

september 2010

rapport 1361

Effecten van silicium op aardappel

dr. ir. D.W. Bussink

dr. ir. L. van Schöll

nutriënten management instituut nmi bv

postbus 250

6700 ag wageningen

agro business park 10

6708 pw wageningen

tel. (0317) 46 77 00

fax (0317) 46 77 01

e-mail nmi@nmi-agro.nl

internet www.nmi-agro.nl

© 2010 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding

Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	3
1 Inleiding	7
1.1 Potenties van Si-bemesting	7
1.2 Doelstellingen	7
1.3 Opzet en uitvoering	7
2 Silicium in bodem	9
2.1 Silicium	9
2.2 Effect temperatuur, vocht, redoxpotentiaal, pH, kalk, klei en organische stof op Si in de bodem	10
2.3 Bepaling beschikbaar Si in bodem	11
3 Silicium in de plant	13
3.1 Silicium als voedingsstof voor planten	13
3.2 Opname en depositie van Si in de plant	14
3.3 Bepaling Si-gehalte plant	15
4 Resistentie tegen schimmels en ziekten	17
4.1 Werkingsmechanismen	17
4.2 Infectieziekten bij aardappelen.	18
4.2.1 Schimmelziekten	18
4.2.2 Bacterieziekten	19
4.3 Luizen.	21
5 Benutting voedingsstoffen: P	23
5.1 Algemeen	23
6 Droogtetolerantie en efficiënt watergebruik	27
6.1 Algemeen	27
6.2 Rijst en tarwe	27
6.3 Aardappelen	29
6.4 Zouttolerantie	29
7 Bemesting met Silicium	31
7.1 Reden voor bemesting	31
7.2 Meststoffen	32
8 Discussie	35
9 Literatuur	39

Samenvatting en conclusies

Silicium (Si) is één van de basisbestanddelen van grond, maar is toch vrijwel niet in opneembare vorm aanwezig. Daarnaast is nog niet aangetoond dat Si een noodzakelijk nutriënt is, maar heeft het vaak gunstige effecten op de groei van de meeste planten. Proeven in het buitenland geven aan dat het toedienen van oplosbaar Si de weerstand tegen droogtestress en tegen infectieziekten kan verhogen en dat het de opname of benutting van fosfaat verbetert. In deze literatuurstudie is nagegaan wat er bekend is over de zojuist genoemde punten en voor zover er gegevens zijn richt zich de aandacht daarbij vooral op (poot)aardappelen.

Silicium komt in de bodemoplossing voor als monosiliciumzuur, polysiliciumzuur en als organosiliciumcomponenten. Alleen monosiliciumzuur is opneembaar voor planten. Gronden die vooral bestaan uit kwarts (zandgronden) en/of organische stof (veengronden) beschikken over weinig opneembaar Si. Kleigronden beschikken in het algemeen over meer opneembaar Si. De Si-concentratie in de bodemoplossing kan uiteenlopen tussen 3,5 tot 40 mg Si per liter bodemoplossing. De Si-beschikbaarheid wordt beïnvloed door temperatuur en vochtgehalte. Naarmate deze hoger zijn neemt de beschikbaarheid toe. Ook een lagere pH geeft een hogere Si-beschikbaarheid onder Nederlandse condities.

Planten worden onderverdeeld in Si-accumulatoren met gehalten >1% Si (grassen, suikerriet en met name rijst met >10% Si) en niet-accumulatoren met gehalten <1% Si, (meeste dicotylen, waaronder aardappel). Er is geen informatie over de Si-gehalten van Nederlandse landbouwgewassen, maar in Brazilië zijn in het aardappelras Bintje gehalten in het blad tussen de 0,4 en 0,5% gemeten. Veruit het meeste onderzoek naar het effect van Si is uitgevoerd met de Si-accumulatoren. De depositie van Si in de plant is afhankelijk van de leeftijd, het type en de locatie van de weefsels en van opname via de wortel en transpiratie. De opname door de wortel is afhankelijk van gehalten aan Si, nutriënten en water in de bodem, pH en bodemtype. In de plant wordt Si afgezet in de celwand, in de celinhoud en in intercellulaire ruimtes van wortel, stengel of blad. Hoe ouder de plant of het weefsel, hoe hoger het Si-gehalte. Over het algemeen zit er in de wortel het minste, in de stengel wat meer en in het blad het meeste Si.

Effecten van Si hebben betrekking op de plantenstructuur, -fysiologie en als bescherming tegen pathogenen/ziekten. Met betrekking tot de structuur betreft het vooral de bescherming tegen compressie in celwanden, onder andere bij doorwortelen van de bodem, een sterkere stengel en verbeterde bladstand. Hiermee verbetert de lichtinterceptie en vermindert legering door bijvoorbeeld wind (granen). Si geeft extra stevigheid doordat het van belang is de vorming van lignine en doordat Si in gelignificeerde celwanden wordt afgezet. Ook voor aardappelen worden verhoogde concentraties lignine in de bladeren en, minder legering (in Nederland weinig relevant), betere bladstand en verhoogde chlorofylconcentraties gevonden bij Si-bemesting.

In het algemeen verhoogt Si de hoeveelheid mobiel van fosfaat (P) in de grond, vooral bij lage P-gehalten. Dit hoeft niet te betekenen dat de P-opname door het gewas hoger is. Veeleer leidt Si tot een betere translocatie van P in de plant. Dit zou veroorzaakt worden door een geringere opname van mangaan (Mn) en ijzer (Fe) bij aanwezigheid van Si. Opbrengsteffecten worden aangetroffen in situaties van lage P-toestanden bij rijst en gerst, vooral veroorzaakt door een betere translocatie. Voor aardappelen zijn hier geen gegevens over gevonden. Deze positieve effecten zijn mogelijk ook toe te

schrijven aan een betere spoorelementvoorziening als gevolg van de aanwezigheid van spoorelementen in veel Si-meststoffen, zoals slakken. Daarnaast is er een effect van de pH-verhoging die optreedt bij gebruik van bijvoorbeeld slakken of andere silicaten. Dit kan een voordeel zijn op zure gronden. Anderzijds worden er op niet-zure gronden ook positieve opbrengsteffecten gemeld.

De watergebruiksefficiëntie neemt toe naarmate het Si-gehalte stijgt. Per kg geproduceerde droge stof is minder water nodig door een lagere transpiratiesnelheid. Een betere watergebruiksefficiëntie is aangetoond bij rijst, granen en gras, al uit zich dit niet altijd in een hogere drogestofopbrengst onder droge omstandigheden.

Voor aardappelen is in laboratoriumopstelling met kweekbuizen een lagere respiratiesnelheid bij toevoeging van Si aan de voedingsoplossing vastgesteld. In een veldproef werd bij aardappelras Bintje gevonden dat de Si-concentratie in de bladeren verhoogd werd door Si-bemesting en door droogtestress. Tevens was het gehalte aan proline verhoogd bij Si-bemesting en vochttekort. Proline is een aminozuur dat bij vochttekort kan worden aangemaakt in de bladeren, maar ook snel weer kan worden afgebroken, waardoor het het osmotisch potentiaal kan beïnvloeden en de cellen tegen denaturatieprocessen kan beschermen. Het wordt geassocieerd met de weerstand van planten tegen droogtestress. In deze veldproef werden echter met Si-bemesting zowel hogere opbrengsten gevonden bij droogte stress als geen droogtestress.

Uit de beschikbare informatie blijkt dat Si een rol speelt bij de ziekteresistentie. De positieve effecten zijn vaak goed gedocumenteerd, hoewel nog onduidelijk is hoe Si ingrijpt op het afweersysteem. Op plekken waar schimmels de plant penetreren, wordt extra Si afgezet rond de infectiehaard. Zodoende ontstaat een fysische barrière. Daarnaast heeft Si waarschijnlijk een signaalfunctie om afweerreacties te induceren. Bij deze afweerreacties speelt de aanmaak van fenolen en fytoalexinen een rol. Niet duidelijk is hoe hoog de Si-opname moet zijn voor een substantiële vermindering van de ziektegevoeligheid.

Onderzoek naar het effect van Si op de weerstand van niet-accumulatoren, zoals (poot)aardappelen, is pas recentelijk op gang gekomen. Er zijn eerste aanwijzingen dat Si-bemesting de weerstand tegen zowel bacterie- als schimmelziekten bij aardappelen kan verhogen. Een verhoogde weerstand werd geconstateerd bij aantasting van aardappelen door *Erwinia* (zwartbenigheid) en bij aantasting door *Ralstonia solanacearum* (bruinrot). Daarbij speelde het stimuleren door Si van het afweermechanisme middels aanmaak van fenolen een rol. Ook aantasting door *Verticillium dahliae* (verwelkingsziekte) werd sterk gereduceerd bij Si-bemesting. In combinatie met kalk was deze reductie nog sterker. De groei van *Fusarium oxysporum* (droogrot) op een groeimedium in het laboratorium wordt geremd bij hoge Si-concentraties. Bij de aantasting door *Phytophthora infestans* is geen effect van Si-bemesting gevonden.

Er zijn verschillende Si-houdende meststoffen beschikbaar. Veelal worden deze meerdere keren per seizoen met de veldspuit als bladmeststof toegediend. Afhankelijk van de formulering wordt minder dan 100 gram tot enkele kilo's per ha toegediend. Daarnaast zijn er ook kalken met oplosbaar Si. De kalkgift bepaalt de hoeveelheid Si die wordt toegediend.

De vraag of we nu in Nederland ook maar Si moeten gaan gebruiken bij de teelt van aardappelen kan op dit moment niet afdoende beantwoord worden. Daar is een aantal redenen voor:

- 1) Onduidelijk is wat de Si-beschikbaarheid is in gronden, welke Si-gehalten in gewassen worden aangetroffen en welke relatie hiertussen bestaat. In Nederland wordt het gehalte oplosbaar Si in grond en het Si-gehalte in aardappelen (of andere gewassen) niet vastgesteld. In principe is dit

goed mogelijk met de beschikbare meettechnieken. Daarbij lijkt extractie met 0,01 M CaCl₂ een goede maat voor de beschikbaarheid in grond.

- 2) Er zijn (nog) geen duidelijke criteria op basis waarvan besloten kan worden of Si-bemesting zinvol is. Niet duidelijk is hoe groot de effecten zijn op de fosfaatbeschikbaarheid en wat de opbrengstrespons is bij toepassing van Si op fosfaatarm bouwland. Hoewel de ziektedruk bij veel gewassen duidelijk afneemt bij toepassing van Si, moet nog worden aangetoond dat Si de weerstand tegen ziekten bij aardappelen kan verhogen. Ook met betrekking tot droogtegevoeligheid ontbreken kwantitatieve gegevens voor de Nederlandse situatie om te beoordelen of het zinvol is om een Si-bemesting toe te passen.

Conclusies

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat er met betrekking tot droogtetolerantie en weerbaarheid tegen ziekten alsook uit het oogpunt van P-beschikbaarheid er perspectieven lijken te zijn voor het gebruik van Si in (poot)aardappel.

De volgende (globale) aanbevelingen worden daartoe geformuleerd:

- Stel via monitoring vast welke Si-gehalten in grond (beschikbaar) en aardappel (totaal) worden aangetroffen en bestudeer het verband tussen het Si-gehalte in grond en gewas en de opbrengst, sortering, droge stof gehalte en aantasting door schurft, *Fusarium*, verwelkingsziekte, zwartbenigheid en stengelrot.
- Monitor/analyseer de droogtetolerantie van aardappelen bij gebruik van wel of geen oplosbaar Si in praktijksituatie op droogtegevoelige zandgrond.
- Bestudeer het effect van wel of geen oplosbaar Si op bouwland op de aantasting van aardappel door schurft, *Fusarium*, verwelkingsziekte, zwartbenigheid en stengelrot op meerdere locaties, waarvan bekend is dat deze gevoelig zijn deze ziekten. Gebruik daarbij minimaal een product dat via de bodem werkt (Si-houdend kalk of een andere product met goed oplosbaar Si) en een product dat via bladbemesting werkt.

Door een slim ontwerp zijn de effecten van Si op droogtetolerantie en aantasting door ziekten bij aardappel mogelijk in één proef vast te stellen.

1 Inleiding

1.1 *Potenties van Si-bemesting*

Silicium (Si) is één van de basisbestanddelen van grond, maar is toch vrijwel niet in opneembare vorm aanwezig. Daarnaast is nog niet aangetoond dat Si een noodzakelijk nutriënt is, heeft het vaak gunstige effecten op de groei van de meeste planten.

PA heeft NMI gevraagd om te onderzoeken of het toevoegen van Si onder Nederlandse omstandigheden ook tot de genoemde voordelen leidt. Daarnaast is het de vraag of dit kostenvoordelen en mogelijk hogere opbrengsten c.q. een betere gewaskwaliteit bij (poot)aardappelen oplevert, zoals soms gevonden wordt in buitenlands onderzoek. Om meer inzicht te krijgen in de eventuele meerwaarde van Si-gebruik heeft NMI daarom een literatuuronderzoek uitgevoerd. Afhankelijk van de resultaten volgt aansluitend veldonderzoek.

1.2 *Doelstellingen*

Toetsen van de effecten van het gebruik van Si in de (poot)aardappelteelt op basis van literatuuronderzoek aangevuld met veldonderzoek om de meerwaarde van Si-bemesting vast te stellen.

Deelvragen zijn:

- verhoogt Si-gebruik de weerstand tegen ziekten?
- leidt Si-gebruik tot een betere droogtetolerantie?
- verbetert de fosfaatbeschikbaarheid door Si-gebruik?

1.3 *Opzet en uitvoering*

Nagegaan wordt hoe Si beschikbaar komt in de bodem en welke factoren van invloed zijn op de beschikbaarheid. Deze informatie bepaalt mede welke Si-vormen bij Si-bemesting leiden tot een hogere opname van Si door het aardappelgewas. Informatie over hoe Si werkt in de plant en verdeeld wordt binnen de plant geeft inzicht in hoe de genoemde voordelen tot stand kunnen komen. Vervolgens wordt nagegaan welke effecten in de literatuur gerapporteerd zijn omtrent de inzet van Si op de onderdrukking van bacterieziekten, maar ook op schimmelziekten temeer daar recente literatuur hierover positieve effecten meldt. Bij nagaan van positieve effecten op de fosfaatbeschikbaarheid is het van belang vast te stellen of dit wordt veroorzaakt door een hogere opname van P door de wortel of dat dit het gevolg is van een betere herverdeling in de plant.

Van belang is om vast te stellen of er informatie over de vorm waarin Si het beste kan worden toegediend: óf aan de bodem (er zijn bijvoorbeeld kalken met een verhoogd gehalte oplosbaar Si) óf via bladbemesting. Van belang daarbij is vast te stellen welke hoeveelheden worden geadviseerd en op welk tijdstip deze dienen te worden toegediend. Deze info draagt bij aan de definitieve inrichting van een op te zetten veldexperiment.

Op basis van de literatuurstudie kan besloten worden of een toetsing onder veldomstandigheden gewenst is en kan de inrichting van de veldproef gefinetuned worden.

2 Silicium in bodem

2.1 Silicium

Silicium (Si) is een element dat in de aardkorst op zuurstof na het meeste voorkomt. Si is meestal gebonden aan zuurstof of aan metalen als alumosilicaten (Matichenkov & Bocharnilova, 2001). De bodem bestaat gemiddeld ongeveer 50 procent uit SiO_2 (Marschner, 1995). Matichenkov & Bocharnilova (2001) onderscheiden verschillende Si-verbindingen (Tabel 2.1). De oplosbare Si-houdende verbindingen bestaan uit monosiliciumzuren, polysiliciumzuren en organosiliciumcomponenten. De meest voorkomende vormen van monosiliciumzuur zijn orthosiliciumzuur (H_4SiO_4 , $K=-9,85$) en het anion daarvan (H_3SiO_4^-): bij bepalingen in bodemoplossingen wordt ervan uitgegaan dat dit het enige aanwezige monosiliciumzuur is (Matichenkov & Bocharnilova, 2001). Monosilicium is de vorm die opneembaar is voor planten. Polysilicium bestaat uit twee of meer siliciumatomen. Polysilicium is ingewikkelder van structuur dan monosilicium: het kan uit langere, vertakte ketens bestaan. Wanneer er meer polysilicium in de bodemoplossing zit, heeft dit (positieve) effecten op bijvoorbeeld de watervasthoudende capaciteit en de buffercapaciteit in lichte bodems. Ook wanneer Si in de vaste fase voorkomt, kan het positieve effecten op de watervasthoudende capaciteit hebben (Matichenkov & Bocharnilova, 2001).

De Si-concentratie in de bodemoplossing bedraagt 3,5 tot 40 mg l^{-1} (Marschner, 1995) in de vorm van siliciumzuur, waarvan de bron onder andere SiO_2 is (Epstein, 2001). Kwarts zelf is nauwelijks oplosbaar: de activiteit van siliciumzuur in contact met kwarts is minder dan 0,1 mM (3 mg l^{-1}). De concentratie van siliciumzuur is in de meeste bodemoplossingen hoger, omdat het onttrokken wordt aan aluminosilicaten. Bij oververzadiging met siliciumzuur in een oplossing, slaat het neer in een amorfe vorm, die reactiever is dan de gekristalliseerde vorm: bij chemisch evenwicht is de concentratie van siliciumzuur dan 1,8 mM ofwel 50 mg l^{-1} (Epstein, 2001).

Tabel 2.1. Siliciumhoudende componenten in de bodem, onderverdeeld in de vloeibare en vaste fase.

Vloeibare fase	vaste fase	
	amorf	kristallen
monosiliciumzuren	biogene vormen (phytoliet restanten)	fijn gedispergeerde mineralen (mica's, kleien etc.)
polysiliciumzuren	abiogene vormen (amorfe silica)	ruw gedispergeerde mineralen (kwarts, veldspaten)
complexen met anorganische componenten		
complexen met organische componenten		
organo-siliconen componenten		

De beschikbaarheid van Si in de bodem is afhankelijk van verschillende factoren, zoals temperatuur, bodemvochtigheid, pH, calciumcarbonaat, organische stof en redoxpotentiaal (Rodgers-Gray & Shaw, 2004), maar ook van het bodemtype. In Japan is hier uitgebreid naar gekeken, omdat Si een belangrijk element is bij de rijstteelt. Gronden bestaand uit vooral kwarts (zandgronden) en veengronden hebben

weinig gemakkelijk opneembaar Si. Kleigronden hebben in het algemeen meer beschikbaar Si. Toevoegen van oplosbaar Si heeft positieve effecten op de bodemstructuur (Rex, 2000).

2.2 *Effect temperatuur, vocht, redoxpotentiaal, pH, kalk, klei en organische stof op Si in de bodem*

In het algemeen is een hoge temperatuur gunstig voor de beschikbaarheid van een element. Met betrekking tot Si zijn weinig experimenten bekend waarin naar het effect van de temperatuur is gekeken. Mattigod & Kittrick (1980) hebben het gedrag van een kaoliniet-gibbsiet systeem bestudeerd over het temperatuurtraject van 25-95 °C. Over dit traject neemt de oplosbaarheid van orthosiliciumzuur met een factor 4 toe en die van amorf Si met een factor 3.

Bij een hoger vochtgehalte in de bodem is er meer Si beschikbaar (Subramanian & Gopalswamy, 1991). Voor een deel komt dit doordat meer bodemvocht zorgt voor betere transportmogelijkheden van Si. Een belangrijker effect is echter het effect van een gewijzigde redoxpotentiaal. Indien de grond vochtiger wordt of zelfs helemaal onder water komt te staan dan leidt dit tot een daling van de redoxpotentiaal (deze kan sterk negatief worden). Een mooi voorbeeld hiervan is een experiment van Matsuura et al. (1977) waaruit blijkt dat bij een redoxpotentiaal tussen -120 en -50 mV slechts 70 procent van de hoeveelheid Si wordt aangetroffen ten opzichte van een redoxpotentiaal van -200 mV (deze effecten zijn beter bekend bij ijzer: naarmate de zuurstofbeschikbaarheid afneemt wordt ijzer beter beschikbaar. In deze proef was het Fe-gehalte tussen -120 en -50 mV 50 procent bij die van -200 mV). Obermueller & Mikkelsen (1974) geven aan dat de daling van de redoxpotentiaal in hun experiment de belangrijkste oorzaak is voor een betere Si-beschikbaarheid en Si-opname van rijst bij natte rijstbouw in vergelijking tot droge rijstbouw. Ook McGeehan et al. (1998) tonen aan dat een lage redoxpotentiaal gunstig is voor de beschikbaarheid van Si.

In Nederland kan een situatie met een lage redoxpotentiaal optreden in de winter. Gedurende het groeiseizoen is de vochttoestand dusdanig dat een lage redoxpotentiaal niet voorkomt (behoudens calamiteiten als stortbuien). Voldoende vocht is vooral van belang om een goed transport van nutriënten te kunnen waarborgen.

Het effect van pH op de Si-beschikbaarheid lijkt tegengesteld te zijn. Zo wordt in de literatuur uit China, Japan en Korea vooral gemeld dat een hoge pH de Si-beschikbaarheid verhoogt (Kim et al., 1977; Zhang, 1987; He-LiYua & Li-XiaoLiang, 1995). Daarentegen is er veel andere literatuur die het tegenovergestelde aangeeft. Deze verschillen zijn waarschijnlijk voor een groot deel terug te voeren op een verstrengeling met de redoxpotentiaal. In Aziatische landen vindt vaak natte rijstbouw plaats. Dat betekent dat de redoxpotentiaal van de grond laag is en de beschikbaarheid hoog. Voor situaties waar de grond niet onder water staat, zeg maar de voor ons gangbare landbouw, is de redoxpotentiaal hoog en neemt de Si-beschikbaarheid toe bij verlagen van de pH (Curtin & Smillie, 1986; Brown & Mahler, 1987; Leusch & Buchenauer, 1989). De belangrijkste component in de bodemoplossing, siliciumzuur, is een zwak zuur. Naarmate de pH daalt is er meer Si niet gedissocieerd (dus H_4SiO_4). Dit is in principe beter beschikbaar dan het anion ($H_3SiO_4^-$) dat gemakkelijk verbindingen aangaat met kationen en gemakkelijk kan adsorberen. Waarom onder zeer natte omstandigheden het effect tegenovergesteld is wordt niet verder nagegaan, omdat deze situatie niet relevant is voor de Nederlandse situatie.

De toepassing van kalk leidt tot een verhoging van de pH. Op basis van het voorafgaande neemt daarmee de beschikbaarheid van Si af. Echter in kalk kunnen ook Si-verbindingen aanwezig zijn. De hoeveelheid en de vorm waarin Si in kalk aanwezig is hangt af van de herkomst van de kalk en of de bewerkingen die kalk heeft ondergaan. Zo wordt in de ijzerertsindustrie veel kalk gebruikt bij de

bereiding van staal (bijvoorbeeld 'Converterkalk', 'Hüttenkalk'. Deze kalken bevatten voor een deel goed beschikbare Si-verbindingen, zeker zodra bij toepassing de natuurlijke verzuring zijn werk doet (Kato & Owa, 1996). Deze producten worden dan ook mede gebruikt om de Si-beschikbaarheid in Si-behoefte teelten, zoals de rijstbouw (Ma & Takahashi, 2002).

Naarmate de grond meer klei bevat is er in het algemeen meer Si beschikbaar (Schwandes et al., 2001, Zhang, 1987). Dit heeft te maken met de opbouw van het kleimineraal dat voor een deel uit aluminosilicaten bestaat. Aluminosilicaten zijn beter oplosbaar dan kwarts. Schnug & Von Franck (1985) vonden de laagste gehalten in granen geteeld op podsolen gevolgd door bruine bodems en Marschgronden (gronden langs de kust, klei bevattend).

Er is weinig bekend over het effect van organische stof op de beschikbaarheid van Si. De gegevens die er zijn hebben vooral betrekking op natte rijstteelt. Daar blijkt een hoger gehalte organische stof of toevoer van organische stof (bijvoorbeeld in de vorm van compost) in het algemeen gunstig te werken op de beschikbaarheid van Si (Ma & Takahashi, 2002). Er is één experiment bekend waarin in een potproef met gerst de toevoer van organische stof aan de grond leidde tot lagere Si-gehalten in de gerst (Nishita et al., 1973). Op basis van de gevonden informatie in de literatuur kan geen duidelijke uitspraak worden gedaan of meer organische stof leidt tot hogere Si-gehalten.

2.3 *Bepaling beschikbaar Si in bodem*

Beschikbaarheidsbepalingen vinden vooral plaats bij de teelt van rijst en suikerriet. Ma & Takahashi (2002) beschrijven een zestal bepalingmethoden. Sommige daarvan zijn nogal tijdrovend. Eén van de bekendste methoden is extractie met natriumacetaatbuffer (pH 4,0) gedurende 5 uur bij 40 °C (Ma & Takahashi, 2002; Snyder, 2001). De vraag is hoe goed de bepalingmethoden toepasbaar zijn voor de landbouw zoals wij die kennen. Rijstteelt vindt vaak plaats op gronden die onder water staan. Het oplosbaarheidsgedrag van Si is onder deze omstandigheden anders dan onder droge omstandigheden (vanwege het verschil in redoxpotentiaal).

Ook bij de teelt van suikerriet is de bepaling van de Si-beschikbaarheid van belang. Haysom & Chapman (1975, uit Snyder 2001) stelden een extractie met 0,01 M CaCl₂ voor gedurende een periode van 16 uur. Deze extractie gaf een correlatie van 0,903 met de suikerrietopbrengst en gaf betere resultaten dan extractie met 0,5 M ammoniumacetaat of met 0,005 M zwavelzuur. Snyder (2001) noemt in zijn overzicht nog enkele andere bepalingmethoden, waaronder extractie met 0,5 M azijnzuur gedurende 2 uur na een nacht inwerken van de extractievloeistof. In Florida is deze extractie populair zowel bij de rijstbouw als de suikerrietteelt.

Op dit moment is de Si-bepaling in 0,01 CaCl₂ niet operationeel.

3 Silicium in de plant

3.1 *Silicium als voedingsstof voor planten*

Silicium komt in vrijwel alle gewassen voor. Het is -nog- niet aangetoond dat Si een essentieel element is: ook zonder de aanwezigheid van Si kan de plant zijn levenscyclus voltooien (Marschner, 1995). Echter, Si heeft wel gunstige effecten op de meeste planten. Effecten van Si hebben betrekking op de plantenstructuur, -fysiologie en als bescherming tegen pathogenen/ziekten. Met betrekking tot de structuur betreft het vooral de bescherming tegen compressie in celwanden, onder andere bij doorwortelen van de bodem. Een sterkere stengel verbetert de lichtinterceptie en vermindert legering door bijvoorbeeld wind. Sterkere zaden verbeteren de retentie van de zaden. Fysiologische functies zijn een vermindering van evapotranspiratie, verbeteren van de zuurstofvoorziening van de wortels door wanden van luchtkanalen, interacties met fosfor en vermindering van toxiciteit van metaal. Beschermende functies omvatten resistentie tegen pathogenen, insecten en herbivoren (Sangster et al., 2001).

Bij afwezigheid van Si treedt er stress voor de plant op, wat zich in verschillende symptomen kan uiten. Bij rijst bijvoorbeeld wordt de vegetatieve groei minder, de graankorrelproductie gaat omlaag en er kan necrose van het blad en verwelking van de planten optreden. Bij suikerriet wordt er minder anorganisch fosfaat in ATP, ADP en suikerfosfaten ingebouwd en bij tarwe neemt de hoeveelheid lignine in de wortels af en het aantal fenolische componenten toe. Planten met een tekort aan Si verschillen van planten die wel voldoende Si hebben in onder andere (Epstein, 2001)

- i. chemische samenstelling;
- ii. structurele kenmerken;
- iii. mechanische sterkte;
- iv. verschillende aspecten van groei (ook oogstopbrengst);
- v. enzymactiviteit;
- vi. oppervlaktekarakteristieken;
- vii. resistentie tegen ziekten en plagen;
- viii. resistentie tegen metaalvergiftiging;
- ix. zouttolerantie;
- x. waterrelaties; en
- xi. koudegevoeligheid.

Planten kunnen verdeeld worden in Si-accumulatoren, waarbij de plant meer Si opneemt dan hij door passieve opname met water binnen krijgt, en niet-accumulatoren, waarbij de plant evenveel, of minder Si opneemt dan door passieve absorptie (Marschner, 1995). Met name rijst is bekend als Si-accumulator, maar ook andere granen accumuleren Si. In accumulerende soorten is de Si-opname gerelateerd aan het metabolisme in de wortel en niet aan de transpiratiecoëfficiënt. Volgens Marschner (1995) zijn grassen in het algemeen, en met name natte rijst, typische Si-accumulatoren. Het meeste onderzoek naar Si-gebruik is dan ook uitgevoerd bij rijst. Gewassen die geen Si accumuleren, zijn bijvoorbeeld de meeste dicotylen. In de meeste dicotyle gewassen gebeurt de absorptie van Si passief. Echter, ook bij niet-accumulerende dicotyle soorten kan Si voordelen bieden. In deze soorten verhoogt Si bijvoorbeeld de fysiologische beschikbaarheid van zink, vooral bij hoge fosfaatbeschikbaarheid, of versterkt het de tolerantie in het blad tegen toxische concentraties mangaan (Marschner, 1995).

De variatie in Si-gehalten van planten is groot. In aardappelblad is de concentratie laag, <0,5 procent in de droge stof (Crusciol et al., 2008), terwijl het in rijst juist erg hoog is: gehalten tot boven 10 procent komen voor.

Jones & Handreck (1967, volgens Epstein, 1999) maakten onderscheid in drie groepen: de 'wetland gramineën' zoals rijst, met Si-gehalten van 10-15 procent, de 'dryland-grassen' (granen en suikerriet) met gehalten van 1-3 procent en de meeste dicotylen met gehalten van minder dan 1 procent (er zijn wel dicotylen met hogere gehalten). De grondsoort kan grote invloed op de concentraties in de plant hebben. Schnug & Von Franck (1984) vonden in Noord-Duitsland de laagste gehalten op podsolen (arme zandgronden) en de hoogste gehalten op zeekleigronden.

Planten met meer dan 1 procent Si in het blad, in de droge stof, worden als Si-accumulator gezien (Epstein, 1994), en in een onderzoek van Ma & Takahashi (in Epstein, 1994) waren dit 34 van de 175 soorten (19 procent). Positieve effecten van Si op opbrengst en kwaliteit worden vooral waargenomen bij de teelt van rijst en suikerriet, maar ook wel bij aardbeien, komkommer, tomaten, sorghum en parelgiest.

Silicium is dus voor de meeste gewassen niet noodzakelijk, maar wordt over het algemeen wel gunstige effecten toegedicht, zoals

- een positief effect op weerstand tegen ziekten;
- een mogelijk hogere benutting van voedingsstoffen zoals fosfaat;
- een verbeterde waterhuishouding; en
- een hogere zouttolerantie bij bemesting met Si.

Om er achter te komen of Si ook werkzaam is in aardappelen, is het noodzakelijk om inzicht in de precieze werking van Si op fosfaatbenutting, droogteresistentie en weerstand tegen ziekten te krijgen. Daarvoor is inzicht in zowel de plantfysiologie als in bodemprocessen nodig. Deze aspecten worden in de navolgende paragrafen en hoofdstukken behandeld.

3.2 *Opname en depositie van Si in de plant*

In sommige planten (niet-accumulerend) wordt Si passief opgenomen, in andere soorten (accumulerend) wordt het actief opgenomen. Volgens Raven (2001) kan via passief transport slechts zeer weinig Si worden opgenomen. De epidermis (opperhuid) is een barrière voor Si-transport. In de plant wordt Si op verschillende plaatsen afgezet (silificatie). De silificatie van de endodermis (binnenste laag van de schors, grenzend aan de centrale cilinder) fungeert als mechanische barrière tegen pathogenen en parasieten. Siliciumhoudende structuren in de plant worden phytolieten genoemd. Si wordt over lange afstanden getransporteerd in het xyleem, en relatief veel Si wordt afgezet in de wanden van de xyleemvaten. Dit is mogelijk belangrijk voor het tegengaan van compressie bij hogere transpiratie. Epidermale celwanden zijn geïmpregneerd met een siliconenlaag. Dit biedt bescherming tegen teveel waterverlies door transpiratie van de cuticula en tegen schimmelinfecties. In grassen is ook veel Si van het bladoppervlak intracellulair gelokaliseerd. Eenmaal in de plant afgezette Si, kan niet gerelokaliseerd worden.

Si is van belang voor de vorming van lignine, maar het levert ook extra stabiliteit door het afzetten van Si in gelnificeerde celwanden. Het werkt mee aan het versterken van celwanden, maar het kan ook de elasticiteit verhogen tijdens celextensie. De stevigheid van de plant wordt daarmee verhoogd. Het vermindert bijvoorbeeld de granlegering en zorgt ervoor dat het blad recht overeind blijft staan. Gomes

et al. (2008) melden een verhoogd percentage lignine in bladeren van aardappelen die een blad- of bodembemesting met Si hadden ontvangen in vergelijking met de onbemeste controle. Het effect van Si op plant architectuur wordt voor aardappelen bevestigd door Luz et al., 2008. Zij vinden in een veldproef dat een wekelijkse bladbemesting met K_2SiO_3 (14 bespuitingen tot oogst met 600 L waarin 0-0,2-0,4-0,6-0,8-1 % K_2SiO_3). De stand van het blad werd daarbij verbeterd door Si: bij toename van Si in mestgift nam de hoek van de bladstand af. Bij 1% K_2SiO_3 was het gehalte aan chlorofyl in de bladeren 22% hoger dan in de onbemeste planten. Daarbij nam ook de oogst van aardappelknollen (zowel totale omvang als de commercieel relevante groottes) toe. Ook Crusciol et al. (2009) vinden dat Si-bemesting het aandeel stengels dat de grond raakt (legeert) sterk vermindert.

Het effect van Si komt grotendeels van de depositie in de epidermis en is dus gerelateerd aan beschikbaar Si. De depositie van Si in de plant is afhankelijk van de leeftijd, het type en de locatie van de weefsels, en van opname via de wortel en transpiratie (Sangster et al., 2001). De opname door de wortel is afhankelijk van Si-, nutriënten- en watergehalten in de bodem, pH en bodemtype. Si wordt afgezet in de celwand, in de celinhoud en in intercellulaire ruimtes van wortel, stengel of blad. Hoe ouder de plant of het weefsel, hoe hoger het Si-gehalte. Over het algemeen zit er in de wortel het minste, in de stengel wat meer, en in het blad het meeste Si. Ook in de bloeiwijze is het Si-gehalte hoog.

In tarwewortels wordt Si met name afgezet in de endodermale celwanden. Wanneer deze gesilificeerd zijn, zal opgenomen Si naar de stengel getransporteerd worden. Het is niet duidelijk waarom alleen in de endodermale wanden Si wordt afgezet. Depositie van Si zou zowel passief als actief kunnen zijn. Met name op plaatsen waar veel Si aanwezig is (endodermis), zou het bijna wel actief moeten zijn.

3.3 *Bepaling Si-gehalte plant*

In diverse gewassen wordt het Si-gehalte bepaald. Verschillende procedés zijn daarvoor beschikbaar. In principe berusten deze op een totale destructie van het gewasmateriaal. Snyder (2001) geeft een overzicht van een aantal technieken. Eén ervan komt uit Nederland en wordt als zodanig ook toegepast. Het betreft een 'snelle' ontsluiting op basis van HCl en HF, welke de voorkeur heeft boven de klassieke methode van droog verassen gevolgd door samensmelting met natriumcarbonaat, of natte destructie met HF en HNO_3 in een gesloten systeem. De vaststelling van het Si-gehalte in gewasmateriaal vindt vooral plaats bij de teelt van rijst en suikerriet.

4 Resistentie tegen schimmels en ziekten

4.1 Werkingsmechanismen

Silicium wordt al honderden jaren gebruikt vanwege zijn profylactische eigenschappen met betrekking tot plantenziekten (vooral in de rijstteelt). De positieve effecten zijn vaak goed gedocumenteerd. Hoe Si op het plantafweersysteem ingrijpt is veel minder duidelijk (Ma & Yamaji, 2006).

Veel onderzoek is er verricht naar schimmelziekten bij rijst (Ishiguro, 2001). Bij rijst is het zo, dat hoe meer Si er toegediend wordt, hoe meer Si in het blad terecht komt. De gevoeligheid voor schimmelziekten gaat daarbij omlaag. De hogere resistentie is direct gerelateerd aan de Si-concentratie in het groeimedium en in het rijstblad. Bij rijst wordt Si met name afgezet in volwassen bladeren, terwijl 'rice blast (*Magnaporthe grisea*)' met name voorkomt in jonge bladeren. Ondanks dat heeft de toediening van Si een duidelijk positief effect en doet het de effecten van verhoogde gevoeligheid voor rice blast door een verhoogde stikstofbemesting bijna teniet.

Silicium lijkt daarbij ook een breed werkend afweermecanisme te bevorderen; de verhoogde weerstand is niet beperkt tot een of enkele pathogenen, maar wordt breed gevonden. Rodgers-Gray & Shaw (2004) onderzochten in Engeland het effect van Si op vier blad- en twee stengelgebaseerde pathogenen in tarwe. Daartoe zijn potproeven uitgevoerd met kalkrijke klei, twee lemige gronden en zandgrond en is er een potproef uitgevoerd met een mengsel van zand en vermiculiet. De hierop groeiende tarwe werd geïnfecteerd met de bladpathogenen (het zand- en vermiculietmengsel werd ook geïnfecteerd met de bodempathogenen). Twee keer per week werd 100 ml vocht toegediend met 0 of 100 mg Si l⁻¹. De resultaten zijn in Tabel 4.1 weergegeven. Het blijkt dat toediening van Si in alle situaties een lagere aantasting geeft. In een aantal gevallen is het effect significant. Rodgers-Gray & Shaw concluderen op grond van hun onderzoek dat positieve effecten van Si vooral optreden bij een hoge ziektedruk.

Tabel 4.1. Effect van Si op verschillende pathogenen bij tarwe (naar Rodgers-Gray & Shaw, 2004).

Pathoogeen	beoordeling	4 gronden		zand+vermiculiet	
		onbehandeld	Si % reductie*	onbehandeld	Si % reductie*
<i>Blumeria graminis</i>	% hevigheid	5	45^a	6	
<i>Mycosphaerella graminicola</i>	sporen (mg l ⁻¹)	330	-13		67^a
<i>Mycosphaerella graminicola</i>	% hevigheid			4	29
<i>Puccinia recondita</i>	% voorkomen	35	22	25	18
<i>Oculimacula yallundae</i>	% voorkomen	26	54^a	35	22
<i>Phaeosphaeria nodorum</i>	% hevigheid			5	31
<i>Fusarium culmorum</i>	hevigheid (0-5)			0,49	24

* ten opzichte van onbehandeld; ^a: statistisch significant effect

Op grond van het onderzoek bij de Si-accumulerende monocotylen rijst en graan werd lang gedacht dat een *passief* afweermecanisme door vorming van fysische barrières verantwoordelijk was voor de verhoogde ziekteresistentie (Nicholson & Hammerschmidt, 1992; Raid et al., 1992). Schimmels worden door deze barrière beperkt in de mogelijkheden om een plant te penetreren. Op plekken waar penetratie van fungi plaatsvindt, wordt extra Si afgezet rond de infectiehaard. Het optreden van een fysische

barrière bij rijst wordt door Ishiguro (2001) als verklaring geopperd. Ook bij dicotylen is extra afzetting van Si rond de infectiehaarden waargenomen (Heath, 1981). Dit versterkt de gedachte van een fysische barrière als oorzaak voor resistentie. Ook prikmetingen geven aan dat er een hogere weerstand voor penetratie is bij veel Si in de epidermis. Toch sluit Ishiguro (2001) niet uit dat er een andere verklaring is voor de werking van Si. Het feit dat Si wordt afgezet op geïnfecteerde plaatsen laat zich verklaren uit het feit dat gepolymeriseerd Si een sterke affiniteit heeft voor organische polyhydroxylcomponenten zoals orthodifenolen, welke betrokken zijn bij de synthese van lignine. Deze eigenschap verklaart de tendens van Si-accumulatie bij infectiehaarden. Met behulp van lignine tracht de plant de beschadiging van de celwand op te heffen en zo wordt er dus ook extra Si afgezet (Fawe et al., 2001).

Een tweede afweermechanisme, waarbij silicium een *actieve* rol speelt in plant-pathogeen interacties, komt naar voren uit onderzoek bij dicotylen, met name komkommer dat van de dicotylen het meeste onderzocht is. Hierbij heeft Si waarschijnlijk een signaalfunctie om afweerreacties te induceren. Bij komkommer zijn deze afweermechanismen van fenolische aard en komen overeen met een patroon typisch voor phytoalexinen, zoals voor het eerst gesuggereerd door Menzies et al. (1991b) en Chérif et al. (1994). Biochemisch onderzoek van Fawe et al. (1998) bevestigde de aanwezigheid van fenolische zuren en flavoniden in geïnfecteerde komkommerbladeren. De afweerwerking treedt alleen op zolang er oplosbaar Si beschikbaar is. In proeven met voedingsoplossingen, waarbij na verloop van tijd de Si-houdende oplossing vervangen werd door een oplossing zonder Si, verdween namelijk de afweerreactie tegen meeldauw, ondanks dat er Si in de plant aanwezig was (Samuels et al., 1991). Praktisch gezien betekent dit dus dat in een groeimedium voldoende gemakkelijk beschikbaar Si aanwezig moet zijn voor een optimale afweerreactie. Verder werd bij komkommer vastgesteld dat er een optimum is voor het Si-gehalte in de voedingsoplossing. Hogere gehalten dan 100 ppm gaven niet meer ziekteonderdrukking (Menzies et al., 1991a). Positieve effecten van silicium op het plant-pathogeen afweersysteem van dicotylen worden verder gemeld voor meeldauwaantasting bij meloen, courgette, roos en aardbei, en voor phytiumaantasting bij komkommer (Fawe et al., 2001; Ma & Yamaji, 2006).

Of er inderdaad een verschillend afweermechanisme bij monocotylen en dicotylen (respectievelijk een passief dan wel actief) ten grondslag ligt aan de verhoogde weerstand bij Si-bemeste planten was lang onduidelijk. Fawe et al. (2001) wezen erop dat bij monocotylen vooral gebruik gemaakt is van microscopisch onderzoek, terwijl bij dicotylen gebruik gemaakt is van biochemisch onderzoek. Een studie van Rodrigues et al. (2004) geeft aan dat ook bij rijst verhoogde gehalten aan phytoalexinen worden aangetroffen bij rijst geïnfecteerd met 'blast' bij aanwezigheid van Si. Fauteux et al. (2006) halen daarnaast nog een studie aan met tarwe waarin silicium bij besmetting met meeldauw (*Blumeria graminis*) leidde tot de aanmaak van glycosilaatfenolen, vergelijkbaar aan het afweersysteem in komkommer. Fauteux et al. (2006) concluderen dat zowel bij dicotylen als monocotylen Si een rol speelt in het stimuleren van het actieve afweersysteem tegen plantpathogen, een conclusie die wordt gedeeld door Ma & Yamaji (2006).

4.2 *Infectieziekten bij aardappelen.*

4.2.1 Schimmelziekten

Onderzoek naar een mogelijk effect van silicium op het afweersysteem bij niet-accumulerende planten zoals aardappel is pas recentelijk op gang gekomen. Goed gedocumenteerd onderzoek is derhalve nog niet voorhanden, maar er zijn wel aanwijzingen dat silicium de weerstand ook bij aardappelen tegen enkele pathogenen kan versterken.

Phytophthora infestans is de belangrijkste aardappelziekte. Enkele in Nederland commercieel belangrijke soorten zijn zeer vatbaar. De sporen verspreiden zich via de lucht en dringen de plant binnen via het blad of de stengel. De schimmel overleeft alleen in natte omstandigheden, maar zal een winter in de grond niet doorstaan. Duarte et al., 2008 vergeleken in een veldexperiment het effect van een bladbespuiting met kaliumsilicaat (60 g l^{-1}) en de fungiciden cimoxanil en mancozeb op de aantasting met *Phytophthora infestans* bij aardappel cv asterix. De fungiciden gaven een sterke reductie van de aantasting, van 72,5% naar 16,3 tot 29,5%, afhankelijk van dosering en combinatie. Bespuiting met kaliumsilicaat gaf geen reductie in de aantasting met *Phytophthora infestans*.

Verwelkingsziekte, *Verticillium dahliae*, is een schimmelziekte die leidt tot het vervroegd afsterven van het van gewas. De schimmel kan wel tot zes jaar in de bodem overleven en heeft veel waardplanten, waaronder akkerbouwgewassen. Ook met het pootgoed kan besmetting optreden. Millard et al. (2008) onderzochten het effect van silicium toevoegingen aan aardappelen, cv Caren, op de weerstand tegen *Verticillium dahliae* in een potproef. Vergeleken werden controle en toediening van $0,11 \text{ g kg}^{-1}$ grond zuiver Si (Si "fume" 100% Si), of toediening van $0,45 \text{ g kg}$ kalk (lime), slakkenmeel (slag met 30% Si) of vliegas (met 50% Si). De kalkbehandeling gaf een reductie van 91% van besmetting in de bladeren ten opzichte van de controle, en de siliciumbehandelingen gaven een reductie van 50, 96 en 100% voor respectievelijk zuiver Si "fume", slakkenmeel en vliegas. Hieruit blijkt dat Si een weerstandverhogend effect heeft. Millard et al. vermelden geen bodemmetingen. Slakkenmeel bevat naast silicium ook calcium. Vliegas bestaat naast Si grotendeels uit aluminium en ijzer. Kalk en Si dragen bij aan de reductie van *Verticillium* aantasting, waarbij kalk wat sterker lijkt te werken dan Si. In combinatie is de werking nog sterker.

Fusarium (droogrot) is een schimmelziekte die zowel in de grond als de knol kan voorkomen. Aantasting van de knol ontstaat vooral tijdens de bewaarperiode. Nxzumale et al. (2008) vergeleken de groei van de schimmel *Fusarium oxysporum* op een groeimedium van aardappeldextrose-agar met verschillende concentraties aan toegevoegd KSi, 0-5-10-20-40-80 ml KSi l^{-1} agar. Bij de concentraties 5-10-20 ml was er een groeistimulans, bij 40 ml was er een kleine groeiremming van 5% en bij 80 ml KSi was er een groeiremming van 92%. Toevoeging van KSi gaf een verhoging van de pH van het medium. Bij een gelijke verhoging van de pH met KOH in plaats van KSi aan het medium werd er geen groeiremming van de schimmel geconstateerd. De auteurs geven geen verklaring voor de groeistimulans bij de lagere concentraties. Verder onderzoek zal moeten duiden hoe deze resultaten geëxtrapoleerd kunnen worden naar de veldsituatie. In het algemeen wordt het effect van silicium verklaard als een verhoging van de weerstand van de plant door interne mechanismen, terwijl er hier een direct groeiremmend effect op de schimmel van hoge concentratie Si lijkt te zijn.

4.2.2 Bacterieziekten

Naast een verhoogde weerstand tegen schimmelpathogenen zou silicium ook de weerstand tegen bacterieziekten kunnen verhogen. Economische schade ten gevolge van de bacterieziekten zwartbenigheid en stengelnatrot in aardappels in Nederland bedragen 7-30 miljoen Euro per jaar (Van der Wolf & Van de Bovenkamp, 2009). Zwartbenigheid en stengelnatrot bij aardappelen worden veroorzaakt door *Erwinia* spp. Kenmerkend zijn een slijmerig en stinkend rot van de planten. Ook de knol kan worden aangetast, waarbij natrot ontstaat. De verantwoordelijke *Erwinia* soorten kunnen worden onderscheiden in *Erwinia carotovora subsp. atroseptica* (Eca), *E. carotovora subsp. carotovora* (Ecc) en

E. chrysanthemi (Ech)¹. *Erwinia*'s zijn bodemgebonden, maar kunnen vanuit de vegetatie ook via de lucht verspreid worden. Daarnaast zijn verspreiding via pootgoed en grond (via machines) ook primaire verspreidingsroutes. *Erwinia*'s produceren celwandafbrekende enzymen, waarbij vooral de pectine-splitsende enzymen een belangrijke rol spelen in het ontstaan van de typische rot (Van der Wolf 2004).

Van der Merwe et al. (2008) bekeken het effect van silicium en calcium bemesting op het gehalte aan phenolen en de weerstand van aardappelen die besmet waren met *Erwinia carotovora subsp. atroseptica* (*Pectobacterium carotovorum subsp. Brasiliensis*). Siliciumbemesting gaf een verhoging van het gehalte aan fenolen in de aardappelknol. Vergeleken met een enkelvoudige Si-bemesting gaf bemesting met een gecombineerde Ca- en Si-meststof een verbeterde weerstand tegen zwartbenigheid, wat duidt op een synergetisch effect van Ca en Si bij stengelnatrot en zwartbenigheid.

Het effect van calciumbemesting op de *Erwinia*-aantasting komt ook naar voren uit een literatuurstudie van Van der Wolf (2004). Calciumbemesting bleek hierin van invloed te zijn op de mate waarin knollen gevoelig zijn voor natrot. Calcium heeft een direct effect op de gevoeligheid van de middenlamel voor celwandsplitsende enzymen. Verder kan het de biosynthese van fytoalexinen, antimicrobiële plantenmetabolieten, stimuleren. Ook bij siliciumbemesting wordt de aanmaak van fytoalexinen in verband gebracht met verhoogde weerstand (Fateux et al., 2006).

Ringrot (*Clavibacter michiganensis subsp. Sepedonicus*) en bruinrot (*Ralstonia solanacearum*) zijn bacterieziekten in aardappelen die de quarantaine status hebben. Dit betekent dat Nederland gehouden is aan restricties en maatregelen in EU-verband om voorkomen en verspreiding tegen te gaan. Zo kan bruinrot voorkomen in het oppervlaktewater, wat aanleiding heeft gegeven tot een beregeningsverbod bij de teelt van pootaardappelen in geheel Nederland, en in de zogenaamde risicogebieden bij de teelt van alle aardappelen. Ingeval bruinrot of ringrot aangetroffen wordt heeft dit grote gevolgen voor het betreffende bedrijf: beperkingen gelden zowel voor de afzet als voor het bouwplan van de komende jaren. Selectie en veredeling op resistentie is tot nu toe niet succesvol gebleken, enerzijds omdat de resistentie-eigenschappen niet stabiel bleken en anderzijds omdat er een zeer grote genetische diversiteit is binnen de *R. solanacearum* soorten (Sadikaj et al., 2008). Bruinrot veroorzaakt verwelking van de planten en stinkende knolrot, ringrot geeft een rot in de vaatbundelring in de knol.

Sadikaj et al. (2008) onderzochten het effect van silicium op de weerstand van aardappel tegen bruinrot veroorzaakt door de bacterie *Ralstonia solanacearum*. Silicium verlaagde de aantasting door bruinrot bij twee matig gevoelige soorten, maar gaf geen effect bij een gevoelige soort. Hierbij was er een relatie tussen specifieke eiwitten in de celwand en plantresistentie. Eerder onderzoek bij tomaat (evenals aardappel een niet-accumulerend gewas behorend tot de familie *Solanacea*) liet eveneens zien dat silicium de aantasting door bruinrot bij tomaat verlaagde door de inductie van gen dat gerelateerd was aan verdedigingsmechanisme (Dannon et al., 2004). Bij inoculatie met *Ralstonia solanacearum* reageerden tomatenplanten met Si-bemesting met de aanmaak van metabolieten fenylalanine ammonialyse en andere fenolen en met veranderingen in de pectine-polysaccharide structuur in de celwand (Diogo & Wydra, 2007).

¹ Onlangs zijn de *Erwinia* spp. opnieuw ingedeeld en herbenoemd. Eca en Ecc zijn herbenoemd tot resp. *Pectobacterium carotovorum subsp. atrosepticum* en *P. carotovorum subsp. carotovorum*. Ech was al eerder opgedeeld in negen verschillende biovars, die verschilden in hun vermogen specifieke substraten, zoals suikers af te breken (van der Wolff, 2004).

Naar het effect van silicium bij het verhogen van de weerstand tegen ringrot is voor zover bekend geen onderzoek verricht, ook niet bij andere planten dan aardappel.

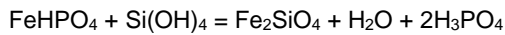
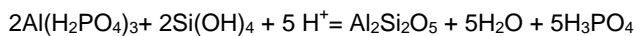
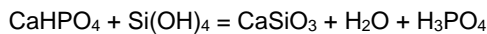
4.3 *Luizen*

Op internet wordt regelmatig gemeld dat Si de plant versterkt en ook luizen onderdrukt. In de wetenschappelijke literatuur zijn echter geen publicaties gevonden die dit staven.

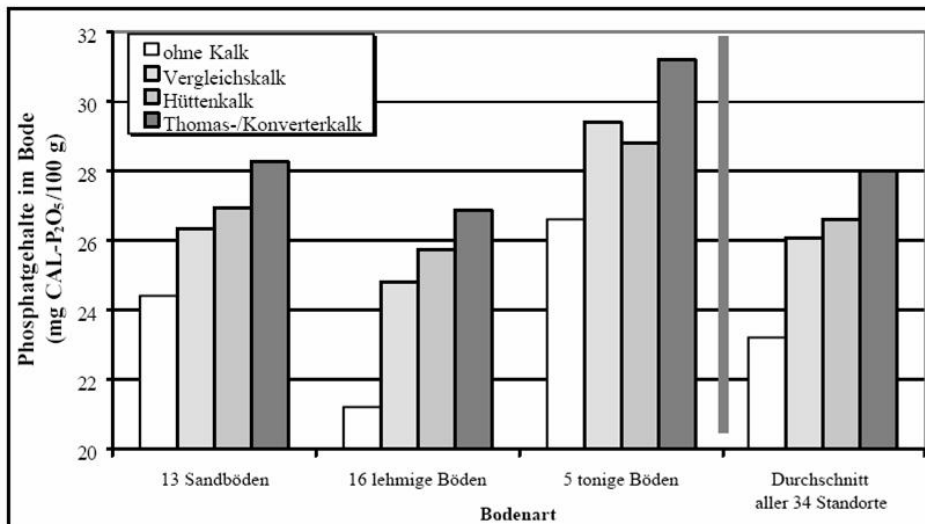
5 Benutting voedingsstoffen: P

5.1 Algemeen

Al lange tijd is bekend dat monosiliciumzuur van invloed is op de P-beschikbaarheid (Hall & Morrison, 1906). De laatste 10-20 jaar wordt echter duidelijker hoe Si en P interacteren. Vastgesteld is dat verschillende Si-meststoffen (amorf SiO₂, silicagel, calcium-, kalium- of natriumsilicaten) de hoeveelheid mobiel fosfaat in de bodem kunnen verhogen (Gladkova, 1982; Matichenkov & Ammosova, 1996; O'Reilly & Sims, 1995; Singh & Sarkar, 1992). Berekningen van Matichenkov & Ammosova (1996) geven aan dat dit berust op vervanging van het fosfaatanion door het silicaatanion en wel op de volgende wijze:



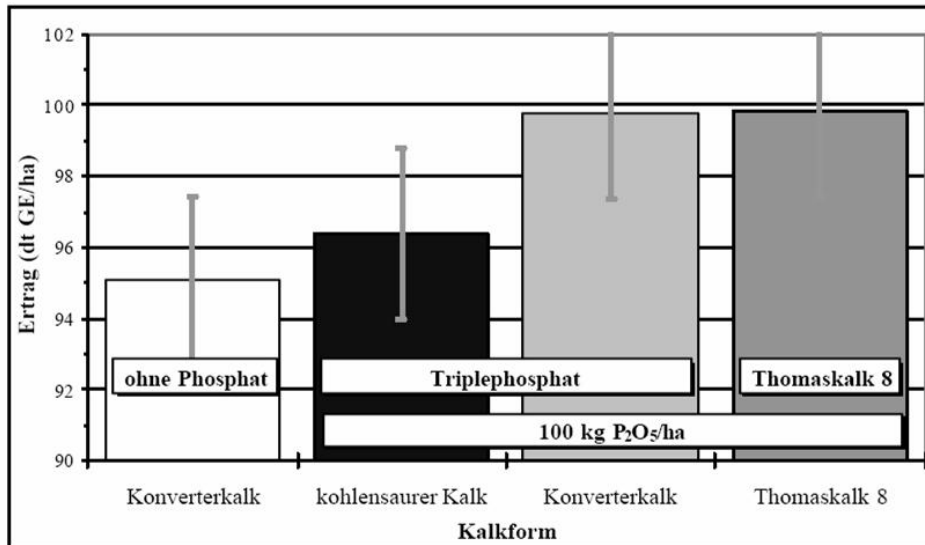
Experimenten (Matichenkov & Bocharnikova, 2001) laten zien dat de hoeveelheid oplosbaar P nauwelijks wordt verhoogd door kristallijne silicaten (Tabel 5.1) in tegenstelling tot silicaatslakken waarin monosiliciumzuur aanwezig is. Het betrof systemen met relatief weinig oplosbaar P. Matichenkov & Bocharnikova (2001) toonden verder aan dat de P-oplosbaarheid voor de vier genoemde P-verbindingen steeg naarmate de concentratie siliciumzuur toenam. In gronden met een hoge adsorptie-affiniteit voor P door de aanwezigheid van veel Al en Fe, leidt toevoegen van Si tot een hogere P-beschikbaarheid (Koski-Vahala et al., 2001). Ook uit experimenten van Rex (2000) blijkt dat het silicaat in slakken (kalkmeststoffen die als bijproduct ontstaan in de ijzerertsindustrie) positief werkt op de fosfaatbeschikbaarheid in de bodem bepaald met calcium-ammonium-lactaat (Figuur 5.1).



Figuur 5.1. Fosfaatmobilisering in de bodem op diverse locaties bij vergelijkbare P-bemesting en CaO-gift (uit Rex, 2000).

Bovendien werd er een hogere opbrengst verkregen bij eenzelfde fosfaatgift in combinatie met verschillende kalken (Figuur 5.2). Gezien het niveau van fosfaatbemesting van 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ is de

meeropbrengst bij konverterkalk ten opzichte van koolzure kalk waarschijnlijk toe te schrijven aan Si en niet aan een betere P-beschikbaarheid.



Figuur 5.2. Opbrengstveranderingen door kalk- en fosfaatbemesting op twee proeflocaties over de periode 1991-2000 (uit Rex, 2000).

Daarentegen vonden Ma et al. (2001) geen duidelijk bewijs dat Si de P-beschikbaarheid in gronden beïnvloedt voor situaties met een lage P-beschikbaarheid. De oorzaak van deze tegenstellingen kan berusten op verschillende uitgangssituaties en experimentele omstandigheden. Volgens Ma (2001) berust het positieve effect van Si bij P-gebrek in rijst dan ook niet op een verbeterde opname van P, maar op een verhoogde translocatie van P van wortel naar bovengrondse (oogstbare) delen.

Tabel 5.1. Het effect van verschillende silicasubstanties op de P-oplosbaarheid.

	CaHPO ₄		Ca ₃ HPO ₄		Al(H ₂ PO ₄) ₃		FePO ₄	
	P, µg l ⁻¹	pH	P, µg l ⁻¹	pH	P, µg l ⁻¹	pH	P, µg l ⁻¹	pH
H ₂ O	6,1	7,21	29	6,89	112,4	2,23	163,2	3,83
super fijn silicaat								
300 m ² g ⁻¹	73,0	6,98	28,8	6,89	112,4	2,23	163,2	3,83
30 m ² g ⁻¹	62,4	7,18	30,9	6,91	189,3	2,30	161,8	4,04
kwarts	64,6	7,14	25,6	6,98	-		168,2	3,88
calciumsilicaat-slakken	256,4	5,55	31,0	6,60	206,7	2,21	198,2	3,8

Silicaatmeststoffen en silicaathoudende slakken kunnen P adsorberen. Toevoegen van P-oplossingen (tot concentraties van 10 mg l⁻¹) aan verschillende substanties liet zien dat CaSiO₃ en silica bevattende slakken effectiever P adsorberen dan CaCO₃ en amorf SiO₂ (Matichenkov & Bocharnikova, 2001). Bovendien leidde dit in kolomexperimenten tot een geringere uitspoelingsgevoeligheid van P. Dit ging echter niet koste van de P-beschikbaarheid voor de plant, zo gaven extracties met zowel water als zuur aan. Op basis van de resultaten van Matichenkov & Bocharnikova (2001) onder geconditioneerde condities blijkt dus dat bij lage P-gehalten P beter beschikbaar wordt in aanwezigheid van Ca-silicaten

en silicaat bevattende slakken (uit de ijzerertsindustrie). Bij hoge gehalten daarentegen verandert de beschikbaarheid voor de plant niet en lijkt door het goede adsorptiegedrag de uitspoelingsgevoeligheid af te nemen.

5.2 Effect Si op P-opname door en translocatie in het gewas

Dat Si bij diverse gewassen, zoals rijst en gerst, een positief effect op de opbrengst heeft is al lang bekend (Ma & Takahashi, 2002). In de klassieke Broadbalk en Hoosfield experimenten bleek de opbrengst van gerst te Hoosfield te stijgen van 2,03 tot 2,31 ton ha⁻¹ tussen 1868 en 1966 en van 2,94 tot 3,83 ton ha⁻¹ tussen 1968 en 1979 (Dyke, 1980). Over de laatstgenoemde periode gaf Si-bemesting een meeropbrengst van 1,3 ton ha⁻¹ zonder P-bemesting, wat bijna evenveel was als de meeropbrengst die verkregen werd met bemesting met superfosfaat. Op land dat sinds 1852 elk jaar met P werd bemest gaf bemesting met Si gemiddeld 0,4 ton ha⁻¹ meeropbrengst. Bij bemestingen met 96 en 144 kg N ha⁻¹ was het effect groter. Zonder N-bemesting was er een klein effect op de opbrengst. Ook bij proeven met rijst blijkt de P-werking van P-meststof toe te nemen in aanwezigheid van Si.

Lange tijd werd gedacht dat Si de P-beschikbaarheid in gronden verhoogt. Dat hoeft volgens Ma et al. (2001) niet alleen het geval te zijn. In watercultuur experimenten met rijst toonden zij aan dat bij een gebrekkige P-voorziening de aanwezigheid van Si niet zozeer de P-opname maar de translocatie van P in de plant naar de panicle (bloemtop) bevordert (Tabel 5.2). Bij P-concentraties in de watercultuur van 25 en 12,5 µM is de totale P-opname weliswaar iets verhoogd, maar door de hogere opbrengst is het P-gehalte in de plant gelijk of zelfs iets lager bij Si-bemesting.

Tabel 5.2. Effect van Si-toediening op groei en opbrengst van rijst bij P-gebrek (uit Ma et al., 2001).

	Si	P-concentratie, µM			
		200	50	25	12,5
scheutgewicht, g ds	-	80,3	68,6	46,9	29,6
	+	79,1	70,8	53,1	35,0
wortelgewicht, g ds	-	9,3	9,9	9,1	7,9
	+	9,4	7,8	6,8	5,5
korrelgewicht, g ds	-	20,8	18,7	15,1	9,1
	+	21,7	22,4	23,4	12,9
P-opname, mg per plant	-	176,2	53,9	29,0	18,4
	+	161,5	53,1	32,9	20,0
snelheid van P-translocatie naar de de panicle, %	-	31,0	46,0	37,0	35,0
	+	29,0	56,0	54,0	50,0

De vraag is of een verandering in P-beschikbaarheid ook teruggevonden wordt in de P-opname door aardappel. Vooralsnog zijn er geen gegevens over het effect van Si op de opname of translocatie van P bij aardappel.

5.3 Effect Si op P-opname door lagere pH en verminderde toxiciteit Al en Mn

Si-meststoffen hebben een basische werking, waardoor de pH stijgt en Al en Mn minder goed oplosbaar worden. Op gronden met een pH-KCl van 4,5 of lager is de opbrengst veelal suboptimaal door een toenemende beschikbaarheid van H, Al en Mn, waardoor wortelopnameprocessen belemmerd worden.

Een van de meest zichtbare symptomen van aluminium toxiciteit is dan ook een P-gebrek veroorzaakt door een slecht ontwikkeld wortelstelsel.

Vrij beschikbaar Si heeft naast een indirect effect op Al en Mn toxiciteit via pH-verhoging ook een direct effect. Er kunnen Si/Al-complexen ontstaan, waardoor de activiteit van Al in de bodemoplossing afneemt (Ma et al., 1997) of Al adsorbeert of silicaatoppervlakken (Matichenkov & Bournikova, 2001). Dit schijnen echter niet de belangrijkste effecten te zijn. Silicium vermindert ook de opname van Al door de plant (Epstein, 1999), vermindert de remming van de wortelstrekking bij Al-toxiciteit en kan interacties aangaan met Al in de plant (Cocker et al., 1998), waarbij co-depositie van Si/Al optreedt. Hodson & Evans en Cocker et al. (1998) geven meer achtergrondinformatie over mogelijke mechanismen. Bij Mn treden soortgelijke mechanismen op. In de review van Ma et al. (2001) wordt aangegeven dat de aanwezigheid van Si (i) het oxidatievermogen van wortels (zoals bij rijst) kan verhogen, (ii) de verdeling van Mn door de plant kan bevorderen (zie ook Jarvis & Jones, 1987) en (iii) Mn in de plant kan vastleggen in de vorm van Mn/Si-verbindingen.

Diverse experimenten, ook bij andere gewassen dan rijst, geven aan dat de hogere P-beschikbaarheid in de plant veroorzaakt wordt door een geringere opname van Mn en Fe bij aanwezigheid van Si (Thiagalingam et al., 1977; Ma et al., 2001; Epstein, 1999; Meyer & Keeping, 2001).

Owino-Gerroh & Gascho (2004) vonden bij proeven met maïs en natriumsilicaattoediening op zure en P-arme gronden een hogere maïsofbrengst. Zij schrijven dit vooral toe aan de pH-verhogende werking van natriumsilicaat, waardoor de P-sorptie van de grond afneemt. Bovendien zijn de groeicondities beter bij een hogere pH. Op zeer zure en P-arme gronden op de Phillipijnen (Duque & Samonte, 1990) gaf Si-toediening een verhoging van de hoeveelheid beschikbare P in de grond. De efficiëntie van toegediende P nam toe bij toediening van silicaten. De betere opbrengst in deze proeven kan echter mede het gevolg zijn van de opgetreden pH-stijging bij toediening van Si of fosfaat. Er is dan minder schade als gevolg van hoge, beschikbare Al-concentraties in de grond en de P-vastlegging neemt af. Tuisiri & Blue (1984) vonden daarentegen slechts een beperkt effect van Ca-silicaattoediening aan een sterk verweerde tropische grond (Ultisol). Zij concludeerden dat het saldo-technisch gezien waarschijnlijk niet aantrekkelijk is om Ca-silicaat te gebruiken.

Fassbender & Muller (1967) vonden in kasproeven wisselende resultaten bij toediening van fosfaat plus Si. In een aantal gevallen was de opbrengst duidelijk hoger bij toediening van fosfaat plus Si dan bij alleen toediening van fosfaat. De beste effecten werden verkregen op zure gronden. Dit duidt deels op een pH-effect. In 1966 heeft Bair een onderzoek uitgevoerd naar het gehalte aan Si in maïs. Vastgesteld werd dat in 2 gebieden hoge opbrengsten gepaard gingen met hoge Si-gehalten in de plant. In het algemeen gold dat een hoog gehalte aan oplosbaar Si in de grond ook een hoog gehalte aan Si in de plant betekende. Er werd geen relatie gevonden tussen het Si- en het P-gehalte in het blad. Indien Si vooral het P-transport in de plant verbetert, dan is dat ook niet te verwachten.

In (sub)tropische gebieden is de bodem vaak zo zuur (<pH 4,0) dat aluminium- en mangaantoxiciteit een belangrijke groeilimiterende productiefactor is. In Nederland is de pH van akkerbouwgrond niet zo laag dat een groeiremming door Al of Mn toxiciteit optreedt.

6 Droogtetolerantie en efficiënt watergebruik

6.1 Algemeen

Voor fotosynthese nemen planten via de huidmondjes (stomata) kooldioxide op en geven ze zuurstof af. Daarbij vindt ook verdamping van water plaats. Deze verdamping is deels ook nodig, want het zorgt voor de koeling van de bladeren. Het verlies aan water wordt gecompenseerd door nalevering vanuit de bodem. Zodra deze nalevering afneemt (bij een droge bodem) sluiten de huidmondjes gedeeltelijk. Vanaf een zekere kritische grens neemt dan de fotosynthese af en daarmee de drogestofproductie. Deze grens is afhankelijk van het ontwikkelingsstadium, van de bodemeigenschappen en van de vochtvraag. De transpiratiecoëfficiënt (het aantal liter (of kg) water dat het gewas verdampt voor het produceren van een kg oogstbare droge stof) is een maat voor de efficiëntie waarmee planten met water omgaan. Bij aardappelen bedraagt deze 182-278 kg water per kg droge stof (Vandenbosch et al., 2000). Deze lage waarde hangt samen met het grote aandeel oogstbare droge stof. Een gebrekkige vochtvoorziening tijdens de periode tot knolinitiatie leidt tot een lager aantal knollen per plant, terwijl een gebrekkige vochtvoorziening tijdens de knoldikkingsperiode de uiteindelijke opbrengst sterk reduceert. Berekening van aardappelen is daarom bijna altijd gunstig voor op droogtegevoelige gronden en verdient zich snel terug (Vandenbosch et al., 2000). Volgens Vandenbosch et al. is een gebrekkige vochtvoorziening gedurende het groeiseizoen een belangrijke oorzaak voor het achterblijven van de productie ten opzicht van de mogelijke productie. Het verlies aan opbrengst is recht evenredig met de vermindering van het waterverbruik. Berekening kan een meeropbrengst tot wel 94% geven (Elssen 1995 in Vandenbosch et al. 2000). Naast opbrengstverlies is er een effect op de kwaliteit: vochttekort geeft een (ongewenste) verhoging van het droge stof gehalte, waarbij de gevoeligheid voor rooibeschatting en stootblauw toeneemt. Daarnaast resulteert vochttekort in een slechtere sortering, met meer uitval (<3,5 cm) en een lager aandeel grove sortering (>5,5 cm) dan in een situatie zonder vochttekort. Ook neemt het risico van aantasting door schurft bij droogte toe. Tegenwoordig is beregenen lang niet altijd meer mogelijk of is het streven zo efficiënt mogelijk om te gaan met water. In verband met het tegengaan van de quarantaineziekte bruinrot is er in heel Nederland een verbod op het beregenen van pootaardappelen met oppervlaktewater, en in de risicogebieden geldt dit verbod voor alle aardappelen.

Silicium kan bescherming bieden tegen vochtverlies. Siliciumhoudende structuren in de plant worden phytolieten genoemd. Zoals in paragraaf 3.2 is weergegeven, wordt Si afgezet in de celwand, in de celinhoud en in intercellulaire ruimtes van wortel, stengel of blad. Hoe ouder de plant of het weefsel, hoe hoger het Si-gehalte. Over het algemeen zit er in de wortel het minste, in de stengel wat meer en in het blad het meeste Si. Silicium kan over lange afstanden worden getransporteerd in het xyleem en er wordt relatief veel Si afgezet in wanden van de xyleemvaten. Dit is mogelijk belangrijk voor het tegengaan van compressie bij hogere transpiratie. Epidermale celwanden zijn geïmpregneerd met een siliconenlaag. Dit biedt bescherming tegen teveel waterverlies door transpiratie van de cuticula.

6.2 Rijst en tarwe

Er is veel onderzoek verricht naar het effect van Si bij vochttekort bij rijst en granen. Volgens Ma et al. (2001) kan Si vochtstress verminderen door de transpiratie te verlagen. De transpiratie van bladeren wordt gereguleerd door de huidmondjes (stomata) en de cuticula (een waslaagje boven op de epidermis van het blad, dat het blad beschermt tegen uitdrogen). Dit waslaagje wordt door de cellen van de

epidermis geproduceerd. Bij rijstplanten is deze laag zeer dun. Bij aanwezigheid van Si kan een Si-cuticula dubbellaag ontstaan, waardoor de transpiratie afneemt (Ma et al., 2001). De watergebruiksefficiëntie neemt toe naarmate het Si-gehalte stijgt.

Tabel 6.1. Effect van Si-toediening bij rijst. De transpiratie is gedurende 72 uur gemeten voor rijst met verschillende Si-gehalten (uit Ma et al., 2001).

SiO ₂ -gehalte, %	transpiratie, g H ₂ O g ⁻¹ ds
0,02	200,3
1,59	181,7
10,29	168,0
13,22	154,4

Vochttekort zorgt ervoor dat de huidmondjes dichtgaan, waardoor de fotosynthesesnelheid afneemt. De groei van rijst wordt daardoor meer gestimuleerd in een situatie met een lage relatieve vochtigheid dan bij een hoge relatieve vochtigheid. In alle groeistadia van rijst vermindert Si de transpiratiesnelheid. Ma & Takahashi (2002) laten hiervan diverse voorbeelden zien. Beperkingen van 20-30 procent zijn goed mogelijk. Juist het verminderen van de transpiratiesnelheid bij toediening van Si kan ervoor zorgen dat er minder Na wordt opgenomen door de plant. Bij experimenten met rijst, groeiend in een watercultuur, had toedienen van een NaCl-oplossing bij aanwezigheid van Si een veel geringer negatief effect op de opbrengst dan zonder Si (Matoh et al., 1986).

In 46 Australische veldproeven over 4 groeiseizoenen (Schultz & French, 1976) is gekeken naar het Si-gehalte in de bladtoppen van tarweplanten gedurende de groeicyclus van tarwe. Er kon geen duidelijk effect worden vastgesteld tussen het Si-gehalte en de graanopbrengst. Wel was er een significante correlatie tussen het watergebruik en het Si-gehalte in bladtoppen en het kaf. Daarbij werd 77 procent van de variatie in watergebruik verklaard uit het Si-gehalte in de bladtoppen. Schultz & French (1976) geven aan dat het Si-gehalte echter geen geschikte parameter is voor het vaststellen van de efficiëntie van het watergebruik. Ook Merah et al. (1999) vonden geen duidelijke relatie tussen de graanopbrengst en het Si-gehalte bij watertekorten.

Ook in de recente literatuur wordt een aantal keren gemeld dat Si-toediening de nadelige effecten van vochttekorten verminderd of zelfs opheft. Pandey & Yadav (1999) meten een hogere graanopbrengst in een potproef met tarwe die 2 keer besproeid is met een 100 ppm Si-oplossing in vergelijking tot niet sproeien. De tarweplanten hadden met Si een hoger vochtgehalte en meer productieve scheuten. Opgemerkt moet worden dat het sproeien zelf natuurlijk ook een positieve invloed gehad kan hebben. Om dit effect uit te sluiten had de controle met alleen water besproeid moeten worden. De grootte van de effecten is afhankelijk van de tarwesoort. Een droogtegevoelige soort had meer baat bij de behandeling dan een niet droogtegevoelige soort. Gong-Haijun et al. (2003) vonden in een potproef met tarwe bij een goede vochtvoorziening een hogere drogestofopbrengst bij de behandeling met Si-toediening voor de zaai van tarwe. Het achterwege laten van irrigatiewater gedurende 12 dagen bij 26 dagen oude zaailingen had in de met Si behandelde potten geen effect op de opbrengst, terwijl deze sterk terugliep voor de behandeling zonder Si. Gong-Haijun et al. (2003) suggereren dat Si-toediening een middel kan zijn om de graanproductie in aride en semi-aride gebieden te verhogen. Later stelden Gong-Haijun et al. (2005) vast dat Si de netto assimilatiesnelheid van tarwebladeren verhoogde in een situatie van vochttekorten. Zij vermoeden dat dit wordt veroorzaakt door een beter antioxidant verdedigingsmechanisme, waardoor minder oxidatieschade optreedt. Ook bij een andere graansoort,

sorghum, zijn duidelijke effecten van Si gevonden. Onder droge omstandigheden gaf Si-toediening een hogere opbrengst (Hattori et al., 2005). Er kon meer water aan de grond worden onttrokken en de stomatal conductance bleef op een hoger peil dan zonder Si. Onder natte omstandigheden was er geen effect van Si. Zij suggereren dat Si-toediening nuttig kan zijn om de droogtetolerantie van sorghum te verhogen. De betere droogteresistentie wordt toegeschreven aan de silificatie van de endodermis van de plantenwortel (Lux et al., 2002).

6.3 Aardappelen

Fang & Ma (2006) onderzochten het effect van silicium op de groei van aardappelplantjes in kweekbuisjes. Toevoeging van silicium aan het groeimedium resulteerde in langere en zwaardere stengels en meer en langere wortels, en in een significant lagere respiratiesnelheid. Het beste resultaat werd verkregen met een concentratie van 5 mmol (300 mg) siliciumzuur per liter in de oplossing.

Het effect van silicium bij droogtestress bij aardappelen is onderzocht door Pulz et al (2008) en Crusciol et al (2009). Daarbij werden aardappelen (cv Bintje) geplant in bakken van 50 dm³ met een effectieve diepte van 30 cm. Silicium (284,4 mg dm⁻³) werd toegediend in de vorm van Ca- en Mg-silicaat, met als controle dolomietkalk. Dit resulteerde in concentraties van opgelost Si van 2,4 (dolomiet) en 3,8 mg dm⁻³ (ruwweg 480 en 760 kg Si per ha bij een bouwvoor van 20 cm) na incubatieperiode van 30 dagen. Vochtspanning werd constant gehouden op -0,020 dan wel -0,050 MPa. Veertig dagen na opkomst werden bladeren geoogst voor chemische analyses, de oogst vond plaats 87 dagen na opkomst. De Si-concentratie in de bladeren was verhoogd door Si-bemesting en door droogtestress. Het gehalte aan proline was verhoogd bij Si-bemesting en vochttekort. Proline is een aminozuur dat bij vochttekort kan worden aangemaakt in de bladeren maar ook snel weer kan worden afgebroken, waardoor het het osmotisch potentiaal kan beïnvloeden en de cellen tegen denaturatieprocessen kan beschermen. Si-bemesting verlaagde tevens het aantal stengels die de grond raakten, resulteerde in een hogere oogsten en een hoger gemiddeld knolgewicht, vooral bij de behandeling zonder vochttekort (Tabel 6.2).

Tabel 6.2 Effect van vochtvoorziening en Si-bemesting op stengellegering, knolgewicht en oogst in veldproef, met aardappelen cv Bintje (Crusciol et al., 2009).

vocht	stengellegering		gemiddeld knolgewicht		oogst	
	%		gram		gram plant ⁻¹	
	-Si	+Si	-Si	+Si	-Si	+Si
voldoende	63,4	36,8	25,6	36,0	868,3	1014,6
stress	58,8	40,5	31,6	30,1	788,5	878,3

6.4 Zouttolerantie

De droogte- en de zouttolerantie van gewassen hangen nauw samen. Dit komt omdat in beide gevallen de plant door de hogere osmotische spanning van het bodemvocht grotere weerstand ondervindt om water op te zuigen. De zoutconcentratie is dan ook sterk bepalend voor de vochtopname van gewassen. Bij uitdrogen van grond stijgt de zoutconcentratie. Ook bemesting met meststoffen kan de zoutconcentratie (tijdelijk) sterk doen toenemen en de opname van water bemoeilijken. De zouttolerantie van gewassen verschilt sterk. De zoutconcentratie wordt in de regel gemeten door het meten van de EC (Elektrische Conductiviteit ofwel elektrische geleidbaarheid) van de oplossing. Deze wordt veelal uitgedrukt in mS cm⁻¹, of zelfs µS cm⁻¹, de geleidbaarheid van een oplossing bij meetelektroden die op 1 cm afstand van elkaar staan. In grond wordt deze vastgesteld op basis 1:2 volume-extract.

Zoutstress is vooral bekend uit de aride gebieden. Onder de Nederlandse omstandigheden komt het niet vaak of beperkt voor en is het vaak tijdelijk van aard, zoals kort na een bemesting. De uitzonderingen zijn de gebieden waar verzilting optreedt (door zoute kwel) en in droge warme zomers, waarbij door capillaire opstijging het zoutgehalte van de toplaag kan toenemen. Verzilting wordt gezien als een toenemend probleem. In de gebieden waar dat nu al optreedt kan Si-toediening de nadelige effecten voor gewasgroei mogelijk verminderen (naast andere maatregelen, zoals een andere gewaskeuze die hier verder buiten beschouwing worden gelaten).

De meeste resultaten zijn bekend voor rijst. Si zorgt voor een verlaagde Na-opname in zoute condities (Yeo et al., 1999; Rao, 2000). Bij een rem van de groei door een overmaat aan zout, kan Si dit deels verminderen: Yeo et al. (1999) vonden een groeireductie van 64 procent in plaats van 70 procent bij het toevoegen van Si onder zoute condities. Onder zoute condities verlaagt Si de Na-concentratie in het blad en verhoogt het de assimilatiesnelheid en stomatale geleidbaarheid. Yeo et al. (1999) toonden daarmee aan dat een lagere Na-opname niet veroorzaakt werd door een lagere transpiratie.

In de literatuur wordt voor diverse andere gewassen gemeld dat Si de nadelige effecten van hoge zoutgehalten in het groeimedium teniet kan doen of sterk kan verminderen. De zouttolerantie verbetert bij gebruik van Si. In een proef van Ahmad et al. (1992) met tarwe nam bij een hogere zoutconcentratie in de bodem, de hoeveelheid natrium (Na) in de plant toe. De Na-concentratie in de plant nam weer af wanneer Si toegevoegd werd, door de verhoogde Si-opname in de wortels. Dit suggereert (zonder dat het direct bewijst) dat oplosbaar Si mogelijk bindt met Na in de wortels, waardoor de verplaatsing van Na naar stam en blad verminderd wordt. Het effect van zout op afrijpen van de zaden en het verschijnen van het blad wordt verminderd door Si, en het droge gewicht van de scheuten nam significant toe wanneer bij 0,6 procent zoutsterkte 20 ppm Si toegevoegd werd aan het groeimedium. Het droge gewicht van de wortels bleef gelijk (Ahmad et al., 1992). Het toevoegen van Si bij aanwezigheid van NaCl reduceert het remmende effect van de zouten. Verder gaat het aantal spruiten omhoog bij toevoegen van Si zowel onder zoute, als onder niet-zoute condities (Ahmad et al., 1992). Trivedi et al. (2004) vinden eveneens een positief effect van Si op de groei van tarwe onder zoute omstandigheden. Toevoegen van Si aan zoute voedingsoplossing leidde tot een sterke vermindering van de groeiremming, vooral door een verlaging van de Na-opname. Het chlorofylgehalte in de plant kon zich herstellen. Liang-YongChao et al. (2003) vond een sterke toename van de enzymactiviteit in gerstplanten met zoutstress bij toevoeging van Si. In een eerder onderzoek van Liang-YongChao (1999) en Liang-YongChao et al. (1996) werd eveneens aangetoond dat Si de Na-opname verlaagde en de K-opname verhoogde.

Er is geen onderzoek gevonden waarin het effect van silicium op de zouttolerantie bij aardappelen is onderzocht.

7 Bemesting met Silicium

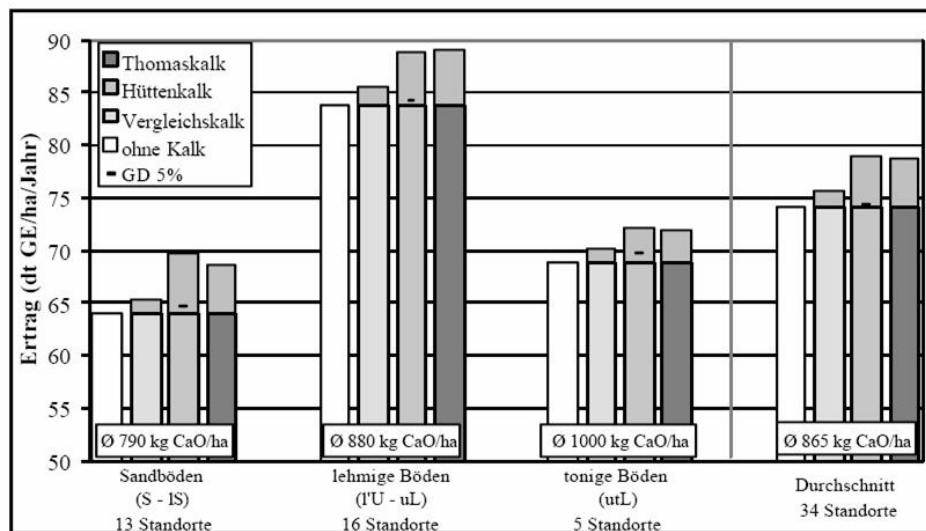
7.1 Reden voor bemesting

Op basis van het voorafgaande zijn er sterke aanwijzingen dat Si-bemesting een positief effect heeft op de

- fosfaatbeschikbaarheid/benutting;
- resistentie tegen schimmels en bacterieziekten; en
- droogtegevoeligheid en zoutstress.

Naar verwachting verschilt de beschikbaarheid van Si sterk tussen grondsoorten (hoewel daar weinig Nederlandse informatie over beschikbaar is), met de laagste beschikbaarheid op de zandgronden. Juist op deze gronden kan een hoger gehalte welkom zijn te vermindering van de droogtegevoeligheid en ter verbetering van de resistentie tegen schimmels en plagen. De vraag is dan welke Si-meststoffen komen daarvoor in aanmerking en zijn er duidelijke opbrengsteffecten te verwachten.

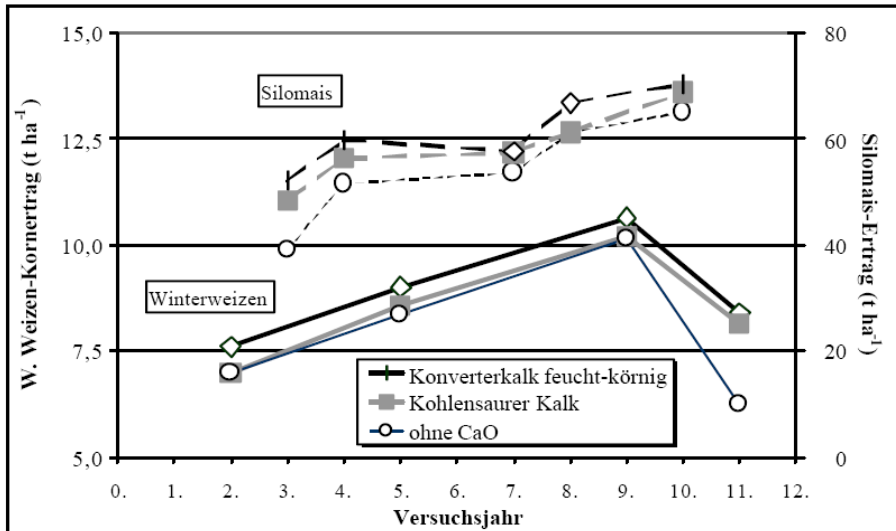
In voorgaande hoofdstukken is ingegaan op de positieve effecten van Si met betrekking tot fosfaatbeschikbaarheid, ziekteverendheid en droogtegevoeligheid. Positieve effecten zijn regelmatig aangetoond, maar vaak in het verre buitenland. Er zijn relatief weinig proeven in West-Europa met silicaathoudende meststoffen. Een belangrijke uitzondering hierop zijn proeven met 'slakken' (kalkmeststoffen met een hoog aandeel kiezelzuur). In Duitse veldproeven (Rex, 2000) op 34 locaties gedurende de periode 1975 en 2000 werden bij gebruik van silicaathoudende kalkmeststoffen significant hogere opbrengsten gevonden ten opzichte van normale kalkmeststoffen (Figuur 7.1)



Figuur 7.1. Opbrengst door bekalking met verschillende kalkvormen met (Hüttenkalk, Thomaskalk) en zonder silicaat (Vergleichskalk) (uit Rex, 2000).

Deze proeven zijn vooral met akkerbouwgewassen uitgevoerd. Maar ook uit een voorbeeld van bekalking van maïsland (Figuur 7.2) blijkt dat kalk positief uitwerkt op de maïsopbrengst en dat daarbij silicaathoudende kalk (in deze proef) een hogere opbrengst geeft dan koolzure kalk. De effecten zijn beperkt, maar significant (Rex, 2000). Niet duidelijk is of de effecten alleen aan silicium kunnen worden

toegewezen of dat de aanwezigheid van sporelementen in de Konverterkalk ook zijn invloed heeft.



Figuur 7.2. Opbrengstontwikkeling van wintertarwe en maïs bij bekalking met Konverterkalk (silicaathoudend), koolzure kalk en zonder kalk te Rösrath over de periode 1989-1999 (uit Rex, 2000).

7.2 Meststoffen

Silicium komt voor in organische meststoffen. Daarnaast zijn er specifieke minerale Si-meststoffen, maar zijn er ook minerale meststoffen waarin Si een nevenbestanddeel is.

Organische meststoffen

Dierlijke mest is de belangrijkste meststof op het melkveebedrijf. In mest zal Si vooral aanwezig zijn in de organische component en slecht beschikbaar zijn. Daarnaast wordt de hoeveelheid en beschikbaarheid van Si in mest sterk bepaald door de hoeveelheid Si in het voer. Er is geen informatie beschikbaar over het Si-gehalte in mest.

Compost

Vooraf in rijstproducerende landen is compost lange tijd de belangrijkste Si-meststof geweest (Ma & Takahashi, 2002). Vermoedelijk bestond deze compost vooral uit rijstafval met hoge Si-gehaltes. In Nederland staan heel andere grondstoffen aan de basis van compost. Verwacht wordt dat er in compost weinig gemakkelijk beschikbaar silicium aanwezig is. Kwantitatieve informatie hierover ontbreekt echter.

Minerale meststoffen

Voorbeelden van minerale meststoffen zijn

- steenmeel;
- kiezelzuur;
- slakken met calciumsilicaat;
- calcium-, kalium- en natriumsilicaat;
- silicagel; en
- siliforce.

Steenmeel is een bodemverbeteraar die in de biologische landbouw wordt gebruikt. Vaak zijn

steenmeelsoorten afkomstig van vulkanisch gesteente. De fijnheidsgraad is van invloed op de werking. Kwantitatieve gegevens over de werking van steenmeel zijn nauwelijks voorhanden. De verwachting is dat de beschikbaarheid van Si in steenmeel laag is. Voor een betere beschikbaarheid moet de Si als het ware eerst ontsloten worden. Steenmeel wordt in tonnen per ha toegediend. Er zijn nauwelijks resultaten waaruit blijkt dat de Si in steenmeel werkt.

Kiezelzuur is een zwak zuur dat afgeleid is van siliciumdioxide (SiO_2). In oplossing zijn er meerdere vormen die allemaal de algemene formule $\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ bezitten, waarbij n kan verschillen (voorbeelden: H_2SiO_3 , H_4SiO_4 en $\text{H}_6\text{Si}_2\text{O}_7$). Van de verschillende vormen van kiezelzuur zijn er vele zouten, de silicaten. De meeste daarvan zijn onoplosbare verbindingen die een groot deel van de aardkorst uitmaken. De silicaten van natrium en kalium zijn echter wel oplosbaar. Silicaat wordt verkregen door kwartszand met potas (K_2O) en koolzuur natriumcarbonaat (Na_2CO_3) te smelten. Dit is in water oplosbaar. Volgens Matichenkov et al. (2001) zou Si-bemesting op bijna alle bodems nut hebben, uitgezonderd bodems met een extreem hoog Si-gehalte. Naast hogere fosfaatbeschikbaarheid in de bodem, een betere droogte- en zouttolerantie en een hogere weerstand tegen ziekten is het ook van invloed op de regulatie van snelle en duurzame kalkwerking, stabilisatie duurzame verkruiemeling van de bodem. Hierdoor ontstaat betere verdeling van lucht en water, waardoor de opname van nutriënten beter wordt.

Een bijproduct van de ijzerertsindustrie zijn de slakken. Bij het smelten van ijzererts worden kalk en cokes gebruikt. Silicacomponenten in het erts gaan een reactie aan met de kalk. Dit leidt tot een scheiding in calciumsilicaat, ijzer en eventuele andere metalen in het erts. Zo wordt het ijzer geconcentreerd en afgescheiden. Het bijproduct, de slakken, bevat naast kalk en calciumsilicaat, metalen als Fe, Mg en Na en geringe hoeveelheden andere (zware) metalen. Veelal bevatten deze producten (veel) meer dan 10 procent SiO_2 . In Duitsland zijn het gangbare kalkmeststoffen, die onder namen als Hüttenkalk, Konverterkalk en Thomaskalk op de markt zijn. Daarbij wordt uitdrukkelijk gewezen op de positieve aspecten van het in de kalk aanwezige silicaat. De genoemde producten mogen op dit moment in Nederland niet verkocht worden, onder andere vanwege de nu nog geldende fijnheideisen van kalkmeststoffen. Een discussiepunt is bovendien het gehalte aan zware metalen. De dosering van deze kalkmeststoffen wordt bepaald door de kalkbehoefte en niet door het Si-gehalte. De hoeveelheid Si die op deze manier wordt gegeven varieert tussen 100-500 kg per ha.

In 1978 kwam calciumsilicaat beschikbaar als een slow-release K-meststof (Ma & Takahashi, 2002). Het ontstaat door vlieggas te mengen met kaliumcarbonaat of kaliumhydroxide en magnesiumhydroxide te mengen bij een temperatuur van ongeveer 900°C . In Japan moet deze meststof 20 procent citraat oplosbaar K_2O , 25 procent 0,5 M HCl oplosbaar SiO_2 , 3 procent citraat oplosbaar MgO en minder dan 3 procent niet-reactief wateroplosbaar K_2O bevatten. De beschikbaarheid van deze meststof is waarschijnlijk beperkt tot de rijstverbouwende landen. Verder is er nog poreus calciumsilicaathydraat uit de bouwindustrie. In Japan moet deze meststof 25 procent 0,5 M HCl oplosbaar SiO_2 en meer dan 15 procent basische componenten bevatten.

Kaliumsilicaat is een meststof die verkrijgbaar is in Europa. Deze wordt nu vooral gebruikt in de tuinbouw. Kaliumsilicaat wordt aangeboden onder de naam Horti-Silika met 35% $\text{Si}(\text{KOH})_2$ door Cebeco Meststoffen BV, als Biosil met 35% $\text{Si}(\text{KOH})_2$ door Quaron NV, Fertigro SIL met 50% $\text{Si}(\text{KOH})_2$ door Brinkman Agro BV en als Kaliummetasilicaat (vloeibaar), met 50% $\text{Si}(\text{KOH})_2$, door Van Iperen BV (Bron: Databank meststoffen <http://meststoffen.nmi-agro.nl>). Veelal worden ze in de glastuinbouw gebruikt om

een concentratie van 30 mg per liter te realiseren in de voedingsoplossing of wordt het ingezet als bladmeststof.

In Brazilië wordt ook wel K_2SiO_3 gebruikt in hoeveelheden tot 6 kg per ha per keer dat er toegediend wordt. Deze hoeveelheden wordt opgelost in 600 liter water en met de veldspuit toegediend.

Silicagel is vooral bekend vanwege zijn vochtonttrekkende eigenschappen. In Japan wordt dit product ook wel gebruikt bij rijstzaailingen. Het moet dan 80 procent 0,5 N NaOH oplosbaar SiO_2 bevatten (Ma & Takahashi, 2002).

Opgelost siliciumzuur wordt in Nederland verkocht als Siliforce. Het wordt aangeboden door Agrosolutions en Van Iperen BV. De Si is aanwezig als siliciumzuur, daarnaast bevat Siliforce ook sporenelementen waaronder molybdeen. Per ha worden hoeveelheden van 0,25 tot 0,4 liter per ha gebruikt en verdund toegediend. Afhankelijk van het gewas wordt dat meerdere keren herhaald. In proeven met aardappelen vindt Agrosolutions meeropbrengsten van 10% en hoger. De achtergrondinformatie over de details van de proefopzet ontbreekt echter veelal.

Er zijn verschillende producten op de markt. Op grond van de informatie in de literatuur is er niet duidelijk een beste product aan te wijzen. Kalk met silicium wordt aan de bodem toegediend, in de regel in het najaar. De meeste andere producten worden als bladmeststof toegediend, veelal vanaf het moment dat het gewas boven de grond komt. Vervolgens wordt het meerdere keren toegediend gedurende de groeiperiode van het gewas.

8 Discussie

Het gebruik van silicium in de landbouw vindt vooral plaats bij de teelt van rijst en suikerriet, maar ook bij een aantal tuinbouwgewassen onder glas, vanwege diverse positieve effecten waaronder een verbetering van de

- fosfaatbeschikbaarheid;
- droogtetolerantie (en zouttolerantie); en
- weerstand tegen plantenziekten.

Via literatuuronderzoek is nagegaan in hoeverre deze effecten van Si mogelijk ook van toepassing zijn bij de teelt van aardappelen. Daarbij is ook gekeken naar factoren die van invloed zijn op de Si-beschikbaarheid. Er is vooral geput uit buitenlandse informatie. De hoeveelheid gegevens omtrent positieve effecten van Si voor de teelt van aardappelen was echter beperkt. Daarom is ook gekeken naar andere gewassen.

Hoewel Si in grote hoeveelheden voorkomt in gronden is de beschikbaarheid maar laag. De Si-concentratie in de bodemoplossing bedraagt 3,5 tot 40 mg l⁻¹ (Marschner, 1995). De beschikbaarheid is in zijn algemeenheid het laagst op de zandgronden en het hoogst op de kleigronden. De beschikbaarheid wordt beïnvloed door temperatuur en vochtgehalte. Naarmate deze hoger zijn neemt de beschikbaarheid toe. Ook een lagere pH geeft een hogere Si-beschikbaarheid onder Nederlandse condities. Bekalken verlaagt de beschikbaarheid van Si, tenzij Si-houdende kalken worden gebruikt (Converterkalk, Hüttenkalk), die ontstaan bij de ijzerertsproductie. Het effect van organische stof op de Si-beschikbaarheid is niet duidelijk. De redoxpotentiaal is ook van invloed. Een lage redoxpotentiaal (zoals bij gronden die onder water staan) is gunstig voor de Si-beschikbaarheid. Deze situatie komt voor bij de natte rijstteelt. Resultaten verkregen met Si bij de teelt van rijst kunnen dus niet zonder meer vertaald worden naar de Nederlandse situatie.

De variatie in Si-gehalten van planten is groot. In aardappelen is deze in het algemeen laag (<0,5 procent). In grassen en granen kunnen enkele procenten Si aanwezig zijn, in rijst zijn gehalten tussen de 10 en 15 procent gangbaar.

Uit de beschikbare informatie blijkt dat Si een rol speelt bij de ziekteresistentie. Recent komt er ook informatie beschikbaar met betrekking tot aardappelen. Zo zou Si de aantasting door verwelkingsziekte *Fusarium*, *Erwinia* en ringrot kunnen verlagen. Ook bij andere gewassen werden positieve effecten gevonden van Si-toediening op de ziektedruk. Niet duidelijk is hoe hoog de Si-opname moet zijn voor een substantiële vermindering van de ziektegevoeligheid.

In het algemeen leidt meer beschikbaar Si tot een hogere beschikbaarheid van P in de grond, vooral bij lage P-gehalten en een lage pH in de bodem. Dit hoeft niet te betekenen dat de P-opname door het gewas hoger is. Veeleer lijkt Si tot een betere translocatie van P in de plant te leiden. Dit zou veroorzaakt worden door een geringere opname van Mn en Fe bij aanwezigheid van Si. Positieve effecten zijn mogelijk ook toe te schrijven aan een betere spoorelementvoorziening, als gevolg van de aanwezigheid van spoorelementen in veel Si-meststoffen, zoals slakken. Positieve effecten op gewasopbrengst zijn daarnaast toe te schrijven aan de pH-verhoging die optreedt bij gebruik van bijvoorbeeld slakken of andere silicaten. Anderzijds worden er op niet-zure gronden ook positieve opbrengsteffecten gemeld. Niet duidelijk is waardoor deze meeropbrengst wordt veroorzaakt: een betere nutriëntenbenutting of een efficiëntere vochtbenutting.

De watergebruiksefficiëntie neemt toe naarmate het Si-gehalte stijgt. Dit is aangetoond bij rijst maar ook bij gras, tarwe en maïs, al uit zich dit niet altijd in een hogere drogestofopbrengst onder droge omstandigheden. Tegelijkertijd zijn er resultaten waaruit blijkt dat de zouttolerantie verbetert bij gebruik van Si. Dit effect is voor een deel verstrengeld met droogte. Veel minder onderzoek is verricht naar het effect van Si bij de niet-accumulerende dicotylen zoals aardappelen. Uit een onderzoek met aardappelen bleek wel dat Si-bemesting de opbrengst verhoogde bij situatie met vochttekort. Daarbij was er ook in de situatie met voldoende vochtvoorziening een sterk positief effect van Si-bemesting.

De centrale vraag zou nu kunnen zijn: moeten wij nu in Nederland ook maar Si gaan gebruiken bij de teelt van aardappelen? Deze vraag kan op dit moment niet afdoende beantwoord worden, hoewel Si zeker positieve effecten heeft. Daar is een aantal redenen voor:

- 1) Niet duidelijk is wat de Si-beschikbaarheid is van Nederlandse gronden en welke Si-gehalten in gewassen worden aangetroffen.
- 2) Er zijn (nog) geen duidelijke criteria op basis waarvan besloten kan worden of Si-bemesting zinvol is.
- 3) De kosten en de voordelen dienen nader te worden gewogen.

In Nederland wordt het gehalte oplosbaar Si in grond en het Si-gehalte in gewassen niet vastgesteld. Bekend is wel dat er verschillen te verwachten zijn. Naarmate de grond meer klei bevat is er in het algemeen meer Si beschikbaar (Schwandes et al., 2001, Zhang, 1987). Schnug & Von Franck (1985) vonden de laagste Si-gehalten in granen geteeld op podsolen, gevolgd door bruine bodems en Marschgronden (gronden langs de kust, klei bevattend). Om het Si-gehalte in grond te bepalen zijn diverse technieken beschikbaar (Snyder, 2001). Daarbij is extractie met 0,01 M CaCl_2 een interessante optie. Deze gaf namelijk bij suikerriet de beste relatie met de gewasopbrengst. Kennelijk is deze extractie dus een goede maat voor de beschikbaarheid van Si. In Nederland wordt extractie met 0,01 M CaCl_2 meer en meer gangbaar en deze blijft niet beperkt tot universiteitslabs. Voor de hand ligt om via monitoring vast te stellen welke verschillen in Nederland worden aangetroffen. Deze gegevens dienen dan tegelijk gerelateerd te worden aan gemeten totaalgehalten in plant.

Met betrekking tot de droogtegevoeligheid kan vastgesteld worden door het groeiverloop te volgen gedurende de periodes van knolinitiatie en knolverdikking. Bij de eindogst zijn de totale knolopbrengst, sortering en het droge stof gehalte van belang. Effecten dienen bij voorkeur te worden getoetst op zandgrond, omdat droogtegevoeligheid vooral op zandgrond voorkomt. Tegelijk zijn dit de gronden (podsolen) met het laagste Si-gehalte (Schnug & Von Franck, 1985).

Ten aanzien van het verhogen van de weerstand tegen bacterie- en schimmelziekten kan gesteld worden dat er bij aardappel nog bijzonder weinig experimentele gegevens zijn waarin het effect van Si-bemesting aardappelen is onderzocht. Echter, het mechanisme waarmee silicium de weerbaarheid van planten tegen schimmelaantasting verhoogd lijkt zeer breed en nauwelijks pathogeengebonden, gezien de veelheid aan gewassen en ziektes waarbij wel een verhoogde weerbaarheid is gevonden. Daarom lijkt het de moeite waard hier verder onderzoek naar uit te voeren. De vorm waarin deze plant-pathogene relaties worden bestudeerd is evenwel sterk afhankelijk van het voorkomen van de ziekten en overige aanbevolen maatregelen.

De schimmelziekte *Phytophthora infestans* is de belangrijkste schimmelziekte in aardappelen. Een onderzoek naar effect van Si-bemesting op aantasting is moeilijk in te passen in een praktijkproef: bij

een dreigende *Phytophthora* aantasting valt te verwachten dat boeren preventief zullen gaan spuiten. Het achterwege laten van bespuiting kan leiden tot aantasting en het ontstaan van een infectiehaard op het perceel met mogelijk grote opbrengstderving. Mogelijk is er wel perspectief voor biologische telers die nauwelijks preventief spuiten tegen *Phytophthora*. Loofdoding bij aantasting is dan de remedie, maar dit kan een sterke opbrengstderving tot gevolg hebben.

Schurftaantasting treedt vooral op tijdens de eerste drie weken van de knolinitiatie, en vormt met name bij consumptieaardappelen een probleem. Daarbij wordt aanbevolen om de grond vochtig te houden, omdat de schimmelgroei en daarmee de aantasting van de knollen dan geremd zou worden door bodembacteriën die slecht gedijen bij droogte. Het vóórkomen van schurft is daarnaast bodemgebonden. Vooral op schurftgevoelige percelen in gebieden met een beregeningsverbod zou een verhoogde weerstand door Si interessant zijn. Een monitorings- of veldproef is daarbij goed te realiseren.

Fusarium is een typische bewaarziekte en aantasting komt tijdens de bewaarperiode naar voren. Ook hier zou een monitoringsproef waarbij verband wordt gelegd tussen Si-gehalten in de grond en knollen en al dan niet *Fusarium*-aantasting een goede insteek kunnen zijn.

Bruinrot en ringrot komen in Nederland nauwelijks voor in de praktijk, mede dankzij een scala aan preventieve maatregelen die vanuit de overheid (en EU) worden genomen op opgelegd. Veel telers voelen zich meer gehinderd door de maatregelen en restricties dan door de daadwerkelijke ziektedreiging (Janssens et al., 2006). Deze preventieve maatregelen en restricties zullen niet sterk beïnvloed worden door al dan niet bemesten met Si. De vraag ligt dus of er veel boeren zich geroepen zullen voelen om een Si-bemesting uit te voeren tegen bruinrot en ringrot, ook als er een verhoogde weerbaarheid wordt vastgesteld. De quarantainestatus maakt daarbij het opnemen van bruinrot en ringrot in een veldproef daarbij onmogelijk.

Zwartbenigheid en stengelrot veroorzaakt door *Erwinia* spp. kunnen een grote schadepost vormen. De ziekte gaat over met het pootgoed en zal een winter in de grond niet overleven. Ook een lichte besmetting in het pootgoed kan al een grote aantasting in het veld geven en is dan moeilijk onder controle te krijgen. Mogelijk kan met een monitoringsproef een verband tussen aantasting en Si-gehalten in grond en knollen worden vastgesteld.

De beschikbaarheid van P is nu in veel gevallen nog goed tot zeer goed. De enige uitzondering vormen de fosfaatfixerende gronden, zoals die bijvoorbeeld bij beekdalen nog in beperkte mate voorkomen. Deze gronden worden gekenmerkt door de aanwezigheid van veel ijzer, aluminium en mangaan. Dit zouden dan ook bij uitstek geschikte locaties zijn om te testen of oplosbaar Si bijdraagt (door een betere translocatie) aan een betere gewasopbrengst bij suboptimale of helemaal geen P-bemesting. Echter op deze gronden worden geen aardappelen geteeld.

Op basis van bovenstaande bevindingen wordt het perspectief duidelijk van Si-bemesting. Immers een geringere droogtegevoeligheid betekent een geringere noodzaak van beregening of een geringere opbrengstderving door droogtestress. Een betere P-beschikbaarheid in de plant is gunstig voor de opbrengst bij suboptimale P-bemesting of lage P-toestanden. Verhoging van de weerbaarheid tegen schimmel- en bacterieziekten kan opbrengst verbeteren.

De omvang van de vast te stellen effecten in combinatie met de kosten van Si-bemesting bepaalt of Si-bemesting zinvol is. Indien gebruik gemaakt wordt van Si-houdende kalken, is de verwachting dat er nauwelijks of geen meerkosten zijn. In dat geval bepaalt puur het effect van Si of Si-bemesting zinvol is. Si-houdende kalken mogen op dit moment niet worden toegepast in Nederland.

Zowel met betrekking tot droogtetolerantie, ziektedruk als vanuit oogpunt van P-beschikbaarheid lijken er perspectieven te zijn voor het gebruik van oplosbaar Si. Om eventuele effecten te kunnen kwantificeren is aanvullend oriënterend onderzoek nodig. De volgende (globale) aanbevelingen worden daartoe geformuleerd:

- Stel via monitoring vast welke Si-gehalten in grond (beschikbaar) en aardappel (totaal) worden aangetroffen en bestudeer het verband tussen het Si-gehalte in grond en gewas en de opbrengst, sortering, droge stof gehalte en aantasting door schurft, *Fusarium*, verwelkingsziekte, zwartbenigheid en stengelrot.
- Monitor/analyseer de droogtetolerantie van aardappelen bij gebruik van wel of geen oplosbaar Si in praktijksituatie op droogtegevoelige zandgrond.
- Stel het effect van Si op de P-beschikbaarheid vast voor fosfaatarme beekdalgrond. Dit kan zowel op basis van een potproef als via monitoring van de opbrengst en sortering in een beperkte veldproef.
- Bestudeer het effect van wel of geen oplosbaar Si op bouwland op de aantasting van aardappel door schurft, *Fusarium*, verwelkingsziekte en zwartbenigheid en stengelrot op meerdere locaties, waarvan bekend is dat deze gevoelig zijn voor deze ziekten. Gebruik daarbij minimaal een product dat via de bodem werkt (Si-houdend kalk of een andere product met goed oplosbaar Si) en een product dat via bladbemesting werkt.

Door een slim ontwerp zijn de effecten van Si op droogtetolerantie, P-beschikbaarheid en aantasting door ziekten bij aardappel mogelijk in één proef vast te stellen.

9 Literatuur

- Ahmad R, Zaheer SH & Ismail S (1992) Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Science* 85: 43-50.
- Bair RA (1966) Leaf silicon in sugarcane, field corn and St. Augustinegrass grown on some Florida soils. *Proc Soil Sci Soc Fla.* 26: 64-70.
- Brown TH & Mahler RL (1987) Effects of phosphorus and acidity on levels of silica extracted from a Palouse silt loam. *Soil Science Society of America Journal* 51: 674-677.
- Cocker KM, Evans DE & Hodson MJ (1998) The amelioration of aluminium toxicity by silicon in higher plants : solution chemistry or an in planta mechanism? *Physiology Plantarum* 104: 608-614.
- Curtin D & Smillie GW (1986) Effects of liming on soil chemical characteristics and grass growth in laboratory and long-term field-amended soils. I. Soil chemistry. *Plant and Soil* 95: 15-22.
- Crusciol CAC, Pulz ALP, Lemos LB, Soratto, RP & Lima GPP (2009) Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. *Crop science* 49. pp. 949-954.
- Dannon EA & Wydra K (2004) Interaction between silicon amendment, bacterial wilt development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes. *Physiological and molecular plant pathology* 64: pp. 233-243.
- Diogo RVC & Wydra K. 2007 Silicon-induced basal resistance in tomato against *Ralstonia solanacearum* is related to modification of pectic cell wall polysaccharide structure. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 70: pp. 120–129.
- Duarte H. da S. S.; Zambolim, L.; Rodrigues, F. Á.; Rios, J. A. (2008) Effect of potassium silicate alone or mixed with fungicides on the control of late blight on potato. *Summa Phytopathologica* 34(1): pp. 68-70.
- Duque CM & Samonte HP (1990) Influence of silicate and sulfate on phosphorus sorption and yields of corn. *Philippines Agriculturist* 73: 35-46.
- Dyke GV (1980) Field experiments section. UK, Rothamsted Experimental Station: Report for 1979, Part-1: 101-107.
- Epstein E (1994) The anomaly of silicon in plant biology. *Proc Natl. Acad. Sci USA* 91, 11-17.
- Epstein E (1999) Silicon. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology* 50: 641-664.
- Epstein E (2001) Silicon in plants: Facts vs. concepts. In: Datnoff LE, Snyder GH & Korndörfer GH (Eds). *Silicon in Agriculture. Studies in Plant Sciences* 8. Elsevier Science, Amsterdam, 1-15.
- Fang JY & Ma XL. 2006 Effect of silicon on the growth of test-tube potato plantlets and the cell wall formation. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(1), pp.p 152-154.
- Fassbender HW & Muller L (1967) Use of silicate amendments in soils of high phosphorus-fixing capacity. I. Effect of sodium-meta-silicate applications. *Turrialba* 17: 371-375.
- Fauteax F, Rémus-Borel W, Menzies JG & Bélanger RR (2005) Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology letters* 249: 1-6.
- Fawe A, Abou-Zaid M, Menzies J G & Belanger RR(1998) Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. *Phytopathology* 88(5): 396-401.
- Fawe A, Menzies JG, Chérif M & Belanger RR (2001) Silicon an disease resistance in dicotyledons. In: Datnoff LE, Snyder GH & Korndörfer GH (Eds). *Silicon in Agriculture. Studies in Plant Sciences* 8. Elsevier Science, Amsterdam, 159-169.
- Gladkova KF (1982) The role of silicon in plant nutrition. *Agrochemistry* 2: 133
- Gomes FB, Moraes JC, Santos CD dos & Antunes CS 2008 Use of silicon as inductor of the resistance in potato to *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology* 37(2). Pp. 185-190.

- Gong HaiJun, Chen KunMing, Chen GuoCang, Wang SuoMin & Zhang-ChengLie (2003) Effects of silicon on growth of wheat under drought. *Journal of Plant Nutrition* 26: 1055-1063.
- Gong HaiJun, Zhu XueYi, Chen KunMing, Wang SuoMin & Zhang ChengLie (2005) Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science* 169: 313-321.
- Gussack E, Petrovic M & Rossi F (1998) Silicon: The universal contaminant. *Turfgrass Times* 9: 9-11.
- Hall AD & Morrison CGT (1906) On the function of silica in the nutrition of cereals. *Proceedings of the Royal Society London Series B* 77:455.
- Hattori T, Inanaga S, Araki H, An P, Morita S, Luxová M & Lux A (2005) Application of Siliconenhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. *Physiologia Plantarum* 123: 459-466.
- Haysom MBC & Chapman LS (1975) Some aspects of the calcium silicate trials at Mackay. *Proceedings of the 42nd Conference, Queensland Society of Sugar Cane Technologists*, 117-122.
- Heath MC (1981) Insoluble silicon in necrotic cowpea cells following infection with an incompatible isolate of the cowpea rust fungus. *Physiological Plant Pathology* 19: 273-276.
- Hodson ME & Evans DE (1995) Aluminium/silicon interactions in higher plants. *Journal of Experimental Botany* 46: 161-171.
- Ishiguro K (2001) Review of research in Japan on the roles of silicon in conferring resistance against rice blast. In: Datnoff LE, Snyder GH & Korndörfer GH (Eds). *Silicon in Agriculture. Studies in Plant Sciences* 8. Elsevier Science, Amsterdam, 277-291.
- Janssens SRM, Westerman AD, Bunte FHJ & Bremmer J. (2006) Preventie en bestrijding van bruinrot en ringrot in de aardappelkolom; Institutionele analyse. LEI rapport 7.06.18.
- Jarvis SC & Jones LHP (1987) The absorption and transport of manganese by perennial ryegrass and white clover as affected by silicon. *Plant and Soil* 99: 231-240.
- Kato N & Owa N (1996) The factors affecting Si concentration in the soil solution: effects of soil solution pH Ca concentration, CO₂ gas and slag application. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 67: 655-661.
- Kim WC, Chung W, Han DH & Chung KY (1977) Effects of lime on the increase in available silica content and rice growth. *Research Reports of the Office of Rural Development Soil Science, Fertilizer, Plant Protection and Micrology. Research Reports of the Rural Development Administration, Livestock* 33: 52-57.
- Koski Vahala J, Hartikainen H & Tallberg P (2001) Phosphorus mobilization from various sediment pools in response to increased pH and silicate concentration. *Journal of Environmental Quality* 30: 546-552.
- Leusch HJ & Buchenauer H (1989) Einfluss von Bodenbehandlungen mit siliziumreichen Kalken und Natriumtrisilikat auf den Befall des Weizens mit *Erysiphe graminis* und *Septoria nodorum* in Abhängigkeit von der Form der N-Dünger. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 96: 154-172.
- Liang-YongChao (1999) Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant and Soil* 209: 217-224.
- Liang-YongChao, Shen-QiRong, Shen-ZhenGuo & Ma-TongSheng (1996) Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 19:173-183.
- Liang-YongChao Chen-Qin, Liu-Qian, Zhang-WenHua & Ding-RuiXing (2003) Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology* 160: 1157-1164.
- LiYuan H & XiaoLiang L (1995) Content and distribution of available silicon in paddy soils in Hubei. *Journal of Huazhong Agricultural University* 14: 363-368.
- Luz JMQ, Rodrigues DR, Gonçalves MV & Coelho L 2008 The effect of silicate on potatoes in Minas

- Gerais , Brazil. In: Silicon in agriculture 4th International conference. 2008 South Africa; Book of abstracts.
- Ma JF & Yamaji (2006) Silicon uptake and accumulation in higher plants. *TRENDS in plant sciences* 11(8). Pp. 392-397.
- Ma JF, Saski F & Matsumoto M (1997) Al-induced inhibition of root elongation in corn, *Zea mays* L. is overcome by Si addition. *Plant and Soil* 188: 171-76.
- Ma JF, Miyake Y & Takahashi E (2001) Silicon a beneficial element for crop plants. In: Datnoff LE, Snyder GH & Korndörfer GH (Eds). *Silicon in Agriculture. Studies in Plant Sciences* 8. Elsevier Science, Amsterdam, 17-39.
- Ma JF & Takahashi E (2002) Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan. Elsevier Amsterdam, 281.
- Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.
- Matichenkov VV & Ammosova YM (1996) Effect of amorphous silica on soil properties of a sod-podsolic soil. *Eurasian Soil Science* 28: 87.
- Matichenkov VV & Bocharnikova EA (2001) The relationship between silicon and soil physical properties. In: Datnoff LE, Snyder GH & Korndörfer GH (Eds). *Silicon in Agriculture. Studies in Plant Sciences* 8. Elsevier Science, Amsterdam, 209-219.
- Matoh T, Kairusmee P & Takahashi E (1986) Salt-induced damage to rice plants and alleviation effect of silicate. *Soil Science and Plant Nutrition* 32: 295-304.
- Matsuura K, Fukunaga A & Sakanoue Y (1977) Model experiment on the redox potential of, and leaching of mineral nutrients from, individual layers of a waterlogged paddy soil. *Journal of the Science of Soil and Manure Japan* 48: 2, 25-34.
- Mattigod SV & Kittrick JA (1980) Temperature and water activity as variables in soil mineral activity diagrams. *Soil Science Society of America Journal* 44: 149-154.
- McGeehan SL, Fendorf SE & Naylor DV (1998) Alteration of arsenic sorption in flooded-dried soils. *Soil Science Society of America Journal* 62: 828-833.
- Menzies JG, Ehret DL, Glass ADM & Samuels AL (1991a) The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 39: 403-414.
- Menzies JG, Ehret DL, Glass ADM, Helmer T, Koch C & Seywerd F (1991b) Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. *Phytopathology* 81: 84-88.
- Merah O, Deleens E & Monneveux (1999) Grain yield, carbon isotope discrimination, mineral and silicon content in durum wheat under different precipitation regimes. *Physiologica Plantarum* 107: 387-394.
- Meyer JH & Keeping MG (2001) Past, present and future research of the role of silicon for sugarcane in southern Africa. In: Datnoff LE, Snyder GH & Korndörfer GH (Eds). *Silicon in Agriculture. Studies in Plant Sciences* 8. Elsevier Science, Amsterdam, 257-275.
- Millard CP, van der Waals JH & van der Waals JE. 2008 Greenhouse evaluation of effect of silicon soil applications for control of *Verticillium* wilt of potatoes. In: Silicon in agriculture 4th International conference. 2008 South Africa; Book of abstracts.
- Nicholson RL & Hammerschmidt R (1992) Phenolic compounds and their role in disease resistance. *Annual Review of Phytopathology* 30: 369-389.
- Nishita H, Haug RM & Alexander GV (1973) Influence of organic matter on the availability of certain elements to barley seedlings grown by a modified Neubauer method. *Plant and Soil* 39: 161-176.
- Nxumalo NN, Wairuri CK & van der Waals JE 2008 The in vitro and in vivo effect of silicon on fusarium wilt on potatoes. In: Silicon in agriculture 4th International conference. 2008 South Africa; Book of abstracts.

- Obermueller AJ & Mikkelsen DS (1974) Effects of water management and soil aggregation on the growth and nutrient uptake of rice. *Agronomy Journal* 66: 627-632.
- O'Reilly SE & Sims JT (1995) Phosphorus adsorption and desorption in sandy soil amended with high rates of coal fly ash. *Communications in soil science and plant analysis*. 26: 2983.
- Owino-Gerroh C & Gascho GJ (2004) Effect of silicon on low pH soil phosphorus sorption and on uptake and growth of maize. *Communications in soil science and plant analysis*. Vol 35: 2369-2378.
- Pandey AK & Yadav RS (1999) Effect of antitranspirants on phenological traits and yield of wheat under water deficit conditions. *Indian Journal of Agricultural Research* 33: 159-164.
- Pulz ALP, Crusciol CAC, Lemos LB, Soratto, RP Silicate and limestone effects on potato nutrition, yield and quality under drought stress. *RRevista Brasileira de Ciencia do Solo* 32(4) pp. 1651-1659.
- Raid RL, Anderson DL & Ulloa MF (1992) Influence of cultivar and amendment of soil with calcium silicate slag on foliar disease development and yield of sugar-cane. *Crop Protection* 11: 84-88.
- Rao GG (2000) Studies on salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.): role of silicon. *Journal of Plant Biology* 27: 57-60.
- Raven JA (2001) Silicon transport at the cell and tissue level. In: Datnoff LE, Snyder GH & Korndörfer GH (Eds). *Silicon in Agriculture. Studies in Plant Sciences* 8. Elsevier Science, Amsterdam, 41-55.
- Rex M (2000) Auswirkungen langjähriger Anwendung von silikatischen Düngekalken auf Parameter der Bodenfruchtbarkeit. *Nachhaltige Landwirtschaft, VDLUFA Kongressband 2000, Stuttgart*, 211-210.
- Rodgers-Gray BS & Shaw MW (2004) Effects of straw and silicon soil amendments on dome foliar and stem-base diseases in pot-grown winter wheat. *Plant Pathology* 53: 733-740.
- Rodrigues FA, McNally DJ, Datnoff LE, Jones JB, Labbe C, Benhamou N, Menzies JG & Belanger RR (2004) Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. *Phytopathology* 94: 177-183.
- Sadikaj D, Wolfram W, Wydra K. (2008) Molecular Characterisation of Silicon-Induced Resistance in Potato against Bacterial Wilt. In: Tielkes E. (Ed) *Competition for Resources in a Changing World: New Drive for Rural Development. International research on food security, natural resource management and rural development; book of abstracts. Tropentag 2008 Stuttgart-Hohenheim*. ISBN: 3-86727-372-3.
- Samuels AL Glass ADM Ehret DL & Menzies JG (1991) Distribution of silicon in cucumber leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). *Plant Physiology* 99: 1509-1514.
- Sangster AG, Hodson MJ & Tubb HJ (2001) Silicon deposition in higher plants. In: Datnoff LE Snyder GH & Korndörfer GH (Eds). *Silicon in Agriculture. Studies in Plant Sciences* 8. Elsevier Science, Amsterdam, 85-114.
- Schnug E & Von Franck E (1985) Untersuchungen zur Silizium-Versorgung von Kulturpflanzen in Schleswig-Holstein. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 148: 1-9.
- Schultz JE & French RJ (1976) Silicon uptake by wheat and its relation to grain yield and water use. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 16(78) 123-128.
- Schwandes LP, Snyder GH & Wilkerson J (2001) Plant-available silicon in selected Alfisols and Ultisols of Florida. *Proceedings Soil and Crop Science Society of Florida*, 60: 57-59.
- Seome DG, van der Waals JH, van der Waals JE & and Marais D 2008 Potato production as influenced by soil application of silicon. In: *Silicon in agriculture 4th International conference. 2008 South Africa; Book of abstracts*.
- Singh KP & Sarkar MC (1992) Phosphorus availability in soils as affected by fertilizer phosphorus, sodium silicate and farmyard manure. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 40: 762-767.
- Snyder GH (2001) Methods for silicon analysis in plants, soils and fertilizers. In: Datnoff LE, Snyder GH & Korndörfer GH (Eds). *Silicon in Agriculture. Studies in Plant Sciences* 8. Elsevier Science,

- Amsterdam, 185-196.
- Subramanian S & Gopalswamy A (1991) Effect of moisture, organic matter, phosphate and silicate on availability of silicon and phosphorus in rice soils. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 39: 99-103.
- Thiagalingam K, Silva JA & Fox RL (1977) Effect of calcium silicate on yield and nutrient uptake in plants grown on a humic ferruginous latosol. *Proceedings Conference on Chemistry and Fertility of Tropical Soils*, Nov 1973, Kuala Lumpur, Malaysia, 149-155.
- Trivedi HB, Rao TVR, Bagdi DL & Rao GG (2004). Influence of silicon on growth and salt uptake in wheat under salinity. *Indian Journal of Plant Physiology* 9: 360-366.
- Tuisiri B & Blue WG (1984) Effects of lime, phosphorus, calcium silicate and rice hulls on availability of phosphorus to corn on an Ultisol. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings*, 43: 14-21.
- Yeo AR, Flowers SA, Rap G, Welfare K, Senanayake N & Flowers TJ (1999) Silicon reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transpirational bypass flow. *Plant, cell and environment* 22: 559-565.
- Van der Merwe JJ, Van der Waals JE & Van der Waals JH 2008 The effect of silicon-amended soil on the phenolic content of potato tubers infected with *pectobacterium carotovora* subsp. *Brasiliensis*. In: *Silicon in agriculture 4th International conference*. 2008 South Africa; Book of abstracts.
- Van der Wolf J & G van den Bovenkamp Nederlands onderzoek aan plantpathogene bacteriën in Perspectief. *Gewasbescherming* jaargang 40, nummer 4, juli 2009. pp. 162-168.
- Vandenbosch T, Philipsen B, Janssen S, Huybrechts M, Wera G, Van den Pol-van Dasselaar A, Alblas J & Grashoff K (2000) Droogtetolerantie van landbouwgewassen in het Benelux Middengebied. *Watermanagement Benelux Middengebied, Literatuurstudie*, 107 pp.
- Zhang HL (1987) Preliminary study on the content of available SiO₂ in soil. *Soils* 19, 123-126.