Polyploïdie: het geheime wapen van bloemplanten

Polyploïde planten hebben meer dan twee sets chromosomen en zijn vaak groter en voedzamer dan de gangbare diploïde soortgenoten (chromosomen in tweevoud). Veel cultuurgewassen zijn polyploïd, maar ook bij wilde bloemplanten komt het vaak voor. Polyploïdie zou zelfs een drijvende kracht kunnen zijn achter het evolutionaire succes van de bloemplanten.

Tekst Marit van Santen & Caroline Elfferich

Bloemplanten vormen het grootste landplantengeslacht op aarde, met meer dan 300.000 soorten. Ze worden ook wel 'bedektzadigen' genoemd. Dit in tegenstelling tot hun zustergroep, de 'naaktzadigen' (waaronder de coniferen), die uit zo'n 1200 soorten bestaat. Bloemplanten ontstonden waarschijnlijk meer dan tweehonderd miljoen jaar geleden. De afgelopen honderd miljoen jaar is het aantal soorten sterk toegenomen, dus de evolutie van bloemplanten vond plaats in een relatief korte geologische periode. Er zijn niet alleen heel veel soorten bloemplanten, ze groeien ook met een grote verscheidenheid aan vormen in bijna alle habitats op aarde. Wat is de invloed van polyploïdie op de evolutie, overleving, diversificatie en verspreiding van bloemplanten?



De polyploïde Japanse duizendknoop (*Fallopia japonica*) is een sterke, invasieve exoot. | **Foto** Willemien Troelstra

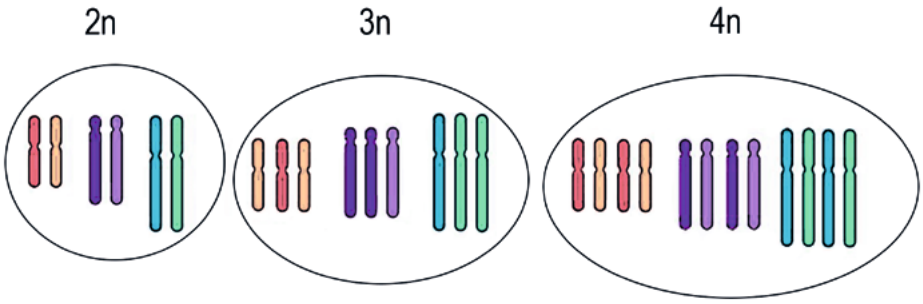
Evolutie

Uit onderzoek van Soltis et al (2009) blijkt dat alle bloemplanten een gedeelde geschiedenis hebben van vele miljoenen jaren oude polyploïdisaties. Deze hebben zó lang geleden plaatsgevonden dat ze lastig zijn op te sporen, maar met nieuwe DNA-technieken is er toch bewijs voor gevonden. Verschillende genen die de ontwikkeling van bloemorganen controleren (MADS-box), zijn waarschijnlijk vroeg in de geschiedenis van de bloemplanten verdubbeld. Naaktzadigen hebben namelijk maar één zo'n type 'gen', terwijl alle bloemplanten er minstens twee hebben. Later in hun evolutie hebben de meeste bloemplanten nog een aantal polyploïdisaties meegemaakt. Hierbij zijn vooral veel genen behouden gebleven die te maken hebben met de regulatie van groei en ontwikkeling.

Zhang et al (2021) vonden aanwijzingen dat polyploïdisatie heeft bijgedragen aan de evolutie van nieuwe functies in de composietenfamilie (Asteraceae), die naar schatting 85 miljoen jaar geleden is ontstaan. Sinds de oorsprong van deze familie zijn bloemenregulerende genen gedupliceerd die een belangrijke rol spelen in de ontwikkeling van het kenmerkende samengestelde bloemhoofdje en de pappus. De pappus is het pluis aan de zaadjes van paardenbloemen, het draagt bij aan de zaadverspreiding.
Verder speculeren Soltis et al (2015) dat genoomduplicaties een rol hebben

Genen en genomen

Een gen is een stukje DNA dat erfelijke eigenschappen doorgeeft aan nakomelingen. Genen maken deel uit van chromosomen, die samen het genoom vormen. Het genoom omvat al het genetisch materiaal van een organisme.



Diploïde organismen hebben hun chromosomen in tweevoud (2n), polyploïden hebben hun genomen in meervoud (bijv. 3n, 4n of hoger).

gespeeld bij de ontwikkeling van nieuwe vormen van fotosynthese waarbij minder waterverlies optreedt. Dat stelt deze planten, waaronder cactussen, in staat om in warmere of drogere omgevingen te gedijen.

Overleving

De bloemplanten hebben tijdens hun evolutie meerdere drastische klimaat- en of milieuveranderingen meegemaakt. Soltis et al (2015) toonden aan dat genoomduplicaties van bloemplanten niet willekeurig door de tijd verdeeld zijn, maar juist geclusterd rond onstuimige klimatologische perioden. Eén daarvan is de Krijt-Paleogeen grens, de overgang tussen de geologische tijdperken Krijt (K) en Paleogeen (Pg).

De K-Pg-grens wordt geassocieerd met een grote uitstervingsgolf. Dit gebeurde zo'n 66 miljoen jaar geleden toen een meteoor insloeg op het Mexicaanse schiereiland Yucutan en het klimaat ontwrichtte. Wat volgde was een 'inslagwinter' door grote hoeveelheden stof en aerosolen in de stratosfeer, die de binnenkomende zonnestraling decennialang aanzienlijk verminderde. Dit was een periode van massale uitsterving die de meerderheid van de soorten op aarde heeft uitgevaagd, waaronder de niet-vliegende dinosauriërs. De bloemplanten hebben het wel overleefd. In dat tijdperk ontstonden veel kouderesistente genen die geassocieerd zijn met genoomduplicaties. Deze genen zorgden er waarschijnlijk voor dat bloemplanten de klimatologische stress en kou tijdens de K-Pg-grens konden overleven.

Diversificatie

Soltis et al (2015) brengen polyploïdisatie in verband met soortvorming en diversificatie: het proces waarbij een breed scala aan verschillende vormen en functies ontstaat. Ze toonden aan dat de zeer soortenrijke groepen bloemplanten (zoals orchideeën, kruisbloemigen, peulvruchten, composieten en grassen) opvallend veel polyploïdisaties hebben gekend in hun evolutie. Omdat geslachtelijke voortplanting tussen nieuw ontstane polyploïden en hun diploïde voorouders meestal geen levensvatbare nakomelingen oplevert,

Elk voordeel heeft zijn nadeel

Na polyploïdisatie heeft een organisme ineens meerdere kopieën van elk gen. Deze 'dubbele genen' kunnen een nieuwe functie krijgen zonder verlies van bestaande genfuncties. Hierdoor kunnen nieuwe eigenschapen ontstaan die het aanpassingsvermogen van de plant vergroten. In verstoorde of veranderende milieus kunnen polyploide planten hiermee een voordeel hebben. Polyploïdie maakt het proces van meiose, waarbij geslachtscellen worden gevormd, echter veel complexer. Dit kan zelfs leiden tot nakomelingen die niet levensvatbaar of steriel zijn. Polyploïde organismen hebben grotere celkernen en meer genetisch materiaal om te repliceren en te onderhouden. Dit brengt hogere energetische kosten met zich mee. Na verloop van tijd kan 'rediploïdisatie' optreden. Dit is een rigoureuze reorganisatie waarbij nutteloze genen worden verwijderd. Hierdoor is het soms moeilijk om polyploïdisatie-evenementen op te sporen die vroeg in de evolutie hebben plaatsgevonden .



De gecultiveerde aardbei (*Fragaria* × *ananassa*) op de voorgrond is octoploïd. De bosaardbei (*Fragaria vesca*) op de achtergrond is een wilde diploïde soort. | **Foto** Caroline Elfferich

wordt polyploïdie vaak beschouwd als een soortvormingsmechanisme.
Genoomduplicaties kunnen ook op een indirecte manier tot reproductieve barrières leiden. De evolutie van bloemplanten hangt nauw samen met die van andere organismen, zoals bestuivers en planteneters. Polyploïde planten hebben soms een andere bloemkleur dan hun diploïde voorouder. Dit kan andere bestuivers aanlokken en daardoor kan een reproductieve barrière ontstaan. Zo kent het plantengeslacht tabak een opmerkelijke rijkdom aan bloemkleuren, die gepaard gaat met een verscheidenheid aan bestuivers (mot, vogel, bij, vleermuis), die een specifieke voorkeur voor een bepaalde bloemkleur aan de dag leggen. Bijna de helft van de 76 soorten in het geslacht tabak is polyploïd en genoomduplicaties zijn in dit geslacht gelinkt aan verandering in bloemkleur (McCarthy et al, 2015).

Edger et al. (2015) onderzochten de invloed van genoomduplicaties op de evolutionaire wedloop tussen koolplanten en de rupsen van koolwitjes, die zich tegoed doen aan deze planten. Het onderzoek toont aan dat koolplanten als gevolg van polyploïdisatie in staat zijn om steeds een breder scala aan verdedigingsstoffen te produceren. Hierdoor worden ze minder aantrekkelijk voor koolwitjes.

Verspreiding

Polyploïdie speelt waarschijnlijk ook een rol bij de verspreiding van bloemplanten op aarde. Mansion et al (2005) onderzochten dit voor het geslacht duizendguldenkruid, dat circa vijftig soorten omvat en zijn grootste diversiteit kent in het mediterrane gebied. Polyploïdie komt voornamelijk voor bij soorten en ondersoorten van duizendguldenkruid die wijdverspreid zijn of zich hebben gevestigd buiten het mediterrane gebied. Tetraploïde planten komen vooral voor in gematigde noordelijke gebieden, terwijl hexaploïden in meer droge zuidelijke gebieden te vinden zijn. Polyploïdisatie lijkt niet de verspreiding zelf te vergemakkelijken, maar eerder het succes in het nieuwe gebied. Polyploïde soorten duizendguldenkruid vertonen namelijk een bredere milieutolerantie in vergelijking met hun diploïde tegenhangers. Deze soorten kunnen hierdoor nieuwe habitats koloniseren waar diploïde soorten niet kunnen overleven.
Verder blijkt dat invasieve exotische plantensoorten vaker polyploïd zijn dan de inheemse soorten in het gebied dat ze koloniseren (Pandit et al., 2011). Een voorbeeld van een polyploïde invasieve soort is de Japanse duizendknoop, die inheemse vegetatie verdringt en aanzienlijke ecologische schade veroorzaakt.



Fraai duizendguldenkruid (Centaurium pulchellum) komt in Nederland voor en is een voorbeeld van polyploïde Centaurium-soorten die zich ook buiten het Mediterrane gebied hebben verspreid. | **Foto** Willemien Troelstra

Tot slot

Polyploïdie lijkt een cruciale rol te spelen in de evolutie van bloemplanten, door het verhogen van genetische diversiteit en het bevorderen van soortvorming en succesvolle kolonisatie na verspreiding. Dit biedt bloemplanten mogelijk een evolutionair voordeel, doordat het hen in staat stelt om zich beter aan te passen aan veranderende milieuomstandigheden. ■

Literatuur

- Edger, P. P., Heidel-Fischer, H. M., Bekaert, M., Rota, J., Glöckner, G., Platts, A. E., ... & Wheat, C. W. (2015). The butterfly plant arms-race escalated by gene and genome duplications. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *112*(27), 8362-8366.
- Mansion, G., Zeltner, L., & Bretagnolle, F. (2005). Phylogenetic patterns and polyploid evolution within the Mediterranean genus Centaurium (Gentianaceae-Chironieae). *Taxon*, *54*(4), 931-950.
- McCarthy, E. W., Arnold, S. E., Chittka, L., Le Comber, S. C., Verity, R., Dodsworth, S., ... & Leitch, A. R. (2015). The effect of polyploidy and hybridization on the evolution of floral colour in Nicotiana (Solanaceae). *Annals of Botany*, *115*(7), 1117-1131.
- Pandit, M. K., Pocock, M. J., & Kunin, W. E. (2011). Ploidy influences rarity and invasiveness in plants. *Journal of Ecology*, *99*(5), 1108-1115.
- Soltis, P. S., Marchant, D. B., Van de Peer, Y., & Soltis, D. E. (2015). Polyploidy and genome evolution in plants. *Current opinion in genetics & development*, *35*, 119-125.
- Soltis, D. E., Albert, V. A., Leebens-Mack, J., Bell, C. D., Paterson, A. H., Zheng, C., ... & Soltis, P. S. (2009). Polyploidy and angiosperm diversification. American journal of botany, 96(1), 336-348.
- Zhang, C., Huang, C. H., Liu, M., Hu, Y., Panero, J. L., Luebert, F & Ma, H. (2021). Phylotranscriptomic insights into Asteraceae diversity, polyploidy, and morphological innovation. *Journal of Integrative Plant Biology*, *63*(7), 1273-1293.



Colchicine, een chemische verbinding afkomstig van herfsttijloos, wordt in de plantenveredeling gebruikt om polyploïde planten te creëren. | **Foto** Willemien Troelstra