

Beheersing van het wortelmilieu als middel tot optimale voeding van de plant



Dr. L. K. Wiërsum – Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Haren (Gr.)

Op basis van ervaring en gebruik makende van door de techniek beschikbaar gestelde middelen is een steeds toenemende opbrengst en verbetering van de kwaliteit tot stand gekomen. Tal van nieuwe technieken en veel nieuwe kennis zijn gedurende eeuwen in de cultuurtechniek geïncorporeerd, al spreken we hier zelden van innovaties.

Bij het woord 'innovatie', zoals het in deze dagen ter bespreking komt,

denken we aan abrupte en vaak diep ingrijpende wijzigingen in de methode van telen, waarbij deze wijzigingen stoelen op het vindingrijk toepassen van kennis ten einde problemen het hoofd te bieden of om bepaalde voordelen te bereiken.

Dat stijging van produktie en kwaliteit mede samenhangt met een goede voeding van de plant is reeds lang beseft. Naarmate onze kennis toenam groeide het inzicht in de processen, waarmee men te maken

heeft en de bodemcondities, die hierbij direct of indirect een rol spelen. Dit betekent, dat men steeds meer in staat is de voeding van de plant te optimaliseren en te beheersen. Manipulatie van het wortelmilieu wordt steeds ingrijpender.

Welke kennis is ter beschikking of nodig?

Wil men de voeding van de plant optimaliseren, dan zal men allereerst

moeten weten welke stoffen en hoeveel daarvan de wortels aan bodem of substraat onttrekken. De kennis op dit gebied is voor een belangrijk deel in de laatste twee eeuwen bijeengebracht, waarbij de meeste zaken pas onderzocht konden worden in de laatste eeuw. Chemische kennis en de wetenschap dat een plant ook op water kon groeien (Robert Boyle, 1665) vormden de grondslagen. Omstreeks 1850 kwam het onderzoek met behulp van voedingsoplossingen op gang. En zo weten we nu dan wat de plant minimaal nodig heeft aan elementen om zijn levenscyclus te voltooien, hoeveel er opgenomen wordt en in welke verhoudingen en concentraties de betreffende ionen moeten worden ter beschikking gesteld. Een beknopte samenvatting geeft tabel 1.



Het toedienen van water op een of andere manier is een van de oudste werkwijzen om de groei van het gewas te bevorderen. Maar pas in deze eeuw werden de kennis en de meetmethoden ontwikkeld om het verbruik en de beschikbare voorraad in de bodem of in het substraat goed te kwantificeren.

De ervaring leerde al spoedig dat een bodem die rijk aan voedingsstoffen is, nog geen garantie geeft voor een goede groei van het gewas. Kennelijk is een goede ontwikkeling van het wortelstelsel, als orgaan dat de absorptie moet verrichten, van veel belang. En zo zien we

in de laatste eeuw het wortelonderzoek op gang komen en zich verdiepen. Dit alles heeft geresulteerd in het feit, dat we de condities die nodig zijn voor een goede groei en vertakking van het wortelstelsel voor een groot aantal factoren vrij scherp kunnen definiëren. In tabel 2 wordt een aantal vereisten aangegeven. Met de kennis, zoals die zojuist geschetst is, valt al heel wat te doen ter verbetering van de voedselvoorziening van de plant. Dit is dan in de loop der tijden gebeurd – veelal stap voor stap – door middel van water-toediening, bemesting en grondverbetering. Innovatie worden de nieu-

we handelingen zelden genoemd, ook al is de invoering van kunstmest en bladbespuiting wel als zodanig te karakteriseren.

Voor een aantal typische innovaties van de laatste decennia was echter de bovenstaand aangegeven kennis nog onvoldoende. Pas toen steeds meer duidelijk werd dat het opnemen van water en mineralen niet alleen van de aanwezige hoeveelheid maar ook van hun beweeglijkheid afhangt, kwamen er nieuwe mogelijkheden. Studie van de transportprocessen in de bodem en van de daarvoor nodige condities, en inzicht in de relaties tussen bodembemutting en bewortelingsdichtheid bleken van veel belang. Een aantal van de meest belangrijke verworvenheden over de noodzakelijke condities voor een goede voorziening van de plant zijn de volgende inzichten:

- een ongestoorde absorptie vereist, zo mogelijk, een continu handhaven van een bepaalde, zeer lage concentratie aan het worteloppervlak;
- de handhaving van deze concentratie in de bodemoplossing vereist voldoende snelle toestroming of naleving uit het adsorptiecomplex;
- de toestroming is afhankelijk van de continuïteit van de met water gevulde poriën en het watergehalte;
- de onttrekkingsafstanden zijn afhankelijk van het percentage van de beschikbare voorraad dat in oplossing is, en de concentratie van het ion;
- een geringere mobiliteit van ionen eist een dichtere beworteling.

Een volkomen ander aspect, dat steeds meer de aandacht trekt, betreft de zich in de rhizosfeer afspelende processen. Hierbij kan men denken aan: de interacties met de symbionten, de leverantie van organische stof door exudatie en afsterfing van wortelweefsel, de rhizosfeerflora en het overige bodemleven. Door de vele fysiologisch werkzame stoffen, die het bodemleven produceert en ook door de soms gevormde verbindingen met complexerend vermogen is er een terugkoppeling op de wortelgroei en de beschikbaarheid van mineralen. Via fytosanitaire effecten kan de gezondheid van de wortel worden beïnvloed.

Tabel 1 Enige basisgegevens over de minerale voeding van de plant

Benodigde elementen	N, P, K, Ca, Mg,		en Sporenelementen			
Minimaal vereiste concentraties	NO ₃ ⁻ , K ⁺ , Ca ²⁺ Mg ²⁺ ca. 10 ⁻⁵ M					
Gebalanceerd aanbod relatief in eq.	H ₂ PO ₄ ⁻ , SO ₄ ⁻ ca. 10 ⁻⁵ M					
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	± 12	1	7	4	7	9
Onttrekking per ha in orde van	N	P	S	K	Ca	Mg
	125	25	5	75	18	13 kg

Tabel 2 Een aantal condities nodig voor een goede ontwikkeling van het wortelstelsel

Penetratie weerstand	lieft gering, en niet meer dan ca. 30 kg/cm ² penetrometerwaarde
Beschikbaarheid vocht	pF lieft 1 1/2 – 2 1/2, niet hoger dan 3 1/2
Temperatuur	veelal gunstig tussen 285 en 295 K
Chemische vruchtbaarheid	Ca en B onmisbaar, hoog voorzieningsniveau N, P en K
PH	meestal optimaal tussen 5 en 7
Zuurstof	minimaal 0,01 atm. O ₂ -spanning aan het worteloppervlak

Het optreden van innovatie

De zojuist globaal aangeduide toename van onze kennis is continu benut om tot verbeteringen in de cultuurtechniek te komen. Maar dit alles zal men niet innovatie noemen. Deze kan men onder andere karakteriseren als een abrupte wijziging in aanpak.

Zo kunnen we de andere doelstellingen bij de behandeling en de bemesting van de bodem op basis van natuurfilosofische, milieutechnische of economische opvattingen ook als innovatie zien. In de optimalisering van het bodemmilieu komen opeens anders gerichte aspecten naar voren, bij voorbeeld 'gezondheid' of 'kwaliteit' van de grond. Men streeft hier opeens meer kwaliteit dan kwantiteit na.

In de volgende beschouwing zal echter aandacht gevraagd worden voor de technologische innovaties, die we heden ten dage in de teelttechniek zien optreden.

Innovatie vraagt naast het beschikbaar zijn van kennis ook een zekere impuls.

Belangrijke impulsen zijn onder andere geweest de noodzaak tot vergaande beheersing en regulatie van het wortelmilieu en mechanisatie. De behoefte aan een ziektevrij substraat deed zich voor ten einde bestrijdingsmaatregelen of exportrestricties te ontlopen. Tegen deze achtergrond, ook nog gestimuleerd door gebrek aan traditionele potgrondmengsels, zien we allerlei substraten hun intrede doen. Voorbeelden zijn tuinturf, veen, perliet, vermiculiet, boombast, enzovoorts.

Een volgende stap is om deze substraten te vervangen door inert materiaal of ze helemaal weg te laten. De in het onderzoek verkregen kennis en ervaring met watercultuur bracht onder andere Gericke ertoe om al in 1929 de commerciële toepassing ervan te propageren. Maar onvoldoende inzicht in de aëratieproblemen en de transportprocessen van de ionen resulteerde in een beperkt succes. Pas nu beseft men, dat men als het ware continu een toevoer van ionen in een verdunde en gebalanceerde oplossing moet aanbieden en dat ook de zuurstoftoevoer tot aan het worteloppervlak verzorgd moet worden. En zo kwamen recentelijk de teelt op grind, lava of steenwol, de hydrocul-

tuur en de teelt op voedingsfilm van de grond.

Het inzicht, dat de verhoging van de bodemtemperatuur tot ongeveer 295 K de wortelgroei en de functie van het wortelstelsel stimuleert, wordt met behulp van nieuwe technologische oplossingen toegepast. Eerst met behulp van bodemverwarming, indirect of direct, vervolgens bij voorbeeld door de toepassing van de tompot en ten slotte met de verwarming in de hydrocultuur en de voedingsfilm. De vooruitgang zit in de beperking van het te verwarmen volume substraat en de betere regulering.

Een heel ander aspect vormen de problemen van de voorraadbemesting bij de teelt in pot en container. Het voordeel van de langzame mineralisatie van N uit organische stof is evident, maar de afhankelijkheid van de bacteriële activiteit een bezwaar. En zo komt men op de gedachte om kunstmatig een langzaamwerkende meststof te fabriceren. De vindingsrijkheid is groot: bij voorbeeld gepolymeriseerde ureumverbindingen, het met zwavel omhulde ureum en de mengmeststof in een fijn-poreuze plastic huid. Voor de hydrocultuur zien we de toepassing van de ionenwisselaar, die door een langzame omwisseling voedingsstoffen vrijgeeft.

De aëratieproblemen, als gevolg van het hoge vochtgehalte dat voor het toestromen van voeding is vereist zijn vaak niet gering. Deze worden opgelost door de keuze van speciale substraten, meestal veen, of door het circuleren van een goed geaëreerde oplossing. Ten einde aan de soms zeer hoge eisen te voldoen is de nevelcultuur ontwikkeld, waarbij de voedingsoplossing op het vrijhangende wortelstelsel verneveld wordt. Dat bij de toepassing hiervan aspecten van mogelijke arbeidsbesparing een rol spelen, spreekt vanzelf.

Toch zijn de bovenstaande impulsen op zichzelf niet altijd voldoende geweest.

De moderne technologische teeltmethoden gaan gepaard met een sterke mechanisatie en automatisering. Dit houdt in dat de investering lonend moest worden door voldoende arbeidsbesparing, die het verhoogde energieverbruik in kosten ver overtreft. Maar het belangrijkste is toch wel de beschikbaarheid van goede doseringsapparatuur en

meetmethoden. Vooral de beschikbaarheid van betrouwbare, continu registrerende en niet-destructieve meettechnieken is een eerste vereiste. Hierbij kan gedacht worden aan meters voor de pH, de stromingsnelheid, de geleidbaarheid en elektroden voor de pH, de diverse ionen en O_2 . Immers het streven is er op gericht om de optimale voorziening zonder onderbreking zo goed mogelijk te handhaven. En alleen goede registratie laat een continue sturing toe. De elektronische sturing en de computer worden noodzaak, naast de kennis van de plantenvoeding.

Zijn met behulp van de nieuwe technieken de problemen opgelost?

Het is inderdaad mogelijk om met behulp van een aantal teeltmethoden zoals de druppelbevloeiing, de cultuur op grind, steenwol, geëxpandeerde kleikorrels en voedingsoplossing de voor de optimale voedselvoorziening van de plant vereiste condities te benaderen of in te stellen. Maar het handhaven van de vereiste condities door het hele systeem over langere tijd geeft problemen.

Zo is het al lang bekend, dat voor een optimale groei van de plant de ionen in een bepaalde verhouding moeten worden aangeboden: de gebalanceerde oplossing. Maar in de uiteindelijke samenstelling van de plant is deze verhouding anders. Pas in recente tijd is men aandacht gaan besteden aan de eigenlijke snelheid van het opnemen van water en ionen door de plant met andere woorden de influx aan het worteloppervlak. De resultaten van berekeningen, die ook door proeven bevestigd werden, lieten zien dat sommige ionen sneller ($H_2PO_4^-$), ongeveer even snel (NO_3^- , K^+) en trager (Ca^{2+} , SO_4^{2-}) dan water naar binnen gaan. Dit resulteert in verarming of ophoping aan het oppervlak, met andere woorden een verandering in het ingestelde ionenevenwicht (zie tabel 3).

Het is duidelijk dat het lage aanbod van de relatief traag opgenomen ionen, Ca^{2+} , Mg^{2+} en SO_4^{2-} moet dienen om ophoping aan het worteloppervlak of elders in het substraat te voorkomen. Deze resteffecten kan men ook op andere wijze trachten te nivelleren, namelijk door in het systeem ionenwisselaars te introdu-

ceren. Dan kan men een buffering krijgen door bij voorbeeld overmaat Ca te binden tegen uitwisseling van K^+ en SO_4^{2-} en Cl^- tegen NO^- en/of $H_2PO_4^-$. Maar deze dure methode is kwantitatief beperkt, tenzij de ionenwisselaar geregeld ververscht wordt.

Ook te velde kan men trachten de voorziening met water en mineralen te optimaliseren door een continue aanvoer naar de wortel te scheppen door middel van druppelbevloeiing. Ook hier wordt men geconfronteerd met bovenstaande problemen, al zou men die ten dele kunnen overwinnen door een sterke percolatie. Doch dit is milieutechnisch ontoelaatbaar en verkwistend. De snelle respons van het wortelstelsel met een dichtere vertakking in dat deel van de grond dat bevochtigd kan worden vanuit elke druppeldop, is een voordeel. De verbetering van het milieu hoeft dus niet over het gehele areaal toegepast te worden, doch telkens maar pleksgewijze. Maar stagneert het systeem, dan dreigt er een zeker gevaar, daar de intensief doorwortelde zones dan snel kunnen uitdrogen.

Een ander groot probleem is gevolg van het feit dat een snelle opname van voedingsstoffen zowel een adequaat ontwikkeld wortelstelsel nodig maakt als de continue toevoer van water en ionen. Voor de groei van de wortel is ook nog een goede O_2 -voorziening vereist. De optimale toevoer van O_2 vraagt een bodemstructuur en een vochtgehalte, die strijdig zijn met een gunstige situatie voor aanvoer van water en ionen. Aëratie wordt begunstigd door een goed geaggregeerde bodem en veel open poriën, dus weinig water. Toevoer van water en mineralen is echter maximaal bij geringe aggregatie en goed met water gevulde poriën. Lucht vormt dan maar onderbrekingen van de transportbaan (zie fig. 1). Zo is de hydrocultuur in geëxpandeerde kleikorrels in zekere zin een hybride systeem. Boven het vrije waterniveau is de aëratie maximaal en eronder de watervoorziening en de beschikbaarheid van de opgeloste voedingsstoffen. De fysische opbouw van de steenwolmat is zodanig, dat er een vrij abrupte overgang is van een volledig met water verzadigde laag naar een vrij waterarme laag. Een juiste manipulatie van het substraat door verdeling van de druppelpunten, spleten voor afvoer

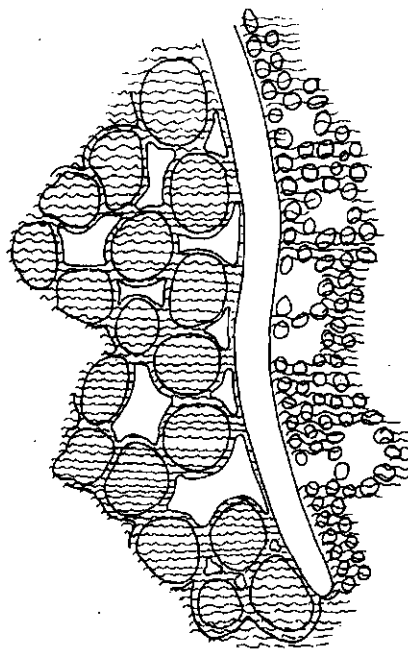


Fig. 1 Een gunstige structuur voor aëratie (links), met grotere kruimels en weinig vocht, en een korrelstructuur met veel water, gunstig voor het transport van water en ionen (rechts)

en frequentie van druppelen speelt een grote rol.

In een voedingsoplossing kunnen zich gemakkelijk aëratieproblemen voordoen. De langzame diffusie van O_2 in water kan in gebieden van intensief O_2 -gebruik spoedig tot onvoldoende voorziening leiden, tenzij men er in slaagt een intensieve menging of circulatie met een O_2 -rijke oplossing in stand te houden. In de praktijk zijn de in hydrocultuur en voedingsfilm gebruikte oplossingen zeker niet steriel. Dit brengt mee, dat de vele aanwezige bacteriën – ten dele in de rhizosfeer – het verbruik van O_2 nog verhogen. Er bestaat daarnaast het risico van de mogelijkheid dat toxisch werkende metaboliën zich ophopen.

Pas in recente tijd komen gegevens naar voren over de mate waarin de levende plant via zijn wortels organische stoffen aan het milieu verliest.

Tabel 3 Een vergelijking van de samenstelling van gebalanceerde voedingsoplossingen, een oplossing voor druppelbevloeiing voor komkommer op steenwol en samenstelling van de plant

	NH_4^+	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	$SO_4^{2-}(Cl^-)$	$K^+(Na^+)$	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Steiner opl.		11,9	1,0	6,9	7,2	9,0	4,0
Verd. opl. (Men.F)	4,0	6,0	1,0	1,0 10	4,0	8,0	2,0
Komkommer opl.	0,5	11,5	1,5	1,0	6,0	3,5	0,75
Plant		13,8	1,0	1,0	6,0	7,0	2,0

Noot: relatieve waarden in meq.

Deze bron van energie, die normaal ten goede komt aan de rhizosfeer en het overige bodemleven, kan mogelijk in teelten op sommige inerte substraten niet geheel omgezet worden. Dit als gevolg van een minder rijk geschakeerde microflora. Ophoping van ongewenste residuen is dan denkbaar en vereist een groter aantal verversingen om dit tegen te gaan.

Tot slot zou men zich nog de vraag kunnen stellen of een deel van deze sterk technologische teeltsystemen niet uitermate onnatuurlijk is. De optimale omstandigheden voor de aanvoer van water en mineralen om in de essentiële groeivoorwaarden van de plant te voorzien treffen we in de natuur weinig aan (bij voorbeeld onze maagdelijke poldergronden). In dit verband werken we dus onder zeldzaam voorkomende condities. Wat in vele kunstmatige systemen maar in geringe mate of in het geheel niet aanwezig is, is het bufferend vermogen van het klei-humus complex en het intensieve bodemleven. Daar echter het technologische milieu niet steriel is, moet men toch aannemen dat in het wortelmilieu ondanks alles nog tal van potentieel werkzame stoffen kunnen voorkomen. De vraag waar we mee blijven zitten is of inderdaad aangevoerd kan worden dat sommige van deze stoffen werkelijk onmisbaar zijn voor groei en kwaliteit of dat ze alleen bijkomstige effecten hebben. Maar in elk geval is ook de watercultuur, en alles wat ervan is afgeleid, zeker niet een puur minerale voeding van de plant, tenzij men deze technieken steriel uitvoert. De vaak welige algengroei in de oplossing en vegetaties van levermossen op steenwol tonen dat wel extra aan.

Zijn er nog verdere mogelijkheden?

De algemene verwachting is, dat nieuwe ontwikkelingen zeker moge-

lijk zijn. De optimale condities, zoals we die als noodzakelijk voor de situatie aan het worteloppervlak geschetst hebben, zullen niet gedurende de opeenvolgende groeifasen van de plant gelijk zijn. Betere kennis hiervan zal een stimulans zijn deze aanpassingen aan het ontwikkelingsstadium van de plant toe te passen. Maar veel meer is, dunkt me, te verwachten van vindingrijkheid om het arsenaal van zich steeds uitbreidende technische mogelijkheden te benutten. Hier is nog ruimte voor innovatie.

Onze kennis over de rhizosfeer en de zich daarin afspelende omzettingen en effecten is nog gering. Meer kennis hiervan kan ons eventueel leren met welke organische verbindingen (hormonen, regulatoren, enzovoort) de groei en de ontwikkeling gericht gestuurd kunnen worden. Ook de optimalisering van de temperatuur van het wortelstelsel met zijn vereiste variaties ter regulering van afzon-

derlijke groeifasen van de plant biedt nog wel perspectieven. Misschien leert men de rhizosfeer te reguleren, wat mogelijk voordelen zou bieden om bepaalde infecties tegen te gaan. En nu reeds zoekt men naar middelen om ongewenste algengroei in hydrocultuurbassins tegen te gaan. Maar laten we hier onze speculaties beëindigen.

Literatuur

Finck, A. Pflanzenernährung in Stichworten.

Verlag Ferd. Hirt, Kiel, 1969

Isermann, K. Neuere Erkenntnisse der Pflanzenernährung.

Chemie in unserer Zeit 13/4, 97-141, 1979

Merva, G. E. Physioengineering principles.

Avi Publ. Cy., Westport (Conn.), 1975

Rorison, I. H. Ecological significance of the mineral nutrition of plants

Russell, E. J. Soil conditions and plant growth. 7th ed. London 1937

Steiner, A. A. The development of soilless culture and an introduction to the congress.

Proc. 4th Int. Cong. Soilless Culture, Las Palmas, 1976

Wiersum, L. K. Problems involved in controlling plant nutrition

4e Colloq. int. Contrôle Aliment. Plantes cultivées, C.R. II, 13-18, Gent 1976

Winsor, G. W., R. G. Hurd and D. Price

Nutrient Film Technique. Glasshouse Crops Res. Inst., Growers Bull. no. 5 1979