

Kruisingsexperimenten met Fast Plants

Docentenhandleiding



Ontwikkeld door:
Irene Hanenburg

Kruisingsexperimenten met Fast Plants

Docentenhandleiding

Ontwikkeld door:
Irene Hanenburg

In samenwerking met Wageningen Universiteit

Gefinancierd door Stichting Broekema Fonds

Dit experiment dient altijd uitgevoerd te worden onder begeleiding van een docent of toa. Wageningen Universiteit aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor schade die voortvloeit uit het verrichten van dit experiment buiten de campus van Wageningen Universiteit.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	4
1.1	Doelstellingen	
1.2	Werkvormen	6
1.3	Fast Plants	7
1.3.1	Fast Plants kweken en verzorgen	8
1.3.2	Types Fast Plants	11
1.4	Tijdsplanning	13
1.5	Overzicht van de lessen	14
1.6	Concept-contextbenadering	16
2.	Vertical Farming	17
2.1	Doelstellingen en concepten	
2.2	Het kruisingsexperiment	18
2.3	Moeilijkheidsgraad	
2.4	De onderzoeksopzet	
2.5	Verdiepende vragen	19
3.	Kamerplanten	21
3.1	Doelstellingen en concepten	
3.2	Het kruisingsexperiment	22
3.3	Moeilijkheidsgraad	
3.4	De onderzoeksopzet	
3.5	Verdiepende vragen	
4.	Witte vlekken	25
4.1	Doelstellingen en concepten	
4.2	Het kruisingsexperiment	26
4.3	Moeilijkheidsgraad	27
4.4	De onderzoeksopzet	
4.5	Verdiepende vragen	28
5.	Sierplanten	30
5.1	Doelstellingen en concepten	
5.2	Het kruisingsexperiment	31
5.3	Moeilijkheidsgraad	32
5.4	De onderzoeksopzet	
5.5	Verdiepende vragen	
	Referenties	35
	Appendix I: Fast Plants	36
	Appendix II: extra experimenten	47

1. Inleiding

1.1 Doelstellingen

In deze practicumserie zullen concepten uit de genetica en plantkunde worden aangeboden door middel van kruisingsexperimenten met “Fast Plants” (www.fastplants.org). Deze planten hebben karakteristieke eigenschappen die mono-genetisch bepaald zijn. Hierdoor zijn ze uitermate geschikt voor het illustreren van de wetten van Mendel en andere begrippen uit de genetica. De planten hebben een korte levenscyclus en zijn makkelijk te kweken op school, waardoor de leerlingen ervaring op kunnen doen met het kweken en kruisen van planten.

Er zijn vier verschillende kruisingsexperimenten beschikbaar, die elk gebruik maken van andere planten. De onderwerpen van de vier verschillende experimenten zijn: Vertical Farming, Kamerplanten, Witte Vlekken en Sierplanten. De experimenten kunnen verdeeld worden over de klas, of de hele klas kan hetzelfde experiment gaan doen.

De experimenten zijn bedoeld voor 4-6 VWO klassen, maar ook eventueel voor de bovenbouw van de HAVO.

De kruisingsexperimenten kunnen tijdens of na afloop van een lessenserie over erfelijkheid en DNA worden gegeven; ze vervangen de lessen en het lesmateriaal niet. De genetische concepten die aan bod zullen komen zullen de leerlingen vooral door de leerboeken leren. De genetische begrippen die een rol zullen spelen in de kruisingsexperimenten zijn:

- Erfelijke informatie op DNA
- Genen
- Locus
- Allelen
- Genotype
- Fenotype
- Gameten
- Meiose
- Zygoten
- Mitose
- Mutatie
- Variatie
- Dominante overerving
- Recessieve overerving
- Monohybride kruising
- Dihybride kruising
- Kruisingsschema
- Chloroplast DNA, extra-nucleair DNA
- Maternale overerving
- Biotechnologie
- Genetische modificatie
- Plantenveredeling

De concepten die behandeld worden, verschillen per practicum. Daarom wordt voor elk practicum apart aangegeven welke concepten behandeld worden.

De plantkundige concepten zullen in de practicumhandleiding worden uitgediept of kunnen op websites gevonden worden. Het is aan te bevelen is om nog aanvullend lesmateriaal ter beschikking te hebben voor de leerlingen over dit onderwerp, zoals een boek over plantenfysiologie en anatomie.

De kruisingsexperimenten vormen een goede mogelijkheid om de leerlingen kennis te laten maken met het kruisen en kweken van planten. Omdat er in het huidige biologie curriculum slechts één hoofdstuk aan planten wordt gewijd, vormen de kruisingsexperimenten ook een leuke en praktische aanvulling op dit hoofdstuk. De leerlingen kunnen op deze manier nader kennis maken met planten, zodat ze zullen beseffen dat planten geen starre maar juist dynamische organismen zijn. Naast de experimenten zelf, zullen verdiepende vragen met wat extra bronnen meer inzicht bieden in plantkundige processen. De volgende plantkundige concepten zullen worden behandeld:

- Bloemmorfologie
- Meeldraden
- Stamper
- Stuifmeel
- Pollenbuis
- Bestuiving
- Zaadvorming
- Fotosynthese
- Chloroplasten
- Chlorofyl
- Gaswisseling
- Groeihormonen
- Kleurstoffen
- Wortels
- Kiemrust

Naast de plantkundige concepten die direct in de kruisingsexperimenten aan bod komen, kunt u ook nog extra opdrachten en practica laten uitvoeren. Deze staan beschreven in Appendix 2. Ze zijn vrij eenvoudig voor te bereiden, er zijn geen speciale extra materialen voor nodig. Ook kunnen er meer ecologische experimenten worden uitgevoerd, waarmee leerlingen de invloed van omgevingsfactoren op de groei en het fenotype van de Fast Plants kunnen bestuderen.

De leerlingen zullen naast de genetische en plantkundige concepten ook ervaring opdoen met de volgende vaardigheden:

- Het ontwerpen, plannen en opzetten van een onderzoek.
- Onderzoeksvragen en hypothesen formuleren.
- Groepswork, samenwerken en taakverdeling.
- Resultaten interpreteren en hier conclusies uit trekken.
- Het presenteren van hun resultaten.
- Het kruisen en kweken van planten.
- Het zoeken, beoordelen en interpreteren van informatiebronnen.

1.2 Werkvormen

De leerlingen zullen voornamelijk zelfstandig te werk gaan, de docent zal maar weinig klassikale aandacht hoeven te besteden aan de experimenten. De constructie en werking van het groeisysteem staan in appendix 1 beschreven. U kunt er voor kiezen om de benodigde groeisystemen zelf te construeren of dit door de TOA te laten doen. Als u ervoor kiest om de leerlingen zelf de groeisystemen te laten construeren, kunt u ze een kopie van appendix 1 geven.

Tijdens de eerste les zal de docent een introductie van het onderwerp en de experimenten geven. Ook zal de docent toelichten hoe de Fast Plants in deze experimenten kunnen worden gebruikt. De verzorging van de planten dient grotendeels door de leerlingen zelf te worden uitgevoerd. Ze kunnen alles lezen over dit onderwerp in hoofdstuk 6 van hun practicumhandleiding.

Vervolgens kunnen de leerlingen in groepsverband grotendeels zelfstandig verder werken. Ze vormen groepjes van 2 tot 4 leerlingen. Per groepje moet een schrift gehanteerd worden waarin allerlei zaken omtrent de experimenten en observatie bijgehouden worden. Verder kunnen de leerlingen beginnen met het formuleren van onderzoeksvragen, hypothesen en het opstellen van het onderzoek. Dit kan worden gedaan aan de hand van schema's die in de practicumhandleiding staan. Het verdient de aanbeveling om deze zaken te controleren alvorens de leerlingen verder te laten werken.

De beoogde leerwinst van het zelfstandig opstellen van de onderzoeksopzet, is dat de leerlingen de opbouw van een wetenschappelijk onderzoek leren begrijpen. Verder kunnen de leerlingen zo leren om hypothesen op te stellen en onderzoek te plannen op een manier die sterk overeenkomt met het vervolgonderwijs. De leerlingen leren door het maken van de onderzoeksopzet ook beter nadenken over wat ze aan het doen zijn dan als ze alles van te voren al uitgeschreven krijgen. De leerlingen kunnen zo ook meer bewust naar aanleiding van hun resultaten conclusies trekken en hypothesen verwerpen of bevestigen.

De leerlingen kunnen na goedkeuring van hun onderzoeksplan verder gaan met het maken van het groeisysteem en het zaaien van de planten. Er kan nog een aantal keer gedurende de looptijd van de experimenten klassikaal aandacht worden besteed aan de voortgang en enkele praktische zaken. Verder zullen leerlingen zelfstandig in groepsverband te werk gaan.

De beoogde leerwinst van het vrijwel zelfstandige groepswork, is dat de leerlingen leren om de taken te verdelen, verantwoordelijkheid te dragen voor het verloop van de experimenten ten opzichte van de rest van de groep, gezamenlijk te overleggen en te plannen en problemen op te lossen.

De leerlingen moeten hun observaties en andere zaken omtrent de experimenten in een schrift noteren.

De beoogde leerwinst hiervan is dat de leerlingen leren om kritisch te observeren en deze observaties en andere zaken duidelijk te noteren.

De docent zal hierbij voornamelijk een begeleidende en plaats van een instruerende rol hebben, en hulp bieden bij vragen en problemen die de leerlingen tegen komen.

Aan het eind van de experimenten kan een les worden besteed aan de afsluiting van het geheel. De leerlingen hebben presentaties voorbereid waarin ze kort enkele genetische aspecten uitleggen die in hun experimenten aan bod zijn gekomen. Verder presenteren de leerlingen de resultaten van hun experimenten en de conclusies die ze daar uit hebben getrokken. Eventueel kunnen ook enkele verdiepende vragen behandeld worden.

De beoogde leerwinst van deze presentaties is dat de leerlingen ervaring opdoen met presenteren, en in reactie hierop vragen beantwoorden.

De genoemde verdiepende vragen staan aan het eind van elk kruisingsexperiment. Ze zijn zeer verschillend: sommige vragen gaan over meer ingewikkelde onderwerpen uit de plantkunde en genetica, terwijl andere meer maatschappelijk georiënteerd zijn. De leerlingen kunnen de vragen beantwoorden door ofwel te beredeneren vanuit hun aanwezige kennis, ofwel door extra informatie op te zoeken in voornamelijk internetbronnen. U kunt de leerlingen een verslag laten schrijven over de verdiepende vragen, of ze hun antwoorden in de presentatie laten verwerken.

De beoogde leerwinst van de verdiepende vragen is dat de leerlingen wat meer kennis over het desbetreffende onderwerp opdoen, informatie leren zoeken en verwerken en zich een mening vormen over bepaalde onderwerpen.

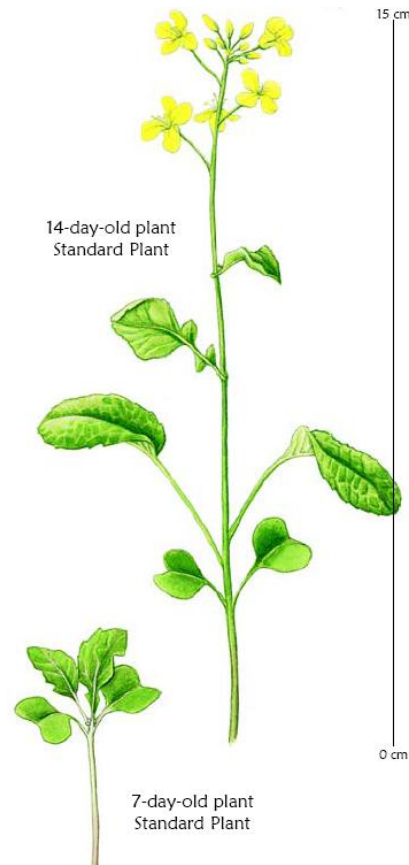
De leerlingen kunnen verder nog getoetst worden op hun begrip van de genetische en plantkundige concepten door verslaglegging of een reguliere repetitie, afhankelijk van de plaats van de kruisingsexperimenten in het onderwijsprogramma.

1.3 Fast Plants

Zoals al eerder is vermeld, worden de kruisingsexperimenten uitgevoerd met zogenaamde Fast Plants. Deze planten zijn ontwikkeld door de University of Wisconsin, Madison in de Verenigde Staten (www.fastplants.org). De planten lijken op koolzaad, en hun wetenschappelijke naam is *Brassica rapa*. De planten zijn speciaal ontwikkeld voor het gebruik in practica en kruisingsexperimenten op scholen. Hierin worden ze gekenmerkt door een snelle levenscyclus, gemakkelijke verzorging en verschillende fenotypische eigenschappen die monogenetisch bepaald zijn.

De standaard Fast Plant heeft een levenscyclus van ongeveer 40 dagen van zaad tot zaad, waarin de zaden binnen 36 dagen ontwikkeld en in 4 dagen uitgedroogd en klaar om te oogsten zijn. De planten bloeien na 14 dagen, met gele bloemen.

De standaard Fast Plant wordt ongeveer 15 centimeter hoog, en is afgebeeld in afbeelding 1.



Afbeelding 1: De standaard Fast Plant, 7 en 14 dagen na het zaaien.

De standaard Fast Plant heeft een normaal fenotype voor verschillende genetische eigenschappen. In kruisingsexperimenten kan deze plant worden gekruist met andere types Fast Plants, die een afwijkend fenotype hebben voor één of meerdere van deze eigenschappen. Zodoende kunnen de leerlingen ontdekken hoe het gen voor de desbetreffende eigenschap overerft. De meeste eigenschappen zijn, zoals eerder vermeld, monogenetisch bepaald, en erven over via de Wetten van Mendel. Een uitzondering hierop is de eigenschap van chlorofyl productie, dat wordt gecodeerd door DNA in de chloroplasten. Deze eigenschap erft niet via de Wetten van Mendel over, maar maternaal. Dit zal in de beschrijving van het desbetreffende kruisingsexperiment nog verder toegelicht worden.

1.3.1 Fast Plants kweken en verzorgen

Fast Plants zijn zeer gemakkelijk te kweken op school. Ze kunnen worden gehouden in een groeisysteem dat geconstrueerd kan worden van materialen

die makkelijk verkrijgbaar zijn. Enkele factoren zijn essentieel in het kweken van Fast Plants:

- 24 uren belichting door TL lampen.
- Constante toediening van nutriënten.
- Constante toevoer van water
- Genoeg lucht bij wortels
- Temperatuur tussen de 22 en 28 °C

Fast plants hebben dus geen dag- en nacht ritme zoals de meeste planten. De voorgaande vereisten voor het kweken van Fast Plants kunnen worden gerealiseerd met het groeisysteem dat staat afgebeeld in Afbeelding 2. Door gebruik van dit groeisysteem zullen de planten voorzien worden in alle benodigdheden om goed te kunnen groeien. Ze krijgen veel licht door de TL-buizen. Het licht wordt ook weerspiegeld door het aluminiumfolie aan de binnenkant van het krat, zodat de planten nog meer licht zullen ontvangen. De planten worden gekweekt in doorgezaagde frisdrankflessen, waarvan het bovenste gedeelte, met de dop, ondersteboven in het onderste is gezet. In het bovenste gedeelte wordt het substraat gedaan, en in het onderste water. Dit water wordt van het onderste naar het bovenste gedeelte geleid door water geleidend materiaal. De planten hebben genoeg lucht bij de wortels door het gebruik van een luchtig substraat. In dit substraat zijn ook bolletjes met nutriënten toegevoegd, waardoor de planten constant een toevoer van nutriënten hebben. De totale kosten voor een groeisysteem en toebehoren zijn ongeveer € 80. De groeisystemen zijn meerdere keren te gebruiken.



Afbeelding 2: groeisysteem voor de Fast Plants.

Voor alle informatie over het construeren van een groeisysteem, verzorgen van de Fast Plants en bestelinformatie, kunt u Appendix 1 raadplegen. U kunt

ervoor kiezen om de leerlingen zelf het groeisysteem te laten maken, dit zelf te doen of het door de T.O.A. te laten doen.

Zoals in de vorige paragraaf al staat vermeld, hebben de Fast Plants een vrij korte levenscyclus. De planten hebben gedurende deze levenscyclus weinig verzorging nodig, maar op bepaalde dagen is het wel belangrijk om bepaalde activiteiten uit te voeren. Deze activiteiten dienen ook goed gepland te worden. De levenscyclus en deze activiteiten staan vermeld in Tabel 1.

Dag	Fase in levenscyclus	Activiteiten
1	Kiemen van zaad.	
4-5	Eerste bladeren worden zichtbaar, fenotype van bladeren en stengel kan waargenomen worden.	Planten met minder goed fenotype verwijderen. Ongeveer 6 planten per fles overhouden.
7	Meer bladeren worden zichtbaar.	
9	Bloemknopjes ontwikkelen zich.	
11	Stengel verlengt zich tussen de aanhechtingsplaatsen van de bladeren. Bloemknoppen zullen meer boven bladeren gaan uitsteken.	
13-17	Bloemen openen zich, meeldraden en stamper kunnen duidelijk onderscheiden worden.	Planten kunnen bestoven worden. Het stuifmeel kan tot 4-5 dagen na opening van de bloem worden gebruikt. De stampers kunnen tot 2-3 dagen na opening van de bloemen bestoven worden.
18-22	De bloemblaadjes zullen afvallen, en de peulen zullen zwellen en groeien.	Als de bestuiving van bepaalde planten niet is gelukt, zullen de peulen zich niet ontwikkelen. Deze planten kunnen worden verwijderd.
23-37	De zaden ontwikkelen zich. De onderste bladeren worden geel en drogen uit.	20 dagen na de laatste bestuiving kunnen de planten worden uitgedroogd; het water kan uit de onderste compartimenten worden verwijderd. Dit zal ongeveer op dag 37 gebeuren.
37-40	De planten drogen uit en de peulen worden geel.	Op dag 40, of als de peulen genoeg gedroogd zijn, kunnen de zaden geogst worden.

Tabel 1: levenscyclus van de meeste typen Fast Plants. Er zijn ook Fast Plants die langzamer groeien en een langere levenscyclus hebben, zoals de zogenaamde Rosette planten. De activiteiten die op bepaalde dagen moeten worden uitgevoerd zijn ook beschreven.

De ontwikkelaar van Fast Plant heeft ook een filmpje beschikbaar op de website, waarin de levenscyclus kort wordt weergegeven. Dit filmpje kunt u

voor aanvang van de experimenten aan de leerlingen laten zien, zodat ze weten hoe de planten er gedurende hun levenscyclus uit komen te zien. U kunt het filmpje vanaf de website direct opslaan. Het is te vinden op de website: <http://www.fastplants.org/intro.lifecycle.php#menu>.

1.3.2 Types Fast Plants

De genetische eigenschappen van de standaard en andere Fast Plants is onbekend voor de leerlingen; door middel van de kruisingsexperimenten dienen ze dit uit te zoeken. De genetische en fenotypische eigenschappen van alle types Fast Plants worden hieronder toegelicht. Verder wordt er uit gegaan van de standaard Fast Plant voor een normaal fenotype en genotype voor alle eigenschappen. Deze standaard Fast Plant wordt dan ook eerst beschreven.

Daarna volgt een kort overzicht van de andere types Fast Plants in Tabel 2. Bij de andere types Fast Plants staan alleen de eigenschappen vermeld waarvoor ze afwijken van de standaard Fast Plant. Ook staan hun speciale genotypes vermeld. Als een plant een langere of kortere levenscyclus heeft dan de standaard Fast Plant, wordt dit ook vermeld. De rest van hun eigenschappen, die niet zijn vermeld, zijn hetzelfde als bij de standaard Fast Plant.

Na dit kort overzicht volgt een meer uitgebreidere beschrijving van elk type Fast Plant.

Aanvullende informatie over alle types Fast Plants en hun F1 en F2 generaties kunt u vinden op <http://www.fastplants.org> onder "Kinds of Fast Plants".

Standard (STD)

Deze plant heeft een normaal fenotype voor alle eigenschappen. De plant wordt ongeveer 15 centimeter hoog. De hoogte van de plant wordt gereguleerd door het groeihormoon gibberellinezuur. Dit hormoon reguleert de verlenging van de stengel. De aanmaak van het hormoon wordt bepaald door het gen *ROS* (Rosette). Dit gen heeft twee allelen, waarvan het allel dat dominant overerft een normaal fenotype veroorzaakt. Het andere allel erft recessief over en bevat een mutatie, waardoor er ongeveer 20 keer minder gibberellinezuur wordt aangemaakt. Het genotype van de standaard Fast Plant voor dit gen is *ROS/ROS*.

De standaard plant heeft een groene stengel en bladeren. De kleur van de bladeren wordt gereguleerd door het gen *YGR* (Yellow-Green), wat twee allelen heeft. Het allel dat dominant overerft, veroorzaakt een groene bladkleur. Het allel dat recessief overerft, veroorzaakt een geel-groene bladkleur. Het genotype van de standaard Fast Plant voor dit gen is *YGR/YGR*.

De standaard Fast Plant heeft ook een paarse kleuring op de stengel, welke het sterkst is bij de stengelbasis. De paarse kleuring is ook zichtbaar op de onderkant van de bladeren, en wordt veroorzaakt door de kleurstof anthocyaan. De aanmaak van anthocyaan wordt gereguleerd door het gen *ANL*, wat twee allelen heeft. Het allel dat dominant overerft, zorgt voor de aanmaak van anthocyaan. Het allel dat recessief overerft doet dit niet, en daardoor zullen homozygoot recessieve planten ook geen enkele paarse

kleuring hebben. Het genotype van de standaard Fast Plant voor dit gen is *ANL/ANL*.

Type Fast Plant	Fenotype	Genotype	Levenscyclus
Standard (STD)	Normaal	-	Bloei na 14 dagen, totaal 36 dagen.
Anthocyaninless (ANTH)	Paarse kleuring overall afwezig	<i>anl/anl</i>	Bloei na 12 dagen, totaal 34 dagen.
Yellow-green leaf (YGL)	Geel-groene bladeren en paarse kleuring	<i>ANL/ANL</i> <i>ygr/ygr</i>	Normaal
Purple stem, hairy (PSH)	Extra veel paarse kleuring	<i>ANL/ANL</i>	Normaal
Rosette (RS)	Half zo hoog als STD	<i>ros/ros</i>	Bloei na 20 dagen, totaal 45 dagen.
Variegated Cytoplasmic (VC)	Witte vlekken op bladeren en stengel	Mutatie op chloroplast DNA	Normaal

Tabel 2: Kort overzicht van de verschillende types Fast Plants. De STD plant is het uitgangspunt voor een normaal fenotype, genotype en levenscyclus. Voor de andere types Fast Plants staan alleen hun afwijkingen op deze drie punten vermeld, de rest van hun eigenschappen zijn hetzelfde als bij STD.

Anthocyaninless (ANTH)

De levenscyclus van deze plant is korter dan STD, ongeveer 34 dagen. De plant bloeit na 12 dagen. De plant is homozygoot recessief voor het gen *ANL*. Dit betekent dat er nergens in de plant de paarse kleurstof anthocyaan wordt aangemaakt, en dus dat er nergens paarse kleur is waar te nemen.

De bladeren en stengel van deze plant zijn dus geheel groen. Het genotype voor bladkleur is dan ook *YGR/YGR*.

Yellow- Green Leaf (YGL)

Deze plant heeft paarse kleuring op stam en bladeren, net als de standaard Fast Plant. Het genotype van de plant voor deze eigenschap is *ANL/ANL*. De bladeren en stengel van deze plant zijn niet groen, maar geel-groen. Het genotype van deze plant voor bladkleur is *ygr/ygr*.

Purple Stem, Hairy (PSH)

Deze plant is geselecteerd op extra veel paarse kleuring op stengel en bladeren, nog meer dan bij de standaard Fast Plant. Het genotype van deze plant voor paarse kleuring is *ANL/ANL*.

Rosette (RS)

Deze plant heeft twee gemuteerde allelen van het gen *ROS*, en dus een genotype van *ros/ros*. Door deze mutatie wordt er 10 keer minder

gibberrelinezuur aangemaakt in de plant. Hierdoor verlengt de stengel zich zeer weinig, en blijft de plant klein. De Rosette planten zullen over het algemeen niet hoger dan 6 centimeter worden. De bladeren en de stam van deze planten zijn meer donker groen dan bij de standaard Fast Plant. De levenscyclus van rosette planten is ook langer dan die van standaard planten: ongeveer 45 dagen totdat de zaden zijn volgroeid. Omdat de peulen van de Rosette plant ook een stuk kleiner zijn dan bij de standaard Fast Plant, zijn ze ook sneller uitgedroogd; 1 of 2 dagen zonder water is meestal genoeg. De rosette planten bloeien na ongeveer 20 dagen.

Variegated Cytoplasmic (VC)

Deze plant heeft witte gedeeltes op bladeren en stengel. Deze witte kleur wordt veroorzaakt door een mutatie in het chloroplast DNA, waardoor er geen chlorofyl wordt aangemaakt. Deze mutatie wordt alleen maternaal overgedragen, en dus niet via het stuifmeel. De verhouding tussen witte en groene kleur verschilt aanzienlijk per plant. Ook de mate van verschil tussen de twee kleuren verschilt aanzienlijk; bij sommige VC planten is er geen wit maar lichtgroen weefsel. Sommige VC planten zijn geheel wit; deze sterven ongeveer 4 dagen na het zaaien af.

1.4 Tijdsplanning

Zoals in de vorige paragraaf al is vermeld, hebben de Fast Plants een levenscyclus van ongeveer 37 dagen, en zijn de zaden na 3 dagen uitgedroogd. Daarom kunnen er ongeveer 40 dagen worden gerekend voor het kweken van een Fast Plant met een normale levenscyclus, en het oogsten van zaden. Zoals al eerder is vermeld, zijn er vier verschillende kruisingsexperimenten beschikbaar. Drie van deze experimenten hebben het opkweken van de F2 generatie nodig voor ongeveer 7 dagen, zodat de fenotypes goed te observeren zijn. Daarmee komt de totale benodigde tijdsduur van het zaaien van de ouderplanten tot en met het observeren van de F2 op ongeveer 88 dagen. De tijdsduur van het practicum kan ook verkort worden, door direct te beginnen met het zaaien van de F1 generatie; in dat geval is de totale tijdsduur ongeveer 47 dagen. De F1 en F2 generaties van de drie desbetreffende kruisingsexperimenten kunnen besteld worden bij Carolina Biological Supply Company, voor elk kruisingsexperiment zal hier nog aandacht aan worden besteed.

Er is één experiment (Witte Vlekken) dat alleen een F1 generatie nodig heeft, maar deze moet wel 14 in plaats van 7 dagen worden opgekweekt, waarmee de totale tijdsduur van het experiment op 54 dagen komt. Ook dit zal specifiek voor dit experiment nog worden toegelicht.

De leerlingen kunnen grotendeels zelfstandig aan de experimenten werken, dus er hoeven maar enkele lessen of gedeeltes daarvan klassikaal aan de experimenten worden besteed. Dit komt neer op ongeveer twee gehele lessen en 3 halve lessen per experiment, verspreid over de benodigde tijd. Ook de planning van de lessen is per experiment specifiek nader uitgewerkt.

De kruisingsexperimenten zijn geschikt voor de bovenbouw havo en vwo. In de experimenten komen genetische concepten aan bod. Basisbegrippen zoals genotype, fenotype, de wetten van Mendel worden bekend

verondersteld. Verder kunnen de leerlingen doorverwezen worden naar hun leerboeken om begrippen op te zoeken.

Er zijn verschillen in moeilijkheidsgraad tussen de vier kruisingsexperimenten, en in elk experiment komen enigszins andere concepten aan bod. Hierdoor zal het ene experiment meer geschikt zijn voor 4^e klassen, en het andere meer voor 6 VWO klassen. Een andere mogelijkheid is dat als u ervoor kiest om verschillende groepjes in de klas andere experimenten te laten uitvoeren, en de wat moeilijkere experimenten toebedeelt aan leerlingen die wat extra uitdaging kunnen gebruiken. Al deze zaken staan per experiment apart vermeld.

Als u ervoor kiest om de kruisingsexperimenten in de 4^e klas te geven, is het belangrijk dat het thema over voortplanting in ieder geval al is behandeld. Het verdient aanbeveling om de experimenten parallel te laten lopen met de hoofdstukken over erfelijkheid en/of DNA. Een ander hoofdstuk uit de leerboeken dat eventueel nuttig is voor de kruisingsexperimenten, is het hoofdstuk over planten. Echter, de belangrijkste concepten omtrent bloemmorfologie en bestuiving zijn in de practicumhandleiding uitgewerkt. Met deze informatie kunnen de leerlingen aan het werk. Het verdient aanbeveling om naast de practicumhandleiding ook nog extra bronnen voor achtergrondinformatie ter beschikking te hebben. Hierbij valt te denken aan websites die in de referenties staan aangegeven, of het desbetreffende hoofdstuk uit het leerboek.

1.5 Overzicht van de lessen

Globaal genomen hebben drie experimenten dezelfde tijdsduur, alleen het experiment over Witte Vlekken is wat korter (ongeveer 54 dagen). Voor alle experimenten kunt een vijftal lessen plannen. Deze lessen kunnen gepland worden op tijdstippen die afhankelijk zijn het groeistadium waar de planten zich in bevinden. De inhoud van deze lessen is in tabel 3 kort weergegeven. Er wordt hierbij uitgegaan van lessen van 50 minuten. Na de tabel is de inhoud van de vijf lessen ander uitgewerkt.

Les	Weken na zaaien	Inhoud van de les	Tijdsduur
1	Gelijk na zaaien.	Introductie van het onderwerp, maken van onderzoeksopzet.	Hele les.
2	Meteen na eerste les.	Onderzoeksopzet afmaken en laten controleren door docent.	Halve tot hele les.
3	2 weken.	Kruisen van planten en introductie daarop.	Halve les.
4	7 weken.	Lopend onderzoek klassikaal bespreken en ervaringen delen.	Halve les.
5	13 weken.	Presentaties van resultaten en bevindingen, afsluiting van het geheel.	Hele les.

Tabel 3: Overzicht van de tijdstippen, inhoud en tijdsduur van de vijf lessen waarin klassikaal aandacht aan de kruisingsexperimenten besteed kan worden.

Les 1: Introductie van het onderwerp en de context. De basisbegrippen uit de genetica kort herhalen voor de leerlingen. De leerlingen groepjes van vier laten vormen. Het is belangrijk dat de leerlingen de genetische concepten begrijpen voordat ze beginnen met het maken van de onderzoeksopzet. Daarom is het aan te bevelen om de leerlingen in de eerste les ook zelf nog de concepten op te laten zoeken in hun boek. Verder kunnen de leerlingen in zich in de eerste les inlezen in het onderwerp en de verzorging van de Fast Plants. Hiervoor kunnen ze hoofdstuk 6 in hun practicumhandleiding lezen. Ze kunnen ook een begin maken met de onderzoeksopzet. Als de leerlingen zelf het groeisysteem moeten bouwen, kunnen ze hier ook een begin mee maken.

Les 2: De leerlingen kunnen hun onderzoeksopzet afmaken en deze laten controleren door de docent. Vervolgens kunnen ze eventueel zelf het groeisysteem verder afmaken en de planten zaaien. Hierbij is het belangrijk om erop te letten dat de leerlingen hun planten goed labelen.

Les 3: Ongeveer 14 dagen na het zaaien kunnen de planten bestoven worden. Rond deze tijd kan er nog een korte introductie hierop worden gegeven. De stamper, meeldraden en bestuiving worden besproken, en de leerlingen kunnen vervolgens zelfstandig de planten bestuiven. Omdat het tijdstip dat de bloemen klaar zijn voor bestuiving verschilt per plant, kunnen de leerlingen dit voor hun eigen planten zelf in de gaten houden en een geschikte tijd voor de bestuivingen vinden.

Les 4: Deze les kan ongeveer 7 weken na het zaaien van de eerste planten worden gegeven. U kunt kort wat ervaringen van de leerlingen aan bod laten komen, en ook wijzen op de dingen die ze in de desbetreffende week moeten gaan uitvoeren. Deze les dient dus om even kort het lopende onderzoek klassikaal te bespreken. U kunt zo een beeld krijgen van de voortgang. Ook kunnen de leerlingen bepaalde aandachtspunten met elkaar delen, zaken waar ze tegen aan zijn gelopen.

Als u ervoor hebt gekozen om de ouderplanten te laten zaaien, dan zijn de leerlingen rond deze tijd bezig met het oogsten van de F1 zaden, en deze weer opnieuw uit te zaaien. In dit geval kunt u aandacht besteden aan het voldoende en overzichtelijk uitzaaien van de F1 zaden, en het observeren van de fenotypes.

Als u ervoor hebt gekozen om direct te beginnen met het zaaien van de F1, dan zijn de leerlingen rond deze tijd bezig met het oogsten en uitzaaien van de F2 zaden. In dat geval kunt u aandacht besteden aan het voldoende en overzichtelijk uitzaaien van de F2 zaden, en het observeren van de fenotypes. Het is erg belangrijk om de leerlingen goed te wijzen op het observeren van de fenotypische ratio's, omdat in de F2 de uitkomst van de experimenten te observeren zal zijn.

Les 5: Deze les kunt u als afsluiting van het geheel gebruiken, waarin de leerlingen presentaties verzorgen van hun resultaten en bevindingen. De leerlingen kunnen in de presentaties hun hypothesen bevestigen of ontkrachten aan de hand van hun resultaten en bevindingen. Ook dienen ze enkele genetische concepten te bespreken. U kunt er verder voor kiezen om de leerlingen de verdiepende vragen te laten bespreken, bijvoorbeeld door elk groepje één vraag te laten bespreken. Of u kunt ervoor kiezen om de leerlingen deze vragen in een klein verslagje te laten beantwoorden, en hen daarbij ook de gebruikte bronnen te laten vermelden.

Als u ervoor gekozen hebt om te beginnen met het zaaien van de ouderplanten, kunt u deze afsluitende les ongeveer 90 dagen na het zaaien van de eerste planten geven, wanneer de F2 planten een week oud zijn, en hun fenotypes dus goed geobserveerd kunnen worden.

Als u ervoor gekozen hebt om te beginnen met het zaaien van de F1 planten, kunt u deze les ongeveer 48 dagen na het zaaien van de eerste planten geven.

1.6 Concept-contextbenadering

In deze practicumserie is gekozen voor het gebruik van de zogenoemde concept-contextbenadering. Deze benadering is ontwikkeld door de Commissie Vernieuwing Biologie Onderwijs (CVBO), in opdracht van het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap. De concept-contextbenadering is ontwikkeld naar aanleiding van bepaalde knelpunten die werden waargenomen in het biologie onderwijs, zoals de geringe samenhang tussen verschillende onderdelen.

In de concept-contextbenadering worden biologische begrippen (concepten) niet los aangeboden, maar in samenhang met elkaar en in een casus uit de dagelijkse werkelijkheid (context). De concepten worden aangeboden in een context die aansluit bij de leefwereld van de leerlingen. Deze context heeft ook betrekking op actuele zaken, en hierdoor zal het belang van biologische kennis in verschillende beroepen of maatschappelijke zaken worden benadrukt. Op deze manier zullen de biologische concepten ook meer samenhang met elkaar en de realiteit hebben.

De concept-contextbenadering gaat ook sterk van de zelfwerkzaamheid van de leerlingen uit. De leerlingen kunnen grotendeels zelfstandig zich de concepten eigen maken.

Uitgebreide documentatie over de concept- context benadering kunt u vinden op de website van het NIBI, alwaar u kunt doorlinken naar de CVBO: <http://www.nibi.nl>.

2. Vertical Farming

2.1 Doelstellingen en concepten

Na afloop van dit experiment weten de leerlingen:

- Dat erfelijke informatie op DNA is opgeslagen in de vorm van basecodering.
- Dat genen specifieke stukken DNA zijn die voor een bepaalde eigenschap coderen.
- Dat gameten erfelijke informatie voor voortplanting bevatten, via meiose worden gevormd, en dat ze samensmelten om een zygote te vormen.
- Het verband tussen genotype en fenotype te leggen.
- Dat genetische eigenschappen dominant of recessief kunnen overerven.
- Hoe ze kruisingsschema's voor monohybride kruisingen kunnen maken.
- Hoe ze zelf planten kunnen kweken, en begrijpen dat hier substraat, nutriënten, water en licht voor nodig zijn.
- Hoe ze kruisingen met planten kunnen uitvoeren en hierbij de meeldraden en stamper onderscheiden.
- Dat planten hormonen hebben die hun groei reguleren.
- Hoe ze een wetenschappelijk onderzoek kunnen opstellen en plannen.
- Hoe ze de verkregen resultaten kunnen interpreteren en hier conclusies uit kunnen trekken.
- Het belang te onderkennen van plantenveredeling voor de voedselvoorziening op steeds kleiner wordend areaal landbouwgrond.

De volgende concepten zullen aan bod komen:

- Erfelijke informatie op DNA en chromosomen
- Genen
- Locus
- Allelen
- Genotype
- Fenotype
- Gameten
- Meiose
- Zygote
- Mitose
- Mutatie
- Variatie
- Dominante overerving
- Recessieve overerving
- Monohybride kruising
- Kruisingsschema
- Selectie en veredeling
- Plantenveredeling
- Bloemmorfologie
- Meeldraden

- Stamper
- Stuifmeel
- Pollenbuis
- Bestuiving
- Zaadvorming
- Gaswisseling
- Groeihormonen
- Wortels
- Kiemrust

2.2 Het kruisingsexperiment

Het is de bedoeling dat leerlingen door middel van kruisingsexperimenten de overerving van het *ROS* gen gaan onderzoeken, en zo ontdekken dat dit gen recessief overerft. Hiertoe kunnen de Standaard en de Rosette planten met elkaar gekruist worden. De F1 van deze kruising zal heterozygoot zijn voor *ROS*, en dus *ROS/ros* zijn en een normaal fenotype hebben. De F1 kan onderling gekruist worden, en de F2 zal een 3:1 verhouding vertonen tussen een normale hoogte : Rosette fenotype.

Dit kruisingsexperiment heeft een vrij lange tijdsduur; ongeveer 87 dagen. Dit omdat de ouderplanten en de F1 hun levenscyclus moeten kunnen volbrengen. De fenotypes van de F2 planten kunnen na 7 dagen al duidelijk geobserveerd worden. Om de tijdsduur van het practicum te verkorten, kunnen de F1 zaden ook direct bij Carolina Biological Supply Company worden besteld in plaats van uit een eigen kruising verkregen. In dit geval moet de F1 worden gegroeid en gekruist, en kunnen de fenotypes van de F2 na 7 dagen worden geobserveerd. De duur van het experiment is dan maar 47 dagen. Naast F1 zaden, kunnen er ook F2 zaden van deze kruising bij Carolina worden besteld. Het verdient de aanbeveling om deze zaden ook te bestellen, om ze achter de hand te hebben voor het geval er iets mis gaat.

Als er F2 zaden worden gebruikt die uit eigen kruisingen zijn verkregen, moeten deze alvorens te zaaien uit hun kiemrust gehaald worden. Dit kan door de zaden met 100 ppm gibberellinezuur te behandelen. Dit kan door de zaden enkele minuten op een met gibberellinezuur- oplossing verzadigd filtreerpapiertje te leggen. Vervolgens kunnen de zaden op een ander papertje gedroogd worden.

2.3 Moeilijkheidsgraad

Dit kruisingsexperiment is niet erg ingewikkeld omdat het een monohybride kruising betreft. Dit maakt het experiment erg geschikt voor 4 havo en 4 vwo. De enige moeilijkheid van dit experiment zit in het bestuiven van de planten: planten die *ros/ros* zijn hebben erg kleine bloemen en zijn daardoor wat moeilijk te bestuiven. Naast de standaard genetische en plantkundige concepten, komen er nog enkele andere aan bod, zoals kiemrust, het plantenhormoon gibberellinezuur en de werking van dat hormoon.

2.4 De onderzoeksofzet

De onderzoeksofzet die de leerlingen bij deze kruisingsexperimenten kunnen maken, heeft de vorm van een echt wetenschappelijk onderzoek. De planning

spreekt voor zich. Zo ook het formuleren van de verachtingen en de hypothesen. Het is vooral van belang dat de leerlingen een goed verband kunnen leggen tussen de fenotypes die ze observeren en de achterliggende genotypes: dominante of recessieve overerving.

2.5 Verdiepende vragen

Aan het eind van de onderzoeksopzet zijn enkele verdiepende vragen geformuleerd. Deze kunnen de leerlingen beantwoorden door middel van al aanwezige voorkennis, of door middel van informatie die ze in de aangewezen bronnen kunnen opzoeken.

De verdiepende vragen geven de leerlingen meer inzicht in enkele processen die aan de orde komen in het experiment, en zijn vooral plantkundig van aard. U kunt de leerlingen duidelijk maken hoe ze de antwoorden op deze vragen dienen te verwerken: in een verslag, presentatie of op een andere manier.

De volgende verdiepende vragen komen in dit kruisingsexperiment aan de orde:

1. Je hebt gedurende de groei van Rosette ouderplanten telkens hun fenotypes geobserveerd, en gezien dat een lagere concentratie van het hormoon gibberellinezuur de hoogte van planten beïnvloed. Je hebt ook kunnen zien dat de lagere concentratie gibberellinezuur ook andere uiterlijke kenmerken van de planten beïnvloed. Benoem deze uiterlijke kenmerken, en geef een verklaring voor het feit dat deze worden beïnvloed door de concentratie gibberellinezuur.
 - Gibberellinezuur beïnvloedt niet alleen de verlenging van de stengel, maar ook de groei van de peulen, bloemen en bladeren. De peulen zijn kort omdat ze zich niet goed verlengen. De bloemen en bladeren zijn klein en groeien minder dan bij normale Fast Plants. De bladeren hebben nog wel dezelfde hoeveelheid chlorofyl, en daardoor zijn ze een stuk donkerder groen dan bij normale planten.
2. De F2 zaden die je van een kruising met Rosette hebt geoogst, heb je met een 100 ppm gibberellinezuur oplossing uit hun kiemrust moeten halen. Kiemrust is een verschijnsel dat in de natuur bij veel meer planten voorkomt. Het houdt kort gezegd in dat de plantenzaden niet zomaar kiemen. Er zijn extra prikkels of omgevingsfactoren nodig om het zaad tot kieming te stimuleren. Zonder deze stimulatie zal het zaad niet uit zichzelf gaan kiemen. Wat zijn deze prikkels en omgevingsfactoren precies, en hoe stimuleren ze het zaad tot kieming? Zoek je antwoord op Wikipedia (www.wikipedia.org) of met de zoekmachine van Kennisnet (www.davidini.kennisnet.nl).
 - De prikkels en omgevingsfactoren zijn licht, temperatuur, en beschadiging van de vruchtwanden om water door te kunnen laten.
3. De meeste Fast Plants kan je ongeveer 4 dagen na het zaaien boven het substraat uit zien steken, dan zijn de zaadjes dus gekiemd. Beschrijf hoe het proces van kieming stapsgewijs verloopt. Tip: een Fast Plant is een zogenaamde dicotyle of tweezaadlobbige plant.
 - Eerst opname van water (imbibitie). Daarna groeit de wortel naar buiten, en beïnvloed door de zwaartekracht naar beneden.

Deze wortel zal de hoofdwortel vormen, waaraan zich later zijwortels zullen ontwikkelen. Vervolgens zal het stengeldeel zich naar boven verlengen, en zullen de eerste bladeren zichtbaar worden. Deze zullen het kiemende plantje van energie voorzien door middel van fotosynthese.

4. Na de laatste bestuivingen heb je de niet- bestoven bloemen en overige bloemknoppen afgeknipt. Waarom denk je dat dit nodig was?
 - Door de niet- bestoven bloemen en bloemknoppen af te knippen, zal de plant geen energie besteden aan de ontwikkeling van deze organen. Hierdoor zal de plant meer energie beschikbaar hebben voor de zich ontwikkelende zaden die uit de kruisingen voortkomen. De zaden zullen zich hierdoor sneller kunnen ontwikkelen.

3. Kamerplanten

3.1 Doelstellingen en concepten

Na afloop van dit experiment weten de leerlingen:

- Dat erfelijke informatie op DNA is opgeslagen in de vorm van basecodering.
- Dat genen specifieke stukken DNA zijn die voor een bepaalde eigenschap coderen.
- Dat gameten erfelijke informatie voor voortplanting bevatten, via meiose worden gevormd, en dat ze samensmelten om een zygote te vormen.
- Het verband tussen genotype en fenotype te leggen.
- Dat genetische eigenschappen dominant of recessief kunnen overerven.
- Hoe ze kruisingsschema's voor monohybride kruisingen kunnen maken.
- Hoe ze zelf planten kunnen kweken, en begrijpen dat hier substraat, nutriënten, water en licht voor nodig zijn.
- Hoe ze kruisingen met planten kunnen uitvoeren en hierbij de meeldraden en stamper onderscheiden.
- Dat planten kleurstoffen bevatten die andere dan de groene kleur bepalen.
- Hoe ze een wetenschappelijk onderzoek kunnen opstellen en plannen.
- Hoe ze de verkregen resultaten kunnen interpreteren en hier conclusies uit kunnen trekken.
- Het belang te onderkennen van plantenveredeling voor de productie van sierplanten.

De volgende concepten zullen aan bod komen:

- Erfelijke informatie op DNA en chromosomen
- Genen
- Locus
- Allelen
- Genotype
- Fenotype
- Gameten
- Meiose
- Zygote
- Mitose
- Mutatie
- Variatie
- Dominante overerving
- Recessieve overerving
- Monohybride kruising
- Kruisingsschema
- Selectie en veredeling
- Plantenveredeling
- Bloemmorfologie

- Meeldraden
- Stamper
- Stuifmeel
- Pollenbuis
- Bestuiving
- Zaadvorming
- Gaswisseling
- Wortels
- Kleurstoffen

3.2 Het kruisingsexperiment

Het is de bedoeling dat leerlingen door middel van kruisingsexperimenten de overerving van het *ANL* gen gaan onderzoeken, en zo ontdekken dat dit gen recessief overerft. Hiertoe kunnen de ANTH25 en de PSH planten met elkaar gekruist worden. De F1 van deze kruising zal heterozygoot zijn voor *ANL*, en dus *ANL/anl* zijn en een normaal fenotype hebben. De F1 kan onderling gekruist worden, en de F2 zal een 3:1 verhouding vertonen van de fenotypes paarse stam : geen paarse stam.

Dit kruisingsexperiment heeft een vrij lange tijdsduur; ongeveer 87 dagen. Dit omdat de ouderplanten en de F1 hun levenscyclus moeten kunnen volbrengen. De fenotypes van de F2 planten kunnen na 7 dagen al duidelijk geobserveerd worden. Om de tijdsduur van het practicum te verkorten, kunnen de F1 zaden ook direct bij Carolina Biological Supply Company worden besteld in plaats van uit een eigen kruising verkregen. In dit geval moet de F1 worden gegroeid en gekruist, en kunnen de fenotypes van de F2 na 7 dagen worden geobserveerd. De duur van het experiment is dan maar 47 dagen. Naast F1 zaden, kunnen er ook F2 zaden van deze kruising bij Carolina worden besteld. Het verdient de aanbeveling om deze zaden ook te bestellen, om ze achter de hand te hebben voor het geval er iets mis gaat.

3.3 Moeilijkheidsgraad

Dit kruisingsexperiment is niet erg ingewikkeld omdat het een monohybride kruising betreft. Dit maakt het experiment erg geschikt voor 4 VWO klassen. Naast de standaard genetische en plantkundige concepten, komen er nog enkele andere aan bod, zoals plantverzorging en kleurstoffen.

3.4 De onderzoeksopzet

De onderzoeksopzet die de leerlingen bij deze kruisingsexperimenten kunnen maken, heeft de vorm van een echt wetenschappelijk onderzoek. De planning spreekt voor zich. Zo ook het formuleren van de verachtingen en de hypothesen. Het is vooral van belang dat de leerlingen een goed verband kunnen leggen tussen de fenotypes die ze observeren en de achterliggend genotypen en dus dominante of recessieve overerving.

3.5 De verdiepende vragen

Aan het eind van de onderzoeksopzet zijn enkele verdiepende vragen geformuleerd. Deze kunnen de leerlingen beantwoorden door middel van al aanwezige voorkennis, of door middel van informatie die ze in de aangewezen bronnen kunnen opzoeken.

De verdiepende vragen geven de leerlingen meer inzicht in enkele processen die aan de orde komen in het experiment, en zijn vooral plantkundig van aard. U kunt de leerlingen duidelijk maken hoe ze de antwoorden op deze vragen dienen te verwerken: in een verslag, presentatie of op een andere manier.

De volgende verdiepende vragen komen in dit kruisingsexperiment aan de orde:

1. Waarom zouden de bloemen van de planten geel zijn?
 - Vanwege de bestuiving door insecten. Door de gele kleur zijn de bloemen extra aantrekkelijk voor insecten. Ze vallen zo meer op, en daardoor zullen er meer insecten op de bloemen afkomen, en worden er dus ook meer bloemen bestoven.
2. De paarse kleuring op de onderkant van de bladeren en de stengel wordt veroorzaakt door de kleurstof anthocyaan (in het Engels anthocyanin geheten). Naast deze kleurstof hebben planten nog vele andere kleurstoffen.
 - A. Wat is de functie van anthocyaan in de Fast Plants?
 - B. Zoek op Wikipedia of www.natuurinformatie.nl minstens drie andere kleurstoffen, en beschrijf kort hun functie in de planten.
 - C. Waar zijn anthocyaan en de andere kleurstoffen zoal gelokaliseerd in de plant? Bij de beantwoording van deze vraag moet je rekening houden met zowel de lokalisatie in de cel als in de gehele plant.
 - D. Worden deze kleurstoffen ook gebruikt door mensen, en zo ja, hoe?
 - Op de Engelstalige Wikipedia website is veel informatie over anthocyaan (anthocyanin) te vinden. Hierbij zijn ook links naar andere kleurstoffen gegeven. Anthocyaan is gelokaliseerd in de vacuoles van cellen van de epidermis en perifere mesofyl cellen. De kleurstof bevindt zich in Fast Plants op de onderkant van de bladeren, wat weefsels zijn waarin fotosynthese plaatsvindt. Anthocyaan absorbeert UV en blauw-groen licht. Hierdoor beschermt het de weefsels tegen een teveel aan licht, wat stress kan veroorzaken in planten.
3. In het tuinbouwbedrijf worden de planten door middel van onderlinge kruisingen veredeld, dat wil zeggen: door planten met de juiste genetische eigenschappen met elkaar te kruisen kan je een plant verkrijgen die de gewenste eigenschappen heeft. Tegenwoordig worden deze eigenschappen ook wel via genetische modificatie aan planten toegevoegd. Dit wordt via speciale biotechnologische technieken gedaan. Het gebruik van biotechnologie in plantenveredeling heeft zowel voor- als nadelen. Ook zijn er verschillende milieu- levensbeschouwelijke organisaties die geen voorstanders van biotechnologie in plantenveredeling zijn. Om zelf een goed gefundeerd standpunt over de toepassing van biotechnologie in plantenveredeling te kunnen innemen, is het belangrijk dat je voldoende kennis hebt van het onderwerp. Kijk op www.natuurinformatie.nl, bij biotechnologie. Je kunt onder de link Toepassingen specifieke planten- onderwerpen selecteren. Lees de informatie goed door. Geef daarna 3 argumenten voor het gebruik van

biotechnologie in plantenveredeling, en 3 argumenten hier tegen. Zorg ervoor dat je argumenten goed onderbouwd zijn met feitelijke informatie die je hebt gelezen.

4. Voor het kweken van je planten heb je bolletjes die nutriënten bevatten toegevoegd aan het substraat. Deze nutriënten zijn essentieel voor de plant. De bolletjes bevatten drie elementen in ongeveer gelijke concentraties: stikstof, fosfor en kalium (In het Engels: nitrogen, phosphorus en potassium). Zoek van deze drie elementen uit waarom de plant deze nodig heeft. Wat is hun functie in de plant, hoe worden ze gebruikt? Je kunt dit kort beschrijven, je hoeft niet alle chemische omzettingen te vermelden.

- Op de Wikipedia website staat voor deze drie nutriënten kort hun functie beschreven in het artikel "Plant Nutrition".

Stikstof: essentieel element in alle eiwitten. Maakt ook deel uit van DNA, en ook daarom erg belangrijk.

Fosfor: belangrijk in de bio-energetica. Dit element maakt deel uit van het ATP molecuul. Het is daarom belangrijk in het proces waarin licht energie naar chemische energie wordt omgezet.

Kalium: dit element reguleert het openen en sluiten van de huidmondjes op de bladeren. De huidmondjes functioneren in het reguleren van de waterverdamping van de plant.

4. Witte Vlekken

4.1 Doelstellingen en concepten

Na afloop van dit experiment weten de leerlingen:

- Dat erfelijke informatie op DNA is opgeslagen in de vorm van basecodering.
- Dat genen specifieke stukken DNA zijn die voor een bepaalde eigenschap coderen.
- Dat gameten erfelijke informatie voor voortplanting bevatten, via meiose worden gevormd, en dat ze samensmelten om een zygote te vormen.
- Dat DNA zich in celkern bevindt, maar ook in celorganellen als mitochondriën en chloroplasten.
- Dat het DNA in mitochondriën en chloroplasten maternaal overerft.
- Welke eigenschappen gecodeerd worden door genen op het chloroplast – DNA.
- Het verband tussen genotype en fenotype te leggen.
- Dat genetische eigenschappen dominant of recessief kunnen overerven.
- Hoe ze kruisingsschema's voor monohybride kruisingen kunnen maken.
- Hoe ze zelf planten kunnen kweken, en begrijpen dat hier substraat, nutriënten, water en licht voor nodig zijn.
- Hoe ze kruisingen met planten kunnen uitvoeren en hierbij de meeldraden en stamper onderscheiden.
- Het belang te onderkennen van plantenveredeling voor de productie van sierplanten.
- Hoe ze een wetenschappelijk onderzoek kunnen opstellen en plannen.
- Hoe ze de verkregen resultaten kunnen interpreteren en hier conclusies uit kunnen trekken.

De volgende concepten zullen aan bod komen:

- Erfelijke informatie op DNA en chromosomen
- Genen
- Locus
- Allelen
- Genotype
- Fenotype
- Gameten
- Meiose
- Zygote
- Mitose
- Mutatie
- Variatie
- Monohybride kruising
- Kruisingsschema
- Maternale overerving
- Chloroplast -DNA

- Selectie en veredeling
- Plantenveredeling
- Bloemmorfologie
- Meeldraden
- Stamper
- Stuifmeel
- Pollenbuis
- Bestuiving
- Zaadvorming
- Fotosynthese
- Chloroplast
- Chlorofyl

4.2 Het kruisingsexperiment

Het is de bedoeling dat leerlingen door middel van kruisingsexperimenten de overerving van een mutatie gaan onderzoeken die witte vlekken veroorzaakt. De mutatie is gelegen op het chloroplast- DNA, en belemmert de aanmaak van chlorofyl. Aangezien chlorofyl de groene kleur in planten veroorzaakt, zal op plaatsen waar zich chloroplasten met deze mutatie bevinden geen groene kleur zichtbaar zijn, maar een witte. Planten die chloroplasten met de mutatie bevatten, hebben dan ook witte vlekken op bladeren en stengel. Deze planten heten *Vareigatied Cytoplasmic (VC)*. De hoeveelheid witte vlekken verschilt sterk per VC plant. Sommige VC planten hebben vrijwel geen witte vlekken, maar alleen een soort lichtgroene. Deze planten zijn niet geschikt voor het kruisingsexperiment, en kunnen het beste verwijderd worden. Er zijn ook VC planten die geheel wit zijn, deze sterven ongeveer vijf dagen na het zaaien vanzelf af. Deze geheel witte planten illustreren mooi het belang van fotosynthese.

De mutatie op het chloroplast- DNA erft maternaal over. De leerlingen weten dit niet, ze gaan uitzoeken of de mutatie op het nucleair DNA of op het chloroplast DNA ligt. Om te testen of de mutatie op het nucleair DNA ligt en of deze dan dominant of recessief overerft, zullen ze VC planten met elkaar en met STD planten kruisen. De hoeveelheid "genexpressie" zal worden bepaald door de percentages witte vlekken per plant te schatten. Dit experiment zal zijn opgebouwd als een monohybride kruising, aangezien het de overerving van één mutatie betreft. Ook moeten de leerlingen van elke bloem die ze in een kruising gebruiken opschrijven of deze aan een wit of groen takje zat, en deze bloem ook markeren. Zo kunnen ze na afloop van het experiment een verband ontdekken tussen de kleur van dit takje en de aan- of afwezigheid van witte vlekken bij de nakomelingen.

De leerlingen zullen kruisingsexperimenten uitvoeren na te gaan of de mutatie maternaal overerft. Hiervoor kunnen ze VC met STD planten kruisen, en beide planten afwisselend als vader- en moederplant gebruiken. Ook bij dit experiment is het belangrijk dat de kleuren van de takjes waaraan de bloemen zaten goed worden genoteerd, en de bloemen gemarkeerd. Door dit experiment zullen de leerlingen er achter komen dat de mutatie maternaal overerft, aangezien nakomelingen van een kruising met een STD plant als moeder geen witte vlekken zullen hebben.

Dit kruisingsexperiment heeft een vrij korte tijdsduur; ongeveer 54 dagen. De fenotypes van de F1 planten kunnen na 14 dagen duidelijk geobserveerd worden. De F1 planten moeten 14 in plaats van 7 dagen opgekweekt worden, zodat de percentages wit en groen weefsel goed geschat kunnen worden.

De leerlingen maken voor de kruisingen een planning tot en met de F2 generatie voor de "monohybride kruising". Maar als ze in de F1 van de kruisingen van VC met STD observeren dat alleen planten uit een kruising met VC als moeder witte vlekken vertonen, kunnen ze daaruit concluderen dat de mutatie maternaal overerft. Zodoende kunnen ze de experimenten na 54 dagen stopzetten, en hoeven ze geen F2 meer op te kweken.

Carolina Biological Supply Company levert geen F1 generatie voor deze experimenten; alleen de VC en STD ouderplanten kunnen worden besteld.

Dit kruisingsexperiment heeft dus een kortere tijdsduur dan de andere drie kruisingsexperimenten. Hierdoor hoeft er minder tijd besteed te worden aan plantverzorging, en hoeven er ook maar één keer kruisingen uitgevoerd te worden. Toch zullen de leerlingen aan dit kruisingsexperiment niet minder werk hebben dan aan de andere experimenten. Dit omdat er bij dit experiment alle bloemen gemerkt moeten worden en de kleuren van de takjes waaraan ze zitten moeten worden genoteerd. Verder zijn de verdiepende vragen een stuk moeilijker, en zullen de leerlingen dus meer tijd nodig hebben om deze te beantwoorden.

4.3 Moeilijkheidsgraad

Dit kruisingsexperiment is meer ingewikkeld dan de andere drie experimenten, omdat het een vorm van maternale overerving betreft. Deze vorm van overerving wijkt af van de gangbare genetica die de leerlingen hebben gehad. Verder zijn de verdiepende vragen wat moeilijker, en vereisen ook meer redenering dan bij de andere experimenten. Dit kruisingsexperiment kan het beste aan leerlingen worden uitbesteed die een extra uitdaging kunnen gebruiken. In 5 en/of 6 vwo is dit experiment te gebruiken voor herhaling van de concepten: erfelijkheid, DNA, cel en celorganellen, fotosynthese.

4.4 De onderzoeksopzet

De onderzoeksopzet die de leerlingen bij deze kruisingsexperimenten kunnen maken, heeft de vorm van een echt wetenschappelijk onderzoek. De planning spreekt voor zich. Zo ook het formuleren van de verachtingen en de hypothesen. Het is vooral van belang dat de leerlingen een goed verband kunnen leggen tussen de fenotypes die ze observeren en de maternale overerving.

Bij de afsluiting van het experiment moeten de leerlingen ook een verband leggen tussen de kleuren van de takjes waaraan de moeder- en vader bloemen zaten en de percentages witte vlekken op de nakomelingen van de desbetreffende kruisingen. Ze zouden hieruit moeten opmaken dat de nakomelingen van een moederbloem aan een groen takje zeer weinig tot geen witte vlekken hebben, en de nakomelingen van een moederbloem aan een wit takje veel witte vlekken hebben. Ze kunnen hieruit concluderen dat er een verband is tussen de kleur van het takje van de moederbloem en de hoeveelheid witte vlekken van de nakomelingen. Ze kunnen vervolgens beredeneren dat dit wordt veroorzaakt door de hoeveelheid chloroplasten met

de mutatie die zich in het takje, de moederbloem en dus de zygote bevindt. Deze chloroplasten hebben zich volgens verhouding verdeeld over de plant, wat tot veel of weinig witte vlekken heeft geleid.

4.5 Verdiepende vragen

Aan het eind van de onderzoeksopzet zijn enkele verdiepende vragen geformuleerd. Deze kunnen de leerlingen beantwoorden door middel van al aanwezige voorkennis, of door middel van informatie die ze in de aangewezen bronnen kunnen opzoeken.

De verdiepende vragen geven de leerlingen meer inzicht in enkele processen die aan de orde komen in het experiment, en zijn vooral plantkundig van aard. U kunt de leerlingen duidelijk maken hoe ze de antwoorden op deze vragen dienen te verwerken: in een verslag, presentatie of op een andere manier.

De volgende verdiepende vragen komen in dit kruisingsexperiment aan de orde:

1. In dit practicum heb je geleerd dat DNA niet alleen in de celkern voorkomt, maar ook in bepaalde organellen. Wetenschappers hebben een theorie geformuleerd over hoe dit zo gedurende de evolutie ontstaan zou kunnen zijn. Deze theorie geldt als de meest gangbare verklaring voor dit fenomeen. Hoe heet de theorie, en hoe verklaart deze het feit dat enkele organellen hun eigen DNA bevatten?
 - De leerlingen komen na wat zoekwerk al snel uit op de endosymbiont theorie: dat chloroplasten en mitochondriën in een vroeg stadium prokaryoten waren, die geïntegreerd zijn geraakt in de eukaryote cel. Dit verklaart ook het feit dat deze organellen hun eigen kleine genoom hebben. Op de meeste gangbare informatie websites is deze theorie wel uitgelegd. In sommige gevallen staat hierbij vermeld dat de bewijzen voor de theorie niet waterdicht zijn, maar dat de theorie toch de beste verklaring is voor het verschijnsel.
2. Tijdens het practicum is het je misschien opgevallen dat planten met veel witte vlekken minder snel groeien dan de standaardplanten. Geef hiervoor een verklaring. Denk hierbij aan de functie van bladgroenkorrels in de groei van planten.
 - Leerlingen kunnen het verband leggen tussen de hoeveelheid chloroplasten, en dus hoeveelheid fotosynthese en energie die beschikbaar komt voor de plant. Ook kunnen leerlingen een verband leggen met de geheel witte VC planten die eventueel hebben gezien. Deze hebben helemaal geen fotosynthese, en sterven na ongeveer vier dagen zelf af.
3. Wetenschappers bij het Amerikaanse biotechnologiebedrijf Monsanto hebben planten ontwikkeld die herbicide- tolerant zijn. Deze planten zouden hogere opbrengsten moeten geven, en zouden een bijdrage kunnen leveren aan vermindering van het voedseltekort. Zoek op wat herbicide- tolerant betekent, en beschrijf in het kort hoe ze deze eigenschap aan deze planten hebben gegeven.
 - De planten hebben via genetische modificatie een gen gekregen, waardoor het herbicide niet giftig voor ze is. Daardoor kan het

hele veld met het herbicide worden bespoten en zullen alle planten behalve de genetisch gemodificeerde doodgaan.

4. In het krantenartikel aan het begin van deze handleiding worden biobrandstoffen genoemd als een van de oorzaken van het groeiende voedseltekort. Zoek enkele artikelen over dit onderwerp op. Zoals met bijna alle ontwikkelingen, zijn er verschillende standpunten over het gebruik van bio- brandstoffen. Probeer om artikelen te lezen die zijn geschreven door mensen met verschillende standpunten. Schrijf na het lezen van de artikelen op wat jouw standpunt is over het gebruik van bio- brandstof in relatie tot de voedseltekorten. Geef minstens drie goed onderbouwde argumenten die je standpunt ondersteunen.
5. Het DNA dat zich in de chloroplasten bevindt, codeert voor specifieke eigenschappen. Noem enkele van deze eigenschappen, en leg uit waarom het logisch is dat deze genen op het chloroplast DNA liggen, gezien de functie van de chloroplast (fotosynthese). Raadpleeg de bron <http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/C/C.html> voor je antwoord.
 - De leerlingen kunnen op deze website een goede beschrijving vinden van het genoom van de chloroplast. Ze zullen zien dat op dit genoom allerlei structuren en stoffen zijn gecodeerd die functioneren in de fotosynthese.

5. Sierplanten

5.1 Doelstellingen en concepten

Na afloop van dit experiment weten de leerlingen:

- Dat erfelijke informatie op DNA is opgeslagen in de vorm van basecodering.
- Dat genen specifieke stukken DNA zijn die voor een bepaalde eigenschap coderen.
- Dat gameten erfelijke informatie voor voortplanting bevatten, via meiose worden gevormd, en dat ze samensmelten om een zygote te vormen.
- Het verband tussen genotype en fenotype te leggen.
- Dat genetische eigenschappen dominant of recessief kunnen overerven.
- Hoe ze kruisingsschema's voor monohybride kruisingen kunnen maken.
- Hoe ze zelf planten kunnen kweken, en begrijpen dat hier substraat, nutriënten, water en licht voor nodig zijn.
- Hoe ze kruisingen met planten kunnen uitvoeren en hierbij de meeldraden en stamper onderscheiden.
- Hoe ze een wetenschappelijk onderzoek kunnen opstellen en plannen.
- Hoe ze de verkregen resultaten kunnen interpreteren en hier conclusies uit kunnen trekken.
- Het belang te onderkennen van plantenveredeling voor de productie van sierplanten.

De volgende concepten zullen aan bod komen:

- Erfelijke informatie op DNA en chromosomen
- Genen
- Locus
- Allelen
- Genotype
- Fenotype
- Gameten
- Meiose
- Zygote
- Mitose
- Mutatie
- Variatie
- Dominante overerving
- Recessieve overerving
- Dihybride kruising
- Kruisingsschema
- Selectie en veredeling
- Plantenveredeling
- Bloemmorfologie
- Meeldraden





- Stamper
- Stuifmeel
- Pollenbuis
- Bestuiving
- Zaadvorming
- Gaswisseling
- Wortels
- Kleurstoffen

5.2 Het kruisingsexperiment

Het is de bedoeling dat leerlingen door middel van kruisingsexperimenten de overerving van de genen *ANL* en *YGR* gaan onderzoeken. Ze zullen zo ontdekken dat het dominante allel van *ANL* een paarse kleuring veroorzaakt en het recessieve niet. Verder zullen de leerlingen ontdekken dat het dominante allel van het *YGR* gen een groene bladkleur veroorzaakt, en het recessieve allel een geel- groene bladkleur.

ANTH en *YGL* planten met elkaar gekruist worden. De F1 van deze kruising F1 zal heterozygoot zijn voor *ANL* en *YGR*, en dus *ANL/anl YGR/ygr* zijn en een normaal fenotype hebben met paarse kleuring en groene bladeren. De F1 kan onderling gekruist worden. De F2 zal 9:3:3:1 verdeeld zijn voor *anl/ANL YGR/ygr* : *anl/ANL ygr/ygr* : *anl/anl YGR/ygr* : *anl/anl ygr/ygr*, en dus paarse stam, groene bladeren : paarse stam, geel-groene bladeren : groene stam, groene bladeren : groene stam, geel-groene bladeren.

Dit kruisingsexperiment heeft een vrij lange tijdsduur; ongeveer 87 dagen. Dit komt doordat de ouderplanten en de F1 hun hele levenscyclus moeten kunnen volbrengen. De fenotypes van de F2 planten kunnen na 7 dagen al duidelijk geobserveerd worden. Om de tijdsduur van het practicum te verkorten, kunnen de F1 zaden ook direct bij Carolina Biological Supply Company worden besteld in plaats van uit een eigen kruising verkregen. In dit geval moet de F1 worden gegroeid en gekruist, en kunnen de fenotypes van de F2 na 7 dagen worden geobserveerd. De duur van het experiment is dan maar 47 dagen. Naast F1 zaden, kunnen er ook F2 zaden van deze kruising bij Carolina worden besteld. Het verdient de aanbeveling om deze zaden ook te bestellen, om ze achter de hand te hebben voor het geval er iets mis gaat. In de F2 generatie zijn dus vier verschillende fenotypes te observeren, die allemaal een andere combinatie van stengel- en bladkleur hebben. Deze fenotypes moeten zorgvuldig door de leerlingen geobserveerd worden. Om verwarring te voorkomen, zijn de planten hieronder weergegeven in afbeelding 2.

				
<u>F₂ Generation</u>	9	3	3	1
Genotypes	-/ANL, YGR/-	-/ANL, ygr/ygr	anl/anl, YGR/-	anl/anl, ygr/ygr
Stem Phenotypes	purple	purple	non-purple	non-purple
Leaf Phenotypes	green	yellow-green	green	yellow-green

Afbeelding 3: fenotypen van de F2 van een kruising tussen de planten *ANTH* en *YGL*.

5.3 Moeilijkheidsgraad

Dit kruisingsexperiment is wat meer ingewikkeld omdat het een dihybride kruising betreft. Naast de standaard genetische en plantkundige concepten, komen er nog enkele andere aan bod, zoals plantverzorging en kleurstoffen.

5.4 De onderzoeksopzet

De onderzoeksopzet die de leerlingen bij deze kruisingsexperimenten kunnen maken, heeft de vorm van een echt wetenschappelijk onderzoek. De planning spreekt voor zich. Zo ook het formuleren van de verachtingen en de hypothesen. Het is vooral van belang dat de leerlingen een goed verband kunnen leggen tussen de fenotypes die ze observeren en de achterliggend genotypes en dus dominante of recessieve overerving.

5.4 Verdiepende vragen

Aan het eind van de onderzoeksopzet zijn enkele verdiepende vragen geformuleerd. Deze kunnen de leerlingen beantwoorden door middel van al aanwezige voorkennis, of door middel van informatie die ze in de aangewezen bronnen kunnen opzoeken.

De verdiepende vragen geven de leerlingen meer inzicht in enkele processen die aan de orde komen in het experiment, en zijn vooral plantkundig van aard. U kunt de leerlingen duidelijk maken hoe ze de antwoorden op deze vragen dienen te verwerken: in een verslag, presentatie of op een andere manier.

De volgende verdiepende vragen komen in dit kruisingsexperiment aan de orde:

1. De YGL planten hebben geel- groene bladeren. Wat is de oorzaak van deze afwijkende bladkleur, denk je? Verwacht je dat de lichtere bladkleur invloed heeft op de groei van de plant?
 - Door het recessieve *ygr* allel wordt er minder chlorofyl dan normaal aangemaakt. Hierdoor hebben de planten vanzelfsprekend ook een lichtere kleur. De leerlingen kunnen dit antwoord beredeneren als ze bedenken dat bladkleur wordt bepaald door chlorofyl en niet door kleurstoffen. Verder kunnen de leerlingen beredeneren dat het voor een plant ongunstig is om minder chlorofyl te hebben, en zodoende minder energie te kunnen opnemen. Ze kunnen ook beredeneren dat dit laatste de groei van de plant negatief zal beïnvloeden.
2. Je hebt tijdens de lessen geleerd dat sommige genen gekoppeld overerven. Denk je dat de *ANL* en *YGR* genen gekoppeld overerven, of juist niet? Geef argumenten voor je antwoord.
 - De genen erven niet gekoppeld over. De leerlingen kunnen dit beredeneren door naar de uitkomst van de kruisingen te kijken. Bij de F2 generatie zijn alle 4 de mogelijke combinaties van allelen van de twee genen aanwezig. Als de genen gekoppeld waren, dan zouden de verhoudingen tussen de geno- en fenotypes niet 9:3:3:1 verdeeld zijn, maar anders.
3. Je hebt de Fast Plants gekweekt met een constante blootstelling aan licht van TL- buizen. Dit is vrij uniek, de meeste planten kunnen niet zo gekweekt worden, maar hebben eens in de 24 uur ook een donkere

periode nodig. Dit is bijvoorbeeld te zien in de tuinbouw: over het algemeen staan de lampen in de kassen niet 24 uur per dag aan. De meeste planten hebben dus een dag- en nacht ritme, net als veel andere organismen. Dit wordt ook wel een circadiaan ritme genoemd (circadian rhythm in het Engels). Veel organismen slapen of rusten op een bepaalde tijd in de 24 uur, en hebben dit ook nodig om goed te functioneren. Planten slapen niet, maar toch hebben veel soorten een dus een donkere periode nodig.

- A. Waarom denk je dat dit zo is, wat wordt er gereguleerd in de plant door de donkere periode?
- B. Planten moeten op één of andere manier het verschil tussen licht en donker kunnen waarnemen als ze daarop reageren. Hoe werkt dit “waarnemen”?

Zoek je antwoorden op de websites die bij de referenties zijn gegeven. Tip: het dag- nacht ritme in planten wordt ook wel de fotoperiode genoemd (photoperiod in het Engels).

- In de verschillende bronnen die de leerlingen zullen raadplegen, wordt voornamelijk het belang van donkere periodes aangegeven voor de regulatie van bloei. Ook de regulatie van hormonen (bijvoorbeeld gibberellinezuur) voor groei worden genoemd. Verder wordt het dagelijks ritme van planten ook aan allerlei processen voor de fotosynthese en het openen en sluiten van de huidmondjes. Vaak wordt hierbij ook opgemerkt dat het niet duidelijk is of deze processen ook echt door het dag- nacht ritme worden gereguleerd. Men vermoedt namelijk dat dit niet het geval is, maar dat deze processen simultaan met de fotoperiode verlopen en door andere factoren dan door het licht worden gereguleerd.
 - Dit “waarnemen” gebeurt door een eiwit dat fytochroom heet. Dit eiwit verandert van vorm onder invloed van licht. In het donker neemt het zijn oude vorm weer aan. Een bepaalde concentratie van normaal fytochroom eiwit is nodig om het signaal dat tot bloei leidt af te geven. Hierdoor moet de nacht dus lang genoeg zijn, zodat er genoeg veranderd fytochroom eiwit weer naar de oude staat kan worden omgezet.
4. Je hebt misschien wel eens gehoord van milieu- organisaties die bomen aanplanten om het broeikas effect tegen te gaan. Een voorbeeld van zo'n organisatie is Trees For Travel. Wat is grootste oorzaak van de toename van het broeikas effect, en wat heeft dit met planten te maken? Op welke manier zouden bomen het broeikas effect kunnen verminderen?
- De grootste oorzaak van de toename van het broeikas effect is de verbranding van fossiele brandstoffen. Hierbij komt veel CO₂ vrij, wat het broeikas effect versterkt. Het verband tussen de verbranding van de fossiele brandstoffen en planten is dat de fossiele brandstoffen vroeger uit planten zijn ontstaan. De planten hebben CO₂ gefixeerd, wat vrij komt als de brandstoffen worden verbrand. De aanplant van bomen zou het broeikas effect kunnen verminderen doordat de bomen veel CO₂

fixeren voor hun fotosynthese, en het zo dus uit de atmosfeer wegnemen. Het idee is dat op deze manier het gehalte aan CO₂ in de atmosfeer wordt verlaagd, en het broeikas effect afneemt.

Referenties

- Biologische begrippen: <http://www.digischool.nl/bi/pbb/index.php>
- Carolina Biological Supply Company: <http://www.carolina.com>
- Coordinating photosynthetic activity:
<http://www.tiem.utk.edu/bioed/webmodules/circadianrhythm.html>
- CVBO documenten: <http://www.nibi.nl>, doorlinken naar CVBO
- Fast Plants: <http://www.fastplants.org>
- Kimball's Biology Pages:
<http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/>
- Levenscyclus van Fast Plants:
<http://www.fastplants.org/intro.lifecycle.php#menu>
- Natuur, wetenschap en techniek: <http://www.natutech.nl>
- Natuurinformatie: <http://www.natuurinformatie.nl>
- Plantaardigheden: <http://www.plantaardigheden.nl>
- Wikipedia: <http://www.wikipedia.nl> of <http://www.wikipedia.org>

Al deze websites zijn in juni en juli 2008 bekeken.

Bronnen van gebruikte afbeeldingen:

1. <http://www.fastplants.org>
2. Foto uit eigen archief
3. <http://www.fastplants.org>

Appendix I: Fast Plants

1.1 Introductie

Fast Plants zijn speciaal ontwikkeld voor het uitvoeren van practica op scholen. De latijnse naam van deze planten is *Brassica rapa*. De planten kunnen gebruikt worden voor kruisingsexperimenten. Er zijn verschillende types beschikbaar, die allemaal karakteristieke eigenschappen hebben met betrekking tot kleur van stam en bladeren en vorm en grootte. Het handige aan Fast Plants is dat veel van deze eigenschappen monogenetisch zijn bepaald, en via de wetten van Mendel overerven. Dit maakt de Fast Plants uitermate geschikt voor experimenten ter illustratie van deze wetten.

Verder zijn de eigenschappen ook dominant of recessief, en dus niet co-dominant. Ook dit is gunstig om de Mendeliaanse wetten te illustreren.

Fast Plants hebben onder ideale omstandigheden een levenscyclus van zaad tot zaad van ongeveer 37 dagen (afhankelijk van het genotype is de range 30 tot 45 dagen)

1.2 Fast Plants bestellen

Fast Plants zijn ontwikkeld door de University of Wisconsin, Madison in de Verenigde Staten (www.fastplants.org). Er zijn verschillende types Fast Plants beschikbaar, die elk een ander fenotype hebben dat monogenetisch is bepaald. De zaden van de Fast Plants kunnen besteld worden bij Carolina Biological Supply Company (www.carolina.com). De levering is het snelste (ongeveer twee tot drie weken) als er direct bij Carolina wordt besteld, als er via de Nederlandse distributeur (adres?) wordt besteld is de levertijd langer.

Naast de zaden van de Fast Plants kunnen ook allerlei materialen om de planten te kweken worden besteld bij Carolina Biological Supply Company. Omdat er alleen vanuit de VS geleverd kan worden, zijn de verzendkosten vrij hoog, ongeveer \$ 70 voor een middelgroot pakket. Daarom verdient het de aanbeveling om in plaats van de materialen van Carolina, zoveel mogelijk Nederlandse producten aan te schaffen. Hierop zal in paragraaf 2.4 uitgebreid worden ingegaan.

1.3 Kweken van Fast Plants

Fast Plants zijn goed te kweken op school; ze hebben geen speciale faciliteiten nodig. Als een goed groeisysteem wordt gemaakt, is de verzorging van de planten minimaal.

De volgende factoren zijn essentieel in het kweken van Fast Plants:

- 24 uren belichting door TL lampen.
- Constante toediening van nutriënten.
- Constante toevoer van water
- Genoeg lucht bij wortels
- Temperatuur tussen de 22 en 28 °C

Fast plants hebben dus geen dag- en nacht ritme zoals de meeste planten. De planten kunnen ook niet snel overbelicht worden; ze kunnen een zeer grote hoeveelheid licht aan. Als één van deze factoren afwijkt van wat is

aanbevolen, kunnen de planten nog steeds groeien, maar zullen ze zich een stuk langzamer ontwikkelen.

Het groeisysteem en alle andere benodigheden kunnen kant en klaar bij de distributeur van Fast Plants, Carolina Biological Supply Company, worden besteld. Dit groeisysteem is getest en geeft goede resultaten; de planten groeien snel en ontwikkelen zich goed. Het enige nadeel van dit kant en klare systeem is dat het alleen vanuit VS kan worden geleverd, en de verzendkosten daardoor erg hoog zijn.

Daarom is er een ander groeisysteem getest, dat is gebaseerd op het kant en klare systeem. Men kan dit groeisysteem zelf construeren. De onderdelen voor dit systeem zijn bij grote winkelketens in Nederland beschikbaar, en de totale kosten bedragen ongeveer € 80. Verder kan er nog substraat in Nederland gekocht worden waar de planten op kunnen groeien, wat ongeveer € 15 kost. Het zelf construeren van een groeisysteem kost ongeveer anderhalf uur. Het systeem is getest met de hieronder beschreven materialen. Er zijn goede resultaten met dit groeisysteem van Nederlandse materialen behaald; de planten ontwikkelden zich goed, en net zo snel als staat beschreven voor het kant en klare groeisysteem.

1.4 Behuizing

- Boodschappenkraat
- Aluminiumfolie
- Ducktape
- Stevig karton
- Telefoongidsen, catalogi, o.i.d.
- Touw

Voor de behuizing van het groeisysteem kan een boodschappenkraat worden gebruikt. Het boodschappenkraat kan worden verstevigd met ducktape en touw aan de bovenste korte zijde, omdat daar later de lampen aan worden opgehangen. Dit boodschappenkraat kan aan de binnenkant geheel bekleed worden met aluminiumfolie. Hierbij is het belangrijk dat het folie wordt aangebracht met de matte kant naar buiten. Het folie dient om het licht te reflecteren zodat de planten zoveel mogelijk licht ontvangen, en daarom moet het met de meest reflecterende kant naar de binnenkant van het kraat gericht worden aangebracht. Het bevestigen van het aluminiumfolie kan met ducktape worden gedaan. Het is belangrijk dat de Fast Plants genoeg lucht hebben. Daarom is het aan te raden om enkele gaten in het folie te maken, zodat er genoeg verse lucht zal worden aangevoerd.

Er kan ook een soort deksel voor het kraat worden gemaakt, zodat er nog meer licht gereflecteerd zal worden. Dit deksel kan eenvoudig met karton en aluminiumfolie worden gemaakt. Een voorbeeld van hoe het kraat er na bekleding met aluminiumfolie (en bevestiging van de belichting) er uit ziet is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: een krat en deksel bekleed met aluminiumfolie, waarin Fast Plants gekweekt kunnen worden. De belichting is met touw en ducktape aan de bovenkant van het krat bevestigd.

Het wordt aangeraden om de Fast Plants circa 5-10 centimeter van de lichtbron te plaatsen. De planten zullen gedurende de tijd uiteraard in hoogte toenemen. Om de platen op een ongeveer constante afstand van de lichtbron te houden, kunnen ze op een verhoging worden geplaatst die kan worden aangepast. Zo kan deze verhoging verlaagd worden naarmate de planten groeien. Als materiaal voor de verhoging kunnen stapels telefoongidsen, catalogi en dergelijke gebruikt worden. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in Figuur 2.



*Figuur 2: Fast Plants in verschillende stadia van de levenscyclus, met daarbij behorende verhoging om 5-10 centimeter afstand tot de lichtbron te hebben.
A: Fast Plants van 10 dagen oud op een hoge verhoging.
B: Fast Plants van 25 dagen oud op een lage verhoging.*

1.5 Flessensysteem

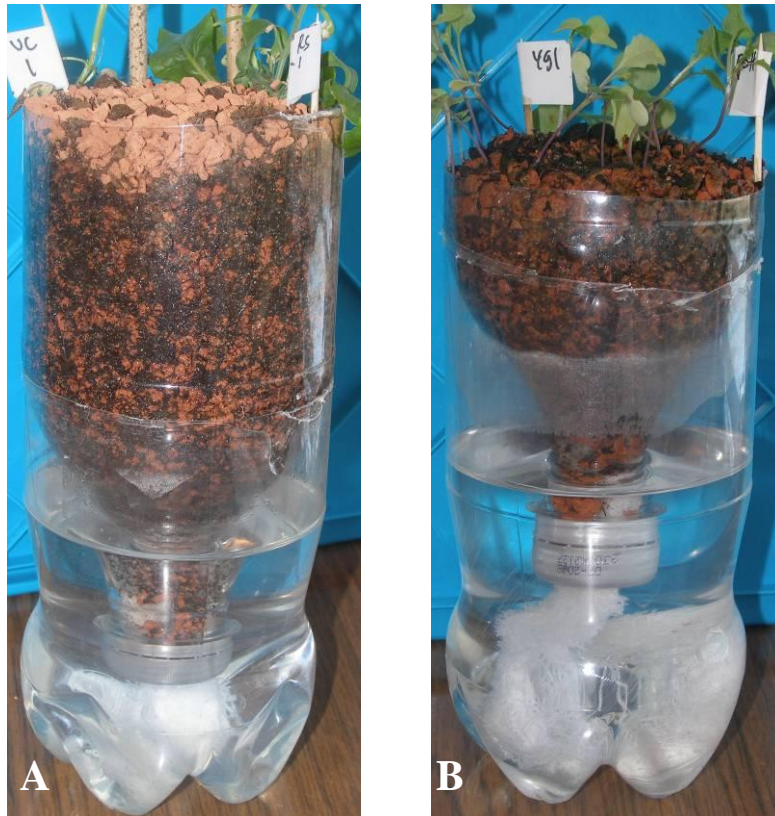
- Zes 1,5 liter frisdrankflessen van stevig plastic
- Katoenen handdoek van goede, dikke kwaliteit of Wick Mat (Carolina Biological Supply Company)
- Dikke spijker of priem
- Hamer
- Zaag
- Anti-algal squares (Carolina Biological Supply Company) of algenbestrijdingsmiddel All Clear van Velda
- Stokjes, bij voorkeur op maat te zagen
- Dun ijzerdraad

De Fast Plants hebben een constante toevoer van water en nutriënten nodig om goed te kunnen groeien. Een systeem waarin dit op een eenvoudige wijze kan worden gerealiseerd kan worden geconstrueerd met frisdrankflessen.

Hiervoor kunnen het beste flessen van 1,5 liter worden gebruikt. Er passen ongeveer zes flessen in een krat. Het is belangrijk om flessen van dik en stevig plastic te gebruiken. Flessen waarin met de hand een deuk gedrukt kan worden, zijn niet geschikt.

De flessen kunnen door midden gezaagd worden. Het bovenste gedeelte, met de dop erop, kan omgekeerd in het onderste gedeelte gezet worden. In het onderste gedeelte wordt water gedaan, en in het bovenste gedeelte substraat om de planten op te groeien. Er moet een goede verhouding in grootte van de twee compartimenten worden gecreëerd. Als het onderste gedeelte klein is, moet er vaker water toegevoegd worden, wat erg onhandig is tijdens schoolvakanties. Als het bovenste compartiment te klein is, zullen de planten minder goed groeien, omdat ze redelijk wat ruimte nodig hebben. Een goede verhouding tussen de twee compartimenten is weergegeven in figuur 3A.

Deze afbeelding geeft een impressie van een goede verhouding. Het is gebleken dat met deze verhouding er maar één keer per week water gegeven hoeft te worden, en dat de planten genoeg ruimte hebben om goed te groeien. Als een verhouding zoals weergegeven in Figuur 3B wordt gebruikt, hoeft het water slechts om de 12 dagen verversd worden. De planten hebben dan echter minder ruimte, en dit kan een nadelige invloed hebben op hun groei.



Figuur 3: verhoudingen tussen de twee flessencompartimenten van het flessensysteem om Fast Plants te groeien.

A: De verhouding tussen de compartimenten die als beste getest is: het water kan om de 7 dagen ververs worden, en de planten hebben genoeg ruimte om te groeien.

B: Deze verhouding tussen de twee compartimenten geeft de planten minder ruimte, wat nadelig kan zijn voor hun groei. Het water hoeft echter slechts om de 12 dagen ververs te worden.

Vervolgens kan er een gat gemaakt worden in de doppen van de flessen, zodat het water daardoor heen geleid kan worden. Dit gat kan gemaakt worden met een priem of dikke spijker. Het is aan te raden om het gat redelijk groot te maken, ongeveer een kwart van de totale oppervlakte van de dop. Het water wordt van het onderste naar het bovenste compartiment geleid door een reep water geleidend materiaal door het gat in de dop te laten lopen. Hiervoor kan een Wick Mat worden gebruikt of een katoenen handdoek van goede, dikke kwaliteit. Dit geleidend materiaal kan aan dunne, lange repen worden geknipt. Ongeveer een kwart van de lengte van een reep geleidend materiaal wordt in het onderste compartiment gehangen, en ongeveer drie kwart in het bovenste compartiment verspreid. Het water geleidend materiaal dient helemaal te worden bevochtigd voordat het door het gat in de dop wordt gehaald. Dit is weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4: Een reep handdoek is als watergeleidend materiaal is bevochtigd en door het gat in de flessendop gehaald, en zal water van het onderste naar het bovenste flessencompartiment leiden.

Het onderste compartiment kan gevuld worden met kraanwater. Omdat er intens belicht zal worden, is het belangrijk dat de groei van algen wordt tegengegaan. Hiervoor kunnen Anti-algal squares gebruikt worden, of algenbestrijdingsmiddel van Velda.

De dosering van deze beide oplossingen is belangrijk, om schade aan de planten te voorkomen. Een halve Anti-algal square per water compartiment heeft een goede werking. Voor het algenbestrijdingsmiddel van Velda moet de dosering zoals beschreven in de handleiding worden gehanteerd. Het is belangrijk om bij elke water verversing weer na te gaan of er nog genoeg algenbestrijdingsmiddel aanwezig is in het watercompartiment. Als er Anti-algal squares gebruikt worden, kan men dit nagaan door de blauwe kleur op deze squares te controleren. De werkzame stof is blauw, en als deze is verbruikt zal de blauwe kleur zijn verdwenen. Er kan dan een nieuwe, gehalveerde Anti-algal square worden toegevoegd. Als het algenbestrijdingsmiddel van Velda wordt gebruikt, moet dit bij elke waterverversing weer in de juiste dosering aan het water worden toegevoegd. Het is het beste om hierbij een oplossing van ongeveer 6 liter water te maken en hier 1,33 ml anti-algenmiddel aan toe te voegen, en dit daarna over verschillende watercompartimenten te verdelen. Het algenbestrijdingsmiddel moet goed worden geschud alvorens het wordt toegediend.

Als de planten eenmaal groeien zullen de meeste na enige tijd extra ondersteuning nodig hebben. Hiervoor kunnen stokjes en dun ijzerdraad gebruikt worden. Het is aan te raden om stokjes te gebruiken die op maat gezaagd kunnen worden, aangezien er bepaalde types Fast Plants zijn die behoorlijk langer zijn dan andere, maar toch allemaal in hetzelfde krat en dus op dezelfde verhoging staan. Verder is het aan te raden om dun ijzerdraad te gebruiken dat makkelijk is te buigen en te knippen.

1.6 Substraat en nutriënten

- Osmocote pellets
- Kleikorrels van Seramis
- Tuinturf van Naturado

De Fast Plants hebben veel lucht bij hun wortels nodig, en groeien daarom niet op normale potgrond. De University of Wisconsin, Madison adviseert om vermiculiet vermengd met turf en zand te gebruiken. Het vermiculiet

adsorbeert water en zorgt voor een goede luchtdoorlating. Het turf en zand zorgen voor structuur voor de wortels. Helaas is vermiculiet niet makkelijk verkrijgbaar in Nederland voor particulieren. Daarom is er een ander substraat getest, wat bestaat uit Nederlandse producten. Als vervanging van het vermiculiet kunnen kleikorrels gebruikt worden, die net als het vermiculiet water adsorberen en voor een goede luchtdoorlating zorgen. Verder kan er tuinturf gebruikt worden. Dit verdient de aanbeveling boven het gebruik van andere producten die turf bevatten, zoals stek- en zaaigrond, omdat aan tuinturf geen extra nutriënten zijn toegevoegd en aan de andere producten vaak wel. Als er producten worden gebruikt die nutriënten bevatten, bestaat er een risico dat de planten te veel nutriënten zullen krijgen, wat ze niet ten goede zal komen. Het geteste substraat waar de planten goed op groeiden bestond voor driekwart uit kleikorrels en één kwart uit tuinturf. Dit substraat dient voor gebruik goed bevochtigd te worden. Als het substraat in het bovenste compartiment wordt gedaan, is het belangrijk om de reep watergeleidend materiaal te verdelen over het volume, zodat de watertoevoer overal goed zal zijn.

Fast Plants hebben een constante toevoer van nutriënten nodig: natrium, kalium en fosfor in gelijke hoeveelheden, en ook enkele sporenelementen. Er zijn verschillende merken plantenvoeding verkrijgbaar in Nederland die ook door de University of Wisconsin, Madison zijn voorgeschreven. Vloeibare plantenvoeding kan in de juiste concentratie aan het water worden toegevoegd. Echter, men moet dit dan telkens doen wanneer het water wordt ververst, wat ten minste één keer per week nodig is. Daarom wordt het aanbevolen om Osmocote pellets te gebruiken. Dit zijn pellets die de nutriënten gedoseerd gedurende de tijd afgeven, in reactie op water en warmte. Hierdoor is er geen risico om de planten te veel nutriënten toe te dienen, als er ten minste de juiste hoeveelheid pellets wordt gebruikt. Er kunnen 2-3 pellets per plant gebruikt worden. De pellets dienen halverwege het substraat toegevoegd te worden. De pellets blijven 6 maanden werkzaam, dus dat is ruim voldoende voor de levenscyclus van Fast Plants.

1.7 Belichting

- Drie TL- buizen in armatuur van minimaal 8 Watt per stuk, of één 30 Watt circulaire TL- lamp in armatuur per krat
- Dun touw
- Ducktape

De Fast Plants groeien het snelst als ze veel licht ontvangen; hoe minder licht, hoe minder snel ze groeien. Als belichting moeten TL- buizen gebruikt worden. Er kan worden gekozen voor drie rechte TL-buizen of één ronde. De TL-buizen moeten wit licht uitzenden, en voldoende Watt hebben. De lampen moeten constant aan staan; een donkere periode is niet nodig voor Fast Plants. Daarom wordt het aangeraden om goede kwaliteit belichting te kopen, en bij voorkeur ook kant en klaar in een armatuur geleverd. De lampen kunnen op eenvoudige wijze met ducktape en dun touw aan de bovenkant van het krat worden bevestigd.

1.8 Zaaïen van Fast Plants

- Fast Plants zaden
- Cocktailprikkers
- Zelfklevende labels
- Watervaste stift (fijnschrijver)

Als het groeisysteem is geconstrueerd zoals hierboven beschreven, kunnen de Fast Plants gezaaid worden.

De temperatuur in de ruimte dient gedurende de groei van de Fast Plants zo hoog mogelijk te zijn. De planten groeien het best bij een temperatuur van tussen de 22 en 28°C

Er kunnen ongeveer drie keer meer zaadjes gezaaid worden dan het gewenste aantal planten. De planten kunnen onderling erg verschillen, met name de planten die een afwijkende kleur hebben. Door meer zaden dan nodig te zaaien kunnen de planten met het beste fenotype worden geselecteerd en de rest kan worden verwijderd. Er kunnen ongeveer zes planten per fles groeien, dus het wordt aanbevolen om de planten 4-5 dagen na het zaaien ook tot deze hoeveelheid uit te dunnen.

De zaden kunnen enigszins bedekt worden, en een beetje bewaterd van boven. Dit bewateren moet voorzichtig gebeuren, zodat de zaden niet weggespoeld worden.

Om het overzicht te behouden, is het handig om planten van slechts één type per fles te zaaien. Bij kleinschalig opgezette proeven is dit echter niet mogelijk, en moeten planten van twee of drie verschillende types in een fles worden gezaaid. Er wordt aangeraden om het type plant aan te geven met labels. Deze labels kunnen eenvoudig gemaakt worden van cocktailprikkers en zelfklevende labels, die bij de desbetreffende planten in het substraat gestoken kunnen worden.

De meeste Fast Plants volgen vrij nauwkeurig de levenscyclus zoals die in de volgende paragraaf staat beschreven. Er zijn echter enkele types die van deze cyclus afwijken, wat problemen kan veroorzaken bij het kruisen van de planten; de bloemen zijn immers maar enkele dagen geschikt voor kruisingen. Daarom verdient het de aanbeveling om het tijdstip van het zaaien voor sommige planten hieraan aan te passen. Wil men bijvoorbeeld Rosette met Standard kruisen, dan is het belangrijk om enkele Standard planten 5 dagen na de Rosette planten te zaaien, zodat deze ongeveer tegelijkertijd gaan bloeien. Voor meer informatie omtrent bloeitijden en andere aspecten van de levenscyclus van verschillende types Fast Plants wordt verwezen naar paragraaf 2.3.

1.9 Levenscyclus van Fast Plants

Als de omstandigheden waaronder de Fast Plants groeien zo zijn als hiervoor beschreven, zullen de Fast Plants snel en goed groeien. De levenscyclus van de Fast Plants, en de activiteiten die daaromtrent moeten plaatsvinden, zijn in het schema hieronder weergegeven. Een opmerking hierbij zijn dat de aangegeven dagen een benadering zijn, en de planten in realiteit een paar dagen eerder of later in een bepaalde groeifase kunnen geraken. Nog een

opmerking is dat bepaalde types Fast Plants zoals Rosette meestal wat trager groeien. De verwachte levenscyclus van de verschillende types Fast Plants staat beschreven paragraaf 2.3.

Dag	Fase in levenscyclus	Activiteiten
1	Kiemen van zaad.	
4-5	Eerste bladeren worden zichtbaar, fenotype van bladeren en stengel kan waargenomen worden.	Planten met minder goed fenotype verwijderen. Ongeveer 6 planten per fles overhouden.
7	Meer bladeren worden zichtbaar.	
9	Bloemknopjes ontwikkelen zich.	
11	Stengel verlengt zich tussen de aanhechtingsplaatsen van de bladeren. Bloemknoppen zullen meer boven bladeren gaan uitsteken.	
13-17	Bloemen openen zich, meeldraden en stamper kunnen duidelijk onderscheiden worden.	Planten kunnen bestoven worden. Het stuifmeel kan tot 4-5 dagen na opening van de bloem worden gebruikt. De stampers kunnen tot 2-3 dagen na opening van de bloemen bestoven worden.
18-22	De bloemblaadjes zullen afvallen, en de peulen zullen zwellen en groeien.	Als de bestuiving van bepaalde planten niet is gelukt, zullen de peulen zich niet ontwikkelen. Deze planten kunnen worden verwijderd.
23-36	De zaden ontwikkelen zich. De onderste bladeren worden geel en drogen uit.	20 dagen na de laatste bestuiving kunnen de planten worden uitgedroogd; het water kan uit de onderste compartimenten worden verwijderd. Dit zal ongeveer op dag 36 gebeuren.
36-40	De planten drogen uit en de peulen worden geel.	Op dag 40, of als de peulen genoeg gedroogd zijn, kunnen de zaden geogst worden.

Tabel 1: levenscyclus van de meeste typen Fast Plants. Er zijn ook Fast Plants die langzamer groeien en een langere levenscyclus hebben, zoals de zogenaamde Rosette planten. De activiteiten die op bepaalde dagen moeten worden uitgevoerd zijn ook beschreven.

1.10 Kruisen van Fast Plants

- Pollination Wands (Carolina Biological Supply Company)
- Zelfklevende labels
- Watervaste, fijnschrijvende stift

Wat erg belangrijk is om te weten, is dat de Fast Plants zichzelf niet kunnen bestuiven. Deze eigenschap zorgt ervoor dat de planten makkelijk te kruisen

zijn, en het stuifmeel van de moederplant niet verwijderd hoeft te worden alvorens te kruisen.

De bloemen van de Fast Plants kunnen 3-4 dagen na opening gebruikt worden voor kruisingen. Dezelfde kruisingen kunnen ook het beste 2-3 dagen achter elkaar worden uitgevoerd.

Het stuifmeel kan tot 4-5 dagen na opening van de bloem worden gebruikt. De stampers kunnen tot 2-3 dagen na opening van de bloemen bestoven worden. Door deze tijdslijmieten van bestuivingsmogelijkheden, is het belangrijk dat men rond de tijd dat de planten gaan bloeien vaak controleert of de planten al geschikt zijn om gekruist te worden.

Bij het bestuiven kunnen Pollination wands gebruikt worden. Deze kunnen gemerkt worden met zelfklevende labels. De planten moeten enige dagen achtereenvolgend bestoven worden en dus kunnen de Pollination wands ook een aantal maal voor dezelfde kruisingen gebruikt worden. Op de labels dienen de moeder- en vaderplant van de kruising aangegeven te worden, en de Pollination wands dienen ook alleen voor precies voor die kruising gebruikt te worden.

Ook is het belangrijk om aan te geven welke planten zijn bestoven met stuifmeel van een bepaald type Fast Plant. Dit kan eenvoudig worden gedaan door een label op de fles te plakken en dit hierop aan te geven, met een pijl naar boven naar de bestoven plant wijzend.

Na de laatste kruisingen kunnen de onbestoven bloemen voorzichtig afgeknipt worden. Ook kunnen nieuw ontwikkelende bloemknoppen worden afgeknipt. De plant kan nu alle energie gebruiken voor de ontwikkeling van de zaden, en er gaat dan geen energie verloren aan de ontwikkeling van nieuwe bloemen.

De peulen zullen zich een paar dagen na de laatste bestuivingen gaan ontwikkelen. De zaden hebben ongeveer 20 dagen nodig om zich te ontwikkelen. Als de zaden voldoende ontwikkeld zijn, kunnen de planten worden uitgedroogd door het water uit de onderste compartimenten te verwijderen. Dit uitdrogen duurt ongeveer 4 dagen.

Als de peulen voldoende zijn uitgedroogd, kunnen de zaden geoogst worden. Dit kan gedaan worden door de peulen voorzichtig tussen de vingers te rollen, boven een papiertje. De zaden kunnen dan vanaf dit papiertje in een zakje worden gedaan, waarop de ouderplanten kunnen worden aangegeven. De zaden kunnen op een koele, donkere plaats worden bewaard, of opnieuw worden gezaaid.

1.11 Hergebruik van materiaal

Nadat de planten hun levenscyclus hebben volbracht en de zaden zijn geoogst, kunnen de materialen opgeruimd worden of klaar gemaakt voor een nieuwe generatie Fast Plants. De flessen en kratten kunnen worden gereinigd met een 10% chlooroplossing. De kratten kunnen het beste opnieuw bekleed worden met aluminiumfolie. De lampen kunnen ook het beste opnieuw bevestigd worden aan de bovenkant van het krat; door de warmte die de produceren is de ducttape minder goed hechtend.

Het gebruikte substraat moet worden weggegooid; er moet vers substraat gebruikt worden voor nieuwe Fast Plants. Ook het watergeleidend materiaal moet weggegooid worden, hier moet nieuw materiaal voor worden gebruikt.

Een opmerking hierbij is dat ter voorkoming van schimmel- en algengroei, er voor elke generatie Fast Plants nieuw substraat en watergeleidend materiaal gebruikt moet worden.

1.12 Troubleshooting

Bij het kweken en kruisen van de Fast Plants kan er uiteraard het één en ander mis gaan, waardoor er niet de gewenste resultaten worden verkregen. Op de website van Fast Plants staat een goede troubleshooting lijst: <http://www.fastplants.org/grow.tending.php#menu>. Als de planten niet goed groeien, kunt u ten eerste controleren of de essentiële factoren welke in paragraaf 1.3 van deze appendix zijn genoemd wel in orde zijn. Veel problemen met de planten worden veroorzaakt doordat één of meerdere van deze factoren suboptimaal zijn. Andere problemen die zich kunnen voordoen, en die niet op de troubleshooting lijst staan zijn:

- Groei van witte schimmel op het watergeleidend materiaal en het substraat. Dit komt regelmatig voor, maar over het algemeen is de schimmelgroei zeer beperkt en daardoor niet schadelijk voor de planten. De groei van schimmel kan het beste voorkomen worden door bij elke generatie planten nieuw substraat en nieuw watergeleidend materiaal te gebruiken. Als er ondanks dat alsnog veel schimmelgroei is, kunnen de planten het beste uit het substraat worden verwijderd en in nieuw substraat worden geplaatst, dat uiteraard wordt bevochtigd door nieuw watergeleidend materiaal en nieuwe Osmocote korrels bevat.
- De bloemknoppen ontwikkelen zich niet goed, en blijven in een vroeg stadium zonder te bloeien. Dit kan worden veroorzaakt door schimmelgroei die niet aan de oppervlakte zichtbaar is, maar zich wel in het substraat bevindt. In dit geval kunnen de planten voorzichtig uit het substraat worden verwijderd. De fles kan worden schoongemaakt met chloor, en worden voorzien van nieuw substraat, nieuw watergeleidend materiaal en Osmocote korrels. De planten kunnen hierin terug geplaatst worden.
- De planten groeien niet snel genoeg, of ze hebben verwelkingsverschijnselen op de onderste bladeren in een vroeg stadium. Dit kan veroorzaakt worden door het substraat, het kan te dicht op elkaar zijn gepakt of toch ergens schimmel bevatten. Ook in dit geval kunnen de planten het beste in nieuw substraat worden gezet, zoals hierboven staat beschreven.

Appendix II: extra experimenten en practica

2.1 Introductie

Naast de vier kruisingsexperimenten die hiervoor zijn uitgewerkt, kunnen er ook een groot aantal andere kortere en langere experimenten worden uitgevoerd met Fast Plants. Ten eerste zijn er meer types planten beschikbaar dan alleen welke staan beschreven in deze handleiding. Met deze types planten kunnen andere kruisingsexperimenten worden uitgevoerd. Ten tweede kunnen er met de planten die in deze handleiding staan beschreven niet alleen kruisingsexperimenten worden uitgevoerd, maar ook ecologische experimenten. Hierbij kunnen enkele factoren van het groeisysteem worden veranderd, waardoor het fenotype van de planten wordt beïnvloed. Ten derde kunnen er ook practica worden uitgevoerd waarin de leerlingen de anatomie van verschillende planten delen nader kunnen bestuderen.

Verder kunt u op de website van Fast Plants een grote hoeveelheid aan experimenten vinden. In deze appendix staan er slechts enkele beschreven, die goed aansluiten bij de kruisingsexperimenten.

Ook zouden de leerlingen de Fast Plants voor hun profielwerkstuk kunnen gebruiken. De planten zijn zeer geschikt voor wat diepgaander onderzoek.

2.2 Zaadanatomie

De leerlingen kunnen in dit korte practicum de anatomie van het zaad van een Fast Plant nader bestuderen. Omdat de zaadjes erg klein zijn, hebben ze hier een vergrootglas voor nodig. Verder kunnen de leerlingen naast het zaadje van de Fast Plant ook een boon bestuderen, ter vergelijking.

De beschrijving van dit practicum is te downloaden op:

<http://www.fastplants.org/pdf/activities/gettingacquaintedseed.pdf>

2.3 Het kiemen van stuifmeelkorrels

De leerlingen kunnen in dit korte practicum het kiemen van stuifmeelkorrels en de groei van pollenbuizen bestuderen. Ze kunnen enkele stuifmeelkorrels op een objectglas leggen, en vervolgens onder de microscoop observeren hoe de stuifmeelkorrels kiemen en de pollenbuizen groeien.

De beschrijving van dit practicum is te downloaden op:

http://www.fastplants.org/pdf/activities/pollen_germination.pdf

2.4 Invloed van licht en nutriënten op intensiteit van paarse kleur

Dit experiment heeft een wat langere duur, ten minste 14 dagen. Purple Stem planten kunnen worden gekweekt onder verschillende condities met betrekking tot lichtintensiteit. De planten kunnen op verschillende afstanden tot de lichtbron worden gekweekt door ze op verschillende verhogingen te zetten. De leerlingen zullen zien dat planten die aan meer licht zijn blootgesteld diepere paarse kleur zullen hebben.

Er zijn veel variaties op dit experiment mogelijk. Er kunnen reeksen worden gemaakt met verschillende lichtintensiteiten.

Ook kunnen er reeksen gemaakt worden met verschillende concentraties van nutriënten. Als er minder nutriënten worden toegevoegd, zal de paarse kleur ook intenser worden. De verschillende concentraties nutriënten kunnen

eenvoudig worden opgezet door verschillende aantallen bolletjes Osmocote toe te voegen.
De beschrijving van dit practicum is te downloaden op:
http://www.fastplants.org/pdf/seedstocks/ps_hairy.pdf