

Fremstilling af F1 hybrider i raps ved brug af cytoplasmatisk-genetisk hansterilitet, samt farveudspaltning i F2 efter krydsning af hvidblomstret linje med gulblomstret linje.

På side 2 - 3 vises resultatet af en krydsning med 3 genpar (2 genpar for blomsterfarve og 1 genpar for pollenfertilitet (restorer / maintainer)).

På side 4-7 vises mere detaljeret, hvordan man laver hybrider i raps med brug af cytoplasmatisk genetisk hansterilitet.

Ofte siger man 'gen' i stedet for det mere rigtig 'genpar' eller 'allele genpar'. Det, som man kalder et dominant gen, er (mere rigtigt) en dominant allel.

I planteforædling bruger man hyppigt betegnelsen 'gen', hvor man i genetikken siger 'allel'. Et gen er et sted på et kromosom, der giver et bidrag til en bestemt egenskab.

Det såkaldt cytoplasmatisk-genetiske hybridsystem er det mest anvendte i raps. Samme princip bruges f.eks. i rug, korsblomstrede grøntsager, løg og gulerod.

I arter, hvor slutproduktet ikke er frø eller korn så som f.eks. roer, kan man undlade brugen af restorer genet i C linjen, hvilket gør det enklere.

Almindelige betegnelser indenfor hybridforædling er:

A linje = $msms(S)$ eller $rr(S)$	Pollensteril (=hun) linje.
B linje = $msms(N)$ eller $rr(N)$	Pollenfertil, maintainer linje. Bruges til vedligehold af A-linjen.
C linje = $MSMS(N)$, $MSMS(S)$ eller $RR(N)$, $RR(S)$	Restorer linje (fertilitets-genopretter). C linjen bør være ubeslægtet med A og B linjen.

(S) og (N) betegner om cytoplasmaet indeholder sterilitetsgivende faktor (S) eller om cytoplasmaet er normalt (N). Sterilitetsfaktoren nedarves maternelt, altså i cytoplasmaet fra moder til datter og spiller sammen med et eller flere gener. I raps spiller der kun sammen med et gen.

Fremstilling af F1 hybrid og høst af frø på F1 hybriden for at se udspaltningen i F2.

Vi forudsætter, at forældrene er homozygotiske i genparrene for farve og sterilitet. Side 3 viser udspaltningen for 3 genpar, hvor 2 genpar styrer blomsterfarven og et cellekerne-genpar styrer fertiliteten (hansteril eller hanfertil). På side 4 – 7 forklares mere detaljeret, hvordan man laver hybrider i raps ved brug af 'cytoplasmatisk-genetisk' hansterilitet. Farve: aabb = hvid blomst, A-bb = lysegul blomst, alle andre kombinationer = almindelig gul rapsblomst. Pollenfertilitet /sterilitet styres af cytoplasmafaktor, som nedarves cytoplasmatisk fra mor til datter, i kombination med cellekernegenene ('almindelige' gener). 'Normal' cytoplasma (N) er det oprindelige i raps. Cytoplasma med sterilitetsfaktor (S) er overført til raps fra radise. S bevirker, at støvdragerne ikke dannes. Restoregener (sidder i cellekernens kromosomer) ophæver pollensteriliteten, således at RR og Rr i kombination med 'steril cytoplasma' giver normale støvdragere, hvorimod rr i kombination med 'steril cytoplasma' giver pollensterilitet (pollen udvikles ikke); altså hunplanter.

Produktion af hybridudsæd ud fra forældre, som er homozygotiske for egenskaberne blomsterfarve og pollenfertilitet:

Hanlinjen (bestøveren) er gulblomstret, og har støvdragere og normal cytoplasma (N)

Hunlinjen (den hansterile) er hvidblomstret og har steril cytoplasma (S)

Forældre:

AABBRR(N)



aabrrr(S)

F1 hybriden:

AaBbRr(s)

Der høstes frø på F1 hybriden (giver F2). Det giver samme resultat, genetisk set, som en selvbestøvning, da alle F1-hybridplanter teoretisk er ens.

Udspaltning i **F2 generationen** efter høst på F1 hybrid. Alle planter har sterilt cytoplasma. 3 genpar.

♀ \ ♂	abr(S)	abR(S)	aBr(S)	Abr(S)	aBR(S)	AbR(S)	ABr(S)	ABR(S)
ABR(S)	AaBbRr(S)	AaBbRR(S)	AaBBRr(S)	AABbRr(S)	AaBBRR(S)	AABbRR(S)	AABBRr(S)	AABBRR(S)
ABr(S)	AaBbrr(S)	AaBbRr(S)	AaBBrr(S)	AABbrr(S)	AaBBRr(S)	AABbRr(S)	AABBrr(S)	AABBRr(S)
AbR(S)	AAbbRr(S)	AabbRR(S)	AaBbRr(S)	AAbbRr(S)	AaBbRR(S)	AAbbRR(S)	AABbRr(S)	AABbRR(S)
aBR(S)	aaBbRr(S)	aaBbRR(S)	aaBBRr(S)	AaBbRr(S)	aaBBRR(S)	AaBbRR(S)	AaBBRr(S)	AaBBRR(S)
Abr(S)	Aabbrr(S)	AabbRr(S)	AaBbrr(S)	AAbbrr(S)	AaBbRr(S)	AAbbRr(S)	AABbrr(S)	AABbRr(S)
aBr(S)	aaBbrr(S)	aaBbRr(S)	aaBBrr(S)	AaBbrr(S)	aaBBRr(S)	AaBbRr(S)	AaBBrr(S)	AaBBRr(S)
abR(S)	aabbRr(S)	aabbRR(S)	aaBbRr(S)	AabbRr(S)	aaBbRR(S)	AabbRR(S)	AaBbRr(S)	AaBbRR(S)
abr(S)	aabbrr(S)	aabbRr(S)	aaBbrr(S)	Aabbrr(S)	aaBbRr(S)	AabbRr(S)	AaBbrr(S)	AaBbRr(S)









Blå skrift: Samme genstruktur som F1 hybrid (8 ud af 64) (=1 af 8). Bemærk altså at resten er genetisk forskellig fra hybrid. Når man høster frø på en hybrid, giver de fleste frø ophav til planter, som er anderledes end F1 hybrid.

Hvid blomst (aabb):	4 af 64	(1 af 16)	
Lysegul blomst (bb):	12 af 64	(3 af 16)	
Gul blomst: alle andre	48 af 64	(12 af 16)	(=3 af 4)
Hansteril (rr):	16 af 64	(4 af 16)	(=1 af 4)
Hanfertil (RR og Rr):	48 af 64	(12 af 16)	(=3 af 4)

Fremstilling af F1 hybrider med brug af cytoplasmatisk-genetisk hansterilitet

1 Fremstilling af hunlinjen.

Der startes med en hansteril, som krydses tilbage (dvs. krydses med samme sort over flere generationer, hvorefter den mere og mere ligner tilbagekrydsningsforælderen). Tilbagekrydsningsforælderen skal have maintainer-gener (vedligeholder-gener) for steriliteten.

Hansteril (MS) male sterile A-linje		Maintainer (Vedligeholder) B-linje		Krydsningsår
	Cytoplasma m sterilitetsfaktor (S). Nedarves fra mor til datter		Normalt cytoplasma (N)	2015 Der findes en gulblomstret plante, som ikke sætter støvdragere, altså en hansteril. Den krydses med en hvidblomstret (aabb) sort, som har maintainer-(vedligeholder) gener.
Oprindelige hansterile (eksotisk) AABB rr (S)		God hvidblomstret sort aabb med maintainergener rr Første tilbagekrydsning		
	Cytoplasma m sterilitetsfaktor(S). Nedarves fra mor til datter		Normalt cytoplasma (N)	2016 Der krydses igen Maintainer-gener er det normale i raps.
Nu 50 % som tilbagekrydsningsforælderen.		2. tilbagekrydsning		
	Cytoplasma m sterilitetsfaktor (S). Nedarves fra mor til datter		Normalt cytoplasma (N)	2017 Der krydses igen. De første hvidblomstrede kan nu findes blandt de hansterile planter, hvor flertallet dog stadig er med gul blomst.
Nu 75 % som tilbagekrydsningsforælderen.		Krydses igen, 3. tilbagekrydsning.		
	Cytoplasma m sterilitetsfaktor (S). Nedarves fra mor til datter		Normalt cytoplasma (N)	2018 Der krydses igen. Det fortsætter og i årenes løb bliver den hansterile næsten som maintaineren bortset fra støvdragerne. (N) er pollenfertil (normal) cytoplasma,(S) steril cytoplasma
Nu 87,5 % som tilbagekrydsningsforælderen. aabb rr (S)		Krydses igen, 4. tilbagekrydsning. aabb rr (N)		

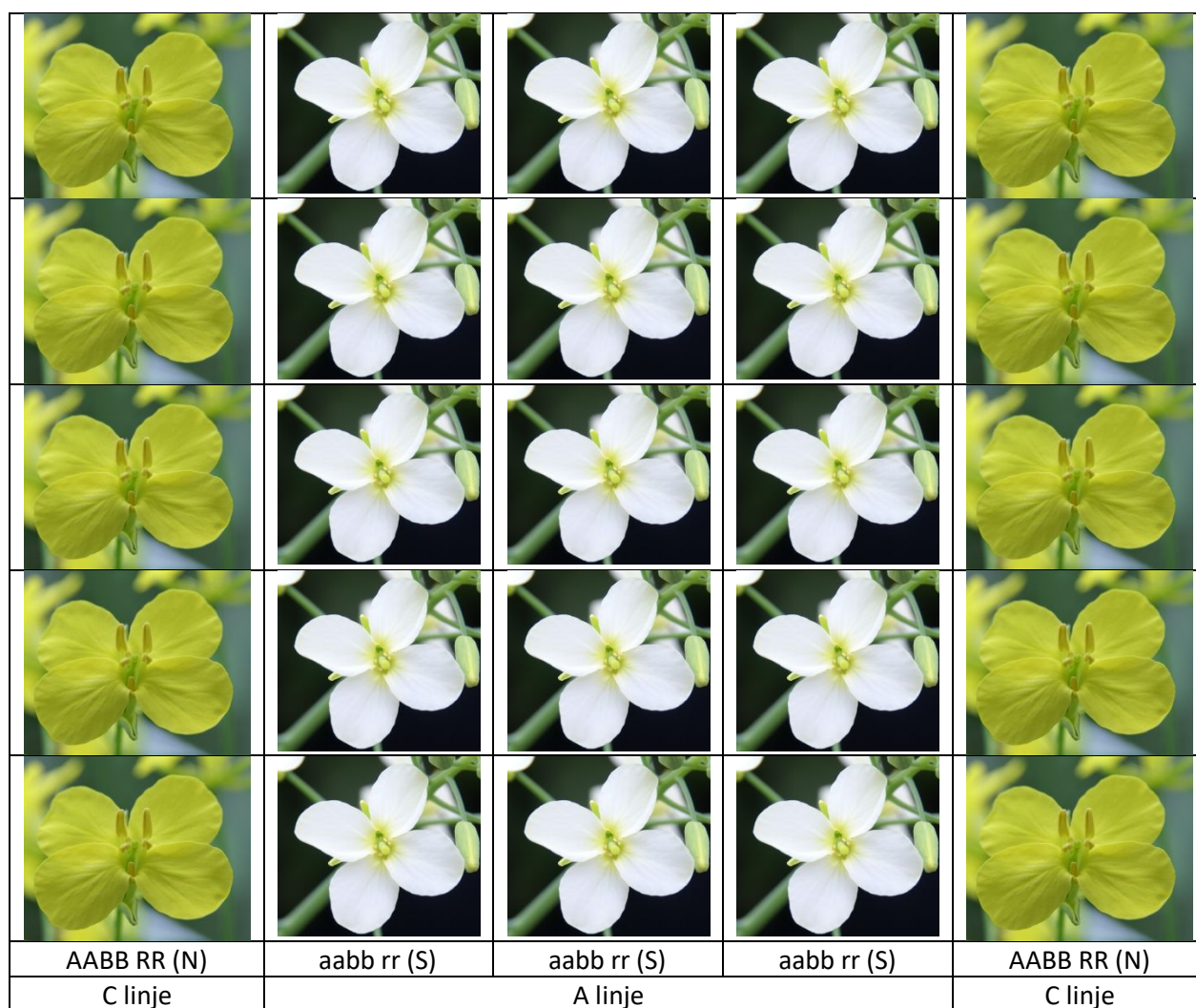
Efter 4 – 6 års tilbagekrydsning fås en hansteril med næsten alle af maintainer-sortens egenskaber bortset fra støvdragerne. Denne sort bruges som hunlig part i en hybrid-krydsning, efter at den er formeret op.

2 Produktion af hybridfrø ud fra hybridforældrene

Der sås f.eks. 6 m med en stribe af den hansterile, her hvidblomstret, som på begge sider er omgivet af 2 m af en ubeslægtet sort, i dette tilfælde med gule blomster. Bestøversorten (gul) besidder restorer-gener (RR) og normal cytoplasma. Restorer gener er "genopretter" gener, som altså genopretter pollenfertiliteten i næste generation. Restorer genet i raps stammer fra radise, og det er overført til raps af INRA, den franske statslige forsøgsorganisation for landbrugsplanteforskning.

Se nedenstående figur om produktion af hybridfrø.

I praksis bruger man typisk 16 – 20 m med den pollensterile som omgives af 2 – 3 m med den pollenfertile.



Den hansterile kan ikke bestøve sig selv, og får pollen fra den omgivende bestøver. Efter bestøvning klippes den gule bestøver ned, og kun den hvidblomstrede sætter frø. Dette frø er F1 hybrid udsæd.

(Den hansterile opformeres på lignende måde, blot er bestøveren også hvidblomstret med generne aabb rr(N)). Bestøveren [aabb rr(N)] kan nemt opformeres, da den bestøver sig selv).

3 F1 hybriden i blomst året efter

















F1 hybriden ligner (= er) en almindelig gulblomstret rapsmark. Disse F1-hybrider har sterilt cytoplasma, men pollensteriliteten er ophævet af restorerogenet. Genstruktur for blomsterfarve og fertilitet, altså **AaBb Rr (S)**.



Billedet viser en rapsmark i blomst, hvor sorten er en F1 hybrid.

4 F2 udspaltning efter høst på hybridrapsen

Når man høster frø på hybriden får man i dette tilfælde en farveudspaltning som vist nedenunder, altså en 2-gens udspaltning for blomsterfarver. (64 felter fra side 2 er her kogt ned til 16 felter for blomsterfarven). Alle har cytoplasma med sterilitetsfaktoren.

Far:	AB	Ab	aB	ab
Mor:	R	R	r	r
AB R	AABB RR (S) 	AABb RR (S) 	AaBB Rr (S) 	AaBb Rr (S) 
Ab R	AABb RR (S) 	AAbb RR (S) 	AaBb Rr (S) 	Aabb Rr (S) 
aB r	AaBB Rr (S) 	AaBb Rr (S) 	aaBB rr (S) 	aaBb rr(S) 
ab r	AaBb Rr(S) 	Aabb Rr(S) 	aaBb rr(S) 	aabb rr(S) 

Vi har sat 4 hansterile ind nederst til højre, da der vil være 4 hansterile planter og 12 hanfertile ud af 16 planter. Ved at se på det fuldstændige skema for 3-gens udspaltningen (side 2), kan man se, at kombinationen af farve og sterilitet i det overstående skema er forenklet for de 4 hansterile blomsters vedkommende.

Der vil i virkeligheden komme 12 gule hansterile, 3 lysegule hansterile og 1 hvid hansteril blomst i de 64 kombinationer vist på side 2.

Meningen med ovenstående figur er at visualisere det forholdsvise antal planter i de 3 klasser for blomsterfarve.