

Het C4-rijstproject

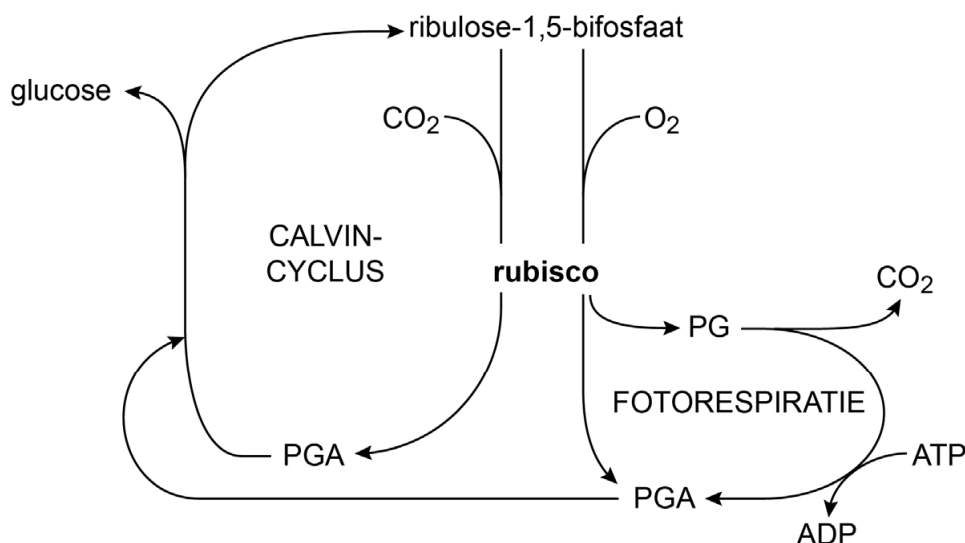
Rijst is het basisvoedsel voor meer dan de helft van de wereldbevolking. Vanwege de groei van de wereldbevolking zou de rijstopbrengst tot 2050 met meer dan 50 procent moeten stijgen. In het C4-rijstproject probeert een internationaal samenwerkingsverband van wetenschappers een hogere opbrengst te realiseren door van de C3-rijstplant een C4-rijstplant te maken.

Door veredeling is de opbrengst van de commerciële rijstrassen veel hoger dan die van de oorspronkelijke wilde rijst.

- 2p **22** Noteer twee andere maatregelen waardoor boeren een hogere opbrengst hebben gerealiseerd.

Rijst is, net als de meeste planten, een C3-plant. Dat houdt in dat bij de fotosynthese na de CO₂-fixatie er een tussenproduct (PGA) ontstaat dat uit drie koolstof-atomen (C3) bestaat. Het rendement van dit proces wordt beperkt doordat het daarbij betrokken enzym rubisco niet alleen bindt aan CO₂, maar ook aan O₂. Naarmate de relatieve concentratie van zuurstof stijgt, neemt de affiniteit van rubisco voor zuurstof toe en wordt, behalve PGA (glycerinezuur-3-fosfaat), ook PG (glycolzuur-2-fosfaat) gevormd. In een proces dat fotorespiratie wordt genoemd, wordt hieruit weer PGA gevormd, dat in de Calvin-cyclus verwerkt kan worden. In afbeelding 1 worden de Calvin-cyclus en de fotorespiratie schematisch weergegeven.

afbeelding 1

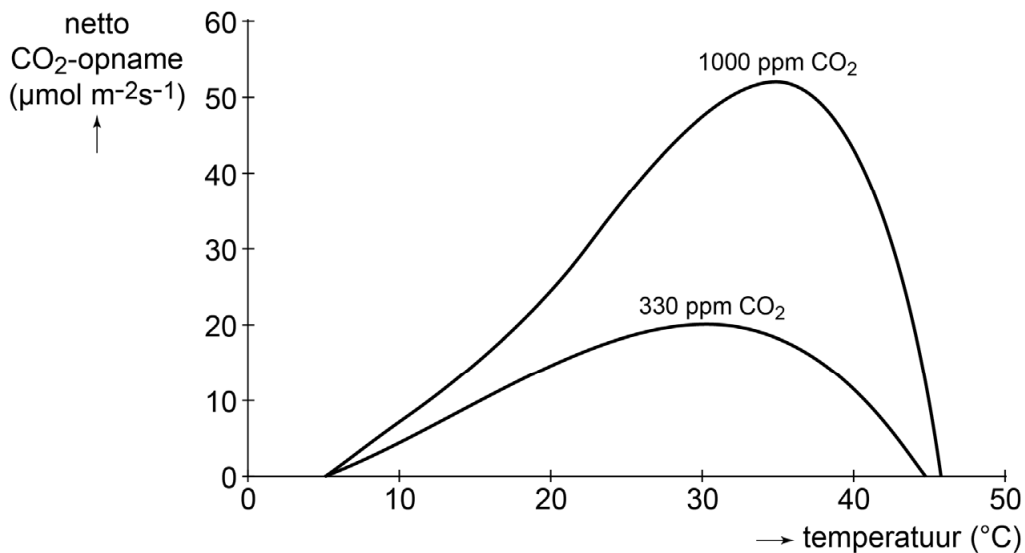


Rijst wordt vooral verbouwd in de tropen. Bij een hoge omgevingstemperatuur sluiten de huidmondjes en neemt in het blad de fotorespiratie toe, waardoor het rendement van de fotosynthese in de plant kan halveren.

- 2p 23
- Verklaar dat als gevolg van het sluiten van huidmondjes de fotorespiratie in een blad zal toenemen.
 - Verklaar aan de hand van het schema in afbeelding 1 dat fotorespiratie de opbrengst van de fotosynthese verlaagt.

Het verband tussen de netto CO₂-opname van een C₃-plant en de temperatuur bij twee verschillende CO₂-concentraties is weergegeven in afbeelding 2.

afbeelding 2



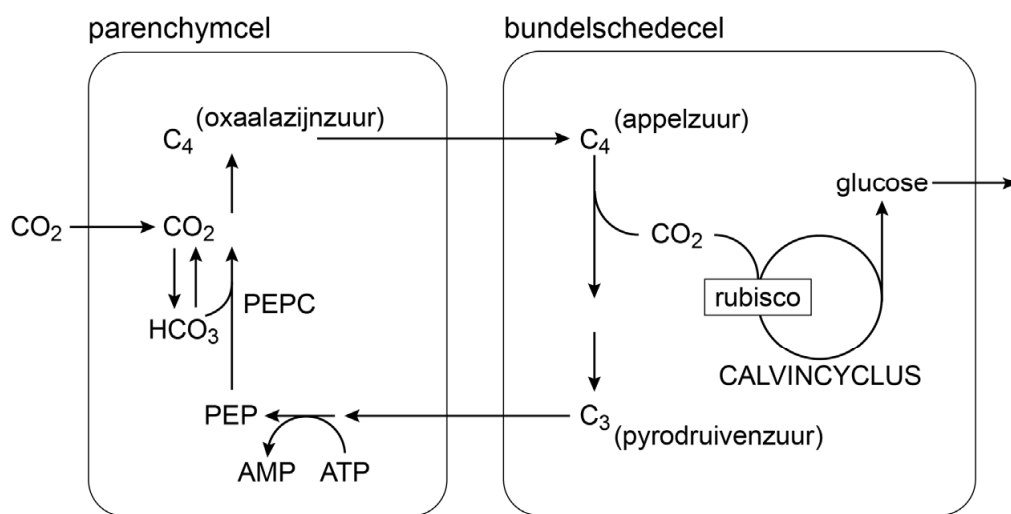
Over deze gegevens worden de volgende beweringen gedaan:

- 1 Bij 30 °C is een CO₂-concentratie van 330 ppm beperkend voor de fotosynthese.
- 2 Tussen de 30 en 35 °C raken enzymen bij een CO₂-concentratie van 330 ppm minder snel beschadigd dan bij 1000 ppm CO₂.
- 3 Bij 30 °C is de zuurstofafgifte van bladcellen bij 1000 ppm CO₂ hoger dan bij 330 ppm CO₂.

- 2p 24 Noteer de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar op je antwoordblad en schrijf erachter of de betreffende bewering op grond van afbeelding 2 **wel** of **niet** juist is.

In de loop van de evolutie is bij enkele groepen planten een mechanisme ontstaan om het optreden van fotorespiratie te vermijden door opgenomen CO₂ vast te leggen in een C₄-verbinding. Belangrijke C₄-voedselgewassen zijn maïs en suikerriet. In C₄-planten wordt fosfo-enolpyruvaat-decarboxylase (PEPC) gebruikt voor de fixatie van CO₂. PEPC werkt sneller dan rubisco en heeft geen affiniteit voor zuurstof. Bij C₄-planten zijn twee celtypen betrokken bij de fotosynthese: parenchymcellen en bundelschedecellen. In afbeelding 3 zijn processen van de fotosynthese in bladcellen van een C₄-plant schematisch weergegeven.

afbeelding 3



De indeling van C₃- en C₄-planten is gebaseerd op de eerste stabiele verbindingen die door fixatie van CO₂ uit de lucht gevormd worden.

2p 25 Welke verbinding is dat bij C₃-planten en welke bij C₄-planten?

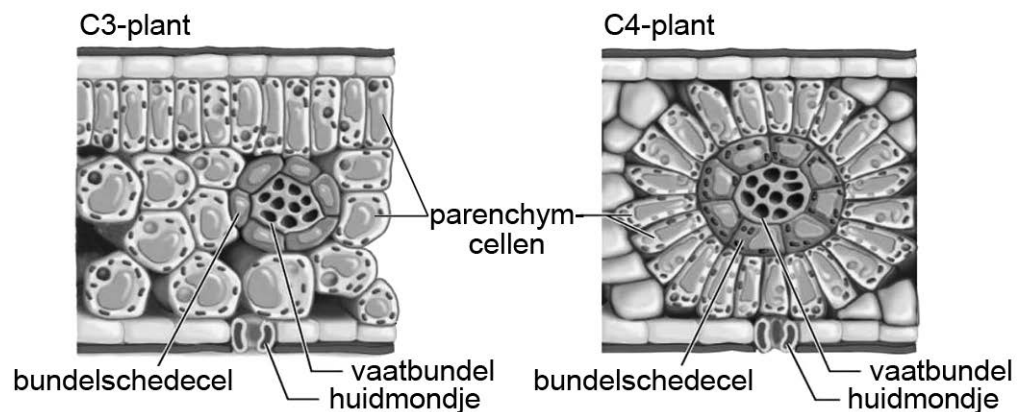
bij C₃-planten

bij C₄-planten

- | | | |
|---|-------------------------|----------------|
| A | glycerinezuur-3-fosfaat | appelzuur |
| B | glycerinezuur-3-fosfaat | oxaalazijnzuur |
| C | pyrodruivenzuur | appelzuur |
| D | pyrodruivenzuur | oxaalazijnzuur |

Ook de bouw van de bladeren van C4-planten is aangepast. In C3-planten bevinden de chloroplasten zich nagenoeg alleen in parenchymcellen, maar in C4-planten bevatten ook de bundelschedecellen veel chloroplasten (afbeelding 4). Bundelschedecellen liggen rond de vaatbundels en de parenchymcellen liggen daar bij een C4-plant weer als een krans omheen. De buitenlaag van de bundelschede bevat kurkstof om diffusie van CO₂ te voorkomen.

afbeelding 4



De chloroplasten in de bundelschedecellen bevatten geen fotosysteem II in de thylakoïden.

- 2p **26** Leg uit dat de aanwezigheid van fotosysteem II in de thylakoïden van de bundelschedecellen nadelig zou zijn voor de efficiëntie van de fotosynthese.

De groep wetenschappers wil rijst omvormen tot een C4-plant. In de loop van de evolutie is C4-fotosynthese vele malen onafhankelijk ontstaan, hetgeen er volgens de onderzoekers op wijst dat de stap van C3 naar C4 niet al te moeilijk is.

In afbeelding 5 is een globaal stappenplan weergegeven dat moet leiden tot C4-rijst.

afbeelding 5

$$C3 + \boxed{\text{anatomische veranderingen}} + \boxed{\text{biochemische veranderingen}} + \boxed{\text{optimaliseren}} = C4$$

De anatomische veranderingen in het stappenplan betreffen vooral de bouw van het blad. De onderzoekers maakten talrijke rijstmutanten en selecteerden daaruit de meest veelbelovende planten om de gunstige eigenschappen door gericht kruisen te stapelen.

Verschillen in het bladweefsel van de verschillende rijstmutanten waren:

- 1 meer of minder vaatbundels per bladoppervlak
- 2 meer of minder bundelschedecellen om de vaatbundels
- 3 meer of minder chloroplasten in bundelschedecellen

- 2p **27** Noteer de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar op je antwoordblad en schrijf erachter of de mutanten met **meer** of met **minder** van de betreffende eigenschap interessant zijn om verder te kweken voor het C4-project.

De biochemische veranderingen in het stappenplan (afbeelding 5) hebben vooral betrekking op enzymen. Gebleken is dat veel enzymen van de C4-fotosynthese wel vóórkomen in C3-planten, maar op andere plaatsen. Het onderzoek richt zich daarom op regulatie van de genexpressie.

Enkele factoren die genexpressie reguleren zijn:

- 1 aanwezigheid van activators
- 2 methylering van het DNA
- 3 RNA-interferentie

- 1p **28** Noteer het nummer van de factor die genexpressie beïnvloedt of de nummers van de factoren die genexpressie beïnvloeden op transcriptieniveau.

De onderzoekers zijn ervan overtuigd dat het ombouwen van C3- naar C4-rijst zal lukken vóór 2040. Zij noemen als voordeel dat de teelt van C4-rijst ecologisch duurzamer is dan de teelt van C3-rijst omdat het leidt tot een efficiënter gebruik van land, stikstof (mest) en water.

Eigenschappen van C4-rijst vergeleken met C3-rijst zijn:

- 1 De fotosynthesesnelheid blijft langer toenemen bij toenemende lichtintensiteit.
- 2 Er is minder rubisco nodig.
- 3 Bij deels gesloten huidmondjes is er meer diffusie van CO₂.

- 2p **29** Aan welk van de verbeteringen in efficiëntie dragen deze eigenschappen elk in de eerste plaats bij?

	eigenschap 1	eigenschap 2	eigenschap 3
A	landgebruik	stikstofgebruik	watergebruik
B	landgebruik	watergebruik	stikstofgebruik
C	stikstofgebruik	landgebruik	watergebruik
D	stikstofgebruik	watergebruik	landgebruik
E	watergebruik	landgebruik	stikstofgebruik
F	watergebruik	stikstofgebruik	landgebruik