

Genetiikan perusteet



3

Tafel V
Baur E. (1911) Einführung in die experimentelle
Vererbungslehre. Verlag von Gebrüder Borntraeger,
Berlin.

Transmissiogenetiikka I. mendelistinen genetiikka

Historia

Yksinkertaiset periytymissäännöt

- Kokeelliset risteytykset
- Kantakirjat eli perhekaaviot

KytKentä ja kromosomiteoria

- Kromosomit annostelun perustana
- Kromosomien evoluutio ja merkitys, häiriöt

Drosophila-genetiikan ja geenien kartoituksen aikakausi

- KytKentäkartoituksesta genomien sekvensointiin

Sukupuolen määräytyminen: esimerkki tieteen etenemisestä

Kvantitatiivinen genetiikka

Populaatiogenetiikka, evoluutio

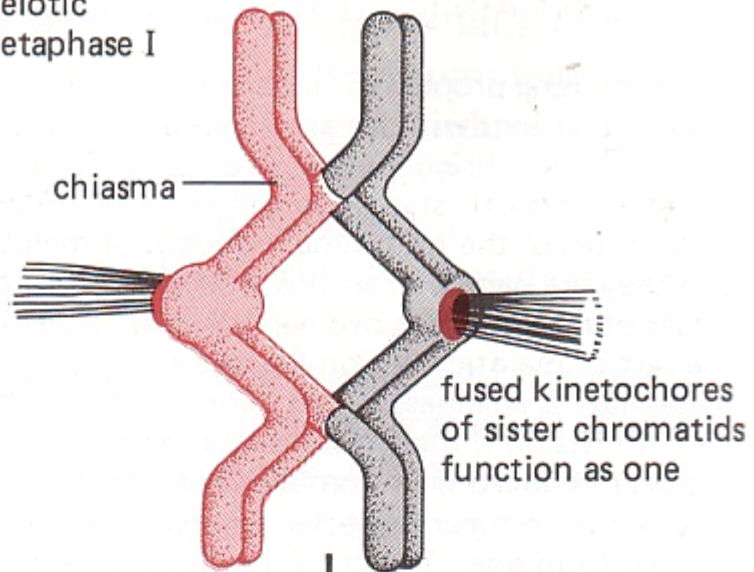
Kun varhaiset geneetikot (kuten Mendel) selvittelivät sääntöjä, he eivät vielä tunteneet kromosomeja eikä meioosia

Koska me olemme jo solubilsassa tutustuneet meioosiin, se voi olla mallin perustana ja helpottaa ajattelua

Diploidi-haploidi vuorottelu on olennainen piirre: *tsygootti* on diploidi, *gameetti* on haploidi.

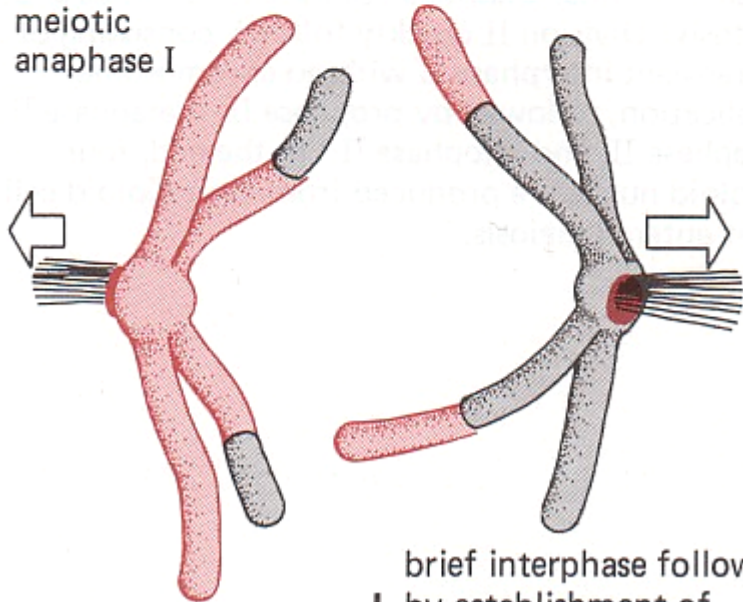
Geenit siis ovat joskus yksin, toisinaan taas kaksin.

meiotic
metaphase I



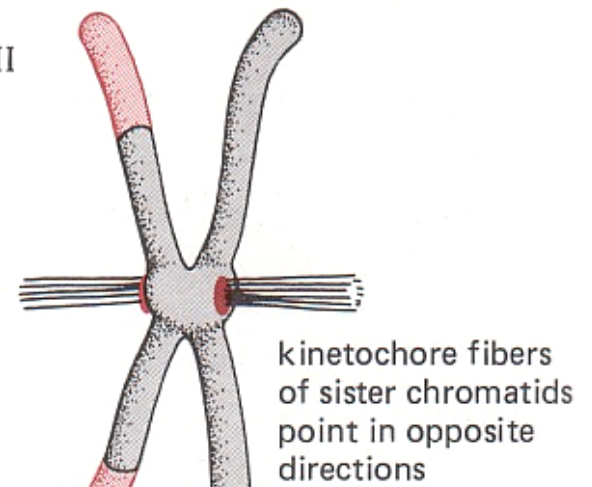
↓
ARMS OF SISTER
CHROMATIDS BECOME
UNGLUED

meiotic
anaphase I



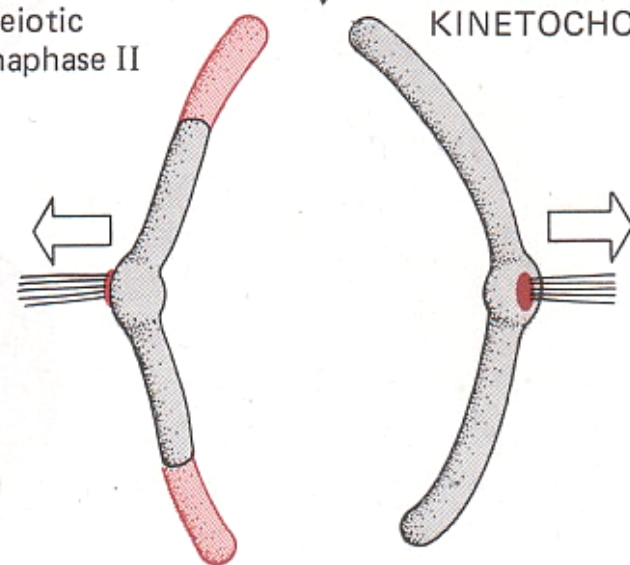
↓
brief interphase followed
by establishment of
separate kinetochores on
each sister chromatid

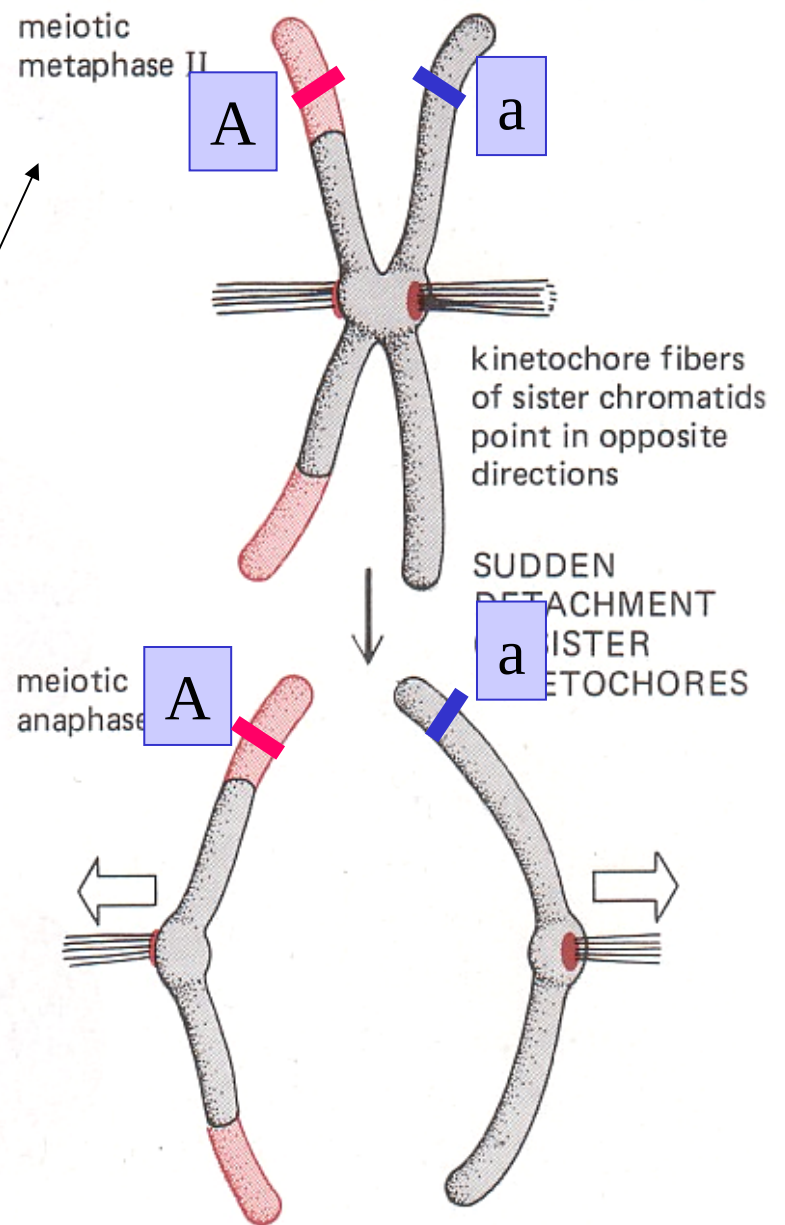
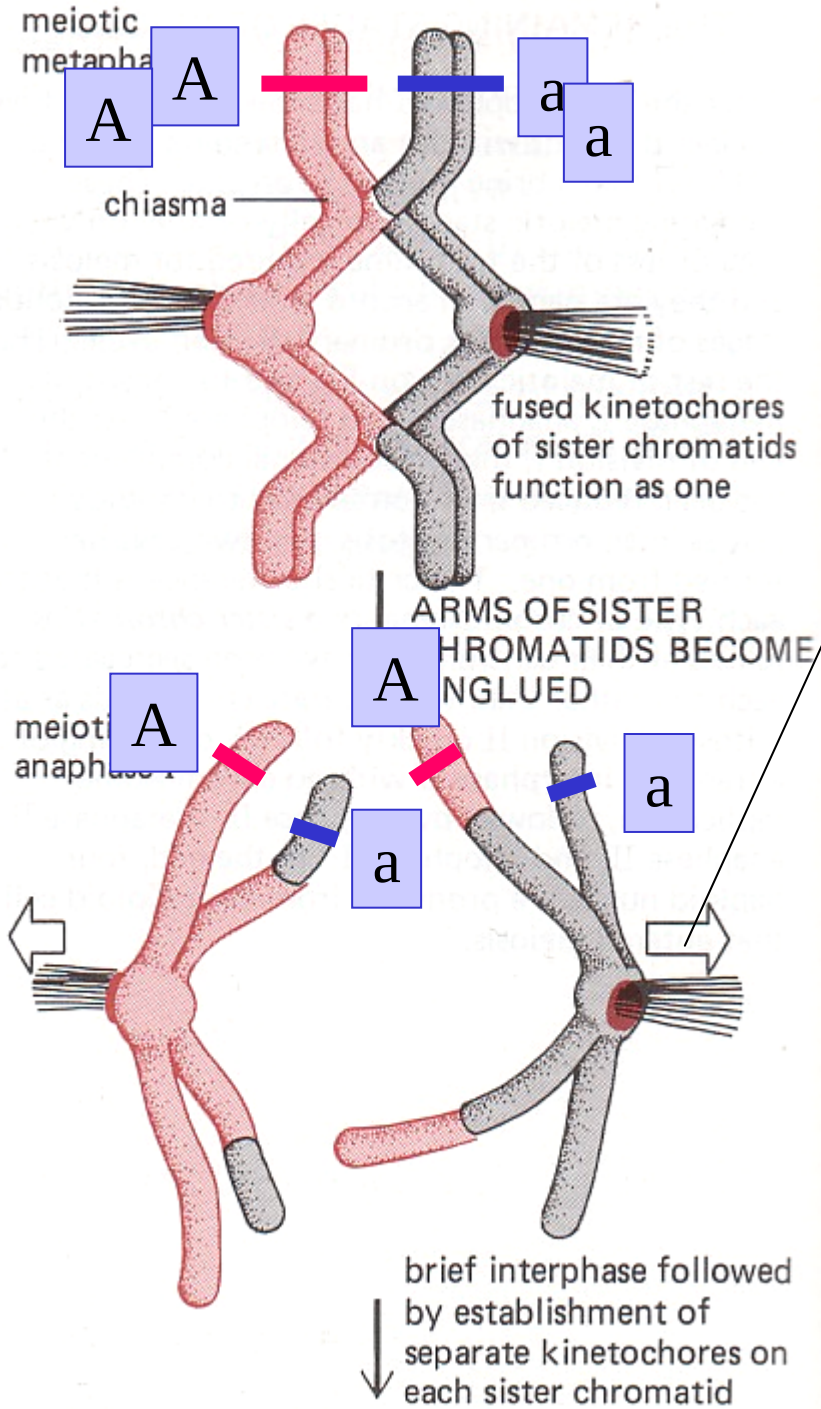
meiotic
metaphase II



↓
SUDDEN
DETACHMENT
OF SISTER
KINETOCHORES

meiotic
anaphase II





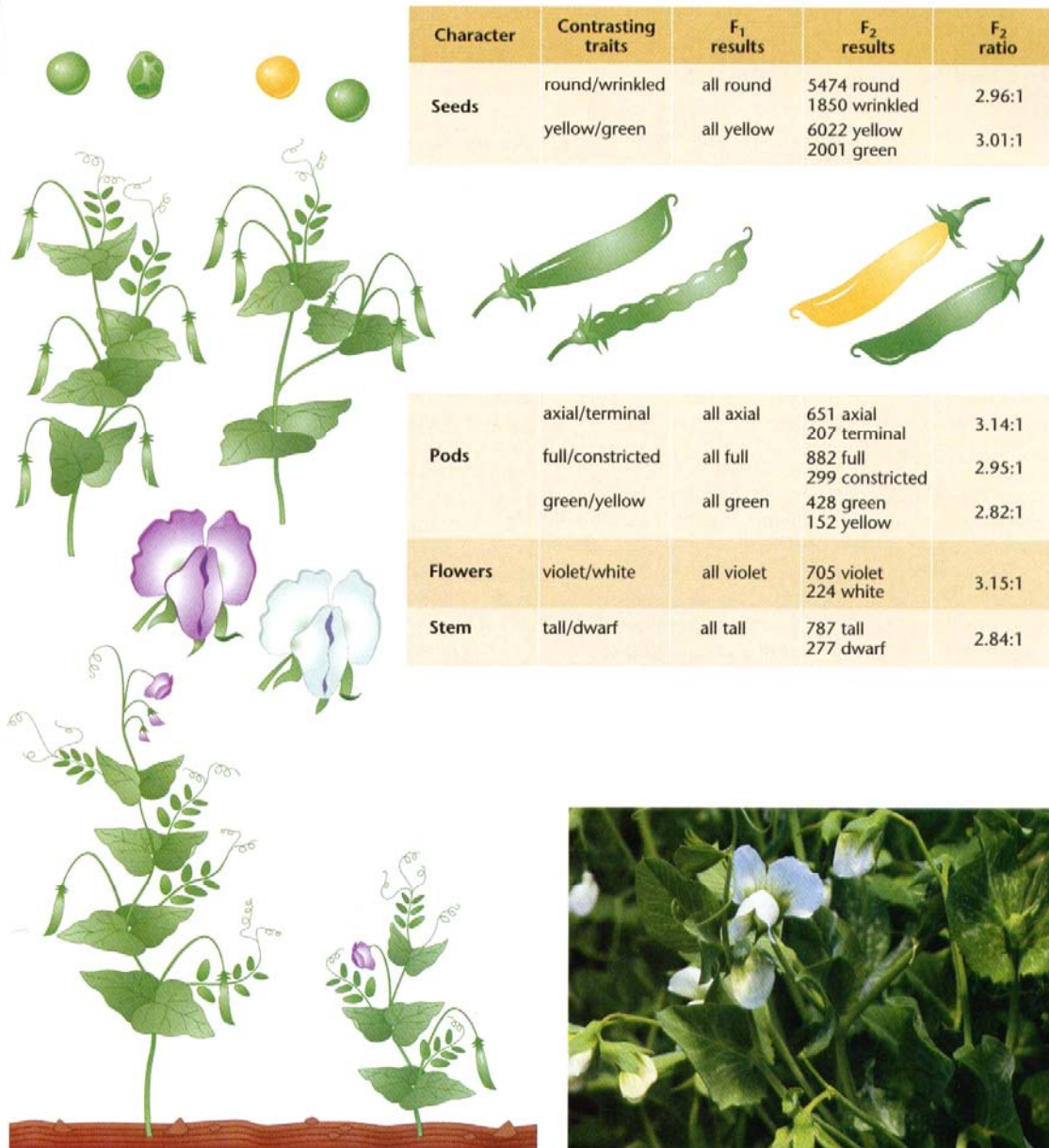


Figure 3-1 A summary of the seven pairs of contrasting traits and the results of Mendel's seven monohybrid crosses. In each case, pollen derived from plants exhibiting one contrasting trait was used to fertilize the ova of plants exhibiting the other contrasting trait. In the F₁ generation one of the two traits, referred to as dominant, was exhibited by all plants. The contrasting trait, referred to as recessive, then reappeared in approximately one-fourth of the F₂ plants. The garden pea (*Pisum sativum*) is shown in the photograph.

"Herne" näyttää siemeneltä, mutta se on jo kasvi, jonka useimmat ominaisuudet sen omat geenit määräävät. "Aikuisilla" kasveilla on uusia, vain aikuisissa ilmeneviä ominaisuuksia.

"Mendelistinen" monohybridilukusuhte on 3:1. Taulukko havainnollistaa sitä, kuinka 3:1 lukusuhteen ympärillä on luonnollista satunnaisvaihtelua. Jossakin Mendel-kritiikissä arveltiin, että M. paransi juuri näitä lukuja, mutta se lienee aiheetonta viisastelua.

Jos "dominanssi" on outo käsite, harjoittele tästä taulukosta päättämään, kumpi ominaisuuksista kussakin tapauksessa on se, jonka aiheuttaa "dominoiva" alleeli.

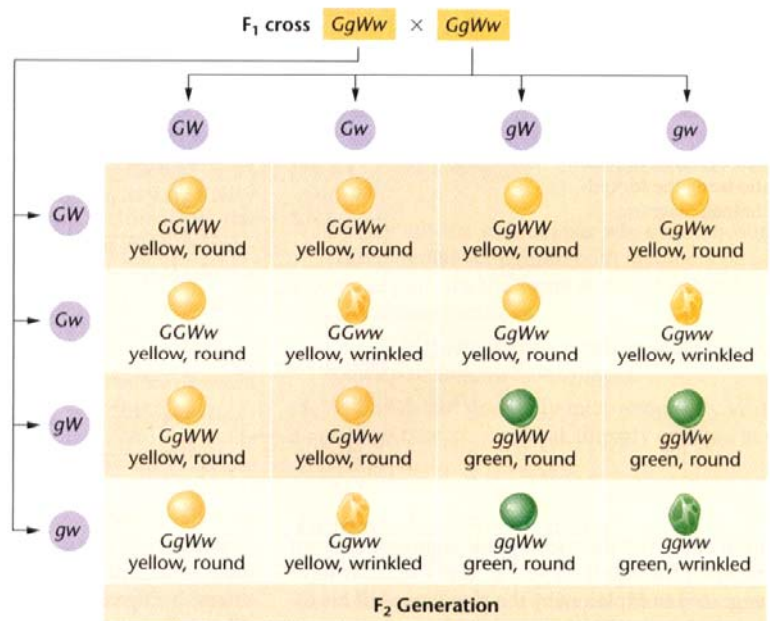
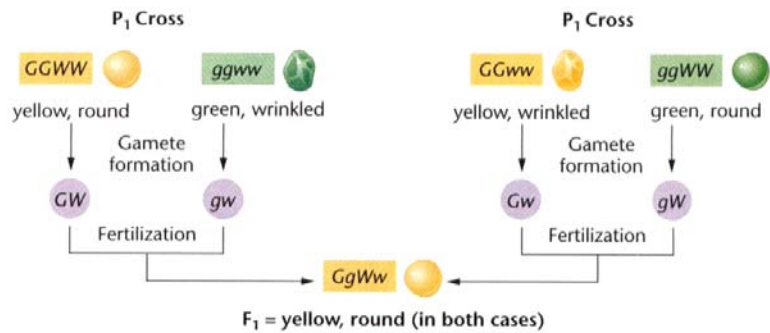
Harjoittele myös kasvin osia ja muotoja koskevat termit

Lue tätä kuvaa yhdessä Mendelin kirjoituksen kanssa ja ymmärrä molemmat.

Dihybridiristeytys on klassinen opetusväline

Sen avulla voidaan havainnollistaa monta perusasiaa

- *alleelien erkaneminen eli segregatio*
- *kytkentä (tai vapaa rekombinaatio)*
- *geenien vuorovaikutukset eli interaktiot*
- *malli ja testaus tieteellisenä menetelmänä*
- dihybridiristeytyksen opettelu ulkoa herneen tarkkuudella ei ole tarkoituksenmukaista!



F ₂ Genotypic ratio		F ₂ Phenotypic ratio
1/16 GGWW	}	9/16 yellow, round
2/16 GGWw		
2/16 GgWW		
4/16 GgWw		
1/16 GGww	}	3/16 yellow, wrinkled
2/16 Ggww		
1/16 ggWW	}	3/16 green, round
2/16 ggWw		
1/16 gg ww		1/16 green, wrinkled

Geenien ja alleelien nimet ja lyhenteet

g = green

G = yellow (dominoiva, greenin vastakohta)

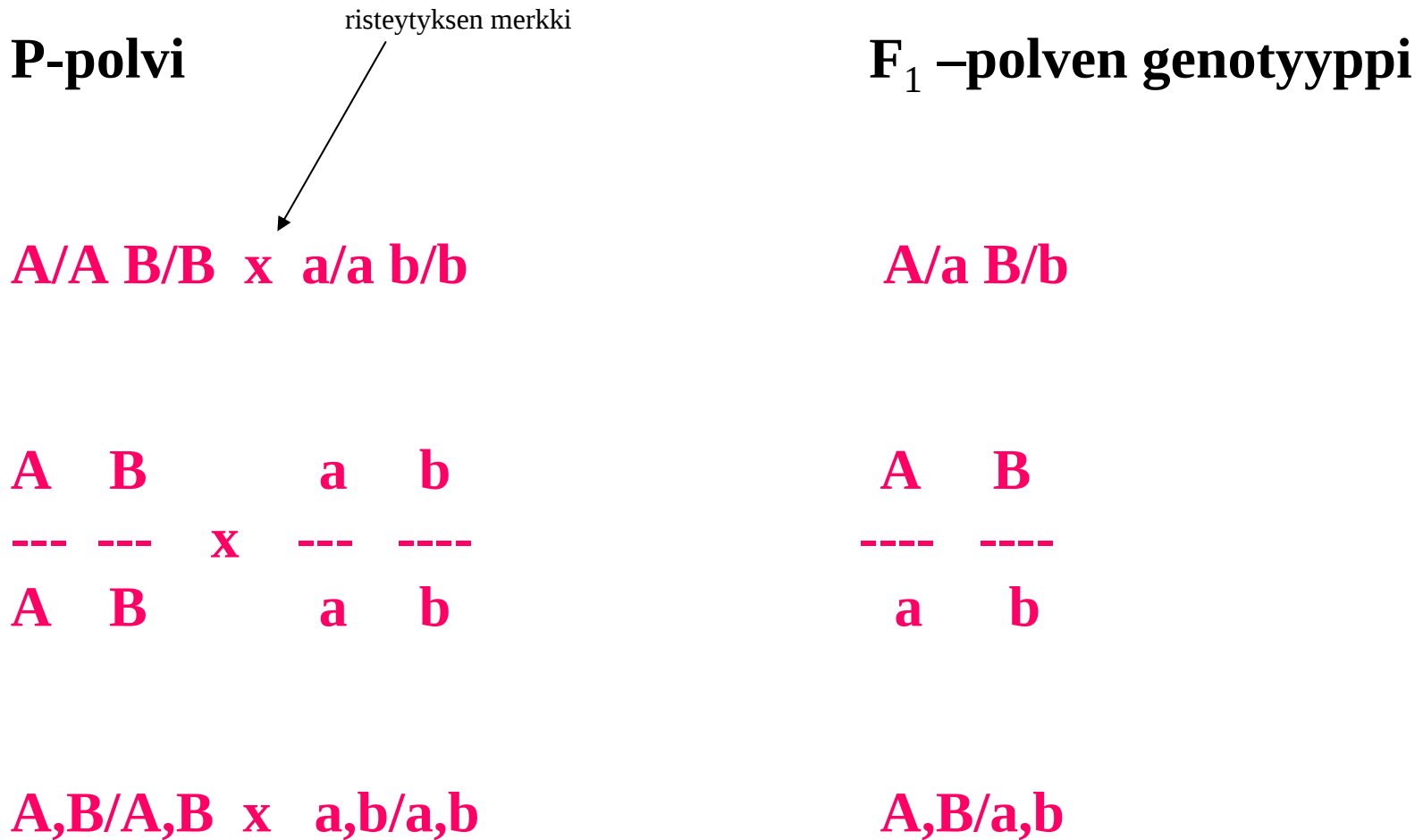
w = wrinkled

W = round (dominoiva, wrinkledin vastakohta)

Tapa johtuu siitä, että geenit löydetään yleensä *mutaatioiden* ilmetessä. Ensimmäisen mutanttialleelin tyyppi määrää kirjaimen koon (resessiivinen: pieni, dominoiva: iso), ja villityyppi saa sitten saman kirjaimen, mutta eri laatikosta. Toisilla eliöillä villityyppi saa merkikseen plussan, joko yläviitaksi tai ainoaksi. Esim. *w* = white, villityyppi *w*⁺ tai pelkkä + (jolloin paikka/järjestys ilmaisee, minkä geenin villialleelistä on kyse).

Vaikeaa? No onhan se vähän sotkuista. Nämä kaksi geenä oli mainittu Mendel-luennon lopussa.

Kolme erilaista tapaa merkitä P-polven (*parental*) ja F-polven (*filial*) genotyyppejä, jos *geenit* A ja B ovat eri kromosomeissa eli eivät siis ole *kytkeytyneet*)



Segregaatio tarkoittaa sitä, että ***alleelit*** erkanevat toisistaan, ja sehän tapahtuu meioosissa:

heterotsygootti diploidi **A/a**

haploidit gameetit **a** tai **A** , tavallisesti yhtä yleisenä

(Homotsygootin meioosissa alleelit erkanevat tietysti myös toisistaan, mutta kun ne ovat keskenään samanlaiset, emme edes aavista tapahtumasta mitään).

Mendelkään ei tullut merkinneeksi homotsygoottejaan kahdella kirjaimella AA, vaan pelkkä A riitti hälle, jääden ainoaksi eroksi nykytapaan verrattuna.

Gameetti on sukusolu eli munasolu, siittiö tai vastaava. Linnunmuna ei enää ole gameetti, joskin suurin osa siitä vielä on pelkkää äitiään

***Segregaatio* kahta alleeliparia tarkasteltaessa (siis dihybridiristeytys)**

A B

a b

A $\frac{1}{2}$

a $\frac{1}{2}$

B $\frac{1}{2}$

b $\frac{1}{2}$

Näistä värkeistä pitää muodostaa *gameetit*:

AB tn. $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$

Ab

aB

ab

Gameettitaulukko (Punnettin neliö)

	AB	Ab	aB	ab
AB				
Ab				
aB				
ab				

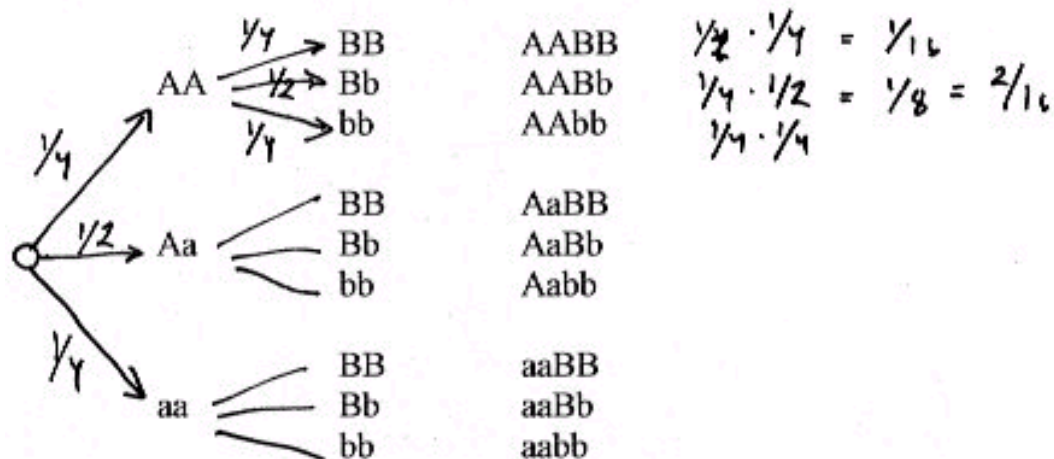
Genotyypitalukko

	AA	Aa	aa
BB			
Bb			
bb			

Fenotyypitalukko

	AA, Aa	aa
BB, Bb		
bb		

Haarautuvat viivat (Forked line -menetelmä)



Dihybridiristeytyksen gameettimalli (Punnettin neliö).

Marginaaleissa heterotsygoottisen F_1 polven tuottamat gameetit, joiden osuus (todennäköisyys) vapaan rekombinaation tilanteessa on $1/4$ (kaikkia yhtä paljon). Silloin kaikkien hybridiyhdistelmien osuus on $1/4 \times 1/4 = 1/16$.

	AB 1/4	Ab 1/4	aB1/4	ab 1/4
AB1/4	AB/AB	Ab/AB	AB/aB	AB/ab
Ab1/4	AB/Ab	Ab/Ab	Ab/aB	Ab/ab
aB 1/4	AB/aB	aB/Ab	aB/aB	aB/ab
ab 1/4	AB/ab	ab/Ab	ab/aB	ab/ab

Punaiset: fenotyyppi A ja B (yhdeksän ruutua $9 \times 1/16 = 9/16$)

Violetit: fenotyyppi A (kolme ruutua $3/16$)

Mustat: fenotyyppi B (kolme ruutua $3/16$)

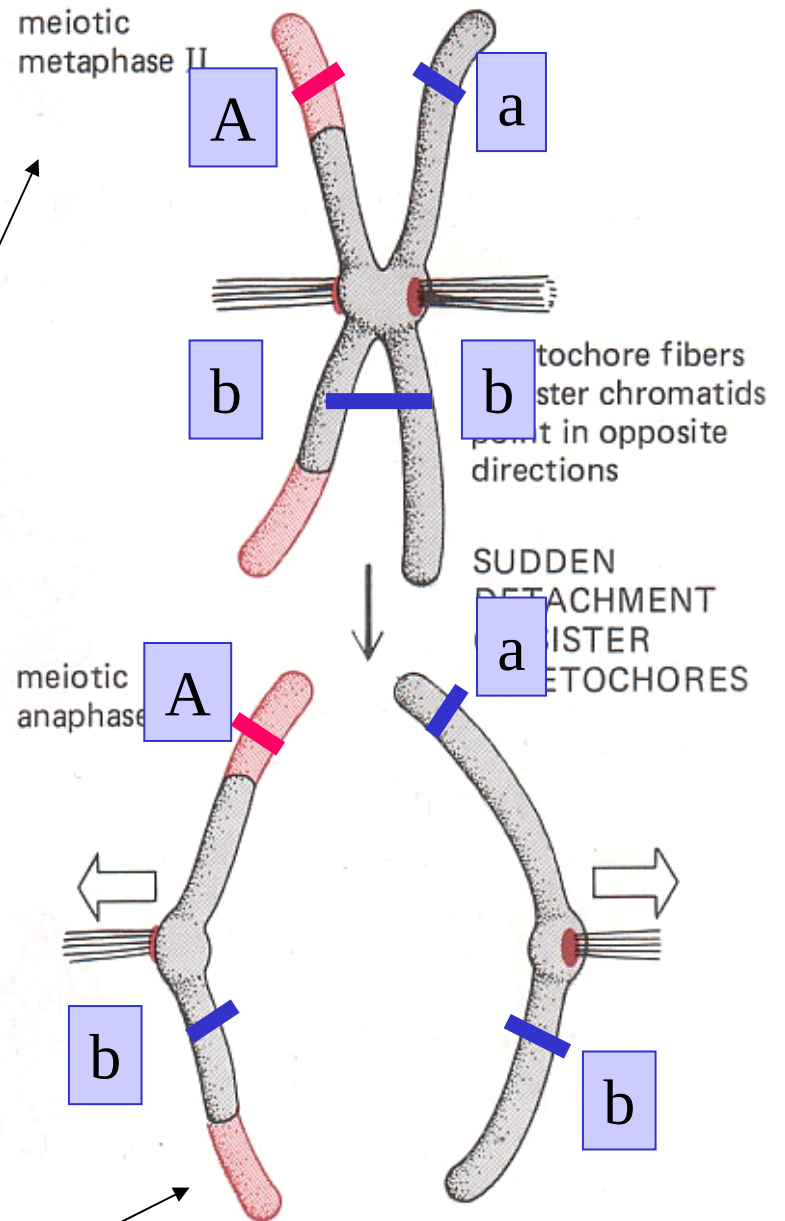
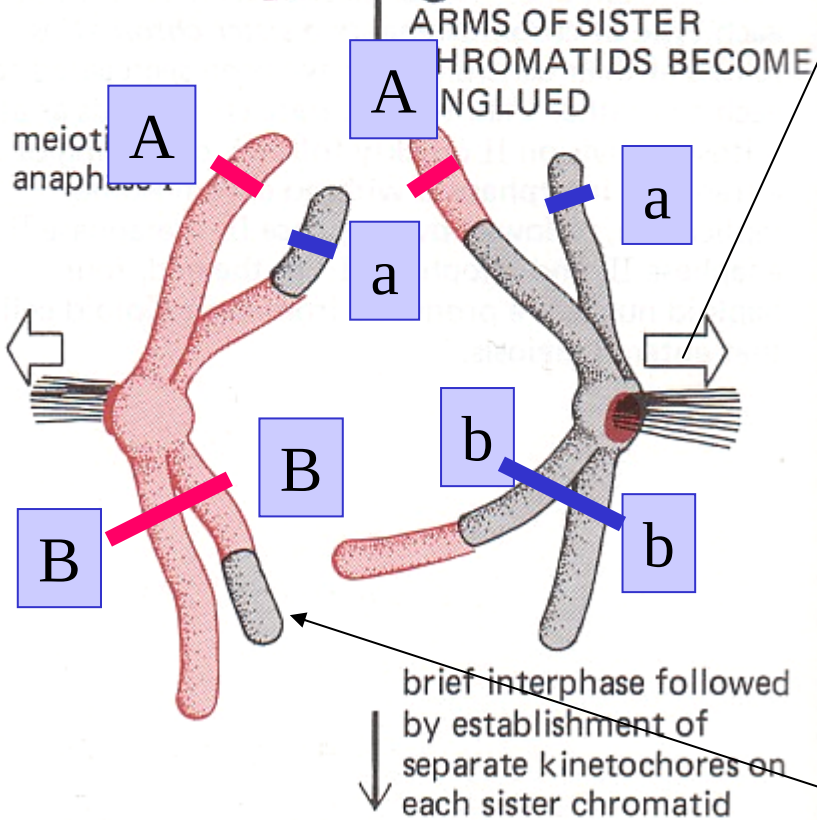
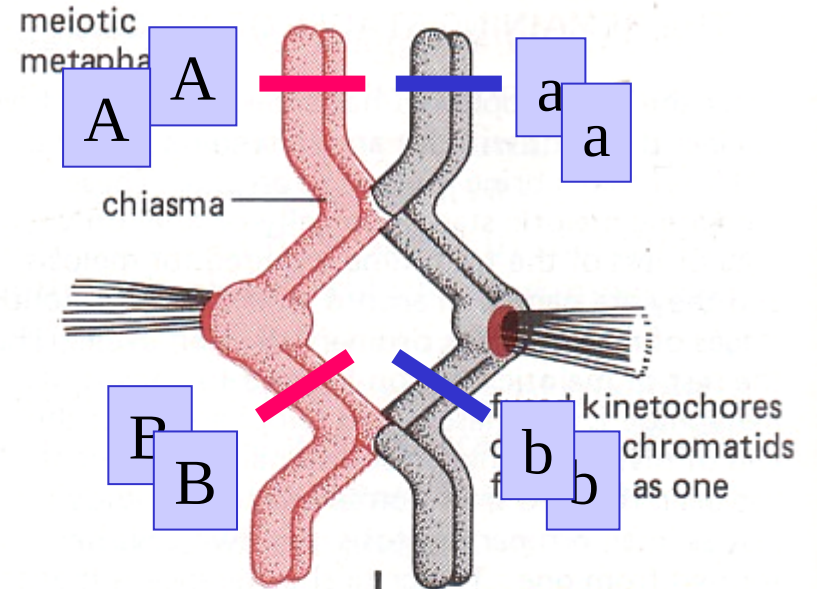
Vihreät: resessiivinen fenotyyppi molemmissa (yksi ruutu, $1/16$)

Gameettimallin muunnelmia 1.

Jos **A/a** ja **B/b** ovat samassa kromosomissa (kytkeytyneet) ei kaikenlaisia gameetteja tulekaan yhtä paljon, vaan *crossing-over* gameetteja tulee sitä vähemmän, mitä lähempänä geenit ovat toisiaan.

Gameettien frekvenssit voidaan sijoittaa Punnettin neliöön ja tilanne on hallinnassa.

Genotyypifrekvenssit ovat silloinkin marginaalien gameetifrekvenssien tuloja, mutta eivät sitten enää noudata *kokonaislukujakautumia*.



rekombinantti

Segregaatio kahta kytkeytynyttä alleeliparia tarkasteltaessa (R = rekombinaatiofrekvenssi)

A	B	$1-R$	AB ab		ei crossing overia
a	b	R	Ab aB		crossing over

Näin syntyy gameetteja frekvensseillä:

AB $\frac{1}{2}(1-R)$

Ab $\frac{1}{2} R$

aB $\frac{1}{2} R$

ab $\frac{1}{2}(1-R)$

R minimi = 0

R maksimi = $\frac{1}{2}$

Dihybridiristeytyksen gameettimalli (Punnettin neliö).

Marginaaleissa heterotsygoottisen F1 polven tuottamat gameetit, joiden osuus riippuu kytkennästä. R = rekombinaatiofrekvenssi

	$AB \frac{1}{2}(1-R)$	$Ab \frac{1}{2}R$	$aB \frac{1}{2}R$	$ab \frac{1}{2}(1-R)$
$AB \frac{1}{2}(1-R)$	AB/AB	Ab/AB	AB/aB	AB/ab
$Ab \frac{1}{2}R$	AB/Ab	Ab/Ab	Ab/aB	Ab/ab
$aB \frac{1}{2}R$	AB/aB	aB/Ab	aB/aB	aB/ab
$ab \frac{1}{2}(1-R)$	AB/ab	ab/Ab	ab/aB	ab/ab

Punaiset: fenotyyppi A ja B (yhdeksän ruutua)

Violetit: fenotyyppi A (kolme ruutua)

Mustat: fenotyyppi B (kolme ruutua)

Vihreät: resessiivinen fenotyyppi molemmissa (yksi ruutu, frekvenssi $1/4(1 - R)^2$)

Dihybridiristeytyksen gameettimalli (Punnettin neliö).

Jos $R = 0$ eli geenit eivät lainkaan rekombinoidu:

	$AB \frac{1}{2}(1-R)$	$Ab \frac{1}{2}R$	$aB \frac{1}{2}R$	$ab \frac{1}{2}(1-R)$
$AB \frac{1}{2}(1-R)$	AB/AB	Ab/AB	aB/aB	AB/ab
$Ab \frac{1}{2}R$	AB/Ab	Ab/Ab	Ab/aB	Ab/ab
$aB \frac{1}{2}R$	AB/aB	aB/Ab	aB/aB	aB/ab
$ab \frac{1}{2}(1-R)$	AB/ab	ab/Ab	ab/aB	ab/ab

Punaiset: fenotyyppi A ja B (kolme ruutua, 3/4)

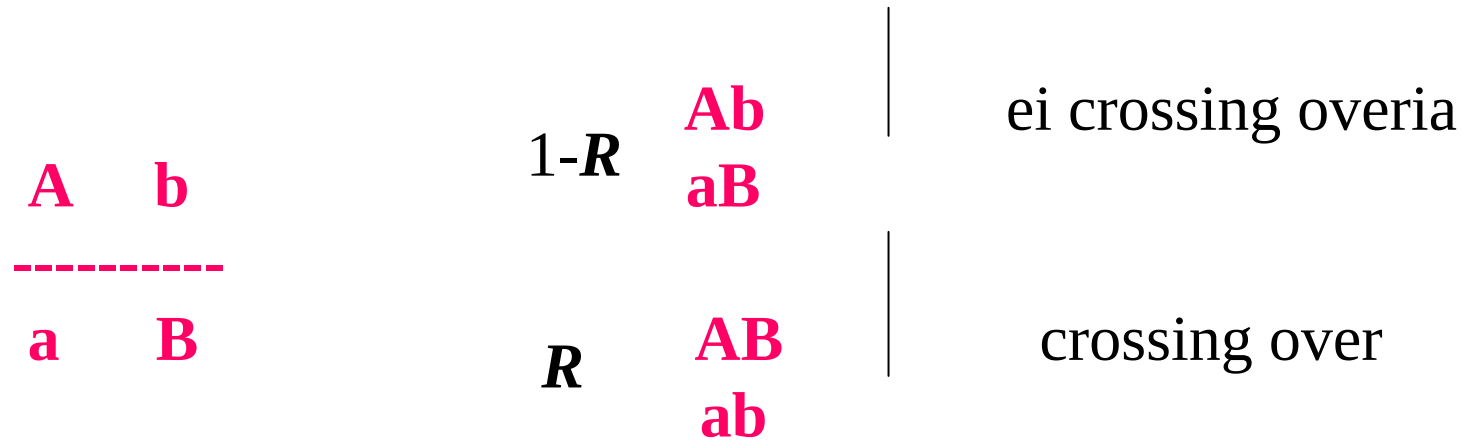
Violetit: fenotyyppi A (ei yhtään ruutua)

Mustat: fenotyyppi B (ei yhtään ruutua)

Vihreät: resessiivinen fenotyyppi molemmissa (yksi ruutu, 1/4)

Segregaatio repulsiotilanteessa

P: A/A b/b x a/a B/B



Näin syntyy gameetteja frekvensseillä:

Ab	$\frac{1}{2}(1-R)$
AB	$\frac{1}{2} R$
ab	$\frac{1}{2} R$
aB	$\frac{1}{2}(1-R)$

R minimi = 0
 R maksimi = $\frac{1}{2}$

Dihybridiristeytyksen gameettimalli (Punnettin neliö).

Repulsiotilanne

	$AB \frac{1}{2}R$	$Ab \frac{1}{2}(1-R)$	$aB \frac{1}{2}(1-R)$	$ab \frac{1}{2}R$
$AB \frac{1}{2}R$	AB/AB	Ab/AB	AB/aB	AB/ab
$Ab \frac{1}{2}(1-R)$	AB/Ab	Ab/Ab	Ab/aB	Ab/ab
$aB \frac{1}{2}(1-R)$	AB/aB	aB/Ab	aB/aB	aB/ab
$ab \frac{1}{2}R$	AB/ab	ab/Ab	ab/aB	ab/ab

Punaiset: fenotyyppi A ja B

Violetit: fenotyyppi A

Mustat: fenotyyppi B

Vihreät: resessiivinen fenotyyppi molemmissa (yksi ruutu, frekvenssi $\frac{1}{4} R^2$)

Näitä paljon,
muuta vähän

Dihybridiristeytyksen gameettimalli (Punnettin neliö).

Repulsiotilanne: Jos R on nolla (tai lähes nolla):

	$AB \frac{1}{2}R$	$Ab \frac{1}{2}(1-R)$	$aB \frac{1}{2}(1-R)$	$ab \frac{1}{2}R$
$AB \frac{1}{2}R$	AB/AB	Ab/AB	AB/aB	AB/ab
$Ab \frac{1}{2}(1-R)$	AB/Ab	Ab/Ab	Ab/aB	Ab/ab
$aB \frac{1}{2}(1-R)$	AB/aB	aB/Ab	aB/aB	aB/ab
$ab \frac{1}{2}R$	AB/ab	ab/Ab	ab/aB	ab/ab

Punaiset: fenotyyppi A ja B 2 ruutua

Violetit: fenotyyppi A 1 ruutu

Mustat: fenotyyppi B 1 ruutu

Vihreät: resessiivinen fenotyyppi molemmissa (yksi ruutu, frekvenssi $\frac{1}{4} R^2$)

Gameettimallin muunnelmia 2.

Jos tarkasteltavat geenit ovat X-kromosomissa, ei ruudukko ole symmetrinen, vaan koiras- ja naarasgameetit ovat erilaisia.

Jos koiras- ja naarasgameetit muuten ovat erilaisia, taas sama juttu! Näin on esimerkiksi *Drosophilalla*: koiraalla ei ole crossing overia, naaraalla on

Gameettitaulukoinnin avulla sekin homma mallintuu!

Dihybridiristeytyksen gameettimalli (Punnettin neliö).

Muunnelma: *koirailla ei crossing overia, autosomaaliset geenit*

Koirasgameetit sarakkeissa, naarasgameetit riveillä

	AB ½	Ab 0	aB 0	ab ½
AB ½(1- R)	AB/AB	Ab/AB	aB/aB	AB/ab
Ab ½ R	AB/Ab	Ab/Ab	aB/aB	Ab/ab
aB ½ R	AB/aB	aB/Ab	aB/aB	aB/ab
ab ½(1- R)	AB/ab	ab/Ab	ab/aB	ab/ab

Punaiset: fenotyyppi A ja B (viisi ruutua)

Violetit: fenotyyppi A (yksi ruutu)

Mustat: fenotyyppi B (yksi ruutu)

Vihreät: resessiivinen fenotyyppi molemmissa (yksi ruutu)

Gameettimallin muunnelmia 3.

Jos tutkitaan esimerkiksi kytkentää tai tehdään kartoitusta, on tapana tehdä **testiristeytys** eli **takaisinristeytys (BC)**, jossa esimerkiksi heterotsygoottinaaras risteytetään markkerikannan (resessiiviset alleelit) homotsygoottisen koiraan kanssa.

$$F_1 \times P \gg BC$$

Dihybridiristeytyksen gameettimalli (Punnettin neliö).

Testiristeytys: F_1 polven yksilöitä risteytään takaisin (**BC**)
resessiiviset alleelit sisältävään P-polven kantaan

	AB	Ab	aB	ab 1
AB $\frac{1}{2}(1-R)$	AB/AB	Ab/AB	aB/aB	AB/ab
Ab $\frac{1}{2}R$	AB/Ab	Ab/Ab	aB/aB	Ab/ab
aB $\frac{1}{2}R$	AB/aB	aB/Ab	aB/aB	aB/ab
ab $\frac{1}{2}(1-R)$	AB/ab	ab/Ab	ab/aB	ab/ab

Punaiset: fenotyyppi A ja B (yksi ruutu, $\frac{1}{2}(1-R)$)

Violetit: fenotyyppi A (yksi ruutu, $\frac{1}{2}R$)

Mustat: fenotyyppi B (yksi ruutu, $\frac{1}{2}R$)

Vihreät: resessiivinen fenotyyppi molemmissa (yksi ruutu, $\frac{1}{2}(1-R)$)

Edut: mitään ei jää piiloon

Gameettimalli

Näissä taulukoissa oli *gameetteja* ja *genotyypppejä*.

Todellisuudessa me näemme vain *fenotyypppejä*

Biologiassa on paljon asioita, jotka näkyvät, ja ehkä vielä enemmän sellaisia, joista näkyy vähän tai ei mitään!

Molemmat asiatyypit on sijoitettava teoriaan. Mallien avulla voimme ylittää näkymättömät kohdat

Gameettitaulukko (Punnettin neliö)

	AB	Ab	aB	ab
AB				
Ab				
aB				
ab				

Äsken katselimme
tällaista taulukkoa

Genotyypitalukko

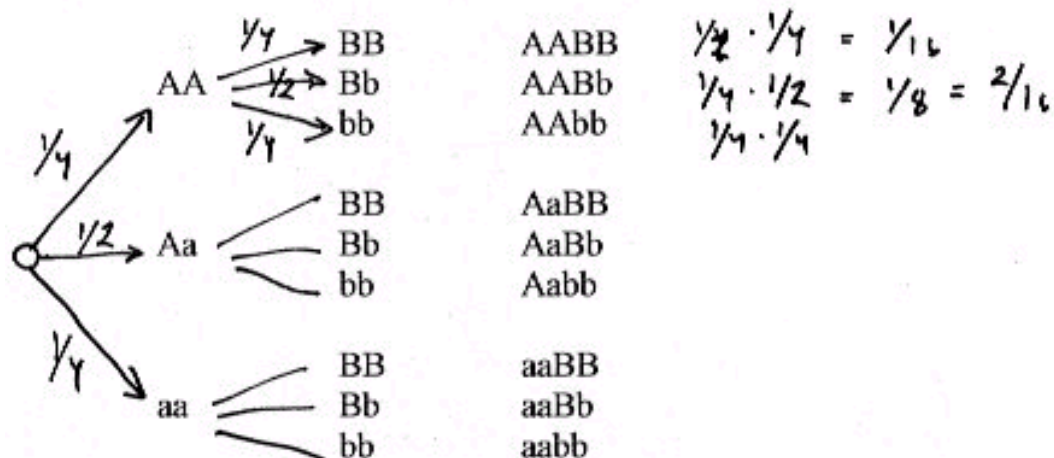
	AA	Aa	aa
BB			
Bb			
bb			

Fenotyypitalukko

	AA, Aa	aa
BB, Bb		
bb		

Mendel näki
tällaisen taulukon!

Haarautuvat viivat (Forked line -menetelmä)



Dihybridisteytyksen Genotyypimalli.

Jos kaikkien gameettityyppien voi olettaa olevan yhtä yleisiä, ei gameettimallia tarvitakaan, vaan tilanne voidaan hallita yksinkertaisemmalla taulukolla, jossa marginaaleihin sijoitetaan kummankin lokuksen genotyypit ja niiden odotetut lukusuhteet eli frekvenssit 1:2:1. Ruutuihin sijoitetaan marginaalifrekvenssien tulot

	A/A 1/4	A/a 2/4	a/a 1/4
B/B 1/4	AB/AB	AB/aB	aB/aB
B/b 2/4	AB/Ab	Ab/aB	aB/ab
b/b 1/4	Ab/Ab	ab/Ab	ab/ab

Punaiset: fenotyyppi A ja B ($1/16 + 2/16 + 2/16 + 4/16 = 9/16$)

Violetit: fenotyyppi A ($1/16 + 2/16 = 3/16$)

Mustat: fenotyyppi B ($1/16 + 2/16 = 3/16$)

Vihreät: resessiivinen fenotyyppi molemmissa ($1/16$).

Gameettitaulukko (Punnettin neliö)

	AB	Ab	aB	ab
AB				
Ab				
aB				
ab				

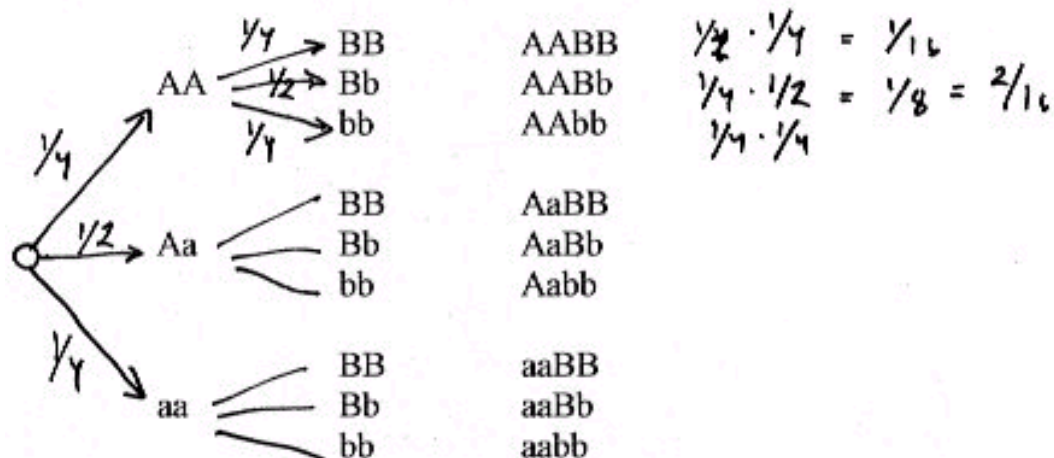
Genotyypitalukko

	AA	Aa	aa
BB			
Bb			
bb			

Fenotyypitalukko

	AA, Aa	aa
BB, Bb		
bb		

Haarautuvat viivat (Forked line -menetelmä)



Genotyypitaulukkoa tarvitaan, jos geenien välillä on sellaisia vuorovaikutuksia (*interaktioita*) että genotyyppi A:ssa vaikuttaa siihen mitä tapahtuu tai havaitaan B-geenin toiminta-alueella (*epistasia, hypostasia*). Mahdollisuuksia on monia.

Kahden lokuksen yhteisvaikutus

	AA 1	Aa 2	aa 1
BB 1	1	2	1
Bb 2	2	4	2
bb 1	1	2	1

1:2:1:2:4:2:1:2:1

Jos A ja B geenit eivät vaikuta toistensa ekspressioon tai havaittavuuteen yhtään mitään, eikä alleelien välillä ole dominanssivuorovaikutusta, voitaisiin nähdä genotyyppien lukusuhteet.

Ne ovat jotakin pysyvää kaikkien jakautumien pohjalla

Kahden lokuksen yhteisvaikutus

	AA 1	Aa 2	aa 1
BB 1	1	2	1
Bb 2	2	4	2
bb 1	1	2	1

Jos A ja B geenit eivät vaikuta toistensa ekspressioon tai havaittavuuteen yhtään mitään, voimme saada tästä taulukosta fenotyyppien “klassisen” dihybridilukusuhtejakautuman

Sen pohjana on **alleelien vuorovaikutus**: toinen (**A, B**) on dominantti, toinen (**a, b**) resessiivinen

Kahden lokuksen yhteisvaikutus

	AA 1	Aa 2	aa 1	
BB 1	1	2	1	
Bb 2	2	4	2	9:3:3:1
bb 1	1	2	1	

Jos A ja B geenit eivät vaikuta toistensa ekspressioon tai havaittavuuteen yhtään mitään, voimme saada tästä taulukosta fenotyyppien “klassisen” dihybridilukusuuhdejakauman

Sen pohjana on **alleelien vuorovaikutus**: toinen (**A, B**) on dominantti, toinen (**a, b**) resessiivinen

Kahden lokuksen yhteisvaikutus

	AA 1	Aa 2	aa 1	
BB 1	1	2	1	
Bb 2	2	4	2	1:4:6:4:1
bb 1	1	2	1	

Yksi tärkeä muunnelma taulukosta on kvantitatiivinen malli, jossa vain “isot/pienet kirjaimet” vaikuttavat fenotyyppiin

Ei dominanssia, ei vuorovaikutusta (**additiivinen**),
molemmat lokukset vaikuttaa samaan ominaisuuteen

Table 3-2. Summary of dihybrid ratios in F^2 of the cross $A\bar{A}BB \times aabb$

		AABB	AABb	AaBB	AaBb	AAbb	Aabb	aaBB	aaBb	aabb	
More than four phenotypic classes	A and B both incompletely dominant	1	2	2	4	1	2	1	2	1	
	A incompletely dominant; B completely dominant	3		6		1	2	3		1	
Four phenotypic classes	A and B both completely dominant (classic ratio)	9				3		3		1	
Fewer than four phenotypic classes	aa epistatic to B and b Recessive epistasis	9				3		4			
	A epistatic to B and b Dominant epistasis	12						3		1	
	A epistatic to B and b; bb epistatic to A and a Dominant and recessive epistasis	13*						3			
	aa epistatic to B and b; bb epistatic to A and a Duplicate recessive epistasis	9				7					
	A epistatic to B and b; B epistatic to A and a Duplicate dominant epistasis	15								1	
	Duplicate interaction	9				6				1	

*The 13 is composed of the 12 classes immediately above, plus the one $aabb$ from the last column.

Kahden lokuksen yhteisvaikutus

	AA 1	Aa 2	aa 1	
BB 1	1	2	1	
Bb 2	2	4	2	9:3:4
bb 1	1	2	1	

Jos aa epistaattinen B/b yli

Esim. *white*, joka kuljettaa pigmenttejä solukalvojen läpi. Jos se ei kuljeta, ei pigmenttisynteesin geenien aiheuttama fenotyyppi erotu vaan pysyy piilossa

Kahden lokuksen yhteisvaikutus

	AA 1	Aa 2	aa 1	
BB 1	1	2	1	
Bb 2	2	4	2	12:3:1
bb 1	1	2	1	

Jos A dominoivasti epistaattinen B/b yli eli estää B:n vaikutuksen

Esimerkkejä ei arkielämästä. Tällaisia ovat "dominoivat suppressorit", joita voi harrastaa *Drosophila*-genetiikassa

Kahden lokuksen yhteisvaikutus

	AA 1	Aa 2	aa 1	
BB 1	1	2	1	
Bb 2	2	4	2	15:1
bb 1	1	2	1	

"Duplikaatti dominantti epistasia"

Vaihtoehtoiset reaktioketjut (toisiaan korvaavat systeemit), ainakin pinnallisen tarkastelijan silmin. Hopeakettu on tällainen. Kaksi eri geenisysteemiä aiheuttaa mustan turkinvärin. Jalostajat ovat homotsygoineet toisen.

Genotyypitaulukkoa tarvitaan myös silloin, kun alleelien väliset vuorovaikutukset ovat jotain muuta kuin yksinkertainen *dominanssi/resessiivisyys*. Itse asiassa dominanssi on aivan liukuva käsite, usein riippuen siitä, katsotaanko läheltä vai kaukaa!

Fenotyypitaulukko on se mitä me (he) useimmiten pääsemme näkemään

Dihybridiristeytyksen fenotyypimalli

Jos lokusten A ja B välillä ei ole kytkentää eikä geenien välillä ole sellaisia vuorovaikutuksia, että A:n genotyyppi vaikuttaisi B-genotyypin ilmenemiseen tai havaitsemiseen, *riittävä* malli dihybridiristetykselle on fenotyypitaulukointi. Jos molemmissa lokuksissa on ns. klassinen dominanssitilanne, on ruudukko kovin pieni:

	A/A tai A/a 3/4	a/a 1/4
B/B tai B/b 3/4	A- ja B- ominaisuus	B
b/b 1/4	A	resessiivinen

Punaiset: fenotyyppi A ja B ($3/4 \times 3/4 = 9/16$)

Violetit: fenotyyppi A ($1/4 \times 3/4 = 3/16$)

Mustat: fenotyyppi B ($1/4 \times 3/4 = 3/16$)

Vihreät: resessiivinen fenotyyppi molemmissa ($1/4 \times 1/4 = 1/16$)

Nykyaikana (= 1900 lähtien) todistelu mallin oikeellisuudesta jää yleensä tähän 9:3:3:1 lukusuhteen tarkasteluun (ainakin kuvitelluissa kokeissa) ja riittäähän se. Kyllä uskotaan. Katsotaanpa vielä, mitä Mendel teki, näiden mallien valossa.

Mendel tuotti tunnetulla tavalla F_2 -polven herneistään:

Fenotyyppitaulukko:

	Pyöreä	Kulmikas
Keltainen	315	101
Vihreä	108	32

Meidän oppikirjamme jättävät asian tähän. Punnettin neliö piirretään

Nykyaikana (= 1900 lähtien) todistelu mallin oikeellisuudesta jää yleensä tähän 9:3:3:1 lukusuhteen tarkasteluun (ainakin kuvitelluissa kokeissa) ja riittäähän se. Kyllä uskotaan. Katsotaanpa vielä, mitä Mendel teki, näiden mallien valossa.

Mendel tuotti tunnetulla tavalla F_2 -polven herneistään:

Fenotyyppitaulukko:

	Pyöreä	Kulmikas
Keltainen	315	101
Vihreä	108	32

testaus [Mendel](#)
testaus [Tilastollinen](#)
testaus [Yleistettävyyys](#)