

# Perspectieven voor veredeling op stikstofefficiëntie bij sluitkool

## Literatuuroverzicht

Monique Hospers-Brands,
Yongran Ji, Paul Struik,
Edith Lammerts van Bueren

de natuurlijke kennisbron

WAGENINGEN UR
For quality of life

# *Perspectieven voor veredeling op stikstofefficiëntie bij sluitkool*

*Literatuuroverzicht*

*Monique Hospers-Brands*
*Yongran Ji*
*Paul Struik*
*Edith Lammerts van Bueren*

© 2014 Louis Bolk Instituut

Perspectieven voor veredeling op
stikstofefficiëntie bij sluitkool
(Literatuuroverzicht)

Monique Hospers-Brands, Yongran Ji, Paul Struik,
Edith Lammerts van Bueren

36 pagina’s
Publicatienummer 2014-014 LbP

www.louisbolk.nl

# *Voorwoord*

Deze publicatie is tot stand gekomen in het kader van het Veredelingsprogramma Groene Veredeling, gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken en met in-kind bijdrage van betrokken deskundigen.
Wij danken in dat verband de koolonderzoekers en -veredelaars van Bejo Zaden: Klaas Biersteker, Tom van Schagen, Wil Jorink en Bram Weijland voor de tijd en kennis die ze hebben gedeeld, en de begeleiding van MSc student Yongran Ji. Verder heeft ook de koolveredelaar John Buijsman van Rijk Zwaan nuttige inbreng gehad tijdens de workshop die we in het kader van dit project georganiseerd hebben. Ook de telers GertJan Kos (Oudkarspel, NrdHolland), Anton van Vilsteren (Marknesse, NOP) en Joris Kollewijn (De Lepelaar, St Maarten, NrdHolland), die we mochten interviewen, zijn we erkentelijk voor hun expertise in de koolteelt.
De Wageningse MSc student Yongran Ji heeft geholpen om de literatuur te bestuderen, en prof. dr. ir. Paul Struik is betrokken geweest als gewasfysioloog van Wageningen University om de fysiologische processen in de plant met betrekking tot stikstof goed te kunnen duiden.

Driebergen, april 2014

Edith Lammerts van Bueren en Monique Hospers-Brands

LOUIS BOLK INSTITUUT

# *Inhoud*

**Voorwoord** **3**

**Inhoud** **5**

**Samenvatting** **7**

**Summary** **8**

**1 Inleiding en achtergrond** **9**
1.1 Definities van stikstofefficiëntie 10
1.2 Verbeteren van stikstofefficiëntie van rassen? 10
1.3 Verschillende koolsoorten 11
1.4 Doel en werkwijze van dit onderzoek 12

**2 Huidige praktijk in Nederland** **15**
2.1 Arealen 15
2.2 Voorvrucht en bemesting 15
2.3 Ervaringen van biologische kooltelers 17

**3 Kool, Stikstof, en Stikstofefficiëntie** **21**
3.1 Rasverschillen in stikstofefficiëntie 21
3.2 Beworteling 21
3.3 Groei van sluitkool: verhouding omblad en kool 23
3.4 Stikstof opname en gebruik 26

**4 Perspectieven en aanknopingspunten voor de veredeling** **29**
4.1 Perspectieven om de opname-efficiëntie te verbeteren 29
4.2 Perspectieven om de gebruiksefficiëntie te verbeteren 30
4.3 Tot slot 32

**Literatuur** **33**

LOUIS BOLK INSTITUUT

# *Samenvatting*

Kool is een belangrijk gewas in Nederland. Koolsoorten vragen veel stikstof (ca. 300 kg N/ha)voor een goede groei, dikwijls meer dan binnen de huidige regelgeving in een biologische vruchtwisseling kan worden geleverd. Stikstof verhoogt de opbrengst, maar bij een hoog stikstofaanbod bereikt de opbrengst een plafond. Er is in het verleden veel onderzoek gedaan om de bemesting te optimaliseren. Voor een verdere verduurzaming van de teelt is het de vraag welke rassen robuust genoeg zijn om bij een beperkte hoeveelheid stikstof en wisselende weers- en groeiomstandigheden toch een economisch acceptabele en stabiele opbrengst te geven. En welke planteigenschappen spelen daarbij een cruciale rol? Door middel van literatuuronderzoek, gesprekken met deskundigen en veldbezoeken is nagegaan wat de perspectieven zijn om te veredelen op stikstofefficiëntie bij koolsoorten, met name bij sluitkool.

Stikstofefficiëntie is de resultante van twee componenten: stikstofopname-efficiëntie en stikstofgebruikefficiëntie. Deze aspecten moeten steeds in onderlinge relatie onderzocht worden, omdat rassen diverse combinaties van strategieën kunnen ontwikkelen om efficiënt met een laag stikstofaanbod om te kunnen gaan. Weliswaar is het meeste onderzoek naar stikstofefficiëntie bij *Brassica* gewassen gedaan aan koolzaad, Chinese kool en bloemkool, maar uit dit voorliggende onderzoek zijn goede aanknopingspunten gevonden voor verbetering van stikstofefficiëntie bij sluitkool.
Voor de opname van stikstof is goede beworteling een voorwaarde. Kool blijkt diep te kunnen wortelen en efficiënt stikstof uit de bodem te kunnen opnemen. Er is echter nog geen onderzoek gedaan naar mogelijke rasverschillen in beworteling (diepte, intensiteit, en plasticiteit) bij sluitkool onder een laag stikstofaanbod. Omdat in de biologische teelt stikstof bij koude minder makkelijk beschikbaar komt, is het belangrijk om in bewortelingsonderzoek vooral ook vroege rassen te betrekken. Daarbij is het tevens van belang diverse locaties in het onderzoek te betrekken omdat verschillen in beworteling niet onder alle omstandigheden tot expressie komen.

Uit de literatuur valt af te leiden dat voor kool vooral winst te behalen is bij het verbeteren van de gebruikefficiëntie. Daarbij lijkt het van belang dat het omblad zo lang mogelijk, tot aan de oogst, actief blijft teneinde de stikstofopname te stimuleren. Ook de herverdeling van stikstof van het oude blad naar het jonge (binnen)blad dat de kool vormt en dat niet fotosynthetisch actief kan zijn, is belangrijk. Deze gebruiksprocessen en de verhouding tussen omblad en jong blad en daarmee samenhangende gebruiksprocessen kunnen verschillen voor vroege, middelvroege en late rassen. Nader onderzoek moet uitwijzen wat de ideale verhouding van omblad en kool (harvest index) is in relatie tot stikstofefficiëntie, en of bladstand en bladopbouw daarbij een rol spelen. Daarbij zou het interessant kunnen zijn te onderzoeken of ook andere selectiecriteria van belang kunnen zijn, zoals de bebladeringsindex (bladoppervlak/grondoppervlak, $m^2/m^2$), specifiek bladoppervlak (bladoppervlak/bladgewicht, $cm^2/g$), nitraatreductase en / of chlorofylgehalte of -fluorescentie.

# *Summary*

Cabbage is an important crop in the Netherlands. *Brassica* species require high levels of nitrogen (ca. 300 kg N/ha) for a good crop growth, often more than can be delivered in an organic rotation within the current regulations for organic agriculture. Nitrogen increases the yield but at high levels of nitrogen the yield reaches a ceiling.
In the past much research has been conducted to optimise fertiliser application. To further advance sustainable crop management an important question is which cultivars are robust enough to produce an economically acceptable and stable yield under low nitrogen input levels and under variable weather and growing conditions. It is also relevant to assess which plant traits are associated with nitrogen efficiency. Through literature research, expert consultations and farmer field visits, the perspectives are explored to breed for improved nitrogen efficiency in *Brassica* types, especially head cabbage.

Nitrogen efficiency is the resultant of two component traits: nitrogen uptake efficiency and nitrogen utilisation efficiency. These traits should always be considered in relation to each other as genotypes can combine different strategies to cope with low availability of nitrogen.
Most research on nitrogen efficiency in *Brassica* has been conducted for oil seed rape, Chine cabbage and cauliflower. However, in our research we found interesting clues to improve nitrogen efficiency in head cabbage.
For the uptake capacity a good rooting system is a prerequisite. Apparently, cabbage is able to root until great depth and is capable of capturing nitrogen efficiently from the soil. However, no research is available on genetic variation in rooting characteristics (depth, density, and plasticity) in cabbage under low nitrogen availability. As in organic fertility management nitrogen is less available through mineralisation under cold stress, it is important to include early cultivars in the research. It also became clear from the literature review that in order to properly explore genetic variation in root systems diverse locations should be included as genetic variation is not always expressed at all sites.

From the literature we learned that for cabbage most benefits are to be expected from improved nitrogen utilisation efficiency. It appears to be important that the outer leaves remain active until harvest to enhance nitrogen uptake. Also the redistribution from older outer leaves to the young inner leaves forming the head and photosynthetically inactive is relevant.
These physiological aspects of utilisation, the ratio between outer and inner leaves (head), and related processes can differ among early, mid-early, and late cultivars. Future research should explore the most ideal ratio between outer leaves and head (harvest index) in relation to nitrogen efficiency, and to what extent leaf attitude and leaf canopy development play a role. In addition it will be interesting to assess whether also other selection criteria can be applied, e.g. leaf area index, specific leaf area index, nitrate reductase activity and / or chlorophyll content or fluorescence.

# 1 Inleiding en achtergrond

Koolsoorten vragen veel stikstof. In de biologische teelt vragen koolgewassen vaak meer stikstof dan kan worden aangeboden binnen de huidige EU regelgeving voor biologische landbouw. Deze regelgeving bepaalt dat de stikstof (N) die aangevoerd wordt via dierlijke mest gelimiteerd is tot 170 kg N/ha/jaar. De biologisch-dynamische landbouw (Demeter) en afzetorganisaties in Duitsland zoals Bioland staan maximaal 112 kg N/ha/jaar toe.
Voor de gangbare teelt is het de vraag of de kosten van minerale bemesting (gebaseerd op fossiele brandstoffen) niet zodanig zullen stijgen dat beperking op bedrijfseconomische gronden noodzakelijk wordt.

Onder de huidige maatschappelijke wens en noodzaak om de teelt te verduurzamen zijn twee benaderingen van belang om meer met minder te kunnen produceren:

a. Agronomische praktijken optimaliseren, bijvoorbeeld aangepaste bemesting (soort, tijdstip, toedieningswijze), vruchtwisseling, etc.
b. Rassen ontwikkelen die beter aangepast zijn aan lagere stikstofniveaus dan nu gebruikelijk is in de landbouw.

Er is veel agronomisch onderzoek aan kool gedaan, gericht op het optimaliseren van de bemesting (hoeveelheid en tijdstip) voor een zo hoog mogelijke opbrengst, en om te onderzoeken welke rassen het meest profiteren van een extra stikstofbemesting (‘stikstofrespons’) (o.a. Everaarts & De Moel, 1998; Westerveld et al., 2003, Šturm et al., 2010; Brito et al., 2012). Daarbij bleek bij diverse gewassen, zoals spruitkool en spinazie, dat de gewasontwikkeling fysiologisch geprogrammeerd wordt door de hoeveelheid beschikbare stikstof tijdens de begingroei (Biemond et al., 1995, 1996). Als deze beperkt is, kan de plant later, ook als er dan meer stikstof beschikbaar komt, de achterstand niet meer inhalen door extra stikstof op te nemen. Voor ons onderzoek zijn dus essentiële vragen:

- Welke rassen zijn robuust genoeg om bij een beperkte hoeveelheid stikstof en wisselende weers- en groeiomstandigheden toch een economisch acceptabele en stabiele opbrengst geven?
- Welke planteigenschappen spelen daarbij een cruciale rol?

Zowel telers als veredelaars hebben aangegeven dat er tussen koolrassen verschillen zijn in stikstofbehoefte en in hun vermogen om onder lage stikstofbeschikbaarheid (al of niet door droogte) door te groeien (‘stikstofplasticiteit’). Resultaten van rassenonderzoek onder biologische teeltomstandigheden aan witte en rode kool uitgevoerd door het Louis Bolk Instituut bevestigen deze ervaringen (Lammerts van Bueren et al., 2004). In dat onderzoek waren er rassen die in alle drie de onderzoeksjaren goed meekwamen, maar ook rassen die in alle jaren of alleen in minder groeizame jaren onder het gemiddelde bleven bij biologische teelt.
Dergelijke rasverschillen om goed te presteren onder lage en wisselende stikstofbeschikbaarheid zijn ook gevonden in een biologische broccolirassenproef in 2011 uitgevoerd bij twee biologische telers in de Noordoost Polder (Algoet, 2011).

Diverse veredelingsbedrijven en biologische telers hebben aangegeven dat er behoefte is aan bewaarkoolrassen, die efficiënter met stikstof omgaan en een goede opbrengst kunnen leveren met relatief weinig mest (lees: stikstof). Deze vraag is niet alleen voor de biologische teelt van belang, maar ook voor de gangbare landbouw die streeft naar verduurzaming van de teelt.

## 1.1 Definities van stikstofefficiëntie

Stikstofefficiëntie kan op verschillende manieren worden opgevat. Er zijn dan ook diverse definities van stikstofefficiëntie in de literatuur bekend, zie Kader 1.
In de regel wordt stikstofefficiëntie gedefinieerd als de opbrengst per eenheid beschikbare stikstof (e.g. Gourley et al., 1994). In de internationale literatuur gebruikt men veelal de Engelse term nitrogen use efficiency (afgekort: NUE).

***Kader 1. Definities voor stikstofefficiëntie***

Agronomische definitie:

- Hoge biomassa productie per eenheid stikstof bemest

Fysiologische definities:

- Hoge biomassa productie per eenheid stikstof beschikbaar
- Hoge biomassa productie per eenheid stikstof opgenomen
- Hoge biomassa productie per eenheid stikstof benut

NUE is een resultante van twee eigenschappen:

- de stikstof opname capaciteit (Nitrogen Uptake Efficiency, NupE, d.w.z. het vermogen van planten om stikstof via de wortels uit de bodem op te nemen), en
- de stikstof gebruikseffici ëntie (Nitrogen Utilization Efficiency, NutE, d.w.z. het vermogen om stikstof in de productie van biomassa te benutten) (Bingham et al., 2012; Hirel et al., 2007; Moll et al., 1982).

Terecht stelt Kristian Thorup-Kristensen (2013) dat stikstofefficiëntie niet alleen een eigenschap van een plant of ras is, maar vooral ook van het gehele teeltsysteem waarin ras, omgeving en teeltmaatregelen samen komen.

## 1.2 Verbeteren van stikstofefficiëntie van rassen?

Stikstofefficiëntie is een complexe eigenschap waaraan verschillende planteigenschappen bijdragen. Voor gerichte veredeling op stikstofefficiëntie is kennis nodig over de onderliggende (genetische en fysiologische) mechanismen die bijdragen aan stikstofefficiëntie en -plasticiteit van een ras. Ook is het van belang te weten welke deeleigenschappen in belangrijke mate bijdragen en wat hun overerfbaarheid is, om effectief op stikstofefficiëntie te kunnen selecteren.

Van een aantal gewassen is in de literatuur bekend dat er genetische variatie is voor stikstof-efficiëntie, zoals bij maïs, tarwe, rijst en koolzaad. Veel minder onderzoek is gedaan aan groentegewassen zoals sluitkool. Een goed overzicht van de bestaande kennis over de bovengenoemde onderwerpen en een analyse tot welke aanknopingspunten voor de sluitkoolveredeling dat kan leiden, ontbreekt op dit moment.

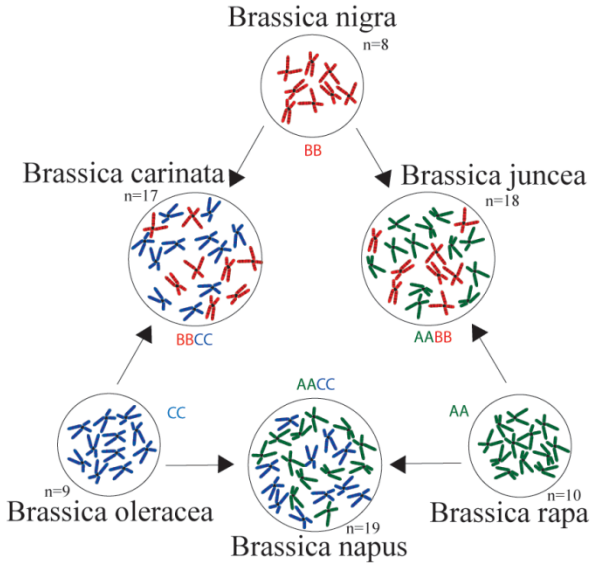
## *1.3 Verschillende koolsoorten*

Om te onderzoeken welke planteigenschappen bijdragen aan stikstofefficiëntie is het van belang de verschillende planttypen binnen de koolfamilie te onderscheiden.
*Brassica* is een plantengeslacht uit de familie van de cruciferen (Brassicaceae). Een aantal belangrijke groentegewassen behoort tot deze groep: sluitkool (*B. oleracea* var. *capitata*), bloemkool (*B. oleracea* var. *botrytis*), spruitkool (*B. oleracea* var. *gemmifera*), en Chinese kool (*B. rapa* subsp. *pekinensis*). Daarnaast omvat de familie van de Brassicaceae ook groenbemesters als bladrammenas (*Raphanus sativus* subsp. *oleiferus*) en gele mosterd (*Sinapis alba),* en industriegewassen. Uit koolzaad (*B. napus*) wordt spijsolie gewonnen, en Ethiopische mosterd (*B. carinata*) is een mogelijke grondstof voor biobrandstoffen (Cardone et al., 2003). Volgens de FAO is de totale productie van *Brassica* gewassen 68.8 miljoen ton wereldwijd, waarvan 12.3 miljoen ton in Europa, met een bruto waarde van respectievelijk 14.777 miljoen euro en 3.434 miljoen euro in 2010 (FAO, 2013).

Het geslacht *Brassica* bestaat uit drie diploïde soorten: *B. rapa* (AA, 2n = 20), *B. nigra* (BB, 2n = 16) en *B. oleracea* (CC, 2n = 18). Interspecifieke hybridisatie van de drie soorten onderling heeft geleid tot drie andere, amphidiploide soorten: *B. juncea* (AABB, 2n = 36), *B. carinata* (BBCC, 2n=34) en *B. napus* (AACC, 2n = 38). Deze genetische relatie is beschreven door Nagaharu U en wordt ook wel “De driehoek van U” genoemd (Nagaharu, 1935), zie Figuur 1.

Veel onderzoek naar stikstofefficiëntie in *Brassica*’s is gedaan aan koolzaad. Koolzaad als zaadgewas heeft echter een andere genetica en fysiologie met betrekking tot stikstofallocatie dan een bladgewas als sluitkool. Zo hangen de effecten van stikstof op de opbrengst van koolzaad deels samen met effecten op de mate van vertakking en zaadzetting, een aspect dat bij sluitkool niet speelt. Ook een gewas met een korte groeicyclus (bv. Chinese kool) heeft een andere stikstofhuishouding dan een koolsoort als sluitkool die een lange groeicyclus heeft.
Toch wordt een aantal van deze onderzoeken in dit overzicht meegenomen, aangezien een deel van de overige processen die een rol spelen bij de relatie tussen N-aanbod en opbrengst mogelijk ook bij sluitkool van belang is.

LOUIS BOLK INSTITUUT




*Figuur 1. De Driehoek van U beschrijft de relatie tussen de drie amphidiploide soorten (B. juncea, B. carinata en B. napus) en hun diploïde ouders (B. nigra, B. oleracea en B. rapa). Verschillende kleuren en verschillende hoofdletters (A, B en C) geven de chromosoomsets afkomstig van ieder van de diploïde oorsprongspoorten weer.*

## 1.4 Doel en werkwijze van dit onderzoek

Doel van het project is om door middel van literatuuronderzoek beschikbare kennis te analyseren om perspectieven te kunnen duiden voor veredeling op stikstofefficiëntie bij sluitkool.

In het project werden twee activiteiten ontplooid: a) literatuuronderzoek, en b) aanvullende kennisvergaring bij deskundigen uit de praktijk.

a) Het literatuur onderzoek richt zich op kennis met betrekking:
   - stikstofonderzoek, o.a. m.b.t. stikstofrespons en betrokken planteigenschappen,
   - bewortelingsonderzoek,
   - stikstofefficiëntie en –plasticiteit (bufferingscapaciteit), en interactie met droogtestress,
   - onderliggende fysiologische mechanismen in relatie tot stikstofefficiëntie.

b) Om tussentijdse resultaten van het literatuuronderzoek te toetsen aan de kennis van enkele deskundigen (koolveredelaars en kooltelers), werd in december 2013 een bijeenkomst gehouden om deze kennis te presenteren en te vragen waar deze aanknopingspunten biedt om nog aanvullende kennis te verzamelen in de literatuur. Ook werd een drietal biologische kooltelers tijdens het veldseizoen bezocht om naar hun ervaringen met koolteelt in relatie tot stikstof te vragen.

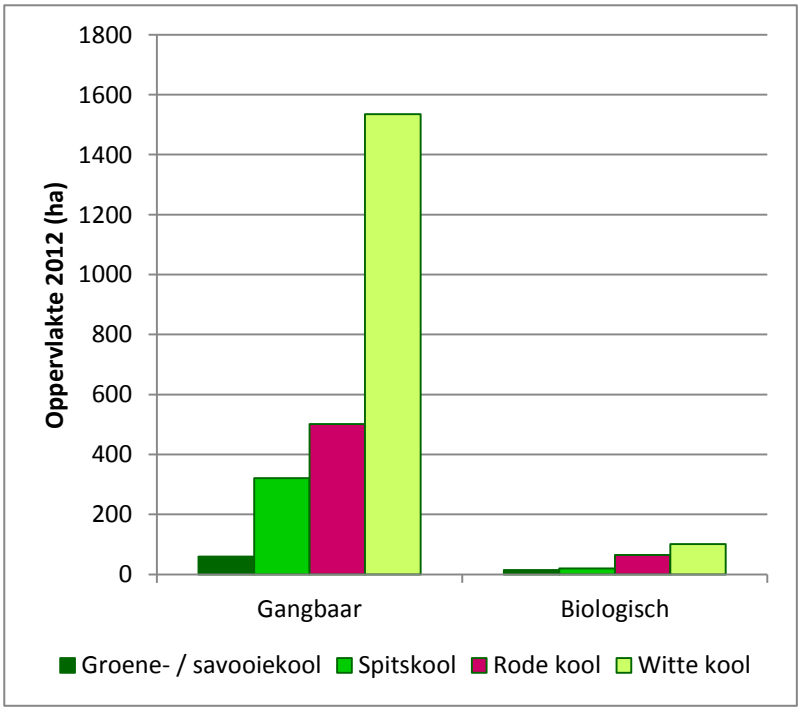


*Witte koolproef bij Bejo Zaden, 2014  (Foto: Yongran Ji)*

# 2 Huidige praktijk in Nederland

## 2.1 Arealen

Bijna 3 % van het totale Nederlandse tuinbouwareaal (ruim 86.000 hectare) bestaat uit sluitkool (witte kool, rode kool, spitskool, savooiekool), zie Figuur 2.




*Figuur 2. Gangbare en biologische sluitkoolarealen in Nederland, CBS, 2012*

## 2.2 Voorvrucht en bemesting

Kool vraagt veel van de grond. Kool staat bij voorkeur op vruchtbare gronden; een groot deel van de Nederlandse koolteelt is geconcentreerd op de vruchtbare kleigronden in Noord-Holland. Bovendien is daar voor kool een gunstig, gematigd klimaat en open landschap (wind).

**Voorvruchten**

Geadviseerd wordt om kool niet vaker dan eens per drie (kleigronden) tot vijf jaar op hetzelfde perceel te telen. Kruisbloemigen worden liever niet als voorvrucht gebruikt, evenals rode biet en suikerbiet, om het risico op aantasting door kool- en bietencystenaaltjes, schimmels (knolvoet, vallers) en bacteriën (zwartnervigheid) te beperken. Voor de biologische teelt zijn grasklaver of luzerne uitstekende voorvruchten voor kool, evenals andere vlinderbloemigen, omdat er stikstof vrijkomt die door de klaver of de luzerne gebonden is. Deze stikstof kan in mindering gebracht worden op de bemesting. Aardappel en ui zijn ook goede voorvruchten (Sukkel et al., 2004; De Moel et al., 1996).

**Bemesting**

De stikstofbehoefte van sluitkool is hoog: dikwijls tussen de 220 en de 320 kg stikstof per hectare, zie Tabel 1. Rode kool vraagt iets minder dan witte kool. Vooral industriekool vraagt een zware bemesting.

*Tabel 1. Stikstofgebruiksnormen (kg N per ha per teelt) voor koolgewassen overeenkomstig Mestbeleid 2014-2107*

| Koolgewassen | Klei 2014 – 2017 | Zand 2014 | Löss 2014 | Veen 2014 - 2017 |
|---|---|---|---|---|
| Spruitkool | 290 | 265 | 265 | 275 |
| Witte kool | 320 | 290 | 290 | 305 |
| Rode kool | 285 | 260 | 260 | 270 |
| Savooiekool | 285 | 260 | 260 | 270 |
| Spitskool | 285 | 260 | 260 | 270 |
| Bloemkool | 230 | 210 | 210 | 220 |
| Broccoli | 270 | 235 | 235 | 245 |
| Chinese kool | 180 | 155 | 155 | 160 |
| Boerenkool | 170 | 155 | 155 | 160 |
| Paksoi | 180 | 165 | 165 | 170 |
| Raapstelen | 140 | 130 | 130 | 135 |

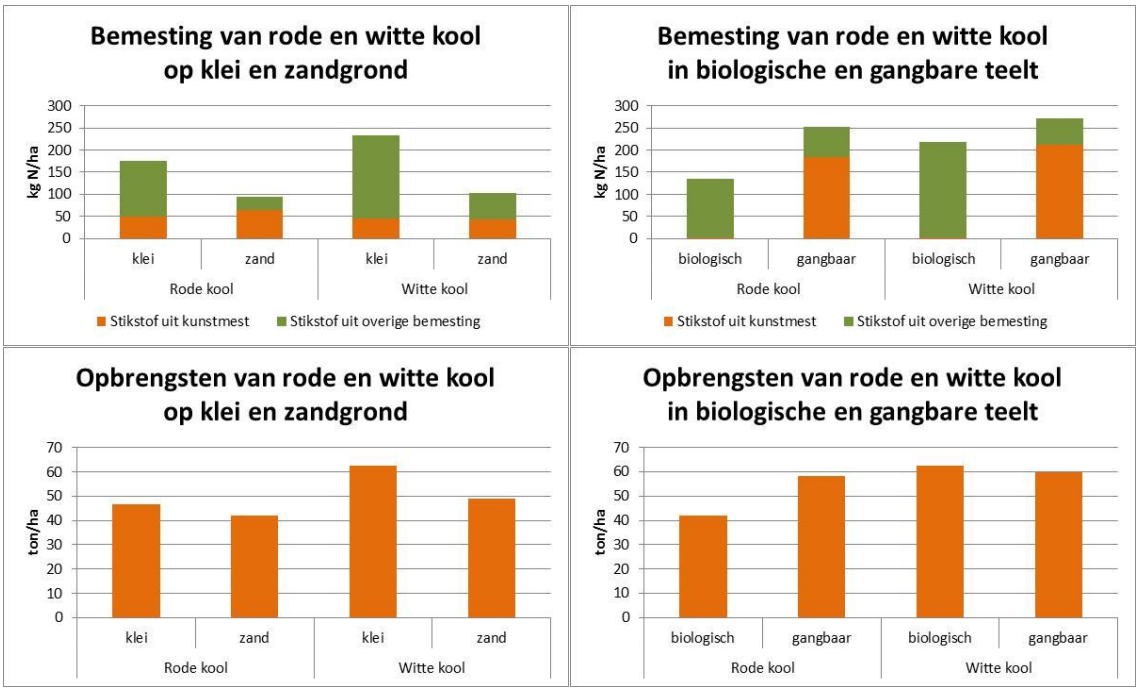
*Bron: Anonymous, 2014.*

In een biologisch bedrijfssysteem wordt bemest met vaste mest en/of drijfmest. Als er al vele jaren een biologische bemestingsstrategie gevolgd wordt, is altijd sprake van enige extra mineralisatie van stikstof, afkomstig van vooral vaste mest van voorgaande jaren en uit de organische stof die het gevolg is van het biologische systeem.

In de gangbare en biologische praktijk is de stikstofbemesting van sluitkool zeer divers. Bemestingen lopen uiteen van 0 – 700 kg N/ha (gangbaar), waarbij de bemesting van witte kool zo'n 10 (zand) tot 60 (klei) kg N/ha boven die van rode kool ligt (zie Figuur 3; gegevens LEI 2001 - 2012[1]).
In de biologische teelt is de stikstof grotendeels afkomstig uit overige (lees 'organische') mest. In de gangbare teelt is 75 – 80 % van de stikstof afkomstig uit kunstmest, zie Figuur 3.

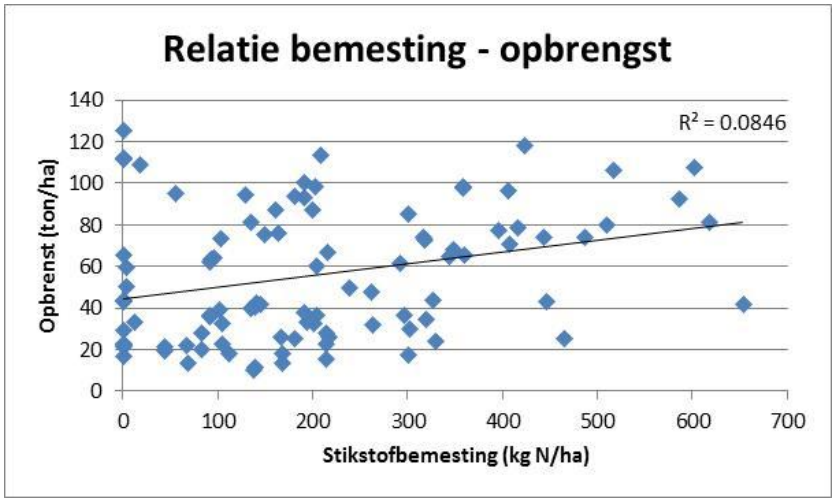
Opbrengsten variëren tussen de 20 en de 120 ton/ha. Opbrengsten van witte kool zijn 5 (zand) tot 14 (klei) ton/ha hoger dan voor rode kool. Gangbare rode kool brengt 16 ton/ha meer op dan biologische rode kool. Voor witte kool zijn de gangbare en biologische opbrengsten vrijwel gelijk.

[1] De gegevens komen uit het FADN system verzameld door het Landbouw Economisch Instituut (LEI). Het Centrum voor Economische Informatie heeft toegang gegeven tot deze informatie. De gepresenteerde resultaten zijn en blijven geheel de verantwoordelijkheid van de auteur(s), zij vertegenwoordigen geen LEI/CEI standpunt en bevatten geen officiële statistieken.




*Figuur 3. Gemiddelde bemesting (kg N/ha) en opbrengsten (ton/ha) van sluitkool in Nederland op zand- en kleigrond en in de biologische en gangbare teelt (gegevens LEI 2001 – 2012).*

Er is nauwelijks een relatie tussen de hoogte van de stikstofbemesting en de hoogte van de opbrengst (Figuur 4).




*Figuur 4. Relatie tussen bemesting en opbrengst bij sluitkool bij gangbare en biologische teelt in Nederland (gegevens LEI 2001 – 2012).*

## 2.3 Ervaringen van biologische kooltelers

**Biologisch teler Anton van Vilsteren** heeft sinds 1999 een biologisch akkerbouwbedrijf te Marknesse (NOP) met 50 ha in een 1 op 6 vruchtwisseling (zomertarwe/klaver – koolgewassen – pootaardappelen – gras/klaver - uien – pastinaak). Hij begint half april met het eerste uitplanten van broccoli en spitskool. Hij teelt de kool na een graangewas met klaveronderzaai en verwacht dat daarin 50-80 kg N/ha in gewasresten achterblijft, en dat zo'n 60 kg N/ha daarvan beschikbaar komt voor de kool in het daaropvolgende teeltseizoen**.** Alle percelen ontvangen in het najaar 15 ton vaste biologische stalmest per ha. Dit levert zo'n 60 kg N/ha op, waarvan in het eerst volgende jaar 50% vrijkomt. De stikstofbehoeftige gewassen (kool, aardappelen en uien) ontvangen in het voorjaar nog 40 $m^3$/ha drijfmest (4 kg N/$m^3$) waarvan 50% beschikbaar komt, hetgeen nog eens 80 kg N/ha levert. In totaal is dat 150-180 kg N/ha voor het koolgewas. Voor de tweede planting (week 29/30) van spitskool en Chinese kool is een additionele bemesting nodig van 40 kg N/ha via gedroogde kippenmestkorrels.
Zijn ervaring met koolgewassen is dat deze goed van start gaan, maar dat als na een regenachtige augustus/september periode de grond dichtslaat en niet genoeg lucht bevat voor voldoende bodemactiviteit en mineralisatie, dit leidt tot kooltjes van 0,8 kg/stuk in plaats van de gewenste 1,0 - 1,2 kg/kool. Daarom is in deze situatie additionele stikstof nodig. Bij een gunstig groeiseizoen kan het ook voorkomen dat er eerder geoogst moet worden om de kool niet uit de maat te laten groeien. Dit geldt vooral voor rode-, witte-, spits- en Chinese kool.
Savooiekool ervaart Anton als inefficiënt. Het maakt naar verhouding te veel blad. Oude bladeren vallen snel af. Bij witte kool is dat in zijn ervaring beduidend minder.
Anton ervaart kool als gevoeliger voor bodemstructuur dan uien; bij structuurbederf laat kool duidelijk een mindere opbrengst zien. Als volggewas teelt Anton aardappel die duidelijk profiteert van de gewasresten van kool en de daaruit vrijkomende stikstof.

**Gebroeders Kos** te Oudkarspel (Noord-Holland) zijn kooltelers en kennen zowel de gangbare als de biologische koolteelt (spitskool, rode en witte kool). Zij huren land bij andere akkerbouwers om zodoende in kool te specialiseren. Om een voldoende plantaantal/ha van het juiste gewicht voor de verkoop aan supermarkten te halen en daarmee een goed saldo is de bemesting voor de biologische koolteelt een knelpunt. Zij verkiezen daarom 2 jaar luzerne als voorteelt, en vullen aan met 40 kuub varkensdrijfmest tot een beschikbaarheid van een totaal van 260 kg N/ha voor hun koolteelten. Omdat kool met het achtergebleven omblad veel stikstof achterlaat, is aardappel een dankbaar volggewas met daarna peen in de vruchtwisseling. De gebroeders Kos ervaren rasverschillen in stikstofbehoefte, bij vroege kool (zomerkool) minder dan bij de bewaarrassen. Echter, vroege kool heeft wel de stikstof in een vroeg groeistadium nodig hetgeen in koude voorjaren een probleem kan zijn.

**De Lepelaar (Jan Schrijver en Joris Kollewijn),** biologisch bedrijf in Warmenhuizen (Noord-Holland) teelt op zware klei (25 -35 % afslibbaar) diverse groenten voor de handel en de eigen

boerderijwinkel. Op De Lepelaar wordt onder meer rode en witte kool geteeld, zowel vroege als bewaarkool. Als voorvrucht krijgt de kool 1,5 jaar gras-klaverteelt (na aardappel). Als bemesting wordt 35 ton organische bemesting per hectare gegeven in een combinatie van paarden- en kippenmest, hetgeen ca. 100 kg N/ha oplevert; de overige benodigde stikstof moet uit de resten van het voorgewas komen. De ervaring op dit bedrijf is dat met drijfmest het gewas weliswaar snel van start gaat maar aan het eind te kort komt. Met de organische bemesting in combinatie met gras-klaver als voorvrucht groeit het gewas langzaam maar gestaag en kan lang doorgaan, en een goede bewaarkwaliteit geven.



*Een slechte bodemstructuur (zie vooraan bij witte kool) kan tot een groeistagnatie leiden. (foto Yongran Ji)*

LOUIS BOLK INSTITUUT

# 3 Kool, Stikstof, en Stikstofefficiëntie

Als één van de hoofdelementen voor plantengroei is stikstof belangrijk voor de vorming van biomassa; daarmee is dit element voor de meeste gewassen een opbrengstbepalende factor. Kool heeft veel stikstof nodig (zie H 2). Veelal neemt de opbrengst toe bij een toenemend stikstofaanbod; bij een hoog stikstofaanbod bereikt de opbrengst een plafond (Freyman et al., 1991; White & Forbes, 1976), en daarboven daalt de opbrengst weer (Hara, 1989; Hara et al., 1982).
In dit hoofdstuk bespreken we eerst wat er in de literatuur gevonden is over rasverschillen in NUE bij diverse *Brassica* gewassen (H 3.1). Vervolgens bespreken we meer in detail wat er bekend is omtrent de rol van de beworteling bij kool in relatie tot opname van stikstof (H 3.2). Daarna komt de rol van stikstof bij de bovengrondse groei en de verhouding omblad en kool aan de orde (H 3.4), en tenslotte de stikstofopname en –gebruik (H 3.5).

## 3.1 Rasverschillen in stikstofefficiëntie

Niet veel artikelen hebben betrekking op witte kool. In het onderzoek van Schulte auf'm Erley et al. (2010) en van Dewi et al. (2010) zijn duidelijke rasverschillen in NUE gevonden. Schulte auf'm Erley et al. (2010) vinden dat zowel bij middenvroege als bij late rassen van witte kool stikstofefficiënte en minder stikstofefficiënte rassen voorkomen.

Diverse auteurs vinden ook bij andere *Brassica* gewassen verschillen tussen rassen in stikstof-efficiëntie: Rather et al. (2000) bij bloemkool; Hasanalideh (2012) bij canola; Cao Bing et al. (2007) en Tang et al. (2013) bij Chinese kool; Ahmad et al. (2008) bij mosterdzaad; Fiedler & Stützel (2012) bij spruitkool.

Voor de veredeling is het van belang te weten hoe de inteeltlijnen presteren onder een laag stikstofaanbod. Dong Zhao-di (2008) vond bij koolzaad dat de stikstofefficiëntie parameters van hybriden verschilden van die van hun ouders, met name bij intermediaire stikstofniveaus. Ook Zhou Chuanyu (2007) heeft verschillende inteeltlijnen in kool onderzocht en vond verschillen in stikstofefficiëntie bij een laag en/of bij een hoog stikstofniveau.

## 3.2 Beworteling

Koolgewassen kunnen in vergelijking met andere groentegewassen diep wortelen. Thorup-Kristensen (1999, 2006) vond in een vergelijkend onderzoek met verschillende gewassen met kool (1 ras), peen en prei dat vroege kool bij de oogst een bewortelingsdiepte van 1.10 - 1.25 meter had bereikt (vergeleken met 0,3 m voor ui en eveneens 1.25 meter voor peen). Kristensen & Thorup-Kristensen (2004) berichtten zelfs van 2,0 - 2,5 m bewortelingsdiepte voor een koolras. Witte kool bleek in bovengenoemde proeven in vergelijking met de andere gewassen bovendien relatief efficiënt stikstof op te nemen. Als voorbeeld: bij een bemesting van 160 kg N/ha was na de oogst bij kool slechts 4 kg N/ha over in de laag 0 - 100 cm, bij peen 52 kg N/ha en bij prei 65 kg N/ha (na een vergelijkbare groeiperiode) (Thorup-Kristensen & Sørensen,1999), zie Tabel 2. Peen kon net als kool

de beschikbare stikstof goed opmaken, maar deed dit alleen bij relatief lage bemestingen (Thorup-Kristensen, 1999).

De bewortelingsdiepte, en in mindere mate de bewortelingsintensiteit in met name de diepere bodemlagen, correleren voor diverse gewassen zeer goed met het vermogen om nitraat op te kunnen nemen. Bovenin het bodemprofiel is het verband zwakker. Verschillen in beworteling zijn niet altijd bovengronds te zien (Thorup-Kristensen, 2001). Alhoewel kool soms tot 2 m diep kan wortelen, beschrijft Dixon (2007) dat 90% van de wortelmassa in de bovenste 20 - 30 cm zit. Daarentegen beschrijven Thorup-Kristensen & Van den Boogaard (1998) dat in hun proeven bloemkool tot 1 m diep stikstof kon opnemen; in deze proef werden niet verschillende rassen opgenomen.

*Tabel 1 Stikstofbemesting, opbrengst en reststikstof in de bodem bij kool, peen en prei. (Thorup-Kristensen en Sørensen,1999)*

| | **Witte kool** | **Peen** | **Prei** |
|---|---|---|---|
| N bemest (kg N/ha)<br>(vet cursief = optimaal) | 160-240-***320***-400 | ***60***-100-140-180 | 100-160-***220***-280 |
| Resultaten bij optimale bemesting voor dit gewas | | | |
| Opbrengst<br>(ton drogestof (ds) per hectare) | 16 ton ds met 2,2%N | 15,1 ton ds met 1,06 %N | 7,5 ton ds met 2,2%N |
| N opname (kg/ha) | 350 | 175 | 175 |
| N einde teelt (kg/ha) | 11 | 27 | 87 |
| Resultaten bij bemesting met 160 kg N/a | | | |
| Opbrengst (ton ds/ha) | 13,3 ton ds met 1,72%N | 15,3 ton ds met 1,29 %N | 7,2 ton ds met 1,9%N |
| N opname (kg/ha) | 229 | 197 | 137 |
| N einde teelt (kg/ha) | 4 | 52 | 65 |
| Groeiperiode | 24 weken | 22 weken | 22 weken |

Rather et al. (2000) heeft drie bloemkoolrassen vergeleken voor wortelvorming en stikstofopname efficiëntie onder lage stikstofbeschikbaarheid. Er werden rasverschillen in NUE gevonden. Er werden ook rasverschillen in wortellengtedichtheid (cm wortels per $cm^3$ grond) gevonden, maar die waren afhankelijk van de locatie. Waar de rassen significant verschilden, was de hoeveelheid stikstof die in de bodem was achtergebleven (in de laag 45-60 cm) omgekeerd evenredig met de wortellengtedichtheid. Er werd geen causaal verband tussen NUE en wortellengtedichtheid aangetoond in deze proef. Mogelijk dat de verschillen in NUE met verschil in interne gebruiksefficiëntie te maken hebben.
Thorup-Kristensen (1998) vergeleek twee bloemkoolrassen op beworteling en hoeveelheid in de bodem achtergebleven N en ook hij concludeerde dat rasverschillen niet toe te schrijven waren aan verschil in opnamecapaciteit maar aan verschil in gebruiksefficiëntie (vermogen droge stof te vormen).

## 3.3 Groei van sluitkool: verhouding omblad en kool

Hara & Sonoda (1979) onderscheidden vier fasen in de ontwikkeling van een sluitkoolgewas:

(i) initiële groei (0 - 30 dagen na zaai),
(ii) de uitbreiding van de buitenste bladeren (omblad) waardoor de planthoogte toeneemt (30 - 60 dagen na zaai),
(iii) de verdere ontwikkeling van droge stof van het omblad (tot ca. 90 dagen na zaai), en
(iv) de koolontwikkeling (vanaf ca 90 - 120 dagen na zaai).

De vorming van de binnenste bladeren gaat snel en gaat door tot aan de oogst. De derde fase overlapt met het vroege stadium van de vierde fase. Het blijkt van belang dat de bovenste ombladeren zo gevormd zijn dat die de kool beschaduwen en zo voor een goede vorm van de kool zorgen (Hara et al., 1982). De hoeveelheid ombladeren verschilt per vroegheidsklasse. Late rassen vormen voordat de koolzetting begint meer omblad dan vroege rassen (Schulte auf'm Erley et al., 2010).



*Bladopbouw van witte kool. Foto: Edith Lammerts van Bueren*

Bij de groei van planten worden steeds nieuwe bladeren gevormd, terwijl de oudste bladeren geleidelijk afsterven. De jongere bladeren nemen de fotosynthese van de oudere bladeren over. Dit is in meer detail onderzocht voor Chinese kool door Hara et al. (1882). Bij verwijderen van de bovenste ombladeren werd de groei van de kool meer gereduceerd dan bij verwijdering van de onderste ombladeren. Kennelijk dragen de bovenste (jongere) ombladeren meer bij aan de fotosynthese. Bij lage stikstofbeschikbaarheid bleven de bladeren klein en laag in fotosynthese activiteit. Schulte auf'm Erley et al. (2010) vonden dat bij lage stikstofbeschikbaarheid ook de rijping vertraagd werd bij vroege rassen. Wanneer de totale hoeveelheid stikstof in de buitenste bladeren onder de 2% zakte, verliep de suikerontwikkeling en koolvorming niet volgens het normale patroon. Maar ook bij te hoge stikstofbeschikbaarheid zakte het suikergehalte (Hara et al.,

1882). Anderen beschrijven dat bij een overmatig stikstofaanbod de kool kan barsten en de pit te lang wordt (zie o.a. Schulte auf'm Erley et al., 2010).
Tshikalange (2006) vond bij Chinese kool dat het gewicht van de verkoopbare bladeren en de bovengrondse biomassa goede indicatoren zijn voor stikstofefficiëntie. Het aantal bladeren bleek geen goede indicator. Ook Hara et al. (1982) concludeerden, bij Chinese kool, dat het aantal bladeren dat tot aan de oogst wordt gevormd, niet beïnvloed wordt door de hoeveelheid beschikbare stikstof, wel de snelheid van verschijning en de bladgrootte.

Schulte auf'm Erley et al. (2007) hebben bij koolzaad onderzocht in hoeverre de mate van veroudering van blad onder lage stikstofbeschikbaarheid in de bodem van invloed is op de NUE. Zij vonden dat uitstel van veroudering van het blad (gemeten aan chlorofylgehalte), en dus actief houden van fotosynthese in het blad, bijdraagt tot een hoge NUE. Osaki (1995) geeft aan dat bij maïs uitstel van veroudering van het blad er toe bijdraagt dat er meer assimilaten naar de wortels gaan, dat de wortelactiviteit hoog blijft en dat de stikstofopname gehandhaafd blijft.

Schulte auf'm Erley et al. (2010) deed onderzoek naar NUE met acht witte koolrassen bij twee stikstofniveaus. De rassen verschilden in NUE maar verschilden niet in stikstofopname onder lage stikstofbeschikbaarheid. Het verschil in NUE werd vooral bepaald door verschillen in harvest index (= drogestof opbrengst kool/totale drogestof opbrengst bovengronds) en niet door verschillen in efficiëntie van biomassa-productie of verhouding versgewicht/ drooggewicht. Bij late rassen is weliswaar een verschil in biomassa productie efficiëntie gemeten, maar dit verschil droeg niet in belangrijke mate bij aan het verschil in NUE. De rassen met hoge NUE hadden met name veel afgestorven blad en dus een laag aantal ombladeren bij de oogst. Bij de late rassen in deze proef bij zowel hoge als lage stikstofbeschikbaarheid was veel blad afgestorven hetgeen bijdroeg aan een hoge harvest index als de remobilisatie van drogestof en stikstof van de verouderende bladeren naar de kool versterkt is. Schulte auf'm Erley et al. geven aan dat vooral een hogere stikstoftoevoer naar de kool de sink functie voor koolstofassimilaten verhoogt en dus de groei stimuleert. Bladverlies weten zij vooral aan beschaduwing omdat bladverlies meer voorkwam bij hoge dan bij lage stikstofbeschikbaarheid. Een meer horizontale bladoriëntatie bij dergelijke rassen speelde daarbij mogelijk een rol. Bij andere rassen waar van beschaduwing minder sprake was, bleken de rassen desondanks gevoelig voor snelle veroudering van het blad bij lage stikstofbeschikbaarheid, zie Figuur 5.

Naast harvest index (= drogestof opbrengst kool/totale drogestof opbrengst bovengronds) en mate van bladverlies, was in bovengenoemd onderzoek vooral bij hoge stikstofbeschikbaarheid ook de stikstof harvest index (= N in geoogst product / N totaal opgenomen in bovengrondse delen) gecorreleerd met stikstofefficiëntie. Dong Zhao-di (2008) concludeerde dat bij koolzaad bij meer stikstof zowel de NUE als de N-harvest index omlaag gaat.

De middenvroege rassen bleven onder lage stikstof omstandigheden omblad vormen tijdens de koolvorming waardoor minder drogestof naar de kool werd getransporteerd. Ook het lage gehalte aan opgenomen bladstikstof dat aan de kool werd toebedeeld droeg bij aan een lage koolopbrengst. Schulte auf'm Erley et al. (2010) wijten deze toenemende bladvorming tijdens de koolvorming aan



Lage N: 150 kg N/ha Hoge N: 300 kg N/ha

**(A)**



Lage N: 150 kg N/ha Hoge N: 300 kg N/ha

**(B)**

*Figuur 5 Voorbeelden van verschillende mate van vergeling van het onderste omblad bij twee sluitkoolrassen. Ras A vertoonde nauwelijks vergeling onder lage (links) en hoge (rechts) stikstofaanbod; Ras B vertoonde een grote mate van vergeling bij stikstofstress (links) in vergelijking met hoge stikstofbeschikbaarheid (rechts).(Foto's Yongran Ji)*

het feit dat bij de start van de koolvorming slechts een gering aantal ombladeren was gevormd door de combinatie van te lage temperaturen en lage stikstofbeschikbaarheid. Daarom concludeerde Schulte auf'm Erley et al. (2010) dat veredelen op rassen die in hun bladvorming minder gevoelig zijn voor lage temperaturen bij vroege en midden-vroege rassen perspectief kan bieden voor verbetering van N gebruiksefficiëntie.

Overigens geven veredelaars en telers aan dat er meerdere redenen zijn om te kiezen voor rassen met veel omblad: de bodembedekking is beter, waardoor er minder onkruid kiemt en de grond minder snel uitdroogt (discussiemiddag 16-12-2013 met kooltelers en veredelaars).

## *3.4 Stikstof opname en gebruik*

Veel onderzoek naar stikstofefficiëntie en betreffende opname en gebruiksefficiëntie is bij koolzaad verricht, zie Kader 2.

### *Kader 2. Koolzaad en mosterdzaad*

Zhen-hua Zhang et al. (2009) vinden dat bij koolzaad bij lage stikstofniveaus vooral de stikstofopname bepalend is voor rasverschillen in stikstofefficiëntie, en bij hoge stikstofniveaus de stikstof-gebruiksefficiëntie (Zhen-hua Zhang, 2009). (Overigens, is dit ook bij andere gewassen zoals tarwe gevonden, maar bleek juist omgekeerd bij maïs (Garnett et al., 2009).

Bij verschillende koolzaadrassen correleert bij lage stikstofniveaus de opbrengst positief met de stikstofopname (Schulte auf'm Erley et al., 2011; Berry et al., 2010). Bij lage N-niveaus is vooral de duur van de stikstofopname van belang, bij hoge N-niveaus is de stikstofopname capaciteit meer bepalend voor opbrengstverschillen (Schulte auf'm Erley et al., 2011).

In mosterd en koolzaad wordt bij lage stikstofniveaus meer stikstof afgevoerd dan aangevoerd wordt met bemesting, terwijl dat bij hoge stikstofniveaus niet het geval is (Hocking et al., 2002).

Schulte auf'm Erley et al. (2007) vond dat het gehalte aan bladchlorofyl en maximale N opname was ook gecorreleerd met NUE in mosterdzaad. Ahmad et al. (2008) vond in mosterdzaad significante correlatie tussen NUE en biomassa productie, LAI, gehalte aan N in blad, fotosynthese snelheid en zaadopbrengst

Lemaire et al. (2007) vinden in modelberekeningen bij verschillende gewassen dat de stikstofopname van een plant gereguleerd wordt door zowel het stikstofaanbod als door de stikstofvraag van de plant (groei, toename van biomassa) (Lemaire et al., 2007). De toename van biomassa is weer gerelateerd aan de toename in de LAI (leaf area index = bebladeringsindex, bladoppervlak/grondoppervlak, $m^2/m^2$) tijdens de vegetatieve groei, maar het verband van stikstofopname met biomassa toename is sterker dan met de toename van de LAI (Lemaire et al., 2007). Biemond et al. (1995) vinden bij spruitkool dat de SLA (Specific Leaf Area = specifieke bladoppervlak, bladoppervlak/bladgewicht, $cm^2/g$) toeneemt bij een hoger stikstofaanbod. Planten met stikstoftekort tonen minder tekenen van droogtestress doordat ze kleinere bladeren en gesloten huidmondjes hebben (Albert et al., 2012, koolzaad).

Stikstof wordt in planten veelal opgenomen in de vorm van nitraat ($NO_3^-$). Het vermogen van planten om nitraat op de nemen wordt wel de nitraataccumulatie capaciteit genoemd. Vervolgens moet deze nitraat verwerkt worden. Een belangrijk enzym dat in deze omzetting een rol speelt is nitraatreductase. Tang Yuwei et al. (1985) en Tao Zhengping (2005 en 2007) vonden in Chinese kool dat een hoge activiteit van nitraatreductase correleerde met een hoog vermogen tot stikstofopname.

Tao Zhengping (2005 en 2007) vond bij Chinese kool dat rassen met een hoge nitraataccumulatie capaciteit meer nitraat bij een hoog stikstofniveau bevatten dan rassen met een lagere nitraataccumulatie capaciteit. Hij vond twee mechanismen voor verschillen in nitraataccumulatie capaciteit:

1. een hogere nitraatreductase activiteit geeft een snellere nitraatdeoxidatie,
2. verschillen in nitraatabsorptie capaciteit.

Fiedler & Stützel (2012) vonden ook bij spruitkool genetische verschillen in stikstofaccumulatie en stikstofefficiëntie.

Wang Zhaohui (1998) vond bij Chinese kool en koolzaad dat stikstof de groei stimuleerde, terwijl te veel stikstof de groei weer remde. Bij toenemend stikstofaanbod bleven de nitraatgehaltes toenemen. Zonder stikstofbemesting werden de hoogste nitraatgehaltes gevonden in de wortels en de laagste in het blad van de Chinese kool, terwijl dit met stikstofbemesting precies omgekeerd was. De nitraatopname, en de nitraatreductase activiteit namen toe bij een hogere stikstof bemesting; de nitraatreductie is lager dan de opname waardoor de nitraatgehaltes toenemen. En dit gaat sneller dan toename van biomassa (Wang Zhaohui, 1998).
Ji (2014) wijst er in zijn literatuurstudie op dat er aanwijzingen zijn dat bij een hogere stikstofbemesting het totale stikstofgehalte van het product toeneemt (Peck, 1981; Salo, 1999; Schulte auf'm Erley et al., 2010; Šturm et al., 2010), maar dat deze 'extra' stikstof niet actief is in de fotosynthese. Daarmee neemt de stikstofefficiëntie af.

Er wordt ook onderzoek gedaan naar stoffen die een rol spelen bij de remobilisatie van stikstof, zoals proline. Bij stress kunnen in koolzaad hoge prolineniveaus bereikt worden (Albert, 2012), en hoge niveaus kunnen een indicator van onevenwichtige bemesting zijn (Atanasova, 2008). Het ene ras kan beter tegen stress (droogte) dan het andere (Gunasekera, 2006). Prolineniveaus zijn afhankelijk van het ras en van de bemesting. Echter, uit een laag prolineniveau in een ras kan niet geconcludeerd worden dat dit ras minder gevoelig zou zijn voor N-stress.

LOUIS BOLK INSTITUUT

# 4 Perspectieven en aanknopingspunten voor de veredeling

In dit hoofdstuk bespreken we de perspectieven om te veredelen op stikstofefficiëntie bij sluitkool op basis van de bevindingen in de voorgaande hoofdstukken, aangevuld met additionele literatuur voor beter begrip en onderbouwing.

Veredelaars zijn meer en meer geïnteresseerd in de vraag hoe rassen te ontwikkelen met een goede opbrengstpotentie onder lage of wisselende stikstofbeschikbaarheid. In dit rapport hebben we een overzicht gegeven van de beschikbare kennis rond de onderliggende mechanismen en fysiologie van stikstofefficiëntie om te zien welke planteigenschappen bijdragen aan stikstofefficiëntie en die in een praktisch veredelingsprogramma goed selecteerbaar zijn. Daarbij hebben we zowel stikstofopname als stikstofgebruik in de plant als de twee belangrijke componenten in de stikstofcyclus in een agroecosysteem betrokken (Gast & Lemaire, 2002).

Veel onderzoek is gedaan rond stikstofefficiëntie bij koolzaad en andere *Brassica* gewassen; er is relatief beperkt onderzoek gedaan bij sluitkool. Uit beschikbaar onderzoek over witte kool blijken duidelijke rasverschillen bij witte kool in het omgaan met stikstofbeschikbaarheid, en zijn er nuttige aanwijzingen (planteigenschappen) gevonden om rassen op stikstofefficiëntie te kunnen selecteren, zie hieronder.

Uiteraard gaat het uiteindelijk om een goede verkoopbare (drogestof)opbrengst onder lage stikstofbeschikbaarheid, en lijkt het logisch dat de selectie voor stikstofefficiënte rassen dan ook bij lage stikstofbeschikbaarheid plaatsvindt. Echter, bij het direct selecteren op opbrengst onder lage stikstofbeschikbaarheid kunnen jaar- en locatie effecten (genotype ×milieu interactie) van grote invloed zijn en de selectie-efficiëntie benadelen. Het is daarom van belang planteigenschappen te vinden die bijdragen aan NUE en vooral die onafhankelijk van milieu-invloeden tot expressie komen, om de selectie effectiever kunnen maken.

## 4.1 Perspectieven om de opname-efficiëntie te verbeteren

Diverse auteurs (o.a. Gewin, 2010, White et al., 2013) beschrijven dat veredelaars bezig zijn bij diverse gewassen de potentie van betere (diepere) beworteling te ontdekken om opbrengsten te verhogen, een eigenschap die eerder in de veredeling nog weinig tot geen aandacht heeft gehad. Hoewel de stikstofbeschikbaarheid in de bovenste bodemlagen veelal groter is dan onder de bouwvoor, kan de bewortelingsdiepte bepalend zijn voor de opname van stikstof die dreigt uit te spoelen en daarmee dus ook een belangrijk milieueffect hebben. Het gaat daarbij niet alleen om de variatie in architectuur van het wortelsysteem van volgroeide gewassen op zich, maar ook om de snelheid waarmee zaailingen diepere lagen kunnen bereiken (Gastal & Lemaire, 2002). Daarnaast is ook de plasticiteit van wortelvorming van belang, d.w.z. de mate waarin de wortels in staat zijn snel op niet uniforme verdeling van bodemstikstof of op veranderende omgevingsfactoren te reageren (Grossman & Rice, 2012).

Er wordt ook onderzoek gedaan naar de hoeveelheid exsudaten die wortels kunnen afgeven en het vermogen om interacties aan te gaan met micro-organismen in de bodem (Gewin, 2010). Echter, *Brassica* gewassen schijnen niet gevoelig te zijn voor interacties met mycorrhiza's (o.a. Myers et al., 2012).
Gastal & Lemaire (2002) constateerden dat er in het algemeen nog weinig bekend is over met name de regulatie van stikstofopname onder omstandigheden met meer lage en heterogene beschikbaarheid van stikstof, en dat die mogelijk anders verloopt dan onder optimale en ruime stikstofbeschikbaarheid.

Uit veel bemestingsonderzoek blijkt dat sluitkool efficiënt stikstof uit de bodem kan opnemen en weinig stikstof achterlaat (Everaarts, 1993). In vergelijking met andere gewassen kunnen witte kool en bloemkool diep wortelen en ook relatief snel (1,2 mm (dag $^{\circ}C^{-1}$) een diepte van meer dan 1 -2 m bereiken (o.a. Thorup-Kristensen, 2006). Uit de beschikbare literatuur kunnen we nog niet concluderen dat er geen variatie is tussen rassen die nog benut kan worden voor verdere optimalisatie van de opnamecapaciteit van sluitkoolrassen. Meestal is slechts één ras gebruikt per gewas in vergelijkingen van bewortelingsverschillen tussen gewassoorten (Thorup-Kristensen 1999, 2006).
Er is wel onderzoek gedaan naar verschillen in beworteling van bloemkoolrassen (zie H 3.2), en dan lijkt het vermoeden te rijzen dat de verschillen in NUE eerder met verschil in interne gebruiksefficiëntie te maken hebben, dan met verschil in opnamecapaciteit van de wortels (oftewel: meer wortels leidt niet automatisch tot een hogere NUE). In hoeverre dat ook voor een gewas als sluitkool geldt, zou nog verder onderzocht moeten worden.

► Onderzoek is nodig naar genetische variatie in beworteling bij sluitkool, bij een groot aantal rassen onder lage stikstofbeschikbaarheid. Daarbij gaat het niet alleen om bewortelingsdiepte en intensiteit bij een oogstbaar gewas, maar ook om de dynamiek van wortelvorming door de tijd, en om de plasticiteit bij wisselende stikstofbeschikbaarheid.

Wortelgroei is lineair afhankelijk van temperatuur (Thorup-Kristensen, 1998), en daarom zou met name een snelle beginontwikkeling door goede beworteling ook onder lage temperaturen weleens van belang kunnen zijn, met name bij vroege rassen.

► In toekomstig onderzoek naar verschillen in bewortelingsintensiteit en –diepte bij sluitkoolrassen is het van belang ook vroege koolrassen als varianten op te nemen.

Uit onderzoek naar bewortelingsverschillen bij bloemkoolrassen van Rather et al. (2000) blijkt dat beworteling mede afhankelijk is van bodemomstandigheden en dat verschillen in bewortelingscapaciteit niet altijd tot expressie komen.

► In toekomstig onderzoek is het van belang meerdere locaties op te nemen om tot betrouwbare en betrouwbare en generaliseerbare uitspraken te komen over rasverschillen.

## *4.2 Perspectieven om de gebruiksefficiëntie te verbeteren*

Bij gebruiksefficiëntie gaat het om de vraag hoe de bovengrondse biomassa zich ontwikkelt in verhouding tot stikstofaanbod en stikstofopname, en hoe de stikstofverdeling tussen de volgroeide

en jonge bladeren is geregeld. Bij kool heeft dat laatste met name betrekking op de vraag naar de relatie en verhouding tussen omblad en kool.

Jong blad heeft stikstof nodig om te groeien. De kool is daarom een sterke ‘sink’ van stikstof, terwijl deze niet productief is met betrekking tot de fotosynthese. In de periode van koolvorming is onderhoud van het omblad dus belangrijk voor het behoud van de fotosynthese capaciteit. Dat betekent dat het voor de plant vanaf dat moment belangrijk wordt om ‘zuinig’ te zijn op de aanwezige ombladeren; als deze afsterven is er geen blad meer beschikbaar voor de fotosynthese, en er kan geen nieuw fotosynthetiserend blad meer gevormd worden. De planten moeten in de koolvormende fase gaan investeren in onderhoud van de rozetbladeren. Het is dus belangrijk dat er in de eerste fase veel omblad gevormd wordt, later kan dat niet meer.
Uit voorgaand onderzoek aan sluitkool van Schulte auf’m Erley et al. (2010) kunnen we concluderen dat de harvest index (bij lage en hoge N beschikbaarheid) en de stikstof harvest index (bij hoge stikstofbeschikbaarheid) de belangrijkste selectiecriteria zijn om stikstofefficiëntie te verhogen. Stikstofefficiënte rassen hebben een hoge harvest index, mogelijk o.a. als gevolg van een sterkere remobilisatie van stikstof uit het omblad naar de kool, waardoor ouder omblad afsterft en het aantal bladeren bij de oogst laag is. Zij vonden variatie binnen vroegheidsklasses van sluitkool.

- ► In toekomstig onderzoek is het van belang zowel vroege, middenvroege als late rassen op te nemen.
- ► Nader onderzoek is nog nodig in hoeverre (meer horizontale) bladstand (beschaduwing) een rol speelt bij verlies aan omblad, terwijl anderzijds een horizontale bladstand mogelijk een betere lichtonderschepping betekent.
- ► De vraag is dan wat de meest effectieve bladopbouw is in relatie tot NUE.

Eerder onder 4.1. is gesproken over vroege beginontwikkeling in verband met wortelactiviteit. Zo kan dat ook mogelijk gerelateerd worden aan vroege vigour en vroege bodembedekking (sluiten van het gewas) bij lage stikstofbeschikbaarheid, zoals bij onderzoek aan NUE bij aardappel bleek (Tiemens-Hulscher et al., 2014).

- ► Niet alleen LAI (Leaf Area Index) maar ook SLA (Specific Leaf Area) zou een indirecte maat kunnen zijn voor stikstofgebruikseffici ëntie.

Svečnja en Rengel (2006) vonden dat bij vegetatief geoogste koolzaad (60 dagen na zaai) rasverschillen in NUE gerelateerd zijn aan verschillen in stikstofopname en bovengrondse biomassa productie.

- ► Het zou in dat verband ook interessant zijn voor vroege selectie in sluitkool of er in een vroeg groeistadium al rasverschillen in NUE op te sporen zijn.

**Andere selectiecriteria**

Uit de literatuur blijken ook nog andere selectiecriteria te vinden die de selectie op NUE effectiever kunnen maken, zoals het stikstofgehalte in het oogstbare product, het gehalte aan nitraatreductase en het chlorofylgehalte. Hieronder een korte toelichting.

Stikstof wordt in planten veelal opgenomen in de vorm van nitraat ($NO_3^-$). Het vermogen van planten om nitraat op de nemen wordt wel de nitraataccumulatie capaciteit genoemd. Vervolgens moet deze nitraat verwerkt worden. Stikstofefficiënte rassen moeten de stikstof efficiënt kunnen omzetten ten behoeve van biomassavorming. Rassen met een lager nitraatgehalte bij eenzelfde bemesting nemen óf stikstof minder goed op dan andere rassen (wat kan resulteren in een mindere groei), óf ze zetten deze stikstof sneller om (wat kan resulteren in een betere groei).

► Het stikstofgehalte moet daarom altijd tegen de achtergrond van overige groeiparameters beoordeeld worden.

Een belangrijk enzym dat in de omzetting van opgenomen nitraat tot biomassa een rol speelt is nitraatreductase. Een hoge activiteit van nitraatreductase kan met een hoog vermogen tot stikstofopname correleren.

► De vraag is of nitraatreductase activiteit een bruikbaar selectiecriterium is voor NUE

Dawson (2008) stelt in een algemeen overzichtsartikel over veredelen op stikstofefficiëntie dat het van belang is te veredelen op rassen met een wat lagere productiviteit maar met een hogere interne stikstofconservering ($MRT_N$, mean residence time of nitrogen in plantweefsel, Silla & Escudero, 2004). Belangrijk zijn volgens haar het behoud van fotosynthese en stikstofopname onder een laag stikstofaanbod. Ook voor *Brassica* gewassen hebben we geleerd dat het fotosynthetisch actief houden van het omblad van belang kan zijn voor actieve wortels en aanvoer van nutriënten naar oogstbare product. Dit werd o.a. gemeten aan chlorofylgehalte.

► De vraag is in hoeverre chlorofyl fluorescentie ook een maat kan zijn voor een goede assimilatie capaciteit ofwel gebruiksefficiëntie voor stikstof?

## *4.3 Tot slot*

Gastal & Lemaire (2002) benadrukken dat stikstofbeschikbaarheid in de bodem, stikstofopname en -verdeling in de plant en uiteindelijk gewasgroei voortdurend in wisselwerking staan gedurende de groei en ontwikkeling van een gewas, en dus ook in relatie tot elkaar onderzocht moeten worden. Dit zou pleiten om toekomstig onderzoek bij sluitkool niet alleen te richten op verbeteren van gebruiksefficiëntie maar dat vooral in relatie te zien tot stikstofopnamecapaciteit in een geïntegreerde en in de tijd dynamische benadering. Modelleren kan daarbij helpen.

***Kader 3. Potentiële selectiecriteria voor NUE bij sluitkool onder lage stikstofbeschikbaarheid.***

- Drogestof en netto opbrengst onder lage N
- Harvest index (verhouding omblad en kool) en N harvest index
- Leaf area index (LAI) en Specific Leaf Area index (SLA)
- Snelle beginontwikkeling (vigour) bij koude stress
- Beworteling (diepte, intensiteit en plasticiteit)
- Nitraat reductase capaciteit
- Chlorofylgehalte in blad

# *Literatuur*


Anonymous, 2014. stikstofgebruiksnormen-2014-2017. https://www.drloket.nl/actueel/document/fileitem/2204589/tabel-1- (last visited 28 April 2014).

Ahmad, A., Khan, I., Abrol, Y. P., Iqbal. M., 2008. Genotypic variation of nitrogen use efficiency in Indian mustard. Environmental Pollution 154(3): 462-466.

Albert, B., F. Le Cahérec, M.F. Niogret, P. Faes, J.C. Avice, L. Leport, A. Bouchereau, 2012. Nitrogen availability impacts oilseed rape (*Brassica napus* L.) plant water status and proline production efficiency under water-limited conditions. Planta August 236(2): 659-676.

Algoet, P.-E. A.R.L., 2011 Broccoli organic breeding: opportunities for population improvement and opportunities in non-CMS commercial hybrid use for organic production. Field trials 2011. Internship report Wageningen University, Wageningen.

Atanasova, E., 2008. Effect of nitrogen sources on the nitrogenous forms and accumulation of amino acid in head cabbage. Plant Soil Environment 54(2): 66–71.

Berry, P.M., Spink, J., Foulkes, M.J., White, P.J., 2010. The physiological basis of genotypic differences in nitrogen use efficiency in oilseed rape (*Brassica napus* L.). Field Crops Research 119(2–3): 365-373.

Biemond, H., Vos, J., Struik, P.C., 1995. Effects of nitrogen on development and growth of the leaves of vegetables. 1. Appearance, expansion growth and life span of leaves of Brussels sprouts plants. Netherlands Journal of Agricultural Sciences 43: 217-232.

Biemond, H., Vos, J., Struik, P.C., 1996. Effects of nitrogen on accumulation and partitioning of dry matter and nitrogen of vegetables. 3. Spinach. Netherlands Journal of Agricultural Science 44: 227-239.

Bingham, I.J., Karley, A.J., White, P.J., Thomas, W.T.B., Russell, J.R., 2012. Analysis of improvements in nitrogen use efficiency associated with 75 years of barley breeding. European Journal of Agronomy 42: 49–58.

Brito, L.M., Amaro, A.L., Mourão , I. , Moura, L., 2012. Yield and nitrogen uptake of white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) with organic and inorganic fertilisers. Acta Hort. 933: 107-113.

Cao Bing,He Fa-yun,Xu Qiu-ming,Cai Gui-xin, 2007. Nitrogen use efficiency and N losses from Chinese cabbage grown in an open field. Plant Nutrition and Fertilizer Science 2007-06

Cardone, M., Mazzoncini, M., Menini, S., et al., 2003. *Brassica carinata* as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: agronomic evaluation, fuel production by transesterification and characterization. Biomass and Bioenergy 25: 623–636.

Dawson, J.C., Huggins, D.R., Jones, S.S., 2008. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. Field Crops Research 107(2): 89-101.

Dewi, E.R., Nikus, O., Horst, W.J., 2010. Genotypic differences in nitrogen efficiency of white cabbage (*Brassica oleracea* L.). Plant and Soil 328(1-2): 313-325.

Dixon, G.R., 2007. Vegetable Brassicas and related Crucifers. Crop Production Science in Horticulture 14. CAB International. ISBN 978-0-85199-395-9.

Dong Zhao-di, Zuo Qing-song, Leng Suo-hu, Shi Jian-fei, Sun Jia-gang, Sun Tong-qing, 2008. Effect of nitrogen application on nitrogen efficiency in hybrid rapeseed varieties and their parents. Chinese Journal of Oil Crop Sciences 2008-03.

Everaarts, A.P., 1993. General and quantitative aspects of nitrogen fertiliser use in the cultivation of Brassica vegetables. Acta Horticulturae 339: 149-160.

Everaarts, A.P., De Moel, C.P., 1998. The effect of nitrogen and the method of application on yield and





LOUIS BOLK INSTITUUT

quality of white cabbage. European Journal of Agronomy 9: 203-211.

FAO. 2013. FAO Statistics of Crops. http://faostat3.fao.org/home/index.html. (Last visited 20 april 2014).

Fiedler, K., Stützel, H., 2012. Nitrogen efficiency of Brussels sprouts under different organic N fertilization rates. Scientia Horticulturae 134(1): 7-12.

Freyman, S., Toivonen, P., Lin, W., Perrin, P., Hall, J., 1991. Effect of nitrogen fertilization on yield, storage losses and chemical composition of winter cabbage. Canadian Journal of Plant Science 71(3):943-946.

Garnett, T., Conn, V., Kaiser B.N., 2009. Root based approaches to improving nitrogen use efficiency in plants. Plant, Cell and Environment 32: 1271-1283.

Gastal, F., Lemaire, G., 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. Journal of Experimental Botany 53: 789-799.

Gewin, V., 2010. Underground revolution. Nature 466: 552-553.

Gourley, C.J.P., Allan, D.L., Russelle, M.P., 1994. Plant nutrient efficiency: a comparison and suggested improvement. Plant Soil 158, 29–37.

Grossman, J.D., Rice, K.J., 2012. Evolution of root plasticity responses to variation in soil nutrient distribution and concentration. Evol Appl. 5(8): 850-857.

Gunasekera, C.P., Martin, L.D., Siddique, K.H.M., Walton, G.H., 2006. Genotype by environment interactions of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) and canola (*B. napus* L.) in Mediterranean-type environments: 1. Crop growth and seed yield. European Journal of Agronomy 25(1) 1-12.

Hara, T., Nakagawa, A., Sonoda, Y., 1982. Effects of nitrogen supply and removal of outer leaves on the head development of cabbage plants. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 50.

Hara, T., 1989. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium in culture solution on the head yield and free sugar composition of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 58.

Hara, T., Sonoda, Y., 1979. The role of macronutrients for cabbage-head formation (preliminary report). Soil Science and Plant Nutrition 25: 103-111.

Hasanalideh, A.H., Hojati, M., 2012. Enhancing yield and nitrogen use efficiency of *Brassica napus* L. using an integrated fertilizer management. Advances in Environmental Biology 6(2): 641-647.

Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B., Gallais, A., 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. Journal of Experimental Botany 58: 2369-2387.

Hocking, P.J, Kirkegaard, J.A., Angus, J.F., Bernardi, A., Mason, L.M, 2002. Comparison of canola, Indian mustard and Linola in two contrasting environments: III. Effects of nitrogen fertilizer on nitrogen uptake by plants and on soil nitrogen extraction. Field Crops Research, 79(2–3): 153-172.

Ji, Y. 2014. Perspectives of breeding for nitrogen use efficiency in Brassica. Master thesis Wageningen University, Wageningen.

Kristensen, H.L., Thorup-Kristensen, K., 2004. Root growth and nitrate uptake of three different catch crops in deep soil layers. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 529-537.

Lammerts van Bueren, E.T., Ter Berg, C., Bremer, E.H.G., 2004. Goede kool uit Noord-Holland. Vergelijkend rassenonderzoek voor rode en witte kool voor biologische bedrijfssystemen 2001-2003. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 46 pp.

Lemaire, G. , van Oosterom, E., Sheehy, J., Jeuffroy, M.H., Massignam, A., Rossato, L., 2007. Is crop N demand more closely related to dry matter accumulation or leaf area expansion during vegetative growth? Field Crops Research 100(1): 91-106.

Moel, C.P de. (red), 1996. Teelt van sluitkool. Teelthandleiding nr 73, PAGV Lelystad.

Moll, R.H., Kamprath, E.J., Jackson, W.A., 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agronomy Journal 74(3): 562-564.

Myers, J.R., McKenzie, L., Voorrips, R.E., 2012. Brassicas: Breeding cole crops for organic agriculture. In: Lammerts van Bueren, E.T. & J.R. Myers (eds), Organic Crop Breeding, Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ, USA. pp. 251-262.

Nagaharu, U., 1935. Genome analysis in Brassica with special reference to the experimental formation of *B. napus* and peculiar mode of fertilization. Jap J Bot 7: 389-452.

Osaki, M., 1995. Comparison of productivity between tropical and temperate maize. I. Leaf senescence and productivity in relation to nitrogen nutrition. Soil Science and Plant Nutrition 41(3): 439-450.

Peck, N., 1981. Cabbage plant responses to nitrogen fertilization. Agronomy Journal 73(4): 679-684.

Rather, E., Schenk, M.K., Everaarts, A.P., Vethman, S., 2000. Rooting patterns and nitrogen uptake of three cauliflowers (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) $F_1$-hybrids. J. Plant Nutr. Soil Sci 163: 467-474.

Salo, T., 1999. Effects of band placement and nitrogen rate on dry matter accumulation, yield and nitrogen uptake of cabbage, carrot and onion. Agricultural and Food Science in Finland 8(2): 157-232.

Schulte auf'm Erley, G., Wijaya, K.-A., Ulas, A., Becker, H., Wiesler, F., Horst, W.J., 2007. Leaf senescence and N uptake parameters as selection traits for nitrogen efficiency of oilseed rape cultivars. Physiologia Plantarum 130(4): 519-531.

Schulte auf'm Erley, G., Dewi, R., Nikus, O., Horst, W.J., 2010. Genotypic differences in nitrogen efficiency of white cabbage (*Brassica oleracea* L.). Plant Soil 328: 313–325.

Schulte auf'm Erley, G., Behrens, T., Ulas, A., Wiesler, F., Horst, W.J., 2011. Agronomic traits contributing to nitrogen efficiency of winter oilseed rape cultivars. Field Crops Research 124(1): 114-123.

Silla, F., Escudero, A., 2004. Nitrogen-use efficiency: trade-offs between productivity and mean residence time at organ, plant and population levels. Functional Ecology 18: 511-521.

Šturm, M., Kacjan-Maršic, N., Zupanc, V., Bračič-Železnik, B., Lojen, S., Pintar, M., 2010. Effect of different fertilisation and irrigation practices on yield, nitrogen uptake and fertiliser use efficiency of white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). Scientia Horticulturae 125(2): 103-109.

Sukkel, W., Leeuwen-Haagsma, W.K. van, Wijnands, F.G., 2004. Zeven teelten in de praktijk : teelthandleiding voor biologisch geteelde gewassen. PPO 321. PPO Lelystad.

Svečnjak, Z., Rengel, Z., 2006. Canola cultivars differ in nitrogen utilization efficiency at vegetative stage. Field Crops Research 97(2–3): 221-226.

Tang Yuwei, Lin Zhenwu, Chen Jingxiang, 1985. Study on the correlation between nitrate reductase activity and nitrogen response in crop plant and its application in biochemical plant breeding. Scientia Agricultura Sinica 1985-06.

Tao Zhengping, 2005. Studies on the difference of nitrate accumulations of different varieties of Chinese cabbage. Acta Horticulturae Sinica 2005-04.

Tao Zheng-ping, 2007. Differences of nitrate accumulative capability of different Chinese cabbage genotypes planted in different nitrogen concentration solution. Journal of Jilin Agricultural University 2007-02.

Thorup-Kristensen. K., 1999. Root growth and soil nitrogen depletion by onion, lettuce, early cabbage and carrot. Acta Horticulturae 563: International Conference on Environmental Problems Associated with Nitrogen Fertilisation of Field Grown Vegetable Crops.

Thorup-Kristensen, K., 2001. Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? Plant and Soil 230(2): 185-195.



LOUIS BOLK INSTITUUT

Thorup-Kristensen, K., 2006. Root growth and nitrogen uptake of carrot, early cabbage, onion and lettuce following a range of green manures. Soil Use and Management 22(1): 29–38.

Thorup-Kristensen, K., 2013. Combining agronomic and breeding approaches for improved nutrient use efficiency. Presentation at the Eucarpia Conference of the section organic & Low-input Agriculture, 24 September 2013, Goettingen, Germany. http://www.uni-goettingen.de/de/415791.html (last visited 20 April 2014).

Thorup-Kristensen, K., van den Boogaard, R., 1998. Temporal and spatial root development of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.). Plant and Soil 201(1): 37-47.

Thorup-Kristensen, K., Nygaard Sørensen, J., 1999. Soil nitrogen depletion by vegetable crops with variable root growth. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science 49(2): 92-97.

Tiemens-Hulscher, M., Lammerts van Bueren, E.T., Struik, P.C., 2014. Identifying nitrogen-efficient potato cultivars for organic farming. Euphytica, in press.

Tshikalange, T.E., 2006. Response of *Brassica rapa* L. subsp. *Chinensis* to nitrogen, phosphorus and potassium in pots. Dissertation Tshwane University of Technology. http://libserv5.tut.ac.za:7780/pls/eres/wpg_docload.download_file?p_filename=F2058433490/Tshikalange.pdf (last visted 20 april 2014).

Wang Zhaohui, Li Shengxiu, Tian Xiaohong,1998. Influence of nitrogen rates on nitrate accumulation in vegetables. Plant Nutrition and Fertilizer Science 1998-01.

Westerveld, S.M., Mckeown, A.W., Scott-Dupree, C.D., McDonald, M.R., 2003. How well do critical nitrogen concentrations work for cabbage, carrot and onion crops? HortScience 38(6): 1122-1128.

White, J., Forbes, R., 1976. Effect of spacing and fertilizer rates on cabbage yield and head weight. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 89: 118-120.

White, P.J., George, T.S., Gregory, P.J., Bengough, A.G., Hallett, P.D., McKenzie, B.M., 2013. Matching roots to their environment. Annals of Botany 112: 207–222.

Zanetti, F., Vamerali, T., Mosca, G., 2009. Yield and oil variability in modern varieties of high-erucic winter oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) and Ethiopian mustard (*Brassica carinata* A. Braun) under reduced agricultural inputs. Industrial Crops and Products 30(2): , 265-270.

Zhen-hua Zhang, Hai-xing Song, Qiang Liu, Xiang-min Rong, Jian-wei Peng, Gui-xian Xie and Yu-ping Zhang, 2009. Study on differences of nitrogen efficiency and nitrogen response in different oilseed rape (*Brassica napus* L.) varieties. Asian Journal of Crop Science 1: 105-112.

Zhou Chuanyu, Wang Chao, 2007. Analysis on nitrogen use efficiency of different cabbage inbred lines. Journal of Northeast Agricultural University. 2007-02

www.louisbolk.nl
info@louisbolk.nl
T + 31 (0) 343 523 860
F + 31 (0) 343 515 611
Hoofdstraat 24
NL - 3972 LA Driebergen