

Geïntegreerde bestrijding van knolcyperus

Resultaten van een literatuurstudie naar alternatieven voor monam

Marleen Riemens, Hilfred Huiting, Sanne Heijting

Geïntegreerde bestrijding van knolcyperus

Resultaten van een literatuurstudie naar alternatieven voor monam

Marleen Riemens, Hilfred Huiting, Sanne Heijting

© 2017 Wageningen, Foundation Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) research institute Plant Research International. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the DLO, Plant Research International, Business Unit Agrosystems Research.

The Foundation DLO is not responsible for any damage caused by using the content of this report.

Copies of this report can be ordered from the (first) author. The costs are € 50 per copy (including handling and administration costs), for which an invoice will be included.

Report 743

Doi: <https://doi.org/10.18174/423464>

Wageningen Universiteit and Research

Address : P.O. Box 616, 6700 AP Wageningen, The Netherlands
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen, The Netherlands
Tel. : +31 317 48 04 99
Fax : +31 317 41 80 94
E-mail : marleen.riemens@wur.nl
Internet : www.wur.nl/pagv

Table of contents

	page
Samenvatting	1
Inleiding	3
1. Preventie	5
3. Monitoringstechnieken	6
4. Drempelwaarden voor beslissingsondersteuning	10
5. Alternatieve niet chemische bestrijdingsmethoden	10
Gewasonderdrukking	10
Mechanische bestrijding	11
Temperatuur	11
Afdekken	12
6. Specificiteit en minimale neveneffecten	13
Situatie in Nederland	13
Situatie internationaal	14
7. Reductie van het gebruik tot minimale niveaus	16
8. Toepassing van maatregelen ter voorkoming van resistentie	17
9. Monitoren, documenteren en controleren van effect van bestrijding	18
Conclusies en aanbevelingen	19
Samenvattende conclusie	22
Geraadpleegde literatuur	23

Samenvatting

Knolcyperus is een zeer hardnekkig onkruid, dat sinds eind jaren zeventig in Nederland voorkomt. Om vermeerdering en verspreiding en daarmee problemen bij de export van voortkwekingsmateriaal te voorkomen geldt een teeltvoorschrift. Het algemene voorschrift is dat bij een vondst op het perceel een teeltverbod voor alle akker- en tuinbouwgewassen wordt opgelegd. Dit teeltverbod vervalt pas nadat een perceel drie jaar "schoon" is verklaard. Door de aangescherpte voorwaarden voor het gebruik van grondontsmettingsmiddelen en de verlaagde dosering, is snelle uitroeiing niet meer mogelijk. Telers zijn volledig aangewezen op de inzet van herbiciden. De effectiviteit daarvan is lager omdat kieming voorwaarde is voor bestrijding. Dit zorgt voor toenemende problemen in de land- en tuinbouw.

De verspreiding van knolcyperus tussen percelen vindt vooral plaats via aanhangende grond aan machines, werktuigen en geoogste producten. Binnen een perceel zorgt versleping voor een hogere reproductie van de aanwezige knollen en een potentieel hogere besmetting. Ook knaagdieren (muizen) dragen bij aan de verspreiding. Een goede plaagdierbestrijding, schoonmaken van machines en werktuigen en zorgvuldige omgang met (tarra)grond zijn belangrijke preventieve maatregelen om verdere verspreiding te voorkomen.

Er zijn in Nederland een aantal herbiciden toegelaten in maïs die een redelijk tot goede werking tegen knolcyperus hebben: Akris, Calaris, Frontier optima en Dual gold. Daarnaast blijkt uit internationale literatuur dat meerjarig grasland zorgt voor afname van de knolcyperuspopulatie door competitie om water en nutriënten. Door maïs in een wisselrotatie te telen met grasland, wordt de knolcyperus populatie gereduceerd. In het buitenland zijn goede resultaten behaald door inpassing van groenbemesters in de maïsrotaties. Groenbemesters die via hun wortels isothyocyanaten afscheiden kunnen de concurrentiekracht van knolcyperus reduceren. Onder Nederlandse omstandigheden moeten deze nog op effectiviteit onderzocht worden.

Momenteel zijn er veelbelovende experimenten met biologische grondontsmetting met een serie biologische middelen (Herbie®) van het bedrijf Thatchtec. Bij deze methode wordt makkelijk afbreekbaar en eiwitrijk plantaardig materiaal (bijproducten uit de agro-industrie) in de bodem ingewerkt, waarna deze gedurende 2-3 weken wordt afgedekt met een coating of plastic. In laboratoriumproeven is door Praktijkonderzoek AGV van Wageningen Research vastgesteld welke dosering van de vloeibare formulering Herbie 87 nodig is om knolcyperus te bestrijden. Bij voldoende hoge dosering is Herbie effectief gebleken. In vervolg onderzoek binnen de PPS GROEN zal door een consortium gekeken worden welke mogelijkheden er zijn om het proces van afdekken in veldsituaties te vereenvoudigen. Het consortium bestaat uit Wageningen Research-PAGV, Agrifirm Plant, Thatchtec, Stichting Aardbei Onderzoek en Eurofins Agro en zal uitgevoerd worden binnen de Topsector A&F.

Op dit moment zijn de beste methoden om knolcyperus de baas te blijven goede hygiëne maatregelen en het gebruik van een maïs-gras rotatie waarin de inzet van herbiciden gecombineerd kan worden met frequent maaien van gras. Het maaien zelf versleept de knolcyperus niet en een goede grasmat concurreert met de knolcyperus om nutriënten, water en licht. In de maisteelt kunnen Dual Gold, Frontier Optima, Callisto of Calaris en Samson/Milagro worden ingezet. Op braakland kunnen Sencor en Roundup ingezet worden.

Inleiding

Knolcyperus is een zeer hardnekkig onkruid, dat sinds eind jaren zeventig in Nederland voorkomt. Om vermeerdering en verspreiding en daarmee problemen bij de export van voortkweekingsmateriaal te voorkomen is een teeltvoorschrift opgesteld. Dit teeltvoorschrift valt met het opheffen van de productschappen onder het ministerie EZ.

Het algemene voorschrift is dat bij een vondst op het perceel een teeltverbod voor alle akker- en tuinbouwgewassen wordt opgelegd. Dit teeltverbod vervalt pas nadat een perceel drie jaar “schoon” is verklaard. Tot op heden is natte grondontsmetting met Monam de meest effectieve bestrijdingsmethode omdat daarmee ook de knolletjes in kiemrust gedood worden. Andere op dit moment geadviseerde bestrijdingsmiddelen en – methoden zijn minder effectief en hebben in elk geval geen werking op de knolletjes. De toelating van Monam als natte grondontsmetter is echter recent opgeschort/ingetrokken. De voorliggende rapportage beschrijft de resultaten van een literatuurstudie waarin de beschikbare kennis over de bestrijding van knolcyperus op een rijtje is gezet. ***Kennis over de effectiviteit van alternatieve bestrijdingsmethoden en de effectiviteit van nieuwe herbiciden die mogelijk werking hebben op knolcyperus worden in dit rapport beschreven.*** Deze kennis kan gebruikt worden als bouwstenen voor de actualisatie van het teeltvoorschrift. De Europese Commissie heeft in 2009 acht principes voor de geïntegreerde bestrijding van ziekten en plagen gedefinieerd (http://ec.europa.eu/environment/archives/ppps/pdf/final_report_ipm.pdf). Door toepassing van deze principes kan een effectieve bestrijding van knolcyperus gerealiseerd worden.

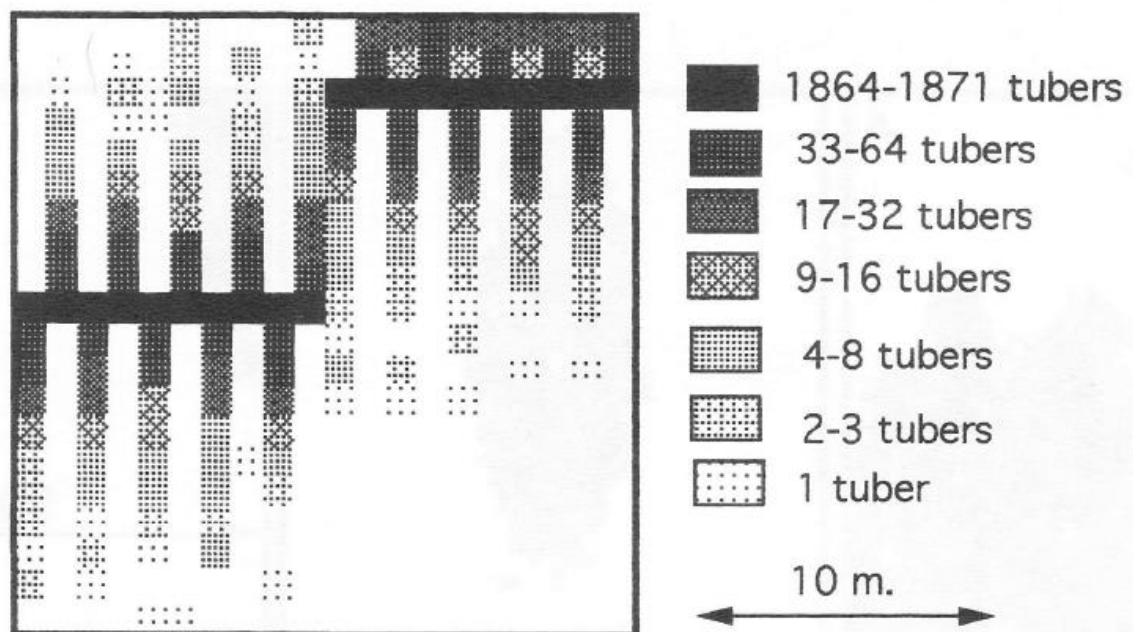
De 8 principes voor een geïntegreerde bestrijding staan hieronder weergegeven. In de literatuurstudie is voor elk van deze principes de beschikbare kennis opgezocht. Het resultaat van die studie staat per principe beschreven in de hoofdstukken die achter de principes staan vermeld. Aan het einde van elk hoofdstuk staan de zogenaamde “bouwstenen” die op deze principes zijn gebaseerd en die gebruikt kunnen worden voor de actualisatie van het teeltvoorschrift.

- (1) Maatregelen voor preventie en onderdrukking (hoofdstuk 2)
- (2) Monitoringstechnieken (hoofdstuk 3)
- (3) Drempelwaarden voor beslissingsondersteuning (hoofdstuk 4)
- (4) Niet-chemische methoden hebben de voorkeur (hoofdstuk 5)
- (5) Specificiteit en minimale neveneffecten (hoofdstuk 6)
- (6) Reductie van het gebruik tot noodzakelijke niveaus (hoofdstuk 7)
- (7) Toepassing van maatregelen ter voorkoming van resistentie (hoofdstuk 8)
- (8) Vastleggen, monitoren en documenteren en controleren van effect van bestrijding (hoofdstuk 9).

1. Preventie

Gezien de snelle groei van knolcyperus en de hardnekkigheid van een besmetting met deze soort is het van groot belang om een besmetting te voorkómen. Daarbij moet rekening worden gehouden met besmetting door plant- en pootgoed, via machines en werktuigen, via besmette grond, versleping, of door uitbreiding van land met een besmet perceel (NAK, 2014). Plantendelen van knolcyperus bevinden zich op machines of in de grond die aan machines kleef. De plantendelen vallen eraf op het perceel en veroorzaken zo een primaire besmetting. Het is dus van groot belang om machines schoon te maken voordat ze naar een ander perceel gaan (NAK, 2014; Schroeder en Wolken, 1989).

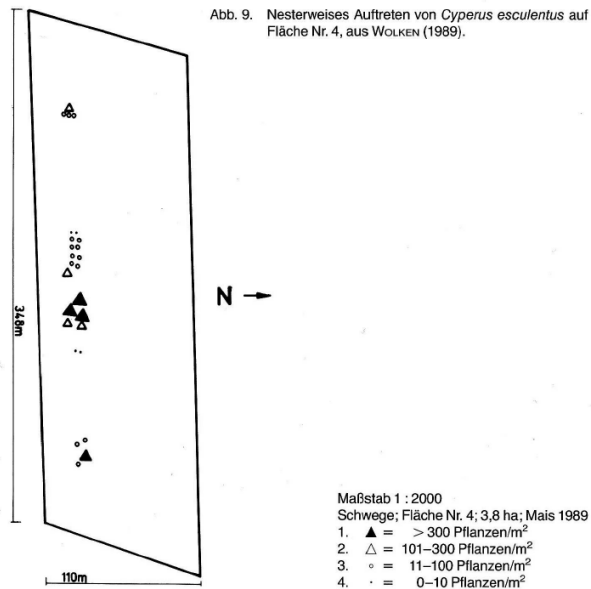
Een 3-D modelstudie werd gedaan om te bestuderen hoe *Cyperus esculentus* zich verspreid in een veld in relatie tot grondbewerkingen (Schippers *et al.*, 1993). Er werden twee situaties vergeleken: met en zonder grondbewerking. Door het vermengen van grond in de rijrichting werden de patronen langgerekt. Verspreiding loodrecht op de rijrichting was afhankelijk van de natuurlijke verspreiding en bedroeg minder dan een meter per jaar in deze modelstudie (Figuur 1). Het verplaatsen van grond aan de machines leidde tot een onvoorspelbaarder verspreidingspatroon en zal ook bijdragen aan besmetting van nieuwe velden. Grondbewerking zorgde voor een drievoudige toename in de besmettingsgraad vergeleken met de situatie zonder grondbewerking. De verlaging van de intraspecifieke competitie door versleping van knollen speelde hierbij een rol.



Figuur 1. Effect van machines op de verspreiding van knolcyperus in een veld. Uit: (Schippers *et al.*, 1993)

Binnen percelen kunnen ook dieren bijdragen aan de versleping en het daarmee verder verspreiden van knollen. Veldmuizen leggen voorraadkamers aan voor de winter en er werden in een studie in Duitsland plekken met meer dan 100 knollen aangetroffen (Schroeder en Wolken, 1989). Deze studie door Schoeder en Wolken (1989) laat zien hoe binnen velden en in een gebied knolcyperus wordt verspreid. In het gebied rond het plaatsje Damme in Duitsland werd ongeveer 35 ha besmette landbouwgrond aangetroffen op 11 percelen waarop mais geteeld werd.

Van sommige percelen was duidelijk dat het ene perceel de besmetting bij het andere perceel had veroorzaakt door versleping van plantmateriaal en grond door landbouwmachines. Andere patronen lieten duidelijk de sterke versleping in de rijrichting zien (Figuur 2). Er waren ook twee percelen die meerdere kleine besmettingsplekken hadden. Deze bevonden zich vooral aan de rand van deze percelen.



Figuur 2 Het pleksgewijs voorkomen van de knolcyperus besmetting in en perceel.
Bron: (Schroeder & Wolken, 1989).

Preventie bouwstenen:

- Ter voorkoming van besmetting van nieuwe percelen: schoonmaken van machines voordat deze in een ander perceel ingezet worden.
- Zo min mogelijk grondbewerkingen die voor versleping en verspreiding van knollen binnen het perceel veroorzaken. Deze versleping zorgt voor een hogere reproductie van de aanwezige knollen en een potentieel hogere besmetting op het perceel zelf.
- Goede plaagdierbestrijding (muizen) op besmette percelen zodat deze dieren de knollen niet verder verspreiden.

3. Monitoringstechnieken

De eerste waarnemingen van knolcyperus (*Cyperus exculentus* L.) in Nederland werden eind jaren zeventig gedaan. Deze knolcyperus werd waarschijnlijk door import van besmette partijen gladiolen uit de V.S. geïntroduceerd (Lotz et al 1991, Groenendael et al 1988, Rotteveel en Naber, 1988). De soort heeft zich vervolgens gevestigd in akker- en bollenland. Door verspreiding is er nu rond de 400 ha landbouwgrond besmet met deze persistente soort (NAK, 2014).

Voor een effectieve bestrijding van knolcyperus is een goede waarneming van de beoogde populatie nodig. Het ruimtelijke patroon van de plantensoort vormt hierbij een belangrijk onderdeel van de beschrijving (Cardina et al., 1997), zeker voor knolcyperus. Onkruidpatronen hebben veelal een plekkerig karakter (Cardina et al., 1997; Gerhards et al., 1997; Heijting et al., 2007). Het is van belang om te

weten waar knolcyperus zich op het perceel bevindt om een bestrijdingsmethode zo doelgericht en met inzet van zo min mogelijk middelen uit te voeren.

In een NAK rapport (NAK, 2014) staat beschreven hoe en wanneer de controle op de aanwezigheid van knolcyperus plaatsvindt. Er wordt genoemd dat de "*verdeling van knolcyperusplanten over het perceel*" wordt vastgelegd. De inspecteurs monitoren een geheel perceel bij een melding van besmetting met knolcyperus. Dit wordt handmatig ingetekend op een kaartje van het perceel. Per gemeld besmet perceel wordt één GPS coördinaat vastgelegd. De besmettingsgraad van het deel waar het teeltverbod geldt, wordt uitgedrukt in aantal knolcyperus planten per are (100m²) en er zijn daarvoor de volgende klassen gemaakt: (1) geen plant, (2) minder dan 1 plant, (3) 1-10 plant, (4) meer dan 100 planten, (5) niet inspecteerbaar. Naast de tekening wordt er ook aangegeven in het opdrachtformulier of de verdeling van knolcyperus egaal, egaal-pleksgewijs of pleksgewijs is.

Tegenwoordig maken veel agrariërs gebruik van GPS systemen op hun trekker. Dit vergemakkelijkt veel teelthandelingen, waaronder het gericht spuiten van herbiciden. Idealiter vormt de monitoring de basis voor de bestrijding in een IPM systeem (Integrated Pest Management). Door het gebruik van de GPS door inspecteurs te vergroten en te standaardiseren, kan het huidige waarnemingssysteem niet alleen nauwkeuriger gemaakt worden, maar ook bijdragen aan een verbetering van de effectiviteit van de bestrijding. Het zal lonen om niet alleen de coördinaten van een besmetting in het getroffen perceel te maken, maar alle coördinaten van de individuele knolcyperus planten vast te leggen met een GPS. Dit vergt bij het door het veld lopen mogelijk iets meer tijd, maar er ontstaat een nauwkeuriger beeld van de precieze besmetting. Vervolgens kunnen deze coördinaten van de besmetting opgeslagen worden in een Geografisch Informatie Systeem van de NAK. De inspecteur die volgend jaar de controle uitvoert kan de locaties van het voorgaande jaar met behulp van de GPS eenvoudig terug zoeken en beoordelen. Eventuele nieuwe vindplaatsen van knolcyperus besmetting worden toegevoegd en zijn gelijk inzichtelijk. Op deze wijze ontstaat een eenduidige manier van waarnemen en heeft de eigenaar van het perceel wanneer hij of zij ook wordt voorzien van een geografisch bestand gelijk de juiste informatie om de bestrijding zo nauwkeurig mogelijk met zo min mogelijk inzet van middelen en/of versleping van de knollen door grondbewerkingen uit te voeren.

Bij een eerste monitoring van een besmet perceel, zal het helpen indien er een App beschikbaar is om dit vast te leggen. De perceel geometrie, de rijrichting van de machines kunnen dan worden ingevoerd en het resultaat kan daarna ook digitaal aan de teler worden gecommuniceerd zodat bestrijding gelijk uitgevoerd kan worden. Wanneer knolcyperus slechts op een gedeelte van het perceel wordt aangetroffen en deze informatie wordt door middel van een GIS bestand gecommuniceerd naar de teler, dan kan de teler rekening houden met de besmette plek bij de planning van de perceel inrichting.

Een geavanceerde vorm van het gebruik van de GPS, is voor de planning van werkgangen van de machines, of, de perceel inrichting. Een programma waarmee dit kan is GAOS (Figuur 3). De breedte van de machines, de perceel geometrie, wensen ten aanzien van akkernatuur, kopakkers etc. worden ingevoerd en het programma berekent de perceel inrichting. De ligging van de werkgangen kan vervolgens worden ingelezen in de boordcomputer van de trekker en met behulp van de GPS navigeert de trekker naar de juiste plek.



Figuur 3. Geo-akkerplan met GAOS gemaakt en gevisualiseerd in Google Earth. De werkgangen staan aangegeven in rood. (Bron: Akkerbouw in Groen en Blauw fase 3a. (2011) Rapport Commissie Hoeksche Waard, Stichting De Hoeksche Waard op de kaart. 47 p. Lerink, P. Met bijdragen van P. Opdam, J. Willemse en N. van der Bok. Als pdf beschikbaar op: http://www.hwodka.nl/downloads/2011_Eindverslag.pdf)

Een volgende stap is om het gebruiksvoorschrift van metamnatrium mee te nemen in de GIS omgeving. Metamnatrium is vanwege de bewezen effectiviteit een belangrijke component van de chemische bestrijding van knolcyperus. De stof is echter giftig en vormt een risico voor omwonende en het milieu. Om hier rekening mee te houden is op 19 augustus 2014 de toepassing van Monam (metamnatrium) om knolcyperus te bestrijden door het CTgB aangepast:

- *Er mag een maximale oppervlakte van 1 hectare behandeld worden, met minimaal 150 meter afstand tussen behandelde velden.*
- *Dek de behandelde grond direct na toepassing af met VIF (Virtually Impermeable Film) folie gedurende een periode van tenminste 14 dagen.*
- *Een bufferzone van ten minste 150 meter moet toegepast worden tussen de te behandelen velden en de kadastrale grens van woningen en overige verblijfsplaatsen waar mensen langere tijd verblijven, zoals scholen, winkels, bedrijven en kantoren.*
- *Het middel dient op ten minste 20 cm diepte ingebracht te worden.*

(Bron CTgB http://www.ctb.agro.nl/ctb_files/140819_6443.PDF).

Bovenstaand gebruiksvoorschrift laat in meerdere opzichten zien dat de bestrijding van knolcyperus een wettelijke ruimtelijke component heeft.

Voor de toepasser van monam zal accurate informatie nodig zijn over de afstanden tot andere behandelde velden en woningen en dergelijke. En ook voor de controlerende instantie is deze informatie nodig om te beoordelen of er conform het voorschrift is gewerkt.

Indien zoals eerder beschreven de informatie over de knolcyperus besmetting is vastgelegd met een GPS, en vervolgens in een GIS database, dan zal dit het voldoen aan het gebruiksvoorschrift bespoedigen.

- De informatie over de ligging van de knolcyperus besmetting zal beschikbaar moeten zijn in een geografisch informatiesysteem, die de teler/toepasser en controlerende instantie kunnen raadplegen, ook in het veld.

- In dit geografisch informatiesysteem zal naast de ligging van de besmetting ook de hierboven beschreven kadastrale gegevens beschikbaar moeten zijn.
- Indien de afstand minder dan 150m bedraagt, zal een alternatieve bestrijdingsmethode moeten worden gekozen die wel past binnen de gestelde ruimtelijke randvoorwaarden.
- Indien de afstand tussen knolcyperus besmetting en de genoemde kadastrale objecten meer dan 150m bedraagt kan monam worden toegepast.
- Daarnaast is GPS apparatuur op de trekker noodzakelijk zodat de teler gevolg kan geven aan het gebruiksvoorschrift. Indien er alleen een handheld GPS aanwezig is kan er handmatig de afstanden worden bepaald.

Telers vullen momenteel voor de gecombineerde opgave bijna allemaal digitaal in bij de RVO (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland) (<https://mijn.rvo.nl/gecombineerde-opgave>). Dit gebeurt ieder jaar voor 15 mei indien men uitbetaling wil aanvragen van toeslagrechten of van de subsidie voor agrarisch natuurbeheer (SNL-a) of als men subsidies wil aanvragen die onder het GLB vallen, en als de teler opgave moet doen voor de Landbouwtelling en mestwetgeving (<https://mijn.rvo.nl/percelen-registreren>). De RVO houdt hierbij rekening met het feit dat veel telers een digitaal bedrijfsmanagement systeem hebben waarin zij de perceel geometrie al hebben vastgelegd. De RVO stelt duidelijke eisen aan nauwkeurigheid van de gebruikte GPS meetapparatuur. Deze zijn vastgelegd in een document:<https://mijn.rvo.nl/documents/13225/43114/Technische+eisen+GPS-meetapparatuur/2df9ec02-645d-4074-8665-1a69e0fef42f>. De precisie en nauwkeurigheid van de GPS apparatuur die wordt gebruikt staat op de volgende internetsite: https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/index.php/GPS_receivers_validated. Ook eisen ten aanzien van het gebruikte coördinaten systeem zijn vastgelegd bij de RVO. Het verdient aanbeveling om gebruik te maken van deze bestaande richtlijnen en systemen indien men over wil gaan tot een verbetering van het monitoringssysteem met gebruik van GPS.

Bouwstenen voor monitoring:

- De eerste aanbeveling om het monitoringsproces te verbeteren is om het gebruik van de GPS door inspecteurs te vergroten en te standaardiseren. Tegenwoordig maken steeds meer agrariërs gebruik van de GPS op de trekker. Het systematisch gebruik van een GPS bespoedigt diverse teelthandelingen en is sterk in opkomst in de akkerbouw. Door iedere knolcyperusplant, of de omtrek van een haard, vast te leggen, kunnen telers doelgericht de aanwezige plant bestrijden met inzet van zo min mogelijk middelen en zo min mogelijk versleping door grondbewerkingen. Bovendien is de controle van de effectiviteit van de bestrijding eenvoudiger omdat een plant of haard sneller terug te vinden is. De effectiviteit van de communicatie tussen de inspecterende instantie en de teler als ook de bestrijding zelf kan worden vergroot indien een eventuele besmetting met knolcyperus ook als geografisch bestand door de NAK aan de teler kan worden overgedragen.
- Naast de handheld GPS apparatuur is een achtergrond van de meetpunten nodig: een GIS bestand waarin naast de perceel geometrie andere kadastrale gegevens staan. De inspecterende instanties zullen toegang moeten krijgen tot een basiskaart, zowel in het veld als op het kantoor om dit mogelijk te maken.

4. Drempelwaarden voor beslissingsondersteuning

Drempelwaarden kunnen in IPM systemen gebruikt om te bepalen bij welke dichtheid bestrijding van het plaagorganisme nodig is om opbrengstverlies te voorkomen, en bij welke dichtheid bestrijding niet nodig zal zijn om dit verlies te voorkomen. In de onkruidkunde zijn in het verleden studies geweest die voor enkele soorten deze drempelwaarden voor een aantal gewassen werden vastgelegd (o.a. Cousens et al, 1985; Kropff et al, 1991, Ali et al 2013). Het vaststellen van een drempelwaarde per gewas is voor knolcyperus niet van toepassing vanwege de ernstige gevolgen van een knolcyperus besmetting. Een enkele knol zorgt al voor afkeuring van een perceel, en daarom zal de drempelwaarde om tot bestrijding over te gaan voor knolcyperus bij 1 knolcyperus plant per perceel moeten liggen.

Bouwstenen voor drempelwaarden voor beslissingsondersteuning:

- De drempelwaarde voor bestrijding van knolcyperus ligt op 1 knolcyperus plant per perceel.

5. Alternatieve niet chemische bestrijdingsmethoden

Bestrijding van knolcyperus vindt in de meeste gevallen nu plaats met metamnatrium. Het gebruiksvoorschrift van deze stof is in augustus 2014 aangepast. Het gebruik van metamnatrium staat vanwege de neveneffecten onder druk. Zowel het huidige gebruiksvoorschrift (gebruik van alternatieven in bepaalde zones) als de ongewenste neveneffecten vormen aanleiding om alternatieve methoden te zoeken.

Gewasonderdrukking

Een aantal gewassen zijn onderzocht op hun concurrentiekrachtig vermogen ten aanzien van knolcyperus. Van de onderzochte gewassen zijn er een aantal geschikt voor de Nederlandse klimatologische omstandigheden (maïs, vezelhennep, wintergerst en winterrogge). Knolcyperus kan zich in al deze gewassen vermeerderen, maar heeft in vezelhennep de meeste moeite (Lotz et al., 1991). In vergelijking met het braken van het land kan een gewas het aantal rhizomen tot 50% reduceren (Lotz et al., 1991). Knolcyperus is een C4 soort die veel licht nodig heeft voor een optimale groei (Rotteveel en Naber, 1988). Over het algemeen zijn gewassen die een snelle begingroei hebben en snel sluiten het meest geschikt om knolcyperus te onderdrukken.

Volgens Norsworthy en Meehan (2005) is de concurrentiekracht van knolcyperus sterk afhankelijk van de aanwezigheid van mycorrhizae. Ze hebben in een potexperiment gebruik gemaakt van deze eigenschap door de knolcyperus op te kweken in potten met tomaat of paprika planten waaraan droge resten van knopherik (*Raphanus raphanistrum*) waren toegevoegd. Deze resten zouden de mycorrhiza moeten hinderen. De knopherik werd gedurende 2 weken gedroogd bij 60 °C en vermalen tot deeltjes kleiner dan 1 mm. Deze werden door de grond gemengd tot een aandeel van 1% van het volume. Vervolgens werd knolcyperus samen met paprika of tomaat in deze potten opgekweekt. De productie van de knolletjes kon hierdoor met 88% worden gereduceerd, in vergelijking met de knolproductie in potten zonder toegevoegde knopherik.

Een veldexperiment met bonte wikke (*Vicia villosa*) dat uitgaat van hetzelfde principe liet onvoldoende resultaat zien. In het najaar (september) ondergewerkte wikke resten verminderden de opkomst van de knolcyperus in dat experiment in het voorjaar niet (Teasdale en Rosecrance, 2003).

Mechanische bestrijding

Wanneer mechanische bestrijding ingezet wordt, moet deze wel toegepast worden zonder verspreiding van knolcyperus in de hand te werken (Rotteveel, 1993). Een goede optie kan het frequent maaien zijn. Volgens Brecke et al. (2005) kan maaien tot een afname van het aantal knolletjes en levensvatbaarheid van de knolletjes leiden door het uitputten van de koolhydraatvoorraad. Door grasland 1 tot 3 keer per week te maaien, is het mogelijk om de aanwezige knolcyperus sterk te reduceren. Door zo laag mogelijk te maaien (1.3 cm) wordt het beste resultaat geboekt, alhoewel het dan ook nog een week of zes duurt voor er een afname in rhizoomlengte, aantal en afmeting van de knolletjes geobserveerd kan worden (Summerlin *et al.*, 2000). Bij een hoger afgestelde maaimachine (3.8 cm) kan dit oplopen tot 9 weken.

Knolcyperus rhizomen kunnen zowel stengels of knolletjes vormen. Een belangrijke factor die van invloed is, is de hoeveelheid aanwezige voeding. Bij lage nutriënteniveaus worden er aan de rhizomen geen of slechts een gering aantal stengels gevormd, terwijl er nog wel knolletjes gevormd worden. Bij hoge nutriëntengehaltes worden er zowel knolletjes als ook stengels geproduceerd. Door de aanwezigheid van bijvoorbeeld stikstof vormt knolcyperus sneller een basale bol waaruit vervolgens bovengrondse stengels zullen groeien (Stoller en Sweet, 1987). Met deze eigenschap moet rekening gehouden worden wanneer voor maaien wordt gekozen. Indien de nutriëntengehaltes onvoldoende hoog zijn, zal knolcyperus ondergronds onvoldoende uitgeput raken (Li, 2004).

Bangarwa *et al.* (2012) combineerde deze twee vormen van bestrijding: in een potexperiment werd een bestrijdingsregime nagebootst van herhaaldelijk maaien gevolgd door een grondbewerking. Door de knolcyperus wekelijks tot maandelijks af te maaien en vervolgens de bodem te bewerken werd 75% van de knolletjes bestreden. De frequentie had geen invloed; wekelijkse bewerkingen hadden een even groot effect als maandelijkse bestrijding. Het experiment duurde 12 weken, hetgeen onvoldoende lang bleek om een 100% bestrijding te kunnen realiseren.

In de literatuur worden geen verdere mechanische bestrijdingsmethoden beschreven die net zo effectief zijn als herbiciden. Teasdale en Rosecrance (2003) maken melding van een effectiviteit van 70 tot 87% door de knolcyperus weg te schoffelen na de opkomst van een maïsgewas. Daarnaast heeft Johnson *et al.* (2007) goede resultaten geboekt door op een braakliggend perceel op een diepte van 7.6cm de bodem te frezen gedurende de periode mei tot oktober. Een frequentie van 1 keer per maand bleek voldoende.

Grondbewerkingsmethoden die de knollen dicht of op het grondoppervlak brengen kunnen wel bijdragen aan de bestrijding, zie hiervoor ook paragraaf 5.3 temperatuur.

Temperatuur

Nu worden plekken die niet groter zijn dan “een tafel” ondergegraven in een diepe kuil (Waterink, pers. Comm), minstens 1m diep, naast de besmette plek. Daar wordt de besmette grond ingedaan en afgedekt met schone, niet besmette grond.

Knolcyperus knollen die aan hogere temperaturen worden blootgesteld zullen afsterven (details zie referenties p 2 (Hershenhorn et al., 2014)) en zie ook Johnson III et al., 2007. Dit gegeven werd gebruikt in de studie van (Hershenhorn et al., 2014) om *Cyperus rotundus* te bestrijden in het open veld in Israël. Het geteste systeem werkte als volgt: een spitmachine haalt de bovenste laag van de grond, die vervolgens op een schudbak belandt om grond en knol van elkaar te scheiden. Beiden worden vervolgens weer op het veld teruggeplaatst, waar knol en grond worden blootgesteld aan de warme buiten temperatuur die tot gevolg heeft dat de knolcyperus wordt bestreden.

Daarnaast zijn er ook studies uitgevoerd waarbij knolletjes die aan de oppervlakte zijn gebracht, in de wintermaanden gevriesdroogd worden door de droge en koude omstandigheden en afsterven (Stoller en Sweet, 1987).

In Nederland zullen er niet vaak zulke omstandigheden zijn maar mogelijk kan het principe op een ander wijze worden benut. Dat geldt ook voor de cryogene techniek: het vriesdrogen van onkruiden door injectie met vloeibaar stikstof (Cutulle et al., 2013). Deze techniek is nog niet onderzocht voor knolcyperus. Maar indien het effectief blijkt, ook voor ondergrondse plantendelen, zou het een alternatief kunnen zijn voor chemische grond ontsmetting.

Afdekken

De effecten van afdekken op de radiale groei van knolcyperus is onder meer onderzocht en beschreven door (Webster, 2005). Hij liet de onkruidsoort groeien onder drie verschillende omstandigheden: zwart ondoorzichtig plastic, doorzichtig plastic en een onbehandelde controle. Op bepaalde tijdstippen (uitgedrukt in Weeks After Planting, WAP) werden metingen aan de objecten gedaan. De planning was om dit tot 60 WAP te doen, maar de knolcyperus verkleurde bruin bij 32 WAP en kreeg vervolgens een klap door de lagere temperaturen in de winter. In het experiment van Webster (2005) remde de scheutgroei aanzienlijk door het afdekken met plastic vergeleken met de onbehandelde plot. De ruimtelijke groei, uitgedrukt in aantal cellen die de knolcyperus inneemt, werd eigenlijk alleen geremd door de plant af te dekken met zwart plastic. De ruimtelijke groei tussen onbehandeld en afdekken met doorzichtig plastic verschilden onderling niet van elkaar. Het afdekken van knolcyperus plekken zal dus altijd met zwart en niet licht doorlatend plastic moeten gebeuren om kieming en groei van knolcyperus te voorkomen. In het huidige gebruiksvorschrift (CTgB, 2014) staat dat bij de chemische bestrijding van knolcyperus met het grondontsmettingsmiddel metam-natrium (Monam), de grond na behandeling gedurende 14 dagen moet worden afgedekt met Virtually Impermeable Film.

Bouwstenen voor Niet chemische bestrijding

- Er zijn geen studies bekend waarin knolcyperus door een gewas weggeconcurrereerd wordt op een zodanige manier dat dit gewas in te zetten is om knolcyperus voor 100% te bestrijden. Wel zijn er gewassen die concurrentiekrachtiger zijn dan andere, zoals vezelhennep, of gewassen waarin een breed scala aan bestrijdingsmogelijkheden een optie zijn, zoals maïs.
- Er is een aantal potexperimenten beschreven waarin ondergewerkte groenbemesters die isothyocyanaten lekken de mycorrhiza die knolcyperus nodig heeft om concurrentiekrachtig te zijn (Norsworthy en Meehan, 2005), beperken. Europese veldproeven met deze groenbemester bleken echter onvoldoende effectief. Waarschijnlijk hadden deze groenbemesters onvoldoende massa, of was het moment van onderwerken in relatie tot de opkomst en groei van knolcyperus niet voldoende op elkaar afgestemd.
- Wanneer mechanische bestrijding ingezet wordt, moet deze wel toegepast worden zonder verspreiding van knolcyperus in de hand te werken. Een goede optie kan het frequent maaien zijn. Beschikbaarheid van nutriënten beïnvloedt de effectiviteit van maaien. De literatuur bevat onvoldoende informatie om voor de huidige Nederlandse omstandigheden een optimaal maairegime vast te stellen. Om een effectieve maairegime vast te stellen zal experimenteel onderzoek uitgevoerd moeten worden.
- Cryogene technieken zijn mogelijk een alternatief voor chemische bestrijding. De effecten hiervan zijn echter op knolcyperus nog niet onderzocht.
- Het afdekken van met knolcyperus besmette plekken zal met zwart en niet licht doorlatend plastic moeten gebeuren om kieming en groei van knolcyperus te voorkomen. De duur van en het tijdstip waarop afdekking moet plaatsvinden onder Nederlandse omstandigheden om de knolcyperus effectief te bestrijden is niet beschreven.

6. Specificiteit en minimale neveneffecten

Volgens dit zesde principe van geïntegreerde gewasbescherming, moet een zo specifiek mogelijk herbicide gekozen worden (smalle werking) met zo min mogelijk neveneffecten op mens, niet-doelwit organismen en milieu. De knolletjes zijn de belangrijkste reden waarom knolcyperus (*Cyperus esculentus*) zo moeilijk te bestrijden is. Elke strategie ter bestrijding van knolcyperus is er daarom één van alertheid in combinatie met maatregelen ter uitputting van de plant. Een belangrijk gereedschap hierin was tot voor kort de toepassing van de bodemfumigant metam-natrium, omdat met dit product zowel gekiemde als niet gekiemde knolletjes worden bestreden. Het middel is echter niet specifiek en heeft behoorlijke nadelige neveneffecten. Een alternatief met vergelijkbaar effect is echter niet voorhanden, en op korte termijn ook niet te verwachten.

Deze paragraaf geeft een overzicht van de effectiviteit van herbiciden die een mogelijke werking hebben tegen knolcyperus. Deze middelen zullen naar verwachting minder nadelige neveneffecten hebben in vergelijking met metamnatrium maar ook een verminderde effectiviteit. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de nationale en internationale situatie.

Situatie in Nederland

Tabel 1 geeft een overzicht van de effectiviteit van de huidige beschikbare herbiciden in diverse teelten, ontleend aan de notitie Bestrijding van Knolcyperus, gepubliceerd door Productschap Akkerbouw (februari 2014).

Tabel 1. Effectiviteit in Nederland beschikbare herbiciden tegen diverse knolcyperus.

Middel	Dos /ha	Werkzame stof	T y p e	Tijd stip	Werking	Toegelaten in (o.a.)*
Lentagran	0,5-2kg	pyridaat	C	3	matig/slecht	asperge, div. koolsoorten, ui, sjalot, prei
Titus	0,04 kg	rimsulfuron	S	3	matig	aardappelen, maïs
Samson / Milagro	1,0 l	nicosulfuron	S	3	redelijk	maïs
MaisTer (+ Actirob)	0,15 kg (+2,0 l)	iodosulfuron-methyl-natrium, foramsulfuron	S + w	3	matig	maïs
Laddok N	4,0 l	bentazon + terbuthylazine + min. olie (3 l/ha)	C + b	3	redelijk	maïs
Basagran	3,0 l	bentazon	C	3	matig	aardappel, granen, maïs, graszaad, weiland, vlas, peulvruchten, bloemzaden
Sencor	0,1-1,25 kg	Metribuzin	B +	3	redelijk/zeer goed	Aardappel, graszaad, bos-, was en winterpeen, asperges

c

Dual Gold	1,6 l	S-metolachloor	B	VOK	Goed	aardbei, mais, biet, cichorei/witlof, tulp, stamsla, - en snijboon
Frontier Optima	1,4 l	dimethenamid-P	B	VOK	goed	mais, biet, cichorei, tijdelijk onbeteeld land (braakland)
Callisto	1,5 l	mesotrione	S	3	redelijk/goed	mais
			+			
			b			
Calaris	1,5 l	mesotrione + terbuthylazine	S	3	goed	mais
			+			
			b			
RoundUp e.a.	8 l	glyfosaat	S	3	goed	Vele mogelijkheden o.a. tijdelijk onbeteeld land. Algemeen gebruik: voor opkomst onkruid 'afbranden'. Toelating bepaalde gewassen. (zie etiket)
Akris	3 l	dimethenamid-P-terbuthylazine	C	braakland VOK -3; maïs 2-6 bl	(zeer) goed	Snij-, korrel- en suikermis, en op tijdelijk onbeteeld terrein (braakland)

B = bodemherbicide; C = contactherbicide; S= systemisch herbicide; b = bodemwerking; c = contactwerking; w = wortelwerking; 3 = rond 3^e blad knolcyperus; VOK = voor opkomst knolcyperus.

Situatie internationaal

Een overzicht van publicaties over (mogelijke) effectiviteit van herbiciden tegen knolcyperus werd verkregen middels een zoekopdracht in CAB abstracts. De zoektermen "*Cyperus esculentus*" en "herbicide", beperkt tot publicaties vanaf 2009, leverde 52 publicaties op. In elf hiervan werd bruikbare informatie gevonden over de werkzaamheid van getoetste herbiciden ter bestrijding van knolcyperus. Een aantal van de publicaties ondersteunt de in tabel 1 beschreven werking van middelen. Van glyfosaat bleek in een potproef de effectiviteit – gemeten in reductie van het aantal nieuw geproduceerde knolletjes – vanaf 0,87 kg actieve stof per hectare; bij 1,74 kg werd meer dan 90% reductie gevonden (Felix *et al.*, 2012). In veldproeven in een glyfosaattolerant maisgewas resulteerde toepassing na opkomst van 2 x 785 g glyfosaat per hectare in 73% bovengrondse effectiviteit in het gewas, en ruimschoots een verdubbeling van de korrelopbrengst (Felix & Newberry, 2012). Op basis van grondbemonstering werd in twee proeven 40 resp. 60% minder knolletjes gevonden, tegen 25 en 55% toename bij onbehandeld. In dit onderzoek werden ook diverse behandelingschema's met halosulfuron, dicamba en S-metolachloor gecombineerd met één of twee toepassingen van 785 g/ha glyfosaat. In de

eerste proef werd hiervan geen meerwaarde gevonden; in de tweede proef 20 à 40% extra reductie van aantallen knolletjes. Dicamba, bekend als middel tegen dicotyle onkruiden, zou een versterkende werking op knolcyperus geven in de combinatie met halosulfuron (niet geregistreerd in Nederland). Beide publicaties suggereren dat op z'n minst 8 l/ha geformuleerde glyfosaat zoals genoemd in tabel 1 – afhankelijk van de formulering 2,88 of 3,84 kg a.s. – afdoende zou moeten zijn.

De combinatie van 1,1 kg pendimethalin en 2,2 kg metolachloor per hectare als bodemherbicide toegediend voor opkomst in pinda's gaf in acht veldproeven in de VS 20% bovengronds zichtbare onkruidbestrijding en werkte daarmee onvoldoende (Ducar *et al.*, 2009). Toevoeging van 53 of 105 g/ha flumioxazin resulteerde in 37 en 51% bestrijding. Een redelijk (>80%) effect werd behaald door toevoeging aan het genoemde schema van 35 g/ha imizapic na-opkomst; voor een goed (>90%) effect was aanvullend een voor-opkomsttoepassing van 13,5-27 g/ha diclosulam en 53-105 g/ha flumioxazin nodig. Van de drie laatstgenoemde stoffen is in Nederland alleen flumioxazin geregistreerd, in appel en peer en op onbeteelde terreinen.

Felix & Boydston (2010) vonden in vier veldproeven in aardappelen een goed (88-99%) visueel bovengronds bestrijdingseffect en een betere opbrengstkwiteit van combinaties van 1.060 g S-metolachloor per hectare gecombineerd met 17,5 g rimsulfuron en/of 213 g metribuzin per hectare. Toevoeging van of vervanging door imazosulfuron in de behandelingschema's gaf vergelijkbare of betere (tot 100% bestrijdingseffect) resultaten vanaf 672 g a.s. per hectare in totaal.

Riar & Norsworthy (2011) toetsten een aantal behandelingschema's met diverse combinaties van herbiciden in veldproeven met rijst. Van deze herbiciden is alleen clomazone voor de Nederlandse markt geregistreerd en is geen noemenswaardig effect tegen knolcyperus bekend (pers. med. BASF). Met diverse combinaties van imazosulfuron, quinclorac, propanil en/of thiobencarb werd een redelijk (ca. 60% bestrijding van bovengrondse biomassa) tot goed (> 95%) bestrijdingseffect gevonden (Riar & Norsworthy, 2011), waarbij echter bij de hoogeffectieve combinaties meer dan 5 kg actieve stof per hectare werd toegepast.

De werking van mesotrione – zoals gemeld in tabel 1 – werd bevestigd in kasproeven door McCurdy *et al.* (2009) in een aantal kasproeven, met 140 en 280 g a.s. per hectare en toepassing op de bodem, op het blad (bodem afgedekt) en als combinatie van beide. De resultaten laten een matig tot uitstekend resultaat zien. De proef uitgevoerd in het najaar gaf een sterkere bestrijding van die in het voorjaar. Ook gaf bodemtoepassing een betere bestrijding van dan de toepassing op blad en bodem, wat wordt toegeschreven aan mogelijke parapluwerking.

Keller *et al.* (2014) bevelen het gebruik van een maïs rotatie aan om knolcyperus te reduceren. Ze noemen de volgende redenen: 1) in maïs is een breed scala aan herbiciden toegelaten; 2) mechanische onkruidbestrijding is in maïs goed mogelijk (met name eggen); 3) maïs en knolcyperus hebben vergelijkbare omstandigheden om te kiemen nodig; en 4) er is in maïs een gering risico op verdere verspreiding. Deze informatie werd toegepast in een veldproef waaruit blijkt dat het toedienen van S-metalochlor voor zaai, gevolgd door mechanische onkruidbestrijding en een bespuiting met bentazon in een later groeistadium effectief is.

In de overige gevonden publicaties is gewerkt met herbiciden die in Nederland geen registratie hebben. Solo of in een behandelingsmix bleek effectiviteit van halosulfuron (Dittmar *et al.*, 2012; Felix & Newberry, 2012; Riar & Norsworthy, 2011), imazapic (Ducar *et al.*, 2009; Grichar & Dotray, 2012; Jordan *et al.*, 2009), imazethapyr (Grichar & Dotray, 2012), imazosulfuron (Dittmar *et al.*, 2012; Felix & Newberry, 2012; Riar & Norsworthy, 2011), propanil en quinclorac (Riar & Norsworthy, 2011), sulfentrazone en sulfosulfuron (Gannon *et al.*, 2012), thiobencarb (Riar & Norsworthy, 2011) en trifloxysulfuron (Gannon *et al.*, 2012). Of, en op welke termijn, deze herbiciden perspectief op een Nederlandse registratie hebben is niet bekend.

Bouwstenen voor specificiteit en minimale neveneffecten:

- Akris, Calaris, Frontier optima en Dual gold zijn middelen die reeds zijn toegelaten en een goede werking kunnen hebben tegen knolcyperus. Deze middelen zijn allen toegelaten in de maïsteelt. Internationaal onderzoek suggereert dat een maïsgewas wellicht ingezet kan worden ter bestrijding van knolcyperus. Een maïs/gras rotatie zou gebruik van de genoemde middelen mogelijk maken en kunnen combineren met het maaien van het grasland. Uit de literatuur beschreven in hoofdstuk 5 is maaien mogelijk een goede methode om knolcyperus te

bestrijden, en brengt de methode weinig risico op versleping met zich mee. Sencor en glyfosaat zijn daarnaast ook twee mogelijke alternatieven voor metamnatrium.

7.Reductie van het gebruik tot minimale niveaus

Een van de richtlijnen van IPM is het reduceren van het gebruik van de middelen door gebruik te maken van gereduceerde doseringen, gereduceerde frequentie van toepassing en door pleksgewijze toepassingen. In het hoofdstuk over monitoring hebben we het gebruik van GPS systemen voor het waarnemen van knolcyperus al besproken. Daarbij hebben we tevens aangegeven dat het exact vastleggen van een knolcyperus plant of haard kan bijdragen aan een nauwkeuriger bestrijding. Immers, niet het hele perceel hoeft behandeld te worden alleen de plek waar de plant of haard aanwezig is. Bij het gebruik van dit GPS systeem zal er, afhankelijk van de nauwkeurigheid van het gebruikte apparaat, wel een buffer rondom de plek gehanteerd moeten worden.

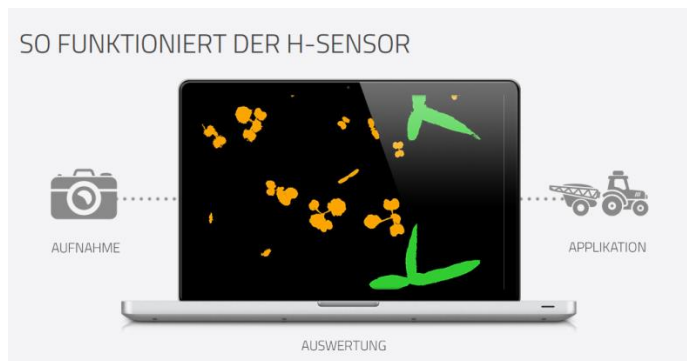
Er zijn ontwikkelingen op het gebied van sensoren waardoor het waarnemen en vastleggen van de locatie van een plant nog nauwkeuriger kan plaatsvinden. Een sensor is apparaat dat fysische eigenschappen kan waarnemen en vastleggen. Een voorbeeld is een biomassa sensor, die de hoeveelheid gereflecteerd licht in verschillende golflengtes waarneemt. Binnen de precisielandbouw wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van sensoren die ruimtelijk continue waarnemen. Dit heeft als voordeel dat er niet ruimtelijk geïnterpoleerd hoeft te worden om de waarde van een parameter op een niet gemonitorde plaats te bepalen. Voor dit rapport wordt gemakshalve uitgegaan van sensoren die continu kunnen waarnemen, en laten we het bemonstering- en interpolatie vraagstuk ongemoeid.

Recentelijk zijn er meerder sensorsystemen ontwikkeld om onkruiden te detecteren. Op dit moment zijn sensoren die vlakbij de objecten waarnemen het meest belovend omdat de korte afstand tot de plant de betrouwbaarheid van de waarneming vergroot door het hogere aantal pixels per oppervlakenheid (resolutie). Er zijn overigens wel ontwikkelingen gaande waardoor de resolutie van beelden verkregen met satellieten of drones steeds hoger wordt.

De sensoren identificeren planten aan de hand van hun optische of beeld karakteristieken (Peteinatos et al., 2014). Optische sensoren zoals een spectrometer, meet de reflectie van een plant bij verschillende golflengtes van het zichtbare en nabij infra rode licht. Iedere plantensoort heeft een ander reflectieprofiel. En ook de kale grond heeft een eigen signatuur. Een voorbeeld hiervan is te vinden in Figuur 1 in (Peteinatos et al., 2014). In het geval van een spectrofotometer als sensor, wordt een index van de spectrale data berekend om een onderling vergelijk van plantensoorten en omgeving te vergemakkelijken (Peteinatos et al., 2014). Een voorbeeld van een index is de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). De beeldanalyse sensoren gebruiken digitale beeldanalyse en segmentatie, en vervolgens worden plantkarakteristieken zoals vorm en kleur geëxtraheerd (Peteinatos et al., 2014) om de planten onderling te onderscheiden.

Een voorbeeld hiervan is het doen van plaatsspecifieke bespuitingen tegen breedbladige onkruiden in granen aan de hand van hoge resolutie rood-groen-blauw beelden (Berge et al., 2012). Het systeem van Berge et al., 2012 is gemonteerd op een autonoom navigerend voertuig dat tevens de bespuiting uitvoert. In Nederland is een prototype ontwikkeld voor het detecteren en mechanisch bestrijden van ridderzuring (*Rumex obtusifolius* L) in grasland (Van Evert et al., 2011). Ook dit systeem is gebaseerd op beeldherkenning. De sensor is gemonteerd op een autonoom navigerende robot die na detectie van ridderzuring mechanisch de betreffende plant bestrijdt door deze te vermorzelen met een soort staafmixer.

Er is momenteel één sensorsysteem op de markt, de H sensor van Agri Con, die beeld en spectrale analyse combineert om onkruidsoorten in mais en granen te detecteren en vervolgens real-time de bespuiting met herbiciden hierop af te stemmen (Figuur 4).



Figuur 4. Werkwijze van de H-sensor van Agri Con. Zie voor meer informatie ook <http://www.p3-sensor.de/produkte/h-sensor/>

Onderzoek naar bovengrondse detectie van knolcyperus met behulp van beeldanalyse is uitgevoerd in mediterraan klimaat. Het betreft twee studies om *Cyperus rotundus* te kunnen detecteren. Geometrische kenmerken werden gebruikt om onkruidsoorten, waaronder *Cyperus rotundus* van elkaar en het gewas (katoen) te scheiden (Efron et al., 2009). Dit leverde 85% nauwkeurigheid op. En als alleen een onderscheid tussen gewas en onkruiden werd gemaakt, m.a.w.: wel of niet spuiten, werd 95% nauwkeurigheid behaald. Voor de praktijk is echter een waterdicht systeem nodig. Iedere gemist knolcyperusplant kan weer een nieuwe besmetting opleveren.

In een tweede en recentere studie werden biomassa en bladoppervlak van *Cyperus rotundus* gemeten met behulp van beeld analyse. De methode (Lati et al., 2011) bleek een goede voorspelling te geven.

Bouwstenen voor reductie van het gebruik tot minimale niveaus

- Plaatsspecifieke bespuitingen zouden het gebruik van herbiciden sterk minimaliseren. Voor deze plaatspecifieke bespuitingen is een nauwkeurige waarneming van knolcyperus belangrijk. De H Sensor van Agri Con is in staat onkruiden in mais en granen te detecteren en real time herbiciden te spuiten. De meest perspectiefvolle alternatieve herbiciden hebben een toelating in mais.

8. Toepassing van maatregelen ter voorkoming van resistentie

Momenteel is er 1 melding van herbicide resistentie in knolcyperus. In 2013 werd resistente *C. esculentus* in de Verenigde Staten aangetroffen. De knolcyperus werd aangetroffen in rijst en bleek resistent te zijn tegen ALS inhibitors (Inhibition of acetolactate synthase ALS (acetohydroxyacid synthase AHAS)) (<http://weedsociety.org/details/case.aspx?ResistID=6752>). Het werkingsmechanisme van de herbiciden die in tabel 1 zijn aangemerkt met een goede werking tegen knolcyperus, vallen in andere groepen dan die van de ALS inhibitors. Er geldt bij gebruik van bestrijdingsmethoden (zowel chemisch als niet-chemisch) echter dat bij langdurige toepassing van dezelfde methode selectie van resistente individuen plaatsvindt, hetgeen tot een resistente populatie kan leiden. Bij toepassing van de in tabel 1 genoemde middelen is het van belang middelen met een verschillend werkingsmechanisme af te wisselen om de ontwikkeling van resistentie te voorkomen.

Bouwstenen ter voorkoming van resistentie:

- Afwisseling van herbiciden met een verschillend werkingsmechanisme is van belang om resistentie ontwikkeling van knolcyperus tegen te gaan. Afwisseling van verschillende bestrijdingsmethoden zowel chemisch als niet chemisch heeft de voorkeur.

9. Monitoren, documenteren en controleren van effect van bestrijding

In hoofdstuk 3 zijn we ingegaan op het belang van een goede waarneming van de knolcyperus planten. Een goed monitoringssysteem is niet alleen van belang voor het identificeren van besmette percelen, maar is van groot belang voor een goede evaluatie van het bestrijdingseffect. Zowel de inspecteur als de telers hebben baat bij het nauwkeurig vastleggen en documenteren van de besmette plekken. De inspecteur om makkelijk te kunnen controleren in opvolgende jaren, en de teler om zijn bestrijdingsmethode te bepalen, toe te passen, maar zeker ook te beoordelen. Het in hoofdstuk 3 genoemde GIS systeem kan naast de monitoring ook ingezet worden voor de documentatie van de toegepaste bestrijdingsmethode, en het resultaat van de gebruikte methode. Hierdoor krijgt de teler inzicht in de effectiviteit van de bestrijding. Door vastlegging van deze gegevens in een database, kunnen we op nationale schaal inzicht krijgen in de effectiviteit van de diverse methoden.

Bouwstenen voor monitoren, documenteren en controleren van bestrijdingseffect:

- Een monitoringssysteem dat gebruik maakt van GPS waarnemingen t.a.v. de locatie van knolcyperus, moet ook ruimte bieden aan het documenteren van de toegepaste bestrijdingsmethode en de opvolging van de locatie in de tijd zodat het effect van de bestrijdingsmethode bepaald kan worden.

Conclusies en aanbevelingen

De conclusies en aanbevelingen van dit rapport hebben betrekking op de kennis die nodig is om geïntegreerde gewasbescherming van knolcyperus volgens de acht IPM principes mogelijk te maken:

- (1) Maatregelen voor preventie en onderdrukking
- (2) Monitoringstechnieken
- (3) Drempelwaarden voor beslissingsondersteuning
- (4) Niet-chemische methoden hebben de voorkeur
- (5) Specificiteit en minimale neveneffecten
- (6) Reductie van het gebruik tot noodzakelijke niveaus
- (7) Toepassing van maatregelen ter voorkoming van resistentie
- (8) Vastleggen, monitoren en documenteren en controleren van effect van bestrijding.

Preventie

Op het gebied van preventie zijn een aantal bouwstenen voor de actualisatie van het teeltvoorschrift relevant:

- Ter voorkoming van besmetting van nieuwe percelen: schoonmaken van machines voordat deze in een ander perceel ingezet worden.
- Zo min mogelijk gebruik van grondbewerkingen die voor versleping en verspreiding van knollen binnen het perceel zorgen. Deze versleping zorgt voor een hogere reproductie van de aanwezige knollen en een potentieel hogere besmetting op het perceel zelf.
- Goede plaagdierbestrijding (muizen) op besmette percelen zodat deze dieren de knollen niet verder verspreiden.

Monitoring

Een van de belangrijkste aspecten om de effectiviteit van gewasbescherming te bepalen en om te kunnen controleren of de knolcyperus besmetting inderdaad is verwijderd, is een goed monitoringssysteem. Bovendien zijn er tegenwoordig technische ontwikkelingen waarmee deze informatie direct gebruikt kan worden om de bestrijding te optimaliseren. Op basis van deze studie kunnen we een aantal bouwstenen aanbevelen voor dit belangrijke IPM principe:

- Vergroot en standaardiseer het gebruik van GPS door inspecteurs bij de vastlegging van knolcyperus.
- Maak gebruik van een centraal GIS. Het GIS is bijvoorkeur toegankelijk vanaf elk gewenste locatie door de inspecteurs. Maak als achtergrond gebruik van een kadastrale kaart. De ruimtelijke voorwaarden die in het door het CTgB opgestelde gebruiksvoorschrift staan, kunnen daardoor meteen worden verwerkt.
- De effectiviteit van de communicatie tussen de inspecterende instantie en de teler kan worden vergroot indien een eventuele besmetting met knolcyperus als geografisch bestand door de NAK aan de teler kan worden overgedragen. In dit bestand staat tevens aangegeven waar er wel en geen monam mag worden toegepast gezien de kenmerken van de omgeving.
- De teler kan de geo informatie over de besmetting verwerken in zijn of haar bedrijfsmanagementsysteem.
- Er is geen wetenschappelijke literatuur bekend waarbij de relatie tussen het voorkomen van knolcyperus in een perceel en de variatie in de bodem voor Europese omstandigheden is onderzocht. Inzicht in een mogelijke interactie kan helpen bij het monitoren.
- In de praktijk is kennis over de kenmerken van de plekken waar knolcyperus wordt aangetroffen. Het is zinvol om dit expliciet vast te leggen in een database zodat inzicht in belang van de

besmettingsroutes kan worden achterhaald. Er is bijvoorbeeld op dit moment geen duidelijk beeld over een mogelijk effect van de grondsoort (klei, zand etc.) op de verspreiding en ruimtelijke ecologie van de plantensoort.

- Momenteel wordt een buffer van 10m gehanteerd rondom een aangetroffen besmetting met knolcyperus. Het is onbekend hoe representatief de bovengrondse, waarneembare knolcyperus planten, een afspiegeling vormen van de ondergronds aanwezige knollen. Voor het vaststellen van een goede, betrouwbare buffer zou het waardevol zijn indien hier meer over bekend zou zijn.

Drempelwaarden voor beslissingsondersteuning

- De drempelwaarde voor bestrijding van knolcyperus ligt op 1 knolcyperus plant per perceel.

Niet chemische bestrijding

Er zijn geen studies aangetroffen waarin alternatieve niet chemische methoden werden beschreven die een even hoge effectiviteit als de chemische methoden hebben. Wel zijn er een aantal mogelijkheden die de bestrijding van knolcyperus effectiever te maken. Deze betreffen concurrentiekrachtige gewassen, mechanische bestrijding, cryogene technieken en afdekken:

- De concurrentiekracht van de onderzochte gewassen is onvoldoende om knolcyperus voor 100% weg te concurreren. Wel zijn er gewassen die concurrentiekrachtiger zijn dan andere, zoals vezelhennep, of gewassen waarin een breed scala aan bestrijdingsmogelijkheden een optie zijn, zoals maïs.
- Het gebruik van groenbemesters die zorgen voor het lekken van isothyocyanaten is wellicht een mogelijkheid. Isothyocyanaten zouden de mycorrhiza die de concurrentiekracht van knolcyperus verhogen sterk reduceren. Er zijn een beperkt aantal veldproeven in Europees verband uitgevoerd met groenbemester waarin de effectiviteit echter onvoldoende bleek. Waarschijnlijk hadden deze groenbemesters onvoldoende massa, of was het moment van onderwerken in relatie tot de opkomst en groei van knolcyperus niet voldoende op elkaar afgestemd. Nader onderzoek over moment van onderwerken in relatie tot de effectiviteit is hiervoor nodig.
- Mechanische bestrijdingsmethoden kunnen knolcyperus reduceren wanneer ze toegepast worden zonder de knolcyperus te verslepen. Een goede optie kan het frequent maaien zijn. Beschikbaarheid van nutriënten beïnvloedt de effectiviteit van maaien. De literatuur bevat onvoldoende informatie om voor de huidige Nederlandse omstandigheden een optimaal maairegime vast te stellen. Om een effectieve maai frequentie vast te stellen zal experimenteel onderzoek uitgevoerd moeten worden.
- Cryogene technieken zijn mogelijk een alternatief voor chemische bestrijding. De effecten hiervan zijn echter op knolcyperus nog niet onderzocht.
- Het afdekken van met knolcyperus besmette plekken zal met zwart en niet licht doorlatend plastic moeten gebeuren om kieming en groei van knolcyperus te voorkomen. De duur van en het tijdstip waarop afdekking moet plaatsvinden onder Nederlandse omstandigheden om de knolcyperus effectief te bestrijden is niet beschreven.

Specificiteit en minimale neveneffecten

Volgens dit zesde principe van geïntegreerde gewasbescherming, moet een zo specifiek mogelijk herbiciden gekozen hebben (smalle werking) met zo min mogelijk neveneffecten op mens, niet-doelwit organismen en milieu. De knolletjes zijn de belangrijkste reden waarom knolcyperus (*Cyperus esculentus*) zo moeilijk te bestrijden is. Elke strategie ter bestrijding van knolcyperus is er daarom één van alertheid in combinatie met maatregelen ter uitputting van de plant. Een belangrijk gereedschap hierin was tot voor kort de toepassing van de bodemfumigant metam-natrium, omdat met dit product zowel gekiemde als niet gekiemde knolletjes worden bestreden. Het middel is echter niet specifiek en heeft behoorlijke

nadelige neveneffecten. Een alternatief met vergelijkbaar effect is echter niet voorhanden, en op korte termijn ook niet te verwachten.

- Akris, Calaris, Frontier optima en Dual gold zijn middelen die reeds zijn toegelaten en een goede werking kunnen hebben tegen knolcyperus. Deze middelen zijn allen toegelaten in de maïsteelt. Internationaal onderzoek suggereert dat een maïsgewas wellicht ingezet kan worden ter bestrijding van knolcyperus. Een maïs/gras rotatie zou gebruik van de genoemde middelen mogelijk maken en kunnen combineren met het maaien van het grasland. Uit de literatuur beschreven in hoofdstuk 5 is maaien mogelijk een goede methode om knolcyperus te bestrijden, en brengt de methode weinig risico op versleping met zich mee. Sencor en glyfosaat zijn daarnaast ook twee mogelijke alternatieven voor metamnatrium.
- De effectiviteit van alternatieve, nog niet toegelaten, herbiciden voor de bestrijding van knolcyperus is veelal onbekend. Er zijn onvoldoende studies naar de juiste doseringen om knolcyperus met op de Nederlandse markt toegelaten middelen te bestrijden. Internationale studies tonen aan dat een hoge effectiviteit mogelijk kan zijn, maar zijn uitgevoerd onder omstandigheden en in gewassen die niet representatief zijn voor de Nederlandse situatie en om die reden niet direct te vertalen. Om deze reden zou het goed zijn voor een aantal combinaties gewassen en herbiciden de meest effectieve dosering te bepalen onder Nederlandse omstandigheden.

Reductie van het gebruik tot minimale niveaus

- Plaatsspecifieke bespuitingen zouden het gebruik van herbiciden sterk minimaliseren en een grote milieuwinst opleveren. Voor deze plaatspecifieke bespuitingen is een nauwkeurige waarneming van knolcyperus belangrijk. De H Sensor van Agri Con is in staat onkruiden in maïs en granen te detecteren en real time herbiciden te spuiten. De meest perspectiefvolle alternatieve herbiciden hebben een toelating in maïs.

Voorkoming van resistentie:

- Afwisseling van herbiciden met een verschillend werkingsmechanisme is van belang om resistentie ontwikkeling van knolcyperus tegen te gaan. Afwisseling van verschillende bestrijdingsmethoden zowel chemisch als niet chemisch heeft de voorkeur.

Monitoren, documenteren en controleren van bestrijdingseffect:

- Een monitoringssysteem dat gebruik maakt van GPS waarnemingen t.a.v. de locatie van knolcyperus, moet ook ruimte bieden aan het documenteren van de toegepaste bestrijdingsmethode en de opvolging van de locatie in de tijd zodat het effect van de bestrijdingsmethode bepaald kan worden.

Samenvattende conclusie

Toepassing van de acht principes van geïntegreerde gewasbescherming (IPM) biedt goede mogelijkheden om de bestrijding van knolcyperus zoals beschreven in het huidige teeltvoorschrift te verbeteren. Met name door het koppelen van een monitoringssysteem aan de bestrijding zijn er goede mogelijkheden om de effectiviteit van de bestrijding te verhogen en de inzet van middelen te reduceren, en de inspectie nauwkeuriger te maken. Volgens de literatuur zijn er geen alternatieve niet-chemische bestrijdingsmethoden die net zo effectief zijn als de herbiciden. Er zijn een aantal in Nederland toegelaten herbiciden die mogelijk een goede werking tegen knolcyperus hebben. Dit betreft voor een groot deel herbiciden die in de maïs zijn toegelaten. Daarnaast kan maïs in een wisselrotatie geteeld worden met grasland, waarin frequent maaien toegepast kan worden. Maaien wordt gezien als de meest geschikte mechanische bestrijdingsmethode voor knolcyperus omdat deze methode niet gepaard gaat met de kans op versleping van knollen. Er zijn nog meer voordelen aan het potentiële gebruik van maïs in een rotatie. Maïs kan geteeld worden in combinatie met een vanggewas (groenbemester) waarvoor indicaties bestaan voor effecten op de concurrentiekracht van knolcyperus. Het verdient aanbeveling om in een pilot de mogelijkheden tot inpassing van de 8 principes van gewasbescherming om tot bestrijding van knolcyperus te komen. Daarbij kan een maïsrotatie als goede basis fungeren om de diverse principes samen te laten komen en de kennisvragen die nu nog open staan te beantwoorden.

Geraadpleegde literatuur

- Ali A, Streibig JC, & Andreassen C (2013). Yield loss prediction models based on early estimation of weed pressure. *Crop Protection*, **53**, 125-131.
- Anonymous (2014): Bestrijding van Knolcyperus. Productschap Akkerbouw. 8p.
- Berge TW, Goldberg S, Kaspersen K & Netland J (2012) Towards machine vision based site-specific weed management in cereals. *Computers and Electronics in Agriculture* **81**, 79-86.
- Brecke BJ, Stephenson DO (2005). "Control of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) with herbicides and mowing." *Weed Technology* **19**, 809-814.
- Cardina J, Johnson GA & Sparrow DH (1997) The Nature and Consequence of Weed Spatial Distribution. *Weed Science* **45**, 364-373.
- Cousens, R. (1985). A simple model relating yield loss to weed density. *Annals of applied biology*, **107**(2), 239-252.
- Cutulle MA, Armel GR, Brosnan JT et al. (2013) Evaluation of a Cryogenic Sprayer Using Liquid Nitrogen and a Ballasted Roller for Weed Control. *Journal of Testing and Evaluation* **41**, 869-874.
- Dittmar PJ, Monks DW & Jennings, KM (2012) Effect of Drip-Applied Herbicides on Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus*) in Plasticulture. *Weed Technology* **26**, 243-247.
- Ducar JT, Clewis SB, Wilcut JW, Jordan DL, Brecke BJ, Grichar WJ, Johnson III WC & Wehtje GR (2009). Weed Management Using Reduced Rate Combinations of Diclosulam, Flumioxazin, and Imazapic in Peanut. *Weed Technology* **23**, 236-242
- Efron R, Alchanatis V, Cohen Y et al. (2009) Development of an integrated approach for weed detection in cotton, for site specific weed management C3 - Precision Agriculture 2009 - Papers Presented at the 7th European Conference on Precision Agriculture, ECPA 2009. In: Proceedings 2009 7th European Conference on Precision Agriculture, ECPA 2009, Wageningen, 329-338.
- Felix J, Dauer JT, Hulting AG & Mallory-Smith C (2012). Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus*) Growth and Tuber Production in Response to Increasing Glyphosate Rates and Selected Adjuvants. *Weed Technology* **26**, 95-101
- Felix J & Newberry G (2012). Yellow Nutsedge Control and Reduced Tuber Production with S-metolachlor, Halsulfuron plus Dicamba, and Glyphosate in Furrow-Irrigated Corn. *Weed Technology* **26**, 213-219.
- Gannon, T.W., Yelverton, F.H. & Tredway, L.P. (2012): Selective Exposure of Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus*), Purple Nutsedge (*Cyperus rotundus*), and False Green Kyllinga (*Kyllinga gracillima*) to Postemergence Herbicides. *Weed Technology* **26**, 294-299.
- Gerhards R, Sökefeld M, Schulze-Lohne K, Mortensen DA & Kühbauch W (1997) Site specific weed control in winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science* **178**, 219-225.
- Grichar WJ & Dotray PA (2012). Weed Control and Peanut Tolerance with Ethalfluralin-Based Herbicide Systems. *International Journal of Agronomy*, Article ID 597434, 8 pages, 2012. doi:10.1155/2012/597434
- Groenendael, J. M. and B. Habekotté (1988). "*Cyperus esculentus* L.- biology, population dynamics, and possibilities to control this neophyte." *Zeitschrift fuer Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft* **11**, 61-69.
- Heijting S, Werf Wvd, Stein A & Kropff MJ (2007) Are weed patches stable in location? Application of an explicitly two-dimensional methodology. *Weed Research* **47**, 381-395.
- Hershenhorn J, Zion B, Smirnov E et al. (2014) *Cyperus rotundus* control using a mechanical digger and solar radiation. *Weed Research*, n/a-n/a.

- Johnson III WC, Davis RF & Mullinix Jr BG (2007) An integrated system of summer solarization and fallow tillage for *Cyperus esculentus* and nematode management in the southeastern coastal plain. **26**, 1660-1666.
- Jordan DL, Lancaster SH, Lanier JE, Lassiter BR & Johnson PD (2009). Weed Management in Peanut with Herbicide combinations Containing Imazapic and Other Pesticides. *Weed Technology* **23**, 6-10.
- Kropff MJ, & Spitters C JT (1991). A simple model of crop loss by weed competition from early observations on relative leaf area of the weeds. *Weed Research*, **31**(2), 97-105.
- Lati RN, Filin S & Eizenberg H (2011) Robust Methods for Measurement of Leaf-Cover Area and Biomass from Image Data. *Weed Science* **59**, 276-284.
- Li B, Shibuya TT (2004). "Effects of ramet clipping and nutrient availability on growth and biomass allocation of yellow nutsedge." *Ecological research* **19**(6), 603-612.
- Lotz, L. A. P., R. M. W. Groeneveld, et al. (1991). "Reduction of growth and reproduction of *Cyperus esculentus* by specific crops." *Weed Research* **31**, 153-160.
- McCurdy JD, McElroy JS & Breeden GK (2009). Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus*) and Large Crabgrass (*Digitaria sanguinalis*) response to soil- and foliar-applied mesotrione. *Weed Technology* **23**, 62-66.
- NAK (2014) Concept Rapport Knolcyperuskartering in Nederland 2013. 1-11.
- Norsworthy, J. J. K. and J. J. T. Meehan (2005). "Wild radish-amended soil effects on yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) interference with tomato and bell pepper." *Weed Science* **53**(1), 77-83.
- Peteinatos GG, Weis M, Andújar D, Rueda Ayala V & Gerhards R (2014) Potential use of ground-based sensor technologies for weed detection. **70**, 190-199.
- Riar DS & Norsowrthy JK (2011). Use of Imazosulfuron in Herbicide Programs for Drill-Seede Rice (*Oryza sativa*) in the Mid-South United States. *Weed Technology* **25**: 548-559.
- Rotteveel, AAJW and Naber H (1988). Yellow nutsedge *Cyperus esculentus* L. in the Netherlands. The problem and its approach. Yellow nutsedge *Cyperus esculentus* L. in the Netherlands, Wageningen.
- Rotteveel, AAJW (1993). "Tien jaar knolcyperus (*Cyperus esculentus* L.) in Nederland." *Gorteria* **19**, 65-73.
- Schippers P, Borg SJt, Groenendaal JMv & Habekotte B (1993) What makes *Cyperus esculentus* (Yellow nutsedge) an invasive species? A spatial model approach. In: Proceedings 1993 Proc. Crop Protection Conf. - Weeds. Brighton (1993) vol.2: 495-504.
- Schroeder C & Wolken M (1989) Die Erdmandel (*Cyperus esculentus* L.) - ein neues Unkraut in Mais. *Osnabrücker naturwissenschaftlicher Mitteilungen.*, 83-104.
- Stoller EW (1981) Yellow nutsedge: a menace in the corn belt. . *U.S. Department of Agriculture technical Bulletin No. 1642*, 16 p.
- Stoller, E. W. and R. D. Sweet (1987). "Biology and life cycle of purple and yellow nutsedges (*Cyperus rotundus* and *C. esculentus*)." *Weed Technology* **1**, 66-73.
- Summerlin JR, Coble HD (2000). "Effect of mowing on perennial sedges." *Weed Science* **48**, 501-507.
- Teasdale, JJR and Rosecrance RRC (2003). "Mechanical versus herbicidal strategies for killing a hairy vetch cover crop and controlling weeds in minimum-tillage corn production." *American journal of alternative agriculture* **18**(2), 95-102.
- Van Evert FK, Samsom J, Polder G et al. (2011) A robot to detect and control broad-leaved dock (*Rumex obtusifolius* L.) in grassland. **28**, 264-277.
- Webster TM (2005) Patch expansion of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) and yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) with and without polyethylene mulch. **53**, 839-845.