeg in het seizoen van meer belang was voor een hoge
stikstofopname en maisopbrengst dan beschikbaarheid van anorganische stikstof later
in het seizoen.

Een alternatief is te proberen de anorganische stikstof in de bodem te reguleren door
organische materialen van hoge en lage kwaliteit gemengd toe te dienen. Hoofdstuk 5
bespreekt de patronen van afbraak en mineralisatie van mengsels van snoeisels van
hoge kwaliteit met gewasresten van lage kwaliteit, gebruikmakend van de resultaten
van een incubatieproef met strooiselzakjes, een incubatieproef met aluminium
cilinders in de bodem, en veldproeven met mais als proefgewas. De afbraakpatronen
van mengsels van snoeisels van hoge kwaliteit (gliricidia en sesbania) met
gewasresten van lage kwaliteit (blad en wortels van duivenerwt, en maisstengels)
werden onderzocht met de strooiselzakjes. De reactieconstanten van de afbraak van de
mingsels lagen tussen die van de individuele samenstellende componenten in de

volgorde: boomsnoeisel > mengsels > gewasresten. De organische materialen met een hoge C : N verhouding, duivenerwtwortels en maisstengels, immobiliseerden maximaal 15% van de toegediende stikstof gedurende het natste seizoen, en twee keer zo veel gedurende het droogste seizoen van de twee seizoenen waarin de proef werd uitgevoerd. De mengsels van snoeisels met duivenerwtwortels en maisstengels verlaagden de maisopbrengst in de relatief droge omstandigheden. Deze resultaten suggereren dat de remineralisatie langzamer was onder relatief droge dan onder relatief natte omstandigheden.

In Hoofdstuk 6 geven we de wortelverdeling en de dichtheid van wortellengtes van mais, duivenerwt en gliricidia, en de effecten van de bomen en gewassen op anorganische stikstof en fosfaat (Olsen P) in het bodemprofiel. Informatie over de wortelverdeling van bomen en gewassen is van belang om te kunnen voorspellen hoe de concurrentie om water en voedingsstoffen in de bodem tussen gelijktijdig in hetzelfde veld staande gewassen en bomen zal uitpakken. De opname van stikstof door het gewas kan scherp dalen in systemen waar de concurrentie tussen gewassen en bomen hoog is. In het gliricidia-maissysteem was de worteldichtheid van mais in de bovengrond veel hoger dan die van de bomen. In de ondergrond daarentegen was de wortellengte-dichtheid van gliricidia veel groter dan die van mais. De combinatie van mais op ruggen en bomen in voren, en de toediening van boomsnoeisel in de rug, gaven de mais meer kans dan de bomen om te profiteren van de toegediende stikstof. In de combinatie-teelt van mais en duivenerwt had mais gedurende de begingroei een snellere wortel- en spruitontwikkeling dan duivenerwt, waardoor mais meer kans had dan duivenerwt om van water en voedingsstoffen in de bodem te profiteren. In de ingewikkelde combinatie-teelt van gliricidia-duivenerwt-mais, was mais de sterkste en duivenerwt de zwakste concurrent. Dit werd toegeschreven aan de gecombineerde effecten van gewaseigenschappen en de manier waarop met de gewassen, bomen en grond werd omgegaan.

De effecten, die het systeem van gelijktijdig gliricidia en mais had op chemische en fysische bodemeigenschappen, worden verder besproken in Hoofdstuk 7. In dit hoofdstuk bespreken we ook de vastlegging van organische koolstof in teeltsystemen met gliricidia-mais en met uitsluitend mais, en vergelijken we beide met een zeven jaar oude grasbraak. In de systemen gliricidia-mais en gliricidia-duivenerwt-mais

waren anorganische stikstof en Olsen P relatief hoog in de bovengrond en laag in de ondergrond. Dit suggereert een circuleren van stikstof en fosfaat vanuit de diepere bodemlagen, door de wortels van de bomen en van duivenertwt naar de bovengrond via snoeisel en gewasresten. De resultaten wijzen erop dat in het systeem met gliricidia-mais meer koolstof in de bodem en de biomassa werd vastgelegd dan in het systeem met uitsluitend mais of met grasbraak. Tegelijkertijd kwam, wegens de afbraak van grote hoeveelheden snoeisel en gewasresten, uit het systeem met gliricidia-mais substantieel meer CO₂ in de atmosfeer terecht dan vanuit de systemen met uitsluitend mais of grasbraak. In het systeem met gliricidia-mais namen de hoeveelheden uitwisselbare kationen toe in de bovengrond en af in de ondergrond. Het water-houdend vermogen en de volumieke massa van de grond waren in het systeem met gliricidia-mais verbeterd vergeleken met het systeem met uitsluitend mais.

In Hoofdstuk 8 werd het eenvoudige model MINIP toegepast om te bestuderen hoe de snelheden van stikstofmineralisatie en van de afbraak van organische materialen werden beïnvloed door het tijdstip van toediening, de weersomstandigheden gedurende de twee seizoenen, de beschikbaarheid van anorganische stikstof, en de samenstelling van mengsels van organische materialen van hoge en lage kwaliteit. Uit de berekeningen kwam naar voren dat de verschillen tussen de onderscheiden situaties, in het bijzonder de aan- of afwezigheid van externe anorganische stikstof, het grootste waren in de periode direct na toediening van de organische materialen. De tijd nodig voor de mineralisatie van de hoeveelheden stikstof voor de benodigde stikstofopname in het veld was gemiddeld 51 dagen. Interactie tussen organische materialen van hoge en lage kwaliteit had niet veel effect op de totale stikstofmineralisatie van sesbania en mais, maar het had een duidelijk effect op de afbraaksnelheid van mais. Voor maisstengels en wortels van duivenerwt was de immobilisatieperiode 3 en 4 maanden, en de maximale immobilisatie was 10 kg N per ton materiaal. In totaal was 1.4 en 1.05 ton van respectievelijk gliricidia- en sesbaniasnoeisel nodig om deze immobilisatie te neutraliseren.

Hoofdstuk 9 tenslotte geeft een samenvatting en bespreking van de belangrijkste uitkomsten van het promotie-onderzoek. Een hoofdresultaat is dat, wanneer de bodemoplossing laag is in anorganische stikstof, toevoeging van snoeisel met een lage

C:N verhouding de afbraaksnelheid kan bevorderen van gewasresten van lage kwaliteit (hoge C:N verhouding) door gemineraliseerde stikstof aan de microbiële biomassa te leveren. Een ander hoofdresultaat is dat de interacties tussen organische materialen van hoge en lage kwaliteit, zo ze al bestaan, marginaal zijn, en dat de effecten van de gecombineerde materialen bijna uitsluitend additief zijn. Dit werd aangetoond door de proeven in de kas en in het veld, en door de modelleerexercities. Onze resultaten hebben ook laten zien dat mais een hogere opbrengst had in een systeem met gliricidia-duivenerwt-mais dan in een systeem met gliricidia-mais, niettegenstaande de verwachte toegenomen concurrentie in het meervoudige teeltsysteem. Klaarblijkelijk was mais de sterke, en duivenerwt de zwakke concurrent in een gliricidia-duivenerwt-mais systeem. Wegens hun verschillende bewortelingspatronen was de concurrentie om nutriënten tussen mais en bomen relatief gering, vooral in de rug waar het snoeisel werd ingewerkt en mais een hogere bewortelingsdichtheid had dan bomen. Onze resultaten lieten ook zien dat na 7-10 jaar agroforestry, fosfaat (P Olsen) en uitwisselbare kationen enigszins waren toegenomen in de bovengrond, en afgenomen in de ondergrond. Klaarblijkelijk hadden de bomen in het agroforestry systeem nutriënten van de ondergrond opgepompt en via het snoeisel naar de bovengrond gebracht. Dit heeft geresulteerd in hogere opbrengsten en daardoor ook in grotere afvoeren van nutriënten. De toename van organische koolstof in de bovengrond van agroforestry velden verbeterde de volumieke massa, infiltratiesnelheid, doorlatendheid, waterhoudend vermogen en kationenuitwisselcapaciteit.

Samenvattend, het systeem van gliricidia-mais–duivenerwt is een efficiënt systeem zo lang de ondergrond nog niet is uitgeput. Voor de velden van het Makoka Agricultural Research Station werd geschat dat de ondergronden uitgeput zullen raken in de komende periode van 6 jaren. Is de ondergrond eenmaal uitgeput, dan is de bodemvruchtbaarheid veel lager dan voordat de praktijk van agroforestry begon. Vandaar dat uit het oogpunt van chemische bodemvruchtbaarheid, agroforestry zonder enige externe aanvoer van nutriënten niet beschouwd kan worden als een duurzaam systeem, en niet in staat is organische of anorganische meststoffen op de lange termijn te vervangen. Naast bodemvruchtbaarheid heeft agroforestry andere voordelen voor de boer. Men moet zich echter realiseren dat vroeger of later aanvoer van nutriënten van buiten de agroforestry-velden onmisbaar wordt.

Curriculum vitae

Wilkson Makumba was born in Machinga, Malawi on 18th January 1964. He is the 9th Child of Ethel Chidakulo and Hudson Makumba. He attended secondary school education at Kamuzu Academy from 1981-1987. After passing his Cambridge 'A' level examination in 1987 he went to Chancellor College, University of Malawi, where he pursued Bachelor of Science majoring in Chemistry. In July 1990 he obtained his first degree with credit. Immediately after leaving the College he worked for a soap company for 7 months as a Chemist. In 1991 he changed jobs to join the civil service as an administrative officer in the Ministry of Agriculture but after one year he changed posts and became an agricultural researcher (Soils) in the Department of Agricultural Research and Technical Services (DARTS), Ministry of Agriculture. In 1995-97 he received a World Bank scholarship through the DARTS to pursue a Master of Science degree in Soil and Water at Wageningen Agricultural University in The Netherlands. In October 1997 he got a six months internship fellowship with SADC-ICRAF to study Nitrogen dynamics in the agroforestry technologies introduced for soil fertility improvement. At the end of the internship fellowship he continued working with SADC-ICRAF on secondment. In 2000 he was awarded a sandwich scholarship by the University of Wageningen and ICRAF to pursue a Ph.D. at Wageningen University and Research Center, in the Sub-Department of Soil Quality, Department of Environmental Sciences.

Photos taken by: Wilkson Makumba and Peter Chisambiro

Cover designed by: Dr. Jens Anderson and Wilkson Makumba

Printed by: Ponsen & Looijen bv. Wageningen, The Netherlands