

Algemene Artikels

Ekonomiese ontginning van die proses van fotosintese: die basis van landbouproduksie

P.S. Hammes

Departement Plantproduksie, Universiteit van Pretoria, Pretoria 0002

UITTREKSEL

Gewasproduksie is gebaseer op die fotosinteseproses en produksieprogramme is slegs effektief indien die grootte, produksieperiode en doeltreffendheid van die groen, fotosintetiserende "fabriek" daardeur verbeter word. Die omvang van fotosintese op plaasskaal neem geweldige afmetings aan. Vir 'n tipiese mielie-oes op een hektaar land word nagenoeg 20 t. koolsuurgas benodig, wat uit sowat 60 000 t. lug herwin moet word. Selfs in hoogproduserende gewasstelsels word egter minder as 5% van die straling wat vanaf die son beskikbaar is, vasgelê in die vorm van chemiese energie. Soos in die verlede sal groot verhogings in oesopbrengste waarskynlik in die toekoms behaal word namate die fotosinteseproses beter verstaan en ontgin word.

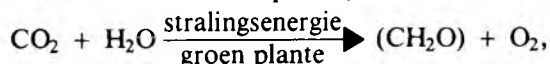
ABSTRACT

Economic exploitation of the photosynthetic process: the basis of agricultural production

Crop production is based on the photosynthetic process. Effective cropping systems are only attainable by optimising the size, active duration and effectivity of the photosynthesizing leaf canopy in the field. The extent of photosynthesis on a farm scale is impressive. A typical maize crop on one hectare of land utilises approximately 20 t. carbon dioxide, which is recovered from as much as 60 000 t. of air. Even highly productive cropping systems convert available radiation from the sun into chemical energy with an efficiency of less than 5%. Dramatic increases in crop yields may be attained in future, as has been the case in the past, as the process of photosynthesis is exploited with increasing skill.

INLEIDING

Die basiese fotosinteseproses, naamlik



is reeds sedert 1804 bekend, en meer as 150 jaar gelede is die grondliggende belangrikheid daarvan in die biologiese wêreld raakgesien.^{8,11}

Namate kennis vermeerder het, het die besef gekom dat bykans alle lewe op aarde afhanklik is van hierdie proses. Vandag weet selfs laerskoolkinders dat groen plante stralingsenergie kan gebruik om koolsuurgas uit die atmosfeer te bind in die vorm van produkte wat ons kan benut vir voedsel, kleding en selfs in die vorm van fossielbrandstowwe. Plantfisioloë en biochemici het reeds in fyn besonderhede die aard van die proses van fotosintese ontrafel.^{2,8,9,12} In die landboukundige vakliteratuur het sedert die sestigerjare artikels en boeke verskyn wat die implikasies hiervan vir die landbou beklemtoon.^{1,7,9,11} Die tema van fotosintese as die basis van gewasproduksie kom herhaaldelik voor. Nogtans neig talle wetenskaplikes en praktykgerigte landboukundiges om aan fotosintese te dink as 'n mikroproses wat in kuvette in plantfisiologielaboratoriums plaasvind. Die doel met hierdie algemene artikel is om te wys op die omvang van fotosintese op plaasskaal en om aan die hand van eenvoudige beginsels enkele algemene bestuursbenaderings voor te stel.

FOTOSINTESE OP DIE PLAAS

Die boer op die plaas kan in baie opsigte met 'n fabrieksbestuurder vergelyk word. Soos talle nywerhede op chemiese prosesse gebaseer is, ontgin die gewasprodusent die fotosinteseproses. Op elke hektaar land word met elke oes 'n groen "fotosintese-fabriek" tot stand gebring. Net soos eweknieë elders, word produksie bepaal deur die

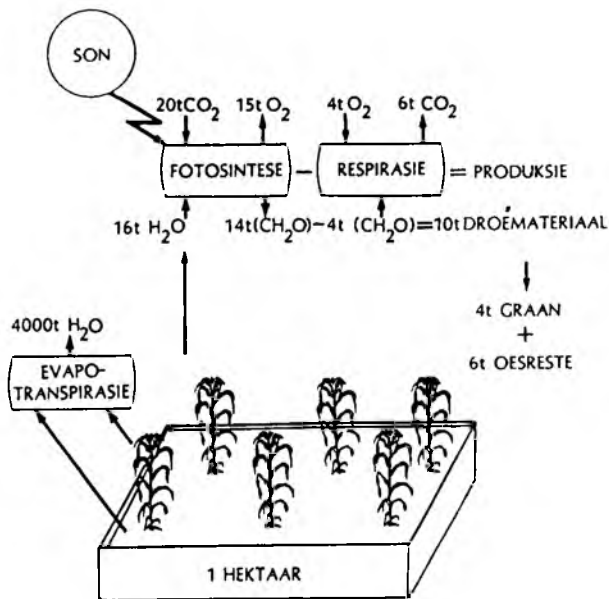
- (i) grootte
- (ii) produksietyd en
- (iii) doeltreffendheid van die "fabriek".

Hierdie eienskappe is meetbaar en manipuleerbaar in die praktyk. Opbrengsverhogings kan meestal teruggevoer word na verbetering in een of meer van hierdie faktore.

Omvang van fotosintese

Verskeie persone het reeds berekeninge van die omvang van fotosintese op 'n plaasskaal gedoen. Die eenvoudigste benadering is seker om by die finale oes te begin en daarvan af te lei hoeveel assimilate deur fotosintese geproduseer moes gewees het. In fig. 1 word 'n eenvoudige voorstelling gegee van die omvang van fotosintese om 'n (beskeie) mielieoes van 4 ton graan per hektaar te lewer. Indien konserwatief aanvaar word dat daar aan die einde van die groeiseisoen nagenoeg 6 t. droëmateriaal in die vorm van stonke, blare en wortels teenwoordig sou wees, en

dat 'n verdere 4t. assimilate tydens die groeiseisoen deur respirasie verbruik sou word, moes die fotosinteseproses minstens 14t. assimilate geproduseer het. Hiervoor sou die groeiende plante nagenoeg 20t. CO₂ per hektaar uit die lug moes ontgin, terwyl sowat 15t. suurstof geproduseer word.^{7,11}



FIGUUR 1: Skematiese voorstelling van die omvang van fotosintese en respirasie deur mielies op 'n land met 'n oppervlakte van een hektaar.

Respirasie

Groeiende plante respireer deurlopend en die omvang van respirasie word ook in fig. 1 geïllustreer. Volgens ramings word 10 tot 30 % van geproduseerde assimilate vir normale donkerrespirasie benodig in C₄-plante soos mielies. Bykomende fotorespirasie in C₃-plante soos koring kan tot gevolg hê dat tot 50 % en meer van die geproduseerde assimilate vir respirasie aangewend word.¹² Indien respirasie in ag geneem word, is die nettoproduksie van suurstof in ons voorbeeld 11t. per hektaar, genoeg om in die behoeftes van 'n tiental mense vir 'n jaar lank te voorsien. Hierdie is natuurlik 'n kommoditeit waarvoor die produsente tot nog toe nie vergoed is nie.

Plantvoedingselemente

Plantvoedingselemente soos stikstof, fosfor en kalium, tesame met die ander noodsaaklike makro- en mikro-elemente, maak by alle landbougewasse minder as 10 % van die totale droëmassa wat geproduseer word uit en in baie gevalle minder as 5 % – dit wil sê slegs sowat 500 kg in die voorbeeld in fig. 1. Die deurslaggewende belangrikheid van selfs mikro-elemente is in die landbou egter goed bekend en produsente weet dat die teenwoordigheid of afwesigheid van mikrohoeveelhede (enkele gram per hektaar) van bepaalde voedingselemente die verskil tussen 'n goeie oes en 'n volslae misoes kan beteken.

Water

Slegs 'n fraksie van die water wat deur plante gebruik

word (16t. in fig. 1), word in fotosintese aangewend.⁷ Die restant (4000 t. per hektaar in fig. 1) gaan deur evapotranspirasie verlore. Die grootste gedeelte hiervan, bykans 3000t. water in ons voorbeeld, gaan deur die proses van transpirasie verlore en die res deur direkte verdamping vanaf die grondoppervlakte. Hierdie waardes kan vanselfsprekend baie varieer, afhangende van die omgewingstoestande waaronder die oes geproduseer is. Die feit is egter dat om 4t. graan te produseer 'n baie groot hoeveelheid water verbruik word wat nie direk betrokke is by fotosintese nie.

Koolsuurgas

Koolsuurgas is so 'n belangrike grondstof in die fotosinteseproses dat die aandag wat daarop toegespits word, verstaanbaar is. Met 'n koolsuurgaskonsentrasie van 0,033 % in die atmosfeer beteken dit dat 'n oes wat 20t. CO₂ per hektaar benodig, soveel soos 60 000t. lug gedurende die groeiseisoen moet verwerk. Met 'n effektiewe groeiperiode van 100 dae kom dit neer op 600t. per hektaar per dag.^{7,11,12} Die logistiek hieraan verbode is verbysterend, veral as in gedagte gehou word hoe klein die stomas is waardeur gaswisseling moet plaasvind. Onder landtoestande kan produsente gelukkig of ongelukkig weinig doen aan koolsuurgasvoorsiening en is dit natuurlike lugbeweging wat bydra dat akute koolsuurgastekorte waarskynlik selde ontstaan.^{7,12} Nogtans is met talle toetsgewasse gevind dat produktiwiteit aansienlik verhoog kan word indien koolsuurgasvlakke van twee- tot viermaal hoër as die atmosferiese koolsuurgaskonsentrasie gehandhaaf kan word. Dié feit word reeds op kommersiële skaal toegepas in groentekwekhuise in Europa. Met relatief duur groentegewasse in geslote ruimtes is koolsuurgasverryking (d.m.v. paraffienbranders, of kommersiële bronne van koolsuurgas, of ontbindende organiese materiaal) 'n lonende praktyk. Die geleidelike verhoging in die atmosferiese koolsuurgaskonsentrasie wat die afgelope dekades waarneembaar was, mag moontlik allerlei onwenslike ekologiese gevolge hê, maar dit sal terselfdertyd 'n gunstige effek op gewasproduksie hê.

Straling

Straling vanaf die son word by 'n groot aantal weerstasies oor die wêreld gemeet. Sodanige stralingsdata is ook vir Suid-Afrika beskikbaar. Oor 'n groot gedeelte van die somerreëgebied is die gemiddelde daaglikse totale straling gedurende die groeiperiode van somergewasse relatief hoog.¹⁰ Uit die elektromagnetiese spektrum van sonstraling is egter slegs 'n baie spesifieke gedeelte, naamlik dié met golflengtes tussen 400 en 700 nanometer (nagenoeg dieselfde golflengtes wat ons as sigbare lig ervaar), aktief in die proses van fotosintese. In die plantwetenskappe word universeel hierna verwys as fotosinteties-aktiewe radiasie (FAR). Stralingsmeters, toegerus met sogenaamde kwantumsensors, kan gebruik word om hierdie fotosintetiese fotonvloedigheid (FFVD) te meet. Tipiese FFVD-waardes in die middel van 'n

somerdag in Pretoria kan soveel soos $2\ 000\ \mu\ \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ beloop. Hierdie gedeelte wat deur plante benut kan word, maak nagenoeg 47 % uit van die totale straling wat die aardoppervlakte bereik.³

'n Verbasende klein gedeelte van die stralingsenergie wat in die duur van 'n gewas se groeiperiode op 'n hektaar landoppervlakte inval, word deur die fotosinteseproses in chemiese energie vasgelê. Hierdie "fotosintetiese doeltreffendheid" kan maklik bereken word,¹¹ en tipiese waardes van ongeveer 1 % word met goeie gewasoeste in Suid-Afrika behaal. Werklike rekordoste benut maar die beskikbare straling met 'n 2-5 % doeltreffendheid. Teoreties kan bereken word dat die grense van fotosintetiese doeltreffendheid tussen 10 en 22 % lê.^{11,12} Hierdie waardes lyk miskien steeds laag, maar dit stel 'n tartende uitdaging aan plantproduksie as wetenskap om huidige produksieknelpunte te identifiseer en sodoende oesopbrengste moontlik veelvoudig te verhoog.

Die besondere lae fotosintetiese doeltreffendheid mag die indruk skep dat oormatige hoeveelhede stralingsenergie beskikbaar is. Talle laboratoriumondersoeke het inderdaad ook getoon dat stralingsversadiging van die fotosinteseproses by irradiansies van so laag soos 15 % van volle sonlig voorkom.³ Die foutiewe beeld dat straling (veral in sonnige Suid-Afrika) selde 'n beperkende faktor in kommersiële gewasproduksie is, het sodoende geredelik posgevat. Inderdaad is straling in gewasstande wel dikwels 'n beperkende faktor, hoofsaaklik as gevolg van onderlinge beskaduïng van blare. Bykans alle proewe waar staling verhoog is, byvoorbeeld deur weerkaatsers rondom persele en/of op die grondoppervlakte op te stel, het opbrengsverhogings getoon.¹¹ Netso lei beskaduïng meestal tot oesverlagings.⁵ Talle praktyke om stralingsbenutting deur gewasstande te verbeter, byvoorbeeld deur manipulasie van blaareienskappe, lei ook dikwels tot opbrengsverhogings, soos byvoorbeeld al gevind met regopblaar cultivars van kleingrane en mielies.^{2,11} Metings van die fotosintese-tempo wat by die Universiteit van Pretoria gedoen is, het ook duidelik getoon dat namate die plantpopulasie in mieliestande verhoog, en onderlinge beskaduïng van blare toeneem, die fotosintese-tempo in verhouding verlaag.

AKKERBOUKUNDIGE IMPLIKASIES

Dit is onder andere die taak van landboukundiges om gewasproduksiesisteme te ontwerp wat die omvang van fotosintese op plaasskaal sal verhoog. Dit behels

dat vir 'n gegewe situasie vasgestel moet word wat die optimum *grootte* van die blaarfabriek behoort te wees. Hierdie raak 'n moeilike opdrag wanneer ander beperkende faktore, dikwels 'n gebrek aan water in Suid-Afrika, die optimum grootte bepaal. Voorts moet produksiestelsels toegespits wees om die *doeltreffendheid* van die blaarfabriek so hoog as moontlik te hou (deur o.a. manipulasie van plantdigtheid en plantpatrone, plaagbeheer, bemesting). Laastens moet die kritieke produksietyd van die blaarfabriek so lank moontlik wees, veral vir die periode wanneer die ekonomiese gedeelte van die oes geproduseer word (byvoorbeeld tydens graanvul of knolgroei). Van die skouspelagtigste opbrengsverhogings wat gedurende die afgelope dekade of twee behaal is, kan hoofsaaklik aan verbetering van hierdie laaste eienskap toegeskryf word. Dit lei geen twyfel nie dat sukses met fasette van die produksieproses makliker haalbaar is as wetenskaplikes en boere duideliker sal besef waar 'n bepaalde faset in die basiese fotosintese-produksieprogram inpas.

Ontvang 7 April 1987; aanvaar 13 Mei 1987.

VERWYSINGS

1. Carlson, P.S. (ed.) (1980). *The biology of crop productivity* (Academic Press, New York).
2. Cooper, J.P. (ed.) (1975). *Photosynthesis and productivity in different environments* (Cambridge University Press, Cambridge).
3. Downs, R.J. & Helmers, H. (1975). *Environment and the experimental control of plant growth* (Academic Press, New York).
4. Evans, L.T. (ed.) (1975). *Crop physiology: Some case histories* (Cambridge University Press, London).
5. Hammes, P.S.; Beyers, E.A. & Joubert, F.S. (1980). Die invloed van straling op die groei en opbrengs van kweekhuistamaties. *Gewasproduksie* 9, 227-231.
6. Hurd, R.G.; Biscoe, P.V. & Dennis, C. (eds.) (1980). *Opportunities for increasing crop yields* (Pitman, London).
7. Nichiporovich, A.A. (ed.) (1967). *Photosynthesis of productive systems* (Monson, Jerusalem).
8. Noggle, G.R. & Fritz, G.J. (1983). *Introductory plant physiology* (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey).
9. San Pietro, A.; Greer, F.A. & Army, T.J. (eds.) (1967). *Harvesting the sun: Photosynthesis in plant life* (Academic Press, New York).
10. Schulze, B.R. (1980). *Klimaat van Suid-Afrika*, Deel 8: Algemene Oorsig (Weerburo, Dept. van Vervoer, Pretoria).
11. Stoskopf, N.C. (1981). *Understanding crop production* (Reston Publishing Co, Reston, Virginia).
12. Zelitch, I. (1971). *Photosynthesis, photorespiration and plant productivity* (Academic Press, New York).