

育種に関連した専門用語解説

戻し交配法：

「戻し交配法 (backcross methods)」とは、交配によって生じた F1 に、交配に使用した片親を交配する方法。さらに片親を繰り返し交配する方法を「反復戻し交配」という。

戻し交配法は、反復戻し交配を人為的に行うことによって、反復親とほぼ似るが、反復親が持たず一回親が持つ特定の特性を取り入れた系統を作る際に行う。

仲本氏が濃い黄で花型が良いが小輪の「ジパング」に大輪黄花の「大学スミターズ」を交配し、選抜した F1 に、大学スミターズを 3 回反復戻し交配して、大輪、丸弁、濃い黄の個体を得た例などが知られている。

この場合ジパングが一回親、大学スミターズが反復親。ジパングの花型の良さと濃い黄を、大輪の大学スミターズに取り入れることを目的にした交配。

では、病気に弱い等、望ましくない遺伝子を除去する場合の戻し交配の効果を見ましょう。

表 1. は、望ましい遺伝子 (A) に連鎖している望ましくない遺伝子 (b) を除去する際の戻し交配の効果を示したものです。

組換え価が 50% の場合、5 回戻し交配を行うと、望ましくない遺伝子は 98% の確率で除去できる。同じ回数自殖 (自家交配) した場合は 50% しか除去できない。

組換え価が 2% と非常に低い場合でも、5 回戻し交配を行った場合は、11% の確率で望ましくない遺伝子を除去できる。しかし、同じ回数自殖を行った場合は、2% しか除去できない。

このように、望ましくない遺伝子が望ましい遺伝子に連鎖してい

る場合であっても、反復戻し交配によって望ましくない遺伝子だけを除去することが出来る。

望ましい遺伝子(A)と連鎖している望ましくない遺伝子(b)の除去についての戻し交配の効果

組換え価	望ましくない遺伝子が除去される確率	
	5回戻し交配	自殖
.50	.98	.50
.20	.74	.20
.10	.47	.10
.02	.11	.02
.01	.06	.01
.001	.006	.001

注) 選抜は A に対して行われ、 b に対しては行われなしの計算

(Allard, R. W., 1960)

表 1. 戻し交配の効果

「組換え価」は低いほど同一染色体上の二つの遺伝子の距離が近く、高いほど遺伝子の距離が遠いことを意味する。距離が近いほど、組み換えは起き難い！

注：

自分で黄花ダルマを目指して交配をしたことのある方ならもうお気付きですね！

そうです、G1 黄の遺伝子座（遺伝子の染色体上にのっている場所を座といいます）と葉幅を広げる遺伝子座が連鎖していて、その上非常に近接している（組換え価が非常に低い）ということです。このため、G1 黄と葉幅の広い橙花のダルマを交配してせっかく F1 で葉幅の広いダルマ型の F1（ヘテロ）を得ても、F1 同士の交配や、戻し交配に因る F2 では黄花は葉幅の狭い物しか得られていないので

す（葉幅を広げる遺伝子は一種類ではなく、G1 黄花の遺伝子とは異なる染色体上に複数個存在していると思われます。しかし、これまでの育種の成果を見ると、G1 黄の遺伝子座と近接した物が葉幅を広げる上でかなりの比重を占めているように見受けられます）。

これを解決する手段として戻し交配が有効です。遺伝子座が非常に近接していて連鎖しているということは、組み換えが起り難い反面、一度組み換えが起れば、元に戻り難いということです。

つまり、G1 黄花のダルマ作成の場合、現在流通している細葉の黄花と橙花のダルマを使って育種を進めるより、葉幅が広い G1 黄花（葉長は長くても構わない。葉長を短くする遺伝子はまた別に存在するので）と橙花のダルマを交配して進める方が時間の無駄が省けます！

これに対し、G2 黄花の遺伝子座は、G1 黄花の遺伝子と葉幅を広げる遺伝子がついている染色体とは別の染色体上に存在しているために、G1 黄を使用して黄花ダルマを目指すより育種のスピードは速いと考えられます！

参照：

<http://www.shieldsgardens.com/info/YellowClivia.html>

<http://www.shieldsgardens.com/Clivia/Yellows.html>

多系交配法：

交配を進める場合に、目的とする形質が 3 つ以上の個体群に分散して含まれる場合は、「多系交配法」を用いて交配を行う。

多系交配法は、 $(A \times B) \times C$ 、 $(A \times B) \times (C \times D)$ 等の方法がとられる。

初めの交配の F1 を直ちに交配に使う場合と、ある程度選抜を加えてから次の交配を行う場合がある。

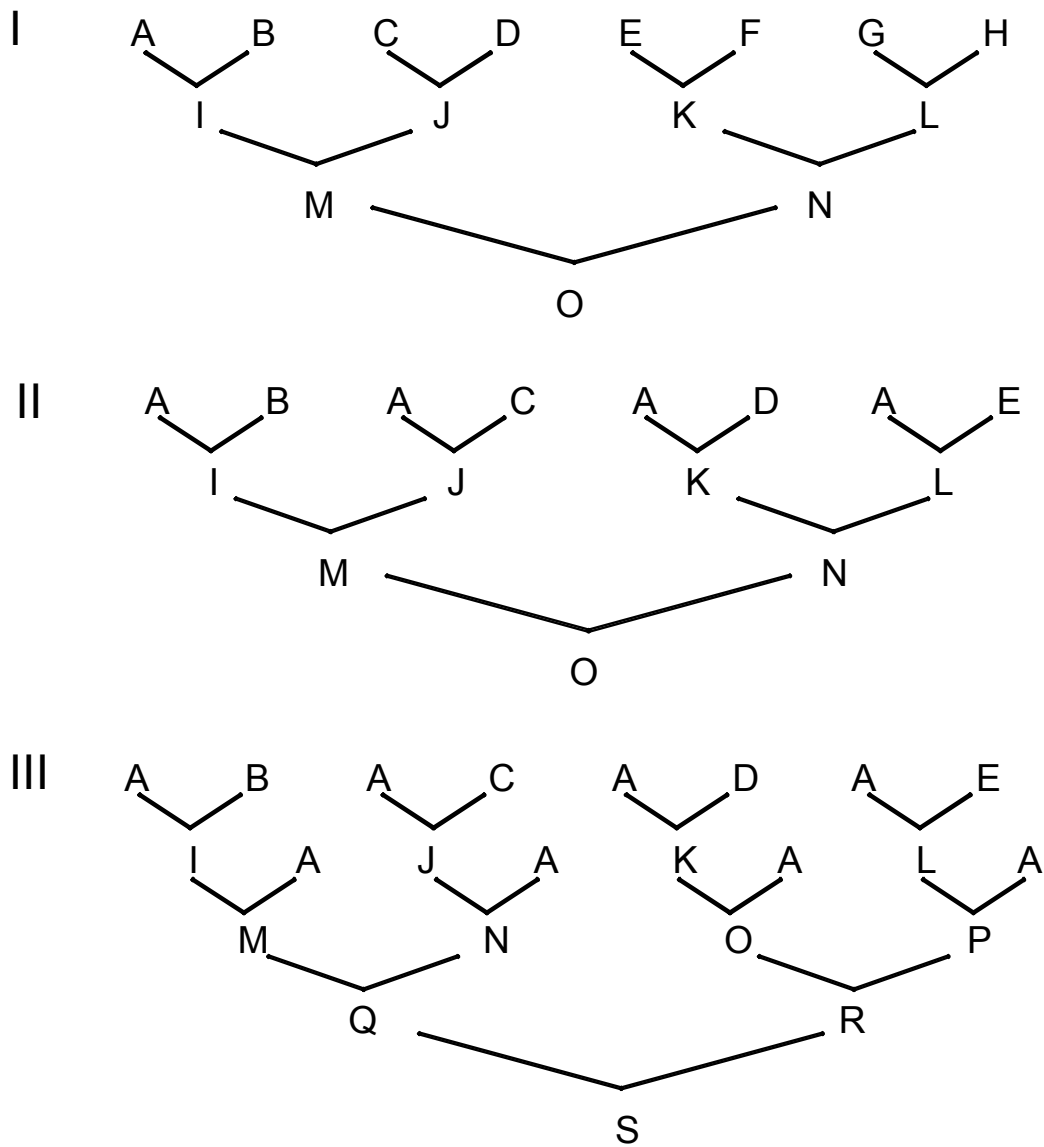


図 1. 多系交配法の交配様式

図1. に、多系交配の種々の型 (Mackey, J., 1963) を示した。
I型では、最終交配で形成される集団 O に対する A 品種の寄与率は 13%。

II型では、O に対する寄与率は 50%。

III型では、S に対する寄与率は 75%になる。

多系交配法を行う場合は、目的によって交配法を使い分ける。

最終集団 O (S) にどのような特性を求めるのかを吟味し、交配に使う株に求める特性の遺伝子が含まれるように交配を行うことが重要。

対立遺伝子 (allele) :

相同染色体の同じ位置 (遺伝子座) に存在する遺伝子で、対立形質に対応している。複対立形質に対しては、それらに応じた遺伝子群すなわち複対立遺伝子が存在する。

相同染色体の同じ位置には同じ遺伝子 (対立遺伝子) が存在する

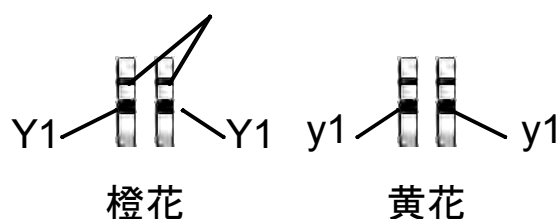


図2. 対立遺伝子

対立遺伝子の種類 :

- 1) 突然変異遺伝子が正常遺伝子の有する形質発現の作用を全く持たないもの (amorph) : クンシランの正常の橙花に対する黄花。橙花は赤色色素を作るが、黄花は赤色色素を作る遺伝子に異常があり赤い色素を作ることが出来ないために、黄色になる。
- 2) 突然変異遺伝子の作用が正常遺伝子の作用と質的には違わないが量的に劣るもの (hypomorph) : クンシランのピーチ? おそらくピーチでは赤い色素は作られるが、量的に劣るためその産生量の違いによって色彩に変化がもたらされている。

- 3) 突然変異遺伝子が正常遺伝子と反対方向の作用を持つもの (antimorph)
- 4) 突然変異により野生型遺伝子の機能と全く関係のない機能を持つようになったもの (neomorph)

突然変異遺伝子の作用が正常遺伝子の作用と質的には違わないが量的に劣るもの (hypomorph) の例

- ・テンジクネズミの皮膚の色について 5 個の複対立遺伝子 C , c^k , c^d , c^r , c^a が知られている
- ・これらの遺伝子の種々の組み合わせにより毛中のメラニン形成量を調べると、表 2. のようになる

遺伝子型	メラニン形成量	遺伝子型	メラニン形成量
CC	100%	$c^d c^r$	19
$c^k c^k$	88	$c^r c^r$	12
$c^k c^d$	65	$c^r c^a$	3
$c^d c^d$	31	$c^a c^a$	0

(S. Wright, 1949)

表 2. テンジクネズミの遺伝子型とメラニン形成量

- ・ c^a は amorph であり、他の遺伝子は優性遺伝子 C に対して hypomorph である

連鎖 (linkage) :

- ・二つ以上の非対立遺伝子が同一染色体に乗っているため「独立の法則」から期待されるよりも高い頻度で結びついて行動すること

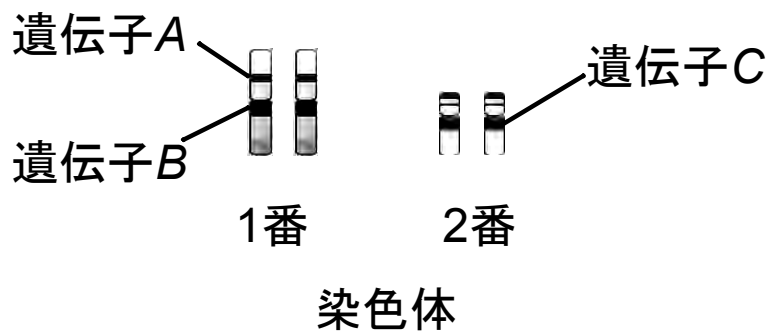


図3. 連鎖

- ・同じ染色体に乗っている遺伝子 *A* と *B* は一緒に行動 (*A* と *B* は連鎖) する
- ・別の遺伝子に乗っている遺伝子 *C* は *A*、*B* とは独立に行動する

母性遺伝 (maternal inheritance) :

- ・遺伝的形質が、雄性生殖細胞とは無関係に、雌性生殖細胞を通じてのみ遺伝する現象
- ・遅滞遺伝 (delayed inheritance) と細胞質遺伝との二つに区別される

細胞質遺伝 (cytoplasmic inheritance) :

- ・核外遺伝、染色体外遺伝ともいう
- ・細胞質中の遺伝因子およびそれに支配されている形質の遺伝をいう
- ・遺伝物質の本体は DNA であるが、これは核の染色体のほかに細胞

質中のいろいろな細胞小器官、たとえば葉緑体・ミトコンドリアにも少量ながら含まれている

- ・有性生殖が行われるとき、雄性配偶子に比し雌性配偶子ははるかに多量の細胞質を次代に伝えるので、細胞質の DNA も主として雌性配偶子から伝わる

- ・従って、細胞質 DNA の差異に基づく形質はメンデルの法則に従って行動しない

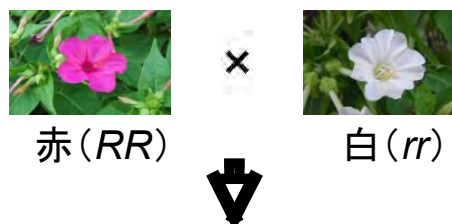
- ・トウモロコシやコムギの雄性不稔、アカバナの斑入り等が知られている

対立遺伝子間の相互作用

不完全優性：

- ・対立遺伝子の対のひとつの要素が、他方に対して完全に優性でないこと

- ・オシロイバナの花色の遺伝で赤 (RR) と白 (rr) を交雑した F1 はすべて両親の中間のピンク (Rr) となるが、F2 では赤 (RR) : ピンク (Rr) : 白 (rr) = 1 : 2 : 1



花粉(♂)		
配偶子(♀)	r	r
R	Rr	Rr
R	Rr	Rr



F1 はすべてピンク (Rr)

注) 赤が白に対して優性であれば F1 はすべて赤になる

図 4. 不完全優性

超優性 :

- ・ 遺伝子型 Aa のヘテロ個体が、 AA および aa のホモ個体よりもおおきな成長量あるいは繁殖力を示す現象

共優性 :

- ・ 両親それぞれ別の形質を示し、F1 におけるヘテロ個体で両方の形質が現れること
- ・ 対立遺伝子は両方とも完全に発現

複対立遺伝子 :

- ・ ひとつの遺伝子座に 3 つ以上の対立遺伝子が存在すること

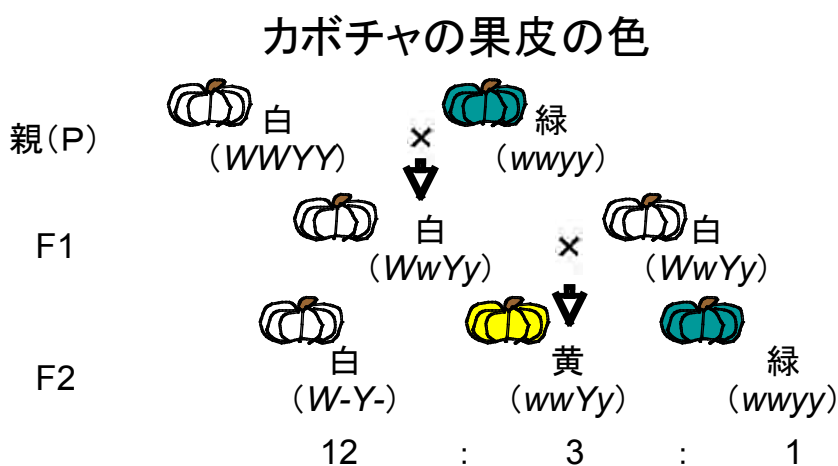
非対立遺伝子間の相互作用 :

- ・ 別々の遺伝子座にある 2 つの遺伝子の中で相互作用がはたらき、両座の対立遺伝子の組合せによる遺伝子型から考えられる表現型と異なる場合
- ・ 二遺伝子雑種の F2 での $9 : 3 : 3 : 1$ の基本分離比からずれることによって検出される
- ・ $A-a$ 、 $B-b$ の二組の対立遺伝子による相互作用は、以下の 6 種類が

知られる

1) 優性上位 :

・一方の優性遺伝子 (A) がほかの優性 (B) あるいは劣性 (b) 遺伝子の作用をおおい隠す場合



優性遺伝子 W は Y 、 y のはたらきを抑えて発色させないため、 W が存在すると白

図 5. 優性上位

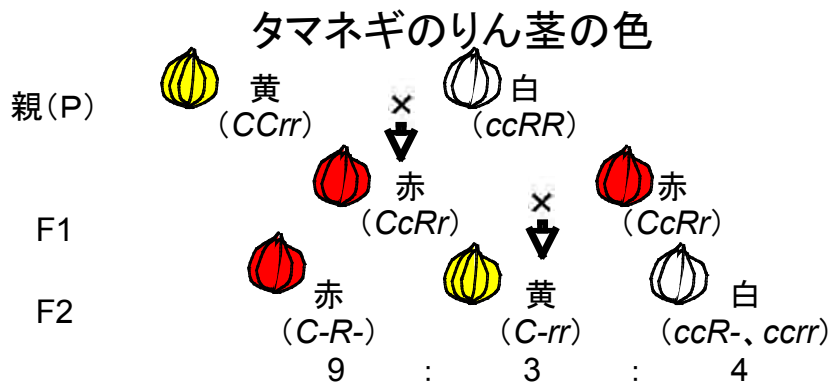
・ $AABB$ 、 $AaBB$ 、 $AbBb$ がすべて $Abbb$ 、 $Aabb$ と同じ表現型になるため、 F_2 では $12 : 3 : 1$ の分離比となる

2) 劣性上位 :

・一方の劣性遺伝子 (a) が他方の優性 (B) あるいは劣性遺伝子 (b) の作用をおおい隠す場合

・ $aaBB$ 、 $aaBb$ 、 $aabb$ が同じ表現型になるため F_2 の分離比は $9 : 3 :$

4



- ・Cは劣性遺伝子であるにも関わらず、優性遺伝子Rの発現をおさえてしまうので、Rに対し劣性上位
- ・二組の対立遺伝子のうち、Cは単独で黄色の形質を発現するが、RはCが共存するときのみ赤色を発現する条件遺伝子

図6. 劣性上位

3) 補足遺伝子による遺伝:

- ・ある形質の発現に対して、二組の遺伝子が互いに補足しあう場合
- ・AAbb、Aabb、aaBB、aaBb がすべて aabb と同じ表現型になるため F2 の分離比は 9 : 7
- ・色素の合成のようにおのおのの遺伝子が一連の生化学的反応に関与 (どちらか一方が突然変異をおこせば反応停止)

スイートピーの異なる2系統の白花の交配

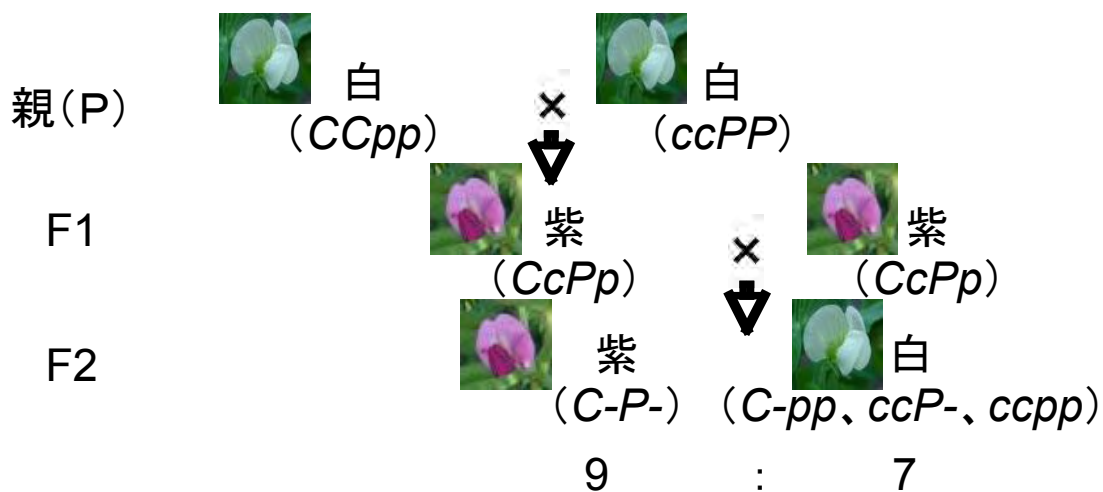


図7. 補足遺伝子

4) 重複遺伝子 :

- ・二組の遺伝子が同一の形質に関係している場合で、劣性形質を示すものは $aabb$ だけなので、F2 では 15 : 1 に分離

ナズナの果実の形

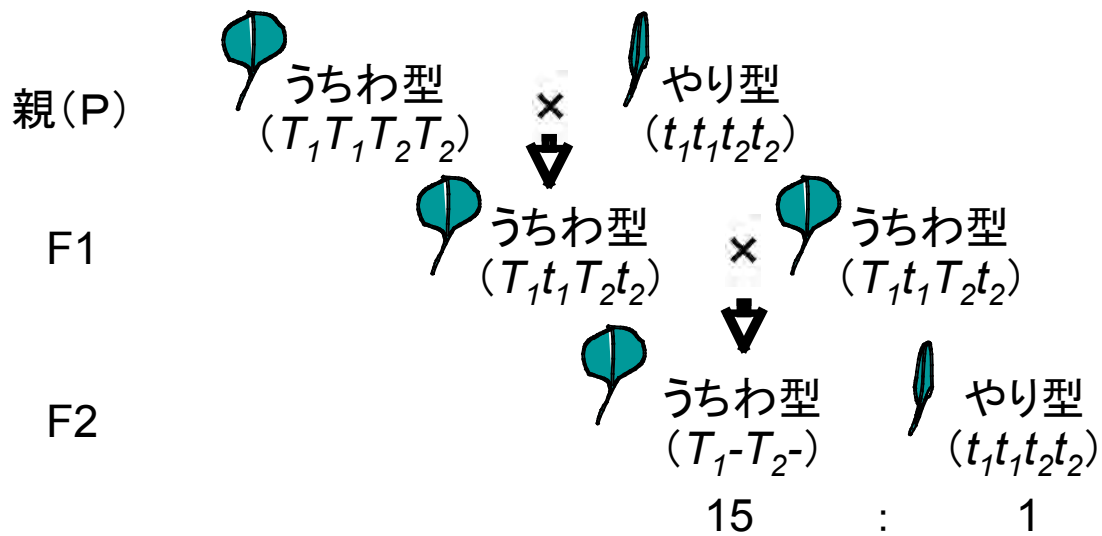


図 8. 重複遺伝子

5) 相加遺伝子 :

- ・ A と B が同じ形質を支配する遺伝子で、両者が共存すると効果が加算される場合
- ・ $Aabb$ 、 $Aabb$ 、 $aaBB$ 、 $aaBb$ が同じ表現型になり、F2 では 9 : 6 : 1 に分離
- ・ A と B の遺伝子は相互に等位

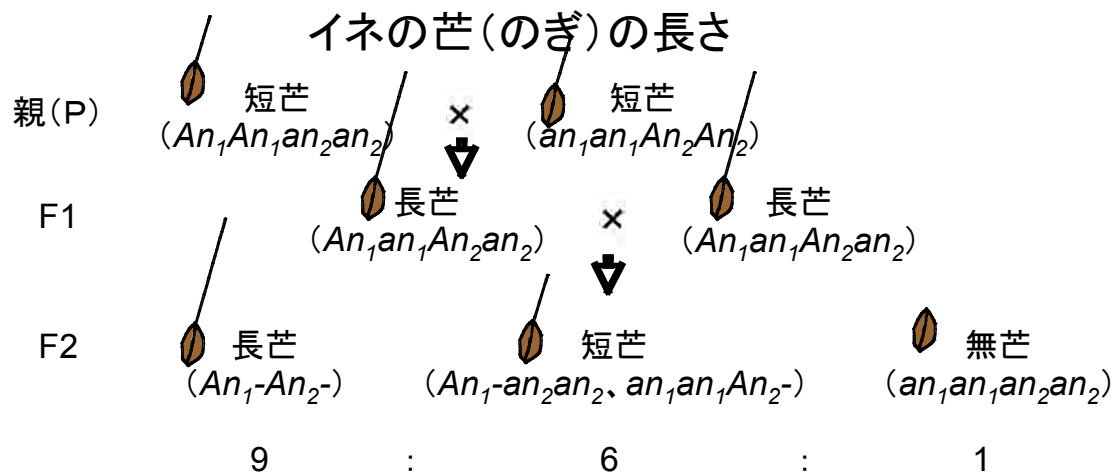
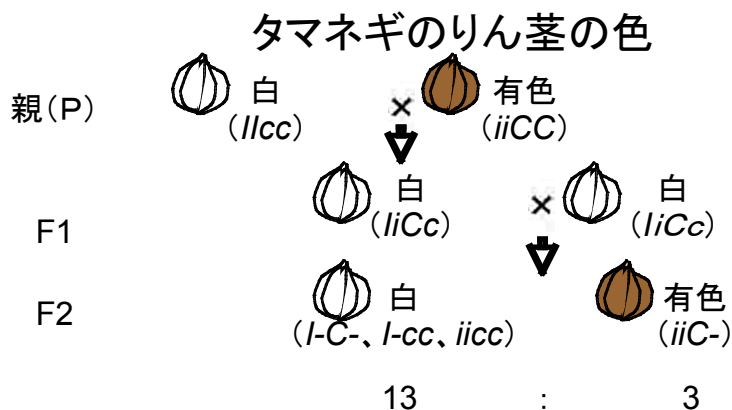


図9. 相加遺伝子

6) 抑制遺伝子 :

- ある形質を発現する遺伝子に作用して、その形質発現を抑制する遺伝子
- $aaBB$ 、 $aaBb$ を除き、すべて $aabb$ と同じ表現型
- F2 の分離比は 13 : 3



- 優性の抑制遺伝子 (I)は有色の優性遺伝子 (C)の発現をおさえて白色となる

図10. 抑制遺伝子

2 種類の対立遺伝子間の相互作用

F2の遺伝子型	$AABB$ 1 $AaBB$ 2	$AABb$ 2 $AaBb$ 4	$Aabb$ 1 $Aabb$ 2	$aaBB$ 1 $aaBb$ 2	$aabb$ 1
F2の表現型	AB 9		Ab 3	aB 3	ab 1
完全独立	9	3	3	1	
優性上位性	12		3	1	
劣性上位性	9	3	4		
補足遺伝子	9	7			
重複遺伝子	15			1	
相加遺伝子	9	6		1	
抑制遺伝子	13		3		

表 3. 2 種類の対立遺伝子の相互作用による分離比

表 3. は 2 種類の対立遺伝子の相互作用による分離比をまとめたもの。

クンシラン育種の現状：

- ・ クンシランの遺伝子に関しては、花色に関する遺伝子は研究されているが、姿、形等の遺伝子は良くわかっていない
- ・ 一部のマニアが、系統立てて育種を行っているが、データとしてはまだ不十分である
- ・ 各人のデータの集積が重要
- ・ 交配に際してはきちんと除雄（雄しべを花粉が開く前に取り除く）を行う
- ・ 交配後は虫が花粉を媒介しないように注意
- ・ 特に、同じ名前でも販売されていても、実生品の場合遺伝子は全く異なるので、**個体識別が重要**
- ・ 交配の記録をきちんととる

赤字で示したところは特に重要です！

黄花ダルマを目指す場合、黄花に橙花ダルマを交配した場合 F1 は交配が行われていけば赤軸になるので確認できますが、逆の組合せによる場合、黄花の花粉によって受精が起っても、橙花の花粉（自家受粉）による受精が起ってもいずれの場合も F1 は赤軸になるため、本当にヘテロになっているかどうかは、F2 を得るまでわからないため！

自分で交配を行なった場合はあきらめも付きますが、種子を購入した場合、結果がわかった時にクレームを着けても業者に責任逃れされてしまいます！

橙花に黄花を交配した種子を購入する場合は、信頼の置けるところから入手することをお勧めいたします！！

遺伝子の事がわからなくても、自分の交配結果をきちんと記録しておけば、自分が目指す形質がどのような遺伝様式を取るのか理解できますし、そうすることによって育種のスピードを上げる（無駄な交配を減らせる）事ができます。

育種 (breeding) :

- ・栽培植物や家畜などにおいて、より人間に有用な品種をつくり出すこと (家畜や栽培植物は数千年の歴史の中で、有用な特徴のあるものを選び、それを優先して育てることによって作り出されてきた)
- ・育種は、多くの場合既存の品種の劣った形質を改良していくため、「品種改良」ともよばれる
- ・具体的な方法としては、人為的な選択、交雑、突然変異を発生させる方法等を用いる
- ・1865年にメンデルにより「メンデルの法則」が発見され、より効率的に改良を進めることが可能となった
- ・育種法には分離育種、交雑育種、突然変異育種、倍数体育種等がある

交雑育種 (hybridization breeding) :

- ・交雑 (交配) を人為的に行って新しい品種を育成する方法
- ・最も基本的な育種法
- ・交雑によって起る変異が最も広く各種の型のものを含む
- ・両親の性質を組み合わせた希望型を育成する「組合せ育種」ばかりでなく、両親いずれよりもまさった希望型も育成する「超越育種」も可能
- ・交雑育種では、両親、交雑組合せから子孫の性質をある程度予想できる

遺伝 (heredity) :

- ・親の形質が、子やそれ以後の世代に現れる現象をいう
- ・表現型の伝わり方、すなわち遺伝現象には規則性がある
- ・メンデル (G.J.Mendel) が 1865 年にエンドウを使った実験で明

らかにし「植物雑種に関する実験」として報告した

メンデルの（遺伝）法則（Mendel's laws）：

- ・ 遺伝の根本法則
- ・ 一般には「分離の法則」、「独立の法則」、「優劣の法則」からなる

優劣の法則：

- ・ 雑種第一代（F1）において二つの対立形質のうちいずれか一方だけが現れること
- ・ この表現される形質を優性、隠されている形質を劣性とよぶ
- ・ クンシランでは一般的に見られる橙花（野生型）が優性、突然変異によって生じた黄花は劣性
- ・ 遺伝学でいう優性・劣性とは、交配したときに雑種1代目（F1）で表に現れる形質を優性（クンシランの橙花と黄花の交配では F1 は全て橙花）、隠れてしまう形質（黄花）が劣性
- ・ クンシランの花色を決めている橙花の遺伝子を $Y1$ 、黄花の遺伝子を $y1$ で表すと、通常の花の遺伝子型は $Y1Y1$ 、黄花の遺伝子型は $y1y1$ （通常優性の遺伝子を大文字、劣性の遺伝子を小文字で表す）

なぜ、 $Y1Y1$ 、 $y1y1$ と対の形？

- ・ 遺伝子は細胞内の核に存在する染色体に乗っている
- ・ 同じ染色体を生物（植物）は両親から一本ずつ受け取り、対で持っている（クンシランは 11 種類の染色体を対で持つため $2n=22$ ）

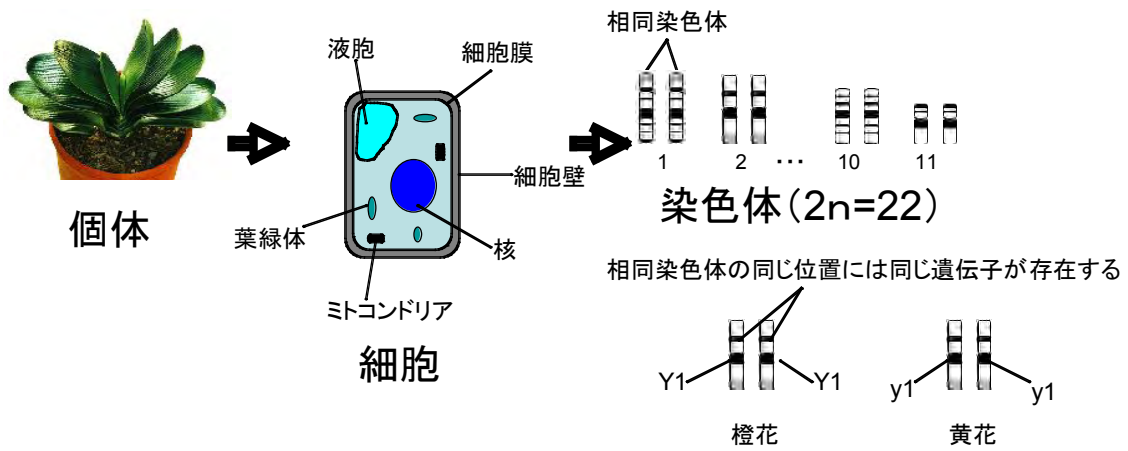


図 1 1. クンシランの染色体数

減数分裂：

・卵細胞（配偶子）や花粉がつくられる際に、染色体の倍化後、分裂が引き続き起こることによって染色体数が半分になる分裂方法

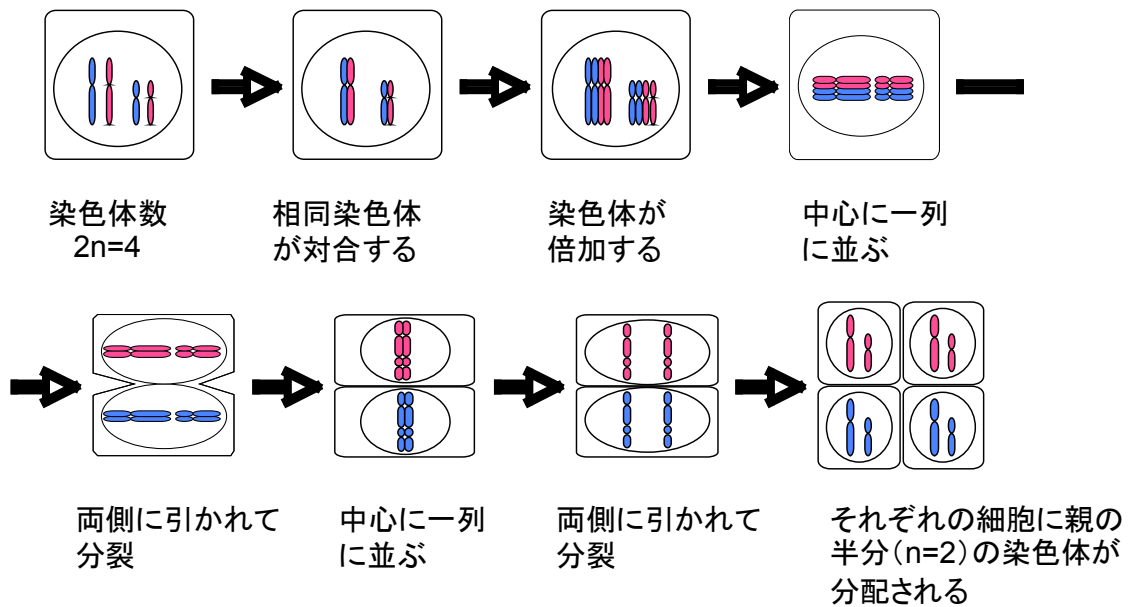


図 1 2. 減数分裂模式図

個体・細胞・染色体・遺伝子

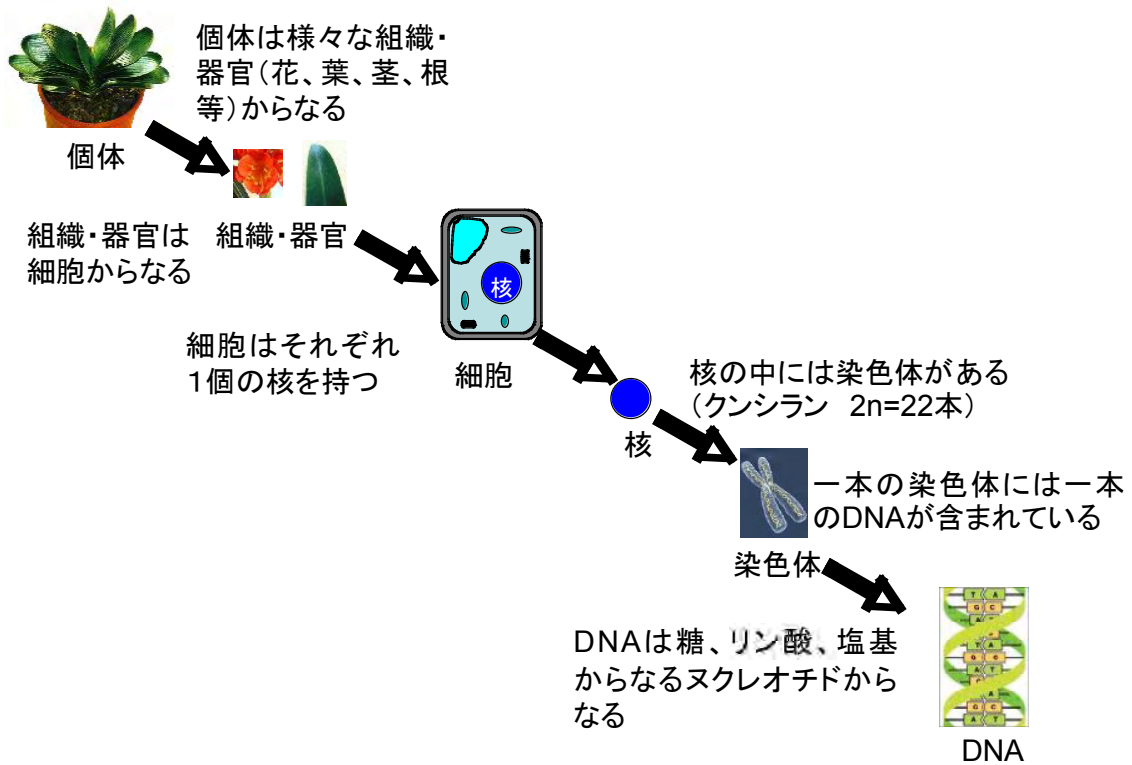


図 1 3 . 遺伝子の本体は DNA

遺伝暗号表

		第二文字								
		U		C		A		G		
第一文字	U	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	
		UUC		UCC			UAC		UGC	
		UUA	Leu	UCA		UAA	終止	UGA	終止	
		UUG		UCG		UAG		UGG	Trp	
	C	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	
		CUC		CCC			CAC			CGC
		CUA		CCA			CAA	Gln		CGA
		CUG		CCG			CAG			CGG
	A	AUU	Ile	ACU	The	AAU	Asn	AGU	Ser	
		AUC		ACC			AAC			AGC
		AUA		ACA			AAA	Lys	AGA	Arg
		AUG	ACG			AAG	AGG			
	G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	
		GUC		GCC				GAC		
		GUA		GCA			GAA	Glu		GGA
		GUG		GCG			GAG			GGG

ヌクレオチドはA、T、C、Gの4種類 (RNAではTの代わりにU)。塩基配列 (3つ組コドン) によってアミノ酸配列が決められている。

表4. 遺伝暗号表

染色体 (chromosome) :

- 動植物細胞の有糸分裂の際に紡錘体内に観察される塩基性色素で濃く染まる棒状の構造体
- 染色体すなわち遺伝情報担体

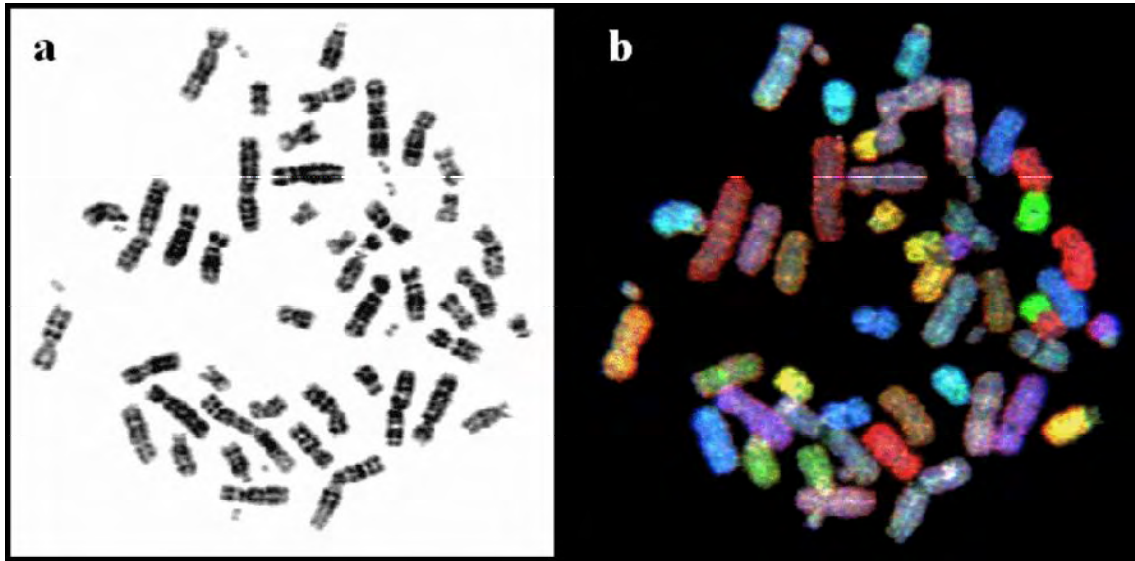


写真1. 染色体

参考 :

植物の遺伝と育種 朝倉書店 (1997)

植物遺伝育種学 裳華房 (1999)

新版植物育種学 文永堂出版 (1991)

岩波 生物学辞典 第3版

Wikipedia

<http://www.shieldsgardens.com/Clivia/Yellows.html>