
MENDELS TOMATEN PLANTJES

Als je naar de natuur kijkt, zie je veel variatie. Variatie tussen soorten en variatie binnen soorten. Variatie kan van nature ontstaan, maar verschillen kunnen ook door veredeling tot stand komen. In deze lessenserie maak je kennis met de basis van erfelijkheidsleer door net als grondlegger Gregor Mendel naar erfelijke eigenschappen te kijken. Mendel keek onder meer naar erwten, maar jij gaat aan de slag met tomatenplantjes.

Veel plezier gewenst!



INHOUD



- 03.** Tomaten in kleuren en soorten
- 07.** Kijken naar één enkel gen
- 09.** Kijken naar twee eigenschappen
- 13.** Toeval of niet? De chi-kwadraat toets
- 18.** Gekoppelde eigenschappen

NUNHEMS

Het groentezaadbedrijf van Bayer CropScience opereert onder de naam Nunhems. Nunhems is een wereldwijde specialist in groentezaden en concepten. Met internationaal geïntegreerde teams bouwt Nunhems unieke relaties op met haar klanten en deelt producten, diensten en kennis met de professionele tuinbouw en groenteketens. Het productenpakket omvat 28 gewassen en 2.500 rassen, waaronder leidende rassen in komkommer, meloen, paprika, prei, sla, tomaat, ui, watermeloen en wortel. Met meer dan 1.700 medewerkers is Nunhems in alle belangrijke productiegebieden in de wereld aanwezig.

WAGENINGEN UNIVERSITY

Zonder planten geen leven op aarde, geen eten, geen zuurstof. Planten werken elke dag heel hard voor ons. Maar hoe kunnen we planten nog slimmer inzetten? De uitdagingen waar we in Nederland en internationaal voor staan zijn groot. De wereldbevolking groeit explosief. Hoe kunnen we al deze mensen gezonde voeding geven en tegelijk werken aan vermindering van bijvoorbeeld broeikasgassen? Meer dan 6.500 medewerkers en 10.000 studenten uit ruim honderd landen werken in ons domein van gezonde voeding en leefomgeving overal ter wereld, zowel voor overheden als voor het bedrijfsleven. Creatieve, innovatieve studenten kunnen bij Wageningen University een opleiding volgen. Zie voor meer informatie www.wur.nl.

HOOFDSTUK 1: TOMATEN IN KLEUREN EN SOORTEN

Als je om je heen kijkt, zie je veel variatie: je klasgenoten zien er bijvoorbeeld anders uit dan jijzelf. Toch hebben jullie ook veel overeenkomsten met elkaar.

Datzelfde zie je bij de tomaten die je docent heeft meegenomen. Ze hebben overeenkomsten, maar er zijn ook verschillen.

1. Welke verschillen kun je ontdekken tussen de tomaten? Noem er drie.

I

II

III

De eigenschappen van een organisme, in dit geval van de tomaat, die we kunnen zien, noemen we het fenotype. Hoe een tomaat eruitziet hangt af van twee factoren: aan de ene kant wordt dat bepaald door de genen van de tomaat en aan de andere kant door de omgeving waarin de tomaat groeit.

2. Bedenk twee omgevingsfactoren die invloed kunnen hebben op hoe een tomaat eruitziet.

I

II

Een tomaat heeft ongeveer 35.000 genen. Al die genen bij elkaar maken de tomaat tot wat hij is. Er zijn genen die bepalen wat de kleur is, hoe stevig het velletje is, of hoe sappig de tomaat is.

3. Kun je nog een eigenschap van een tomaat bedenken, waarvoor genen verantwoordelijk zijn?

.....

.....



Bekijk het filmpje “Genen een hoofdrol” van Bio-Bits (tot en met 2 minuut 30):

 <http://www.ntr.nl/player?id=4393296>

Hoe eigenschappen worden doorgegeven is vanaf de 18e eeuw steeds duidelijker geworden. Verschillende wetenschappers hebben bijgedragen aan het beeld van erfelijkheid dat wij nu hebben.

4. Geef in onderstaand schema steeds in één zin aan wat de bijdrage van deze wetenschappers is geweest aan het huidige beeld van erfelijkheid.

Wetenschapper	Bijdrage
Charles Darwin
Gregor Mendel
Alexander Fleming
Watson en Crick

Er bestaan vaak heel veel variaties binnen een bepaald kenmerk. Denk maar aan het kenmerk oogkleur: de irissen in je ogen kunnen blauw zijn, maar ook bruin, grijs of groen. Ditzelfde geldt voor kenmerken van tomatenplanten. De ene plant krijgt grotere tomaten dan de andere plant, of heeft een iets andere bladkleur.

5. Hoe worden in de natuur deze variaties in stand gehouden?

.....

.....

6. Een voorbeeld van een variatie in een eigenschap bij de tomatenplant kan de mate zijn waarin ze bestand zijn tegen kou. Leg uit waarom genetische variatie binnen de soort in dit geval handig is.

.....

.....

.....

Coert Engels is tomatenveredelaar. Hij maakt gebruik van de genen van tomaten om tomatenplanten te kweken met de beste eigenschappen. Zelf zegt hij het volgende over zijn werk:

“Als tomatenveredelaar verbeter ik planten door eigenschappen van ouderplanten te combineren in de nakomelingen. Erfelijke eigenschappen van andere rassen of zelfs van wilde tomatenplanten worden toegevoegd aan de bestaande eigenschappen.

Groenteplanten moeten aan vele eisen voldoen; veel opbrengst, sterk tegen ziektes, mooi van kleur en uiterlijk en lekker smaken. En dat resultaat krijg je niet zomaar vanzelf.

Als veredelaar wil ik veel wensen van de tuinder, de supermarkt én de consument in een tomatenras verenigen. Dit doe ik door het maken van kruisingen tussen tomatenplanten, waarbij ik gebruik maak van de wetten van Mendel.”



De komende weken ga je kennismaken met de wetten van Mendel, waar Coert Engels het over heeft. Je gaat in het volgende practicum kijken naar erfelijke eigenschappen van tomatenplantjes.

Wat heb je nodig?

- een bak waarin de zaadjes kunnen groeien
- tuinaarde
- tomatenzaadjes
- water

Volg de stappen zoals beschreven op de volgende pagina. Na tien dagen kun je het resultaat bekijken en verdergaan met het practicum.

TOMATENPLANTJES INZAAIEN



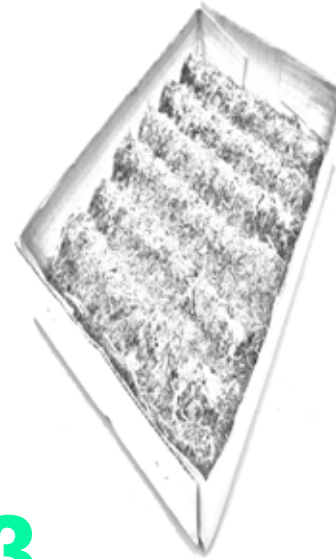
1.

Voeg een laag aarde van ongeveer 10 cm toe aan de zaadbak.



2.

Maak de grond vochtig, maar niet drassig. Dit gaat het makkelijkst met een plantenspuit.



3.

Maak geultjes (voren) van 2-3 cm diep in de grond. Gebruik hiervoor je vinger of een potlood.



4.

Zaai de zaadjes door ze in de voren te plaatsen. Plant de zaadjes voorzichtig één voor één met de hand, op ongeveer 1 cm van elkaar.



5.

Druk de grond voorzichtig samen aan beide kanten van elk heuveltje, zodat de zaadjes voorzichtig bedekt worden.



6.

Zet de bak op een warme, donkere plek en geef een klein beetje water als de grond droog is. Zodra de zaailingen verschijnen, zet je de bak op een lichte plek, zoals een vensterbank.

HOOFDSTUK 2: KIJKEN NAAR ÉÉN ENKEL GEN

Tomatenveredelaars, zoals Coert Engels, hebben te maken met genetische variaties in eigenschappen. Enige tijd geleden heb je tomatenzaadjes gezaaid. In de bak met zaailingen zal je ook erfelijke variaties tegenkomen. Bij onderstaande opdrachten kijk je naar de overerving van één erfelijke eigenschap. We noemen dit ook wel een monohybride kruising.

De eigenschap waarnaar je gaat kijken, is de kleur van de kiembladeren. Bekijk je bak met plantjes. Je ziet kiemplantjes met twee kiemblaadjes, ook wel zaadlobben genoemd. Kijk goed naar de bladkleur van je plantjes. Je zult zien dat een aantal plantjes een groen kiemblad hebben en een aantal plantjes een geel kiemblad.



1. Welke kleur kiemblad komt het meest voor in de bak met zaailingen?

.....

In de meeste gevallen is het fenotype dat het meeste voorkomt, ook het dominante fenotype. De kleur van de blaadjes wordt bepaald door één enkel gen. De dominante vorm noemen we G en de recessieve vorm g.

2. Geef bij de afbeeldingen van fenotypen hieronder aan welk(e) genotype(n) erbij hoort of horen. Je kunt kiezen uit: GG, Gg en gg.



=



=

3. De tomatenzaadjes die je hebt geplant, zijn het resultaat van een kruising tussen planten die beide heterozygoot zijn voor bladkleur. Vul het kruisingsschema hieronder in voor deze kruising. Laat op die manier zien hoe de resultaten van de kruising tussen twee heterozygote plantjes eruitziet.

X	Allel	Allel
Allel	.....	.....
Allel	.....	.....

Kruisingsschema 1: monohybride kruising

4. Welke verhouding tussen de fenotypen zie je in de bak zaailingen? Vul in:

- Totaal aantal plantjes
- Aantal plantjes met groene blaadjes
- Aantal plantjes met gele blaadjes
- Verhouding groen:geel

5. Welke verhouding tussen de fenotypen zou je op basis van het kruisingsschema verwachten te vinden in de bak zaailingen? Licht je antwoord toe.

.....

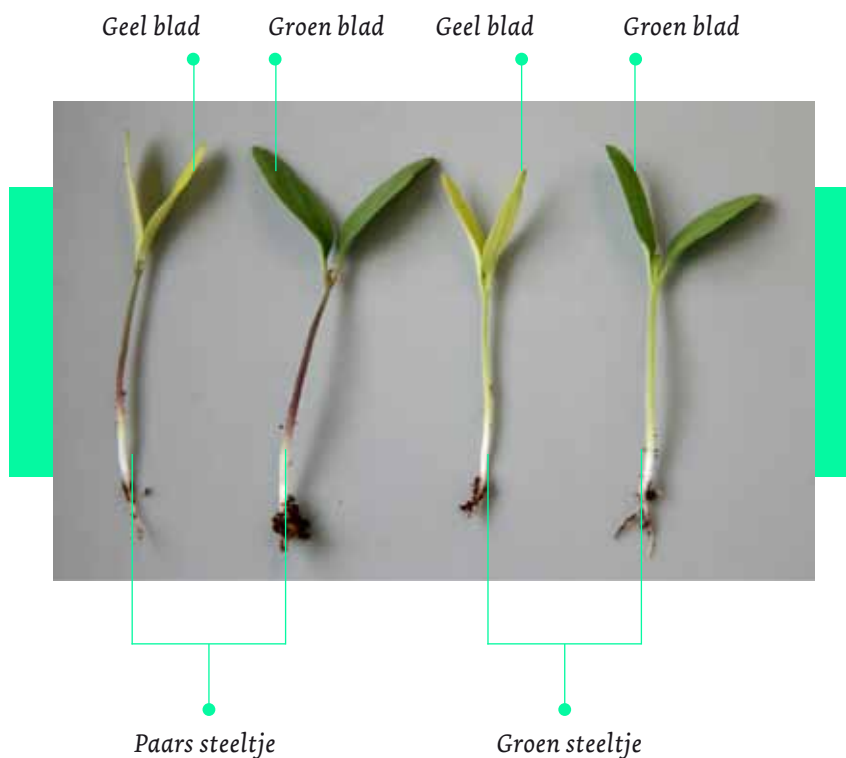
.....



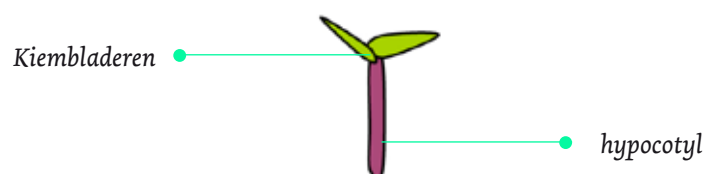
HOOFDSTUK 3: KIJKEN NAAR TWEE EIGENSCHAPPEN

Bij het veredelen van planten wordt vaak naar meer dan één erfelijke eigenschap gekeken. Coert Engels wil planten kweken die een hoge tomatenopbrengst hebben, sterk zijn tegen ziektes, mooi zijn van kleur en ook nog lekker smaken. Dat zijn heel wat eigenschappen om rekening mee te houden. Net als Coert Engels ga je naar meerdere eigenschappen van tomatenplantjes kijken. Als je naar de overerving van twee verschillende eigenschappen kijkt, noem je dat een dihybride kruising.

De eigenschappen die je gaat bekijken, zijn de kleur van het kiemblad en de kleur van het steeltje. De kleur van het kiemblad kan geel of groen zijn, zoals je bij de monohybride kruising ook al hebt gezien. De kleur van het steeltje kan paars of groen zijn. Onderstaande afbeelding laat de vier voorkomende varianten zien.



De kleur van de kiembladjes (zaadlobben) en de kleur van de steeltjes (hypocotylen) worden elk gecodeerd door één enkel gen. De allelen voor zaadlobkleur noemen we G en g, die voor hypocotylkleur noemen we H en h. Beantwoord onderstaande vragen met behulp van de door jou gevonden variaties in eigenschappen.



1. Welk fenotype zaadlobkleur is recessief? Schrijf erbij welk(e) genotype(n) zorgt of zorgen voor deze kleur.

.....

2. Welk fenotype hypocotylkleur is dominant? Welk(e) genotype(n) zorgt of zorgen voor deze kleur?

.....

De zaailingen zijn het resultaat van een kruising tussen planten die allebei heterozygoot zijn voor beide eigenschappen.

3. Wat is het genotype van de twee planten van generatie P, de ouders?

.....

4. Hieronder staan twee kruisingsschema's. Vul het bovenste schema in voor de kruising van de ouderplanten (P). Vul in het onderste schema de fenotypen in.

X	GH	Gh	.....	.....
GH	GGHH	GGHh	.....	.....
.....
.....
.....

Kruisingsschema 2: genotype van heterozygote kruising

..... X	GH	Gh	.....	.....
GH	Groene zaadlobben, paarse hypocotyl	Groene zaadlobben, paarse hypocotyl	.....	.....
.....
.....
.....

Kruisingsschema 3: fenotype van heterozygote kruising

5. Bekijk de bak met zaailingen. Tel hoeveel plantjes groene of gele zaadlobben hebben, en hoeveel plantjes een groen of paars steeltje hebben. Vul dat hieronder in.

Totaal aantal plantjes

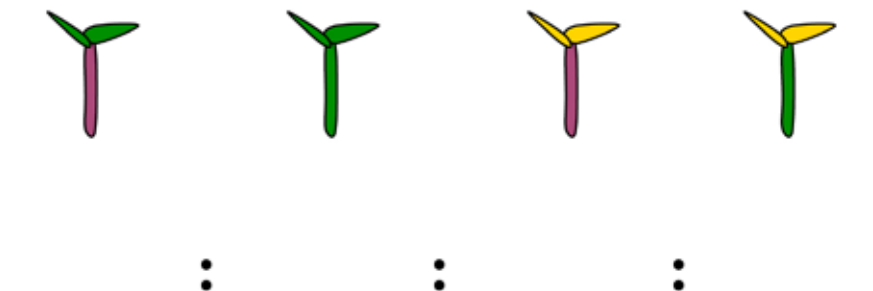
Aantal plantjes met groene zaadlobben en paars hypocotyl

Aantal plantjes met groene zaadlobben en groen hypocotyl

Aantal plantjes met gele zaadlobben en paars hypocotyl

Aantal plantjes met gele zaadlobben en groen hypocotyl

6. In welke verhouding staan de vier genotypen tot elkaar? Vul dat als volgt in:



7. Welke verhouding zou je verwachten te vinden in de bak zaailingen, naar aanleiding van het kruisingsschema? Licht je antwoord toe.

8. Waardoor zou er een verschil kunnen ontstaan, denk je?



HOOFDSTUK 4: TOEVAL OF NIET? DE CHI-KWADRAAT TOETS

In je bak met zaailingen heb je plantjes gevonden met gele of groene zaadlobben en met groene of paarse steeltjes. Je hebt onderzocht of de hoeveelheden verschillende plantjes overeenkwamen met de verhouding die je verwacht had te vinden. Misschien kwam er een andere verhouding tussen de typen plantjes uit dan je had verwacht. Gaat het hier om toeval? Zaten er misschien meer zaadjes van het ene type in de zaaibak? Je gaat nu analyseren of er sprake is van toeval. Dat doe je door middel van de chi-kwadraat toets.

We beginnen met een voorbeeld.

Laten we zeggen dat we een monster hebben van 48 tomatenzaadjes. Eerder heb je gezien dat je een 9:3:3:1 verhouding verwacht in deze zaadjes. Dat komt neer op de volgende verdeling:



Na het groeien tellen we echter de volgende aantallen in de zaaibak:



Wat is hier aan de hand? Hebben de zaadjes een 9:3:3:1 verhouding en geeft ons monster dit niet weer? Of is er in feite een andere verhouding dan 9:3:3:1 tussen de zaadjes? We onderzoeken dit met behulp van een chi-kwadraat toets. Een chi-kwadraat toets is een toets om na te gaan of twee of meer populaties van elkaar verschillen. In dit geval gebruiken we deze toets om te kijken of de 'geobserveerde populatie tomatenzaadjes' verschilt van de 'werkelijke populatie tomatenzaadjes'.

1. Nulhypothese bepalen

Allereerst gaan we ervan uit dat de geobserveerde populatie zaadjes inderdaad een 9:3:3:1 verhouding heeft. De aanname dat de geobserveerde populatie niet anders is dan de verwachte populatie noemen we een nulhypothese. Met behulp van de chi-kwadraat toets proberen we de nulhypothese te bewijzen.

2. Waarde van χ^2 bepalen

Vervolgens zoeken we een waarde voor χ^2 (zo schrijf je chi-kwadraat). Deze waarde geeft aan of we de nulhypothese moeten afwijzen of niet. Als we de nulhypothese moeten afwijzen, betekent dit dat de geobserveerde populatie zaadjes GEEN 9:3:3:1 verhouding heeft.

3. Waarde van χ^2 vergelijken

We zullen onze waarde voor χ^2 vergelijken met de waarden in een tabel om te beslissen of we onze nulhypothese moeten afwijzen.

De eerste stap: de waarde van χ^2 bepalen

De nulhypothese is bekend, nu gaan we op zoek naar de waarde van χ^2 uit het bovenstaande voorbeeld. Dat doen we met behulp van een tabel, die we hieronder hebben ingevuld:

	Groene zaadlobben, paarse hypocotyl	Groene zaadlobben, groene hypocotyl	Gele zaadlobben, groene hypocotyl	Gele zaadlobben, paarse hypocotyl	Totaal
geobserveerd aantal (O)	25	18	4	1	48
verwacht aantal (E)	27	9	9	3	48
$O - E$	-2	9	-5	-2	0
$(O - E)^2$	4	81	25	4	114
$\frac{(O - E)^2}{E}$	0,15	9	2,78	1,33	13,26

De uitkomst van de tabel geeft een waarde van 13.26.

De tweede stap: de waarde van χ^2 vergelijken

Nu we een waarde van 13.26 hebben gevonden voor ons voorbeeld, kunnen we de waarde vergelijken met de chi-kwadraat tabel. Die vind je op de laatste pagina. De tabel toont “graden van vrijheid” tegen “waarschijnlijkheid, p”. De “graden van vrijheid” is het aantal variabelen minus 1. We hebben vier variabelen (dit zijn de vier verschillende mogelijkheden van de plantjes), dus kijken we naar de rij met graden van vrijheid $4 - 1 = 3$.

Graden van vrijheid	Waarschijnlijkheid, p				
	0,99	0,95	0,05	0,01	0,001
1	0,000	0,004	3,84	6,64	10,83
2	0,020	0,103	5,99	9,21	13,82
3	0,115	0,352	7,82	11,35	16,27
4	0,297	0,711	9,49	13,28	18,47
5	0,554	1,145	11,07	15,09	20,52

De waarschijnlijkheid (p) die je bovenaan de tabel ziet staan, wordt ook wel ‘kans’ genoemd. Daarmee kijk je hoe waarschijnlijk het is dat de nulhypothese klopt (of: hoe groot de kans is dat de nulhypothese correct is). De waarde van p ligt tussen 0 en 1. Een p-waarde van 0 betekent dat de kans dat de nulhypothese klopt, gelijk is aan 0%. Een p-waarde van 1 betekent dat de kans dat de nulhypothese klopt, gelijk is aan 100%. De waarschijnlijkheid (p) die je bovenaan de tabel ziet staan, wordt ook wel ‘kans’ genoemd. Daarmee kijk je hoe waarschijnlijk het is dat de nulhypothese klopt (of: hoe groot de kans is dat de nulhypothese correct is). De waarde van p ligt tussen 0 en 1. Een p-waarde van 0 betekent dat de kans dat de nulhypothese klopt, gelijk is aan 0%. Een p-waarde van 1 betekent dat de kans dat de nulhypothese klopt, gelijk is aan 100%.

CONCLUSIE

De waarde voor χ^2 die wij in het voorbeeld vonden, was 13,26. Die waarde ligt volgens de tabel bij 3 vrijheidsgraden tussen $p=0,01$ en $p=0,001$. De kans dat de nulhypothese klopt, ligt dus tussen 0,1 – 1,0%

Bij de chi-kwadraat toets geven we als conclusie aan bij welke p-waarde we de nulhypothese moeten verwerpen. Uit de resultaten van ons voorbeeld volgt dat we onze nulhypothese moeten afwijzen bij een kans van $p=0,01$. Dat betekent dat bij $p=0,01$ de zaadjes geen 9:3:3:1 verhouding hadden.

Echter, als we kiezen voor een waarschijnlijkheid van $p=0,001$ dan kunnen we onze nulhypothese niet afwijzen. Er is dan niet voldoende bewijs om te suggereren dat de zaadjes geen 9:3:3:1 verhouding hebben.

Met behulp van de chi-kwadraat toets kan je dus zien hoe ‘significant’ je resultaten afwijken van de verwachte waarden. Bij het analyseren van je resultaten kies je zelf wanneer je de waarden afwijkend genoeg vindt om de nulhypothese te verwerpen. In veel gevallen kiezen wetenschappers voor een p-waarde van 0,05.

CHI-KWADRAAT BEPALEN

1. Bepaal nu van je eigen bak met zaailingen de waarde van χ^2 door de volgende tabel in te vullen:

	Groene zaadlobben, paarse hypocotyl	Groene zaadlobben, groene hypocotyl	Gele zaadlobben, groene hypocotyl	Gele zaadlobben, paarse hypocotyl	Totaal
geobserveerd aantal (O)					
verwacht aantal (E)					
$O - E$					
$(O - E)^2$					
$\frac{(O - E)^2}{E}$					

2. Welke rij van vrijheidsgraden moet je bekijken in de tabel?

.....

3. Bij welke waarschijnlijkheid (p) moet je de nulhypothese afwijzen van jouw bak plantjes?

.....

4. Bij welke waarschijnlijkheid (p) kun je de nulhypothese niet afwijzen?

.....

5. Wanneer is een uitkomst het meest betrouwbaar: als je de nulhypothese niet kunt afwijzen bij $p=0,01$ of bij $p=0,99$? Licht je antwoord toe.

.....

.....

.....

.....

CHI-KWADRAAT TABEL

Graden van vrijheid	Waarschijnlijkheid, p				
	0,99	0,95	0,05	0,01	0,001
1	0,000	0,004	3,84	6,64	10,83
2	0,020	0,103	5,99	9,21	13,82
3	0,115	0,352	7,82	11,35	16,27
4	0,297	0,711	9,49	13,28	18,47
5	0,554	1,145	11,07	15,09	20,52
6	0,872	1,635	12,59	16,81	22,46
7	1,239	2,167	14,07	18,48	24,32
8	1,646	2,733	15,51	20,09	26,13
9	2,088	3,325	16,92	21,67	27,88
10	2,558	3,940	18,31	23,21	29,59
11	3,05	4,58	19,68	24,73	31,26
12	3,57	5,23	21,03	26,22	32,91
13	4,11	5,89	22,36	27,69	34,53
14	4,66	6,57	23,69	29,14	36,12
15	5,23	7,26	25,00	30,58	37,70
16	5,81	7,96	26,30	32,00	39,25
17	6,41	8,67	27,59	33,41	40,79
18	7,02	9,39	28,87	34,81	42,31
19	7,63	10,12	30,14	36,19	43,82
20	8,26	10,85	31,41	37,57	45,32
21	8,90	11,59	32,67	38,93	46,80
22	9,54	12,34	33,92	40,29	48,27
23	10,20	13,09	35,17	41,64	49,73
24	10,86	13,85	36,42	42,98	51,18
25	11,52	14,61	37,65	44,31	52,62

HOOFDSTUK 5: GEKOPPELDE EIGENSCHAPPEN

Eigenschappen van organismen worden bepaald door genenparen op de chromosomen. Wanneer we kijken naar meerdere eigenschappen, dan kunnen deze op verschillende of op dezelfde chromosomen liggen. Allelen van verschillende eigenschappen die op hetzelfde chromosoom liggen, erven gezamenlijk over. We spreken in dit geval van gekoppelde overerving. De nakomelingen hebben bij gekoppelde overerving dus steeds een vaste combinatie van eigenschappen.

In de opgaven over dihybride kruisingen zijn we er vanuit gegaan dat de eigenschappen 'kleur van de kiemblaadjes' en 'kleur van het steeltje' op verschillende chromosomen lagen en dus onafhankelijk van elkaar overerfd. Je gaat nu onderzoeken of deze aanname juist was.

1. Verwacht je een verschil in fenotypeverhouding bij eigenschappen die gekoppeld overerven ten opzichte van eigenschappen die onafhankelijk overerven? Leg je antwoord uit.

.....

.....

2. Verwacht je een verschil in genotypeverhouding bij eigenschappen die gekoppeld overerven ten opzichte van eigenschappen die onafhankelijk overerven? Leg je antwoord uit.

.....

.....

3. Als 'groene kiemblaadjes' en 'paars steeltje' gekoppeld zouden overerven, wat zouden dan de verschillende fenotypen zijn die je in de bak met zaailingen kan aantreffen?

.....

.....

4. Als je uitgaat van de fenotypen die je bij vraag 3 hebt opgeschreven, wat zijn dan de genotypen die bij de zaailingen kunnen voorkomen bij gekoppelde overerving?

.....

.....

5. Vul onderstaand kruisingsschema in, waarbij je er vanuit gaat dat de kleur van de kiemblaadjes en de kleur van het steeltje gekoppeld overerven. Gebruik het genotype van de ouders dat je ook in kruisingsschema 2 op pagina 10 hebt ingevuld.

..... X .....	.....	.....
.....
.....

6. Welke genotypeverhouding komt uit kruisingsschema 4 naar voren?

.....

7. Waar ben je deze verhouding eerder tegengekomen? Leg uit waardoor je bij beide kruisingen op dezelfde genotypeverhouding uitkomt.

.....

.....

8. Verwacht je dat de eigenschappen 'kleur van de kiemblaadjes' en 'kleur van het steeltje' gekoppeld of onafhankelijk overerven? Licht je antwoord toe.

.....

.....

COLOFON

De lessenserie Mendels tomatenplantjes is ontwikkeld door De Praktijk, natuurwetenschappelijk onderwijs in opdracht van Nunhems en Wageningen University and Research op basis van bestaand lesmateriaal in het kader van EU-Sol Tomatoseeds.

Op alle lesmaterialen is de Creative Commons Naamsvermelding-Niet-commercieel-Gelijk delen 3.0 Nederland Licentie van toepassing (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/nl/>).

CC BY-NC-SA 2012 – De Praktijk i.o.v. Nunhems en WUR