

## **Uitleg berekening van de energiekosten voor suboptimale concentratieverhoudingen van mineralen**

Tommaso Barbagli (Tommaso.barbagli@wur.nl), Chris Blok, Ellen Beerling  
7/3/2022

### **Inleiding**

In teeltsystemen los van de ondergrond wordt substraat zoals steenwol of kokos als groeimedium gebruikt. Omdat deze media nauwelijks voedingsstoffen bevatten moeten deze worden toegevoegd, doorgaans via het irrigatie systeem (fertigatie). Moderne glastuinbouwbedrijven gebruiken een gewasspecifiek voedingsrecept om de opbrengst te maximaliseren. Dit recept wordt in de loop van de tijd bijgesteld om de groei van het gewas te volgen. Ook wordt er rekening gehouden met instraling en verdamping. Er wordt daarnaast altijd meer gegeven dan strikt noodzakelijk (gemiddeld 30% drain). Deze overdosering is bedoeld om fluctuaties in de opname van water/nutriënten als gevolg van omgevings- of gewasfactoren te compenseren.

De drain is een goede informatiebron voor telers, omdat "Drain = Aanvoer - Opname". Als we de aanvoer kennen en de drain meten, kunnen we de opname berekenen. Hiervoor laten telers om de 7 à 14 dagen drainmonsters analyseren. Hier zit nog ruimte voor verbetering. Als het gewas bijvoorbeeld 50% meer K nodig heeft door een snelle stijging van de vruchtbelasting, kan de teler dit mogelijk pas 7-14 dagen later uit de drainwateranalyse aflezen en actie ondernemen. Het gewas krijgt dan tot 7-14 dagen te maken met een suboptimale K-concentratie in de mat.

De opname van nutriënten is een actief proces en kost de plant energie. De suboptimale omstandigheden vragen meer energie. Planten hebben tot op zekere hoogte het vermogen om te gaan met suboptimale concentraties van mineralen. Wanneer de elementen A en B beide in de juiste verhouding aanwezig zijn, zal de plant de juiste hoeveelheden van A en B opnemen. Maar als A te hoog is en B te laag, zal de plant A actief wegpompen en tegelijkertijd B importeren (antiport proces). Of de plant gebruikt een specifieke pomp (uniport) voor B om de benodigde hoeveelheid B op te nemen. In beide scenario's kost dit actief transport de plant energie; meer energie dan als de optimale concentraties worden aangeboden aan de plant. Onze hypothese is dat suboptimale concentratieverhoudingen leiden tot een hoger zuurstofverbruik door het verbranden van assimilaten om die energie te produceren. Deze assimilaten (koolstofverbindingen) zijn daardoor niet meer beschikbaar voor gewasgroei en opbrengst.

Samenvattend, de kosten van suboptimale concentratieverhoudingen van mineralen (afwijkingen van de streefwaarden in de wortelomgeving) kunnen worden berekend door de toename in het zuurstofverbruik van de wortels te meten, en dat te vertalen naar een energieverlies (verbruik assimilaten). Dit kan uiteindelijk vertaald worden in een potentieel opbrengstverlies.

### **Berekening**

Het potentiële opbrengstverlies wordt berekend in verschillende stappen (zie tabel 1). K dient hierbij als voorbeeld. De berekening wordt uitgevoerd voor 1 m<sup>2</sup> teelt gedurende 1 dag.

#### (1) Standaardisering van drain analyse

De drainanalyse wordt gestandaardiseerd naar een standaard-EC voor de wortelomgeving, omdat de concentratieverhoudingen van de elementen in de drainanalyse dan vergeleken kunnen worden onafhankelijk van de actuele EC. Voor het bepalen van de standaard EC is gebruik gemaakt van de BAB (Bemesting Advies Basis 1999). In dit voorbeeld zijn de waarden voor tomaten in een recirculerend systeem op steenwol gebruikt. De BAB standaard-EC (ECt) is 3,7. De drainanalyse uit dit voorbeeld is verkregen met de Celine-ionspecifieke meetsysteem, uit een compartiment van 5 ha cherrytomaat (cv Robino) van Royal Pride in Noord-Holland. De drainanalyse was als volgt: EC (4,3), en in mmol/l: NH<sub>4</sub> (0,0), K (15,9), Na (3,27), Ca (7,22), Mg (4,18), NO<sub>3</sub> (26,55), Cl (0,0), SO<sub>4</sub> (6,13), HCO<sub>3</sub> (0,4), P (3,87). Aangenomen wordt dat de micro-elementen zeer beperkt bijdragen aan deze berekening en worden daarom buiten beschouwing gehouden.

De correctiefactor is dus  $EC_t/EC\text{-analyse} = 3,7/4,3$ . Elk element wordt nu vermenigvuldigd met de EC-correctiefactor.

voor K:  $15,9 * (3,7/4,3) = 13,8 \text{ mmolK/l}$

#### (2) Berekening afwijking van streefwaarde

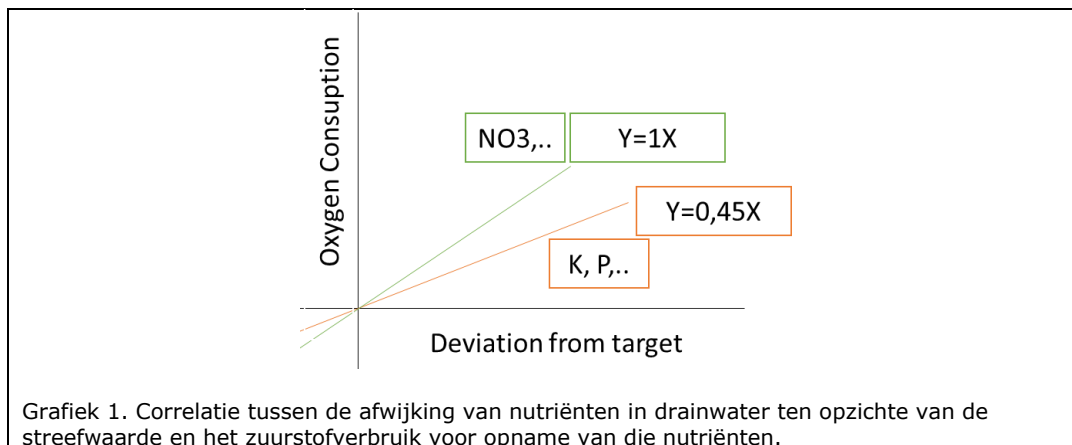
De afwijking tussen de gemeten (EC-gecorrigeerde) concentratie en de streefwaarde van de elementen wordt berekend als het verschil: streefwaarde – analyse. Ook hier zijn de streefwaarden afkomstig uit de BAB: NH<sub>4</sub> (0,1), K (8), Na (1)\*, Ca (10), Mg (4,5), NO<sub>3</sub> (23), Cl (1)\*, SO<sub>4</sub> (6,8), HCO<sub>3</sub> (0,5), P (1).

Dus de afwijking van de streefwaarde voor K is  $8 - 13,8 = -5,8 \text{ mmolK/l}$

#### (3) Omrekening van de afwijking naar zuurstofverbruik

De (absolute waarde van de) afwijking wordt vermenigvuldigd met een zuurstofverbruiksfactor. We gebruiken hier de absolute waarde voor omdat wordt aangenomen dat een positieve of negatieve afwijking van de streefwaarde eenzelfde effect heeft. De zuurstofverbruiksfactor geeft de hoeveelheid O<sub>2</sub> aan die planten verbruiken om zich aan te passen aan suboptimale omstandigheden (zie inleiding). De zuurstofverbruiksfactor is voor alle kationen en P, Cl, HCO<sub>3</sub>: 0,45 mmolO<sub>2</sub>/mmol. Voor de grotere anionen NO<sub>3</sub> en SO<sub>4</sub> wordt uitgegaan van 1,0 mmolO<sub>2</sub>/mmol. Deze getallen zijn berekend en beredeneerd door Bouma en De Visser (1993) en Cannell en Thornley (2000), en bevestigd door WUR Glastuinbouw in laboratoriumproeven met tomaat. Er wordt uitgegaan van een lineaire correlatie tussen de afwijking en het zuurstofverbruik (grafiek 1).

Voor K:  $|-5.8| * 0.45 = 2.6 \text{ mmolO}_2/\text{l}$



#### (4) Omrekenen van relatief naar absoluut zuurstofverbruik

Het zuurstofverbruik wordt omgerekend van een relatieve hoeveelheid naar een absolute hoeveelheid door vermenigvuldiging met de wateropname. De gemeten wateropname voor dit voorbeeld was 1,4 L/m<sup>2</sup>/dag.

Voor K:  $2.6 * 1.4 = 3.6 \text{ mmolO}_2/\text{m}^2$

#### (5) Vertalen zuurstofverbruik naar koolstof verlies

Het (absolute) zuurstofverbruik kan worden vertaald naar koolstof (C)-verlies door er van uit te gaan dat dit in een verhouding van 1:1 gebeurt (want  $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 12 H_2O + \text{energie}$ ).

Voor K:  $3,6 * 1/1 = 3,6 \text{ mmolC}/\text{m}^2$

#### (6) Vertalen van koolstofverlies in opbrengstverlies.

- (I) Het koolstofverlies wordt eerst omgezet van mol naar gram, gebruik makend van het molecuulgewicht van C (12 g/mol).

Voor K:  $3,6 * 10^{-3} * 12 = 0,0432 \text{ g}/\text{m}^2$

- (II) Dan wordt het koolstofverlies omgezet in biomassaverlies, uitgaande van een C-gehalte in de droge biomassa van 35% voor tuinbouwgewassen (Ho, 1976).  
*Voor K:  $0,0432/35\% = 0,1234\text{ g/m}^2$*
- (III) Het totale verlies aan biomassa wordt omgezet in vruchtopbrengstverlies door vermenigvuldiging met de droge-stof index (60%; dit wil zeggen dat dit ras ongeveer 60% van de assimilaten omzet in vruchtmassa)  
*Voor K:  $0,1234*60\% = 0,0740\text{ g/m}^2$*
- (IV) Het drogestof verlies wordt omgerekend naar vers gewicht door deling met het drogestofgehalte, waarvan wordt uitgegaan dat dit 10% is (voor ronde tomaten is dit 5-6%)  
*Voor K:  $0,0740/10\% = 0,74\text{ g/m}^2$*

#### (7) Berekening van het totale potentiële opbrengstverlies

Deze berekening hiervoor toont alleen de cijfers voor K. Als we de berekening uitvoeren voor alle macro-elementen uit onze drainwateranalyse, dan is het totale verlies aan versgewicht 2,55 g/m<sup>2</sup>. Uitgaande van een dagelijkse versgewicht toename van 170 g/m<sup>2</sup>/dag (40 kg/m<sup>2</sup> voor 240 dagen productie), is het potentiële opbrengstverlies:  $2,55/170 = 1,5\%$ .

#### **Verdere opmerkingen**

In dit voorbeeld zijn de afwijkingen van de streefwaarden relatief klein. Berekeningen met drainanalyses van verschillende dagen (hetzelfde bedrijf) laten een gemiddeld potentieel opbrengstverlies zien van 3-4% en een max van 5%.

Het is niet mogelijk om de zuurstofverbruik in de praktijk te bepalen en daarom hebben we laboratoriumproeven met jonge tomatenplanten uitgevoerd waarbij we dit onder gecontroleerde omstandigheden konden meten. Het daarmee berekende opbrengstverlies kwam uit op 3-6%, wat in dezelfde orde van grootte is als door Bouma en De Visser (1993) en Cannell en Thornley (2000) voor andere gewassen is berekend (2-3%). Om het zuurstofverbruik bij tomaat nog beter te kunnen onderbouwen, zouden de laboratoriumproeven ook met oudere planten (langere productieperiode) en met andere ionen (tot nu toe zijn alleen NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, K en Ca getest) moeten worden uitgevoerd. Voor de berekeningen zijn we tot nu toe van de (conservatieve) waarden uit de literatuur uitgegaan.

**Tabel 1.** De berekening van het potentiële opbrengstverlies door afwijkingen van concentratieverhoudingen van mineralen in de drainanalyse ten opzichte van de streefwaarden, met K als voorbeeld.

Stappen	Waarden	Berekening	Eenheid
1) Standaardisering van EC in drainanalyse (ECx) naar een standaard EC (ECt)	ECt=3,7 ECx = 4,3 X= K = 15,9	$X*(ECt/ECx) = Xc$  $15,9*(3,7/4,3)=13,8$	mmol(X)/l
2) Berekening afwijking van element X ten opzichte van streefwaarde T	streefwaarde K = 8	$T - Xc = D$  $8 - 13,8 = -5,8$	mmol(X)/l
3) Omrekening van de afwijking (D) naar zuurstofverbruik (o)	Zuurstofverbruiksfactor <sup>1</sup> (Of) = 0,45 (mmolO <sub>2</sub> /mmol(x))	$ D *Of = o$  $5,8*0,45 = 2,6$	mmolO <sub>2</sub> /l
4) Omrekening van relatief (o) naar absoluut zuurstofverbruik (O) door vermenigvuldiging met de wateropname (W)	W = 1,4 (L/m <sup>2</sup> /dag)	$o*W = O$  $2,6*1,4 = 3,6$	mmolO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
5) Vertalen zuurstofverbruik naar koolstof verlies (C) in rato 1:1	Koolstof factor (Cf) = 1/1	$O*Cf = C$  $3,6*1/1 = 3,6$	mmolC/m <sup>2</sup>
6) Vertalen van koolstofverlies in opbrengstverlies (versgewicht; Y)	Molair gewicht koolstof (c) = 12 g Koolstofdeel van droge biomassa (C/DM) = 35% Droge-stof index (HI) = 60% Gehalte aan droge stof in vruchten (DMf) = 10%	$\frac{c * 10^{-3} * C}{DM} * \frac{HI}{DMf} = Y$  $\frac{12 * 3,6 * 10^{-3}}{35\%} * \frac{60\%}{5\%} = 0,74$	g/m <sup>2</sup>
7) Berekening van het totale potentiële opbrengstverlies (YL) als de verhouding tussen de cumulatieve Y van elk element en het gemiddelde opbrengsttoename (Yg)	Cumulatieve opbrengstverlies <sup>2</sup> ( $\sum Y$ ) = 2,55 g/m <sup>2</sup> /dag Daggemiddelde van de opbrengsttoename (Yg) = 170 (g/m <sup>2</sup> /dag)	$\frac{\sum_{d=16}^1 Y}{Yg} = YL$  $\frac{2,55}{170} = 1,5\%$	%

<sup>1</sup>Zuurstofverbruiksfactor = mmol O<sub>2</sub> verbruikt per 1 mmol afwijking van elk element ten opzicht van zijn streefwaarde. Factor voor K: 0,45 en voor NO<sub>3</sub> : 1,0; uit literatuur. Zie ook Verdere opmerkingen.