

## 第1章 カラシナ類における生殖様式の実態と品種間差異の解明

アブラナ科複二倍体種であるカラシナ類 (*Brassica juncea*) は、一般に自家和合性程度が高いが、不完全自殖性作物であるとされている (Kakizaki 1925)。一方では、カラシナ類の自家和合性程度にはかなりの種内変異がみられるという報告がある (Olsson 1960a)。また、カラシナ類は自家花粉を柱頭に自家受粉する花器形質をもつ (Howard *et al.* 1916) ため、花粉媒介昆虫は種子収量に貢献していないとされている (Free and Spencer-Booth 1963) が、日本ではカラシナ類の維持、増殖のために花粉媒介昆虫が利用されている (生井 1983b)。このように、カラシナ類の生殖様式に関しては統一された見解が得られておらず、詳細については不明な点も多い。

そこで、アジア3ヶ国のカラシナ類21品種について、自家和合性程度ならびに、自動自家受粉能力の品種間差異を調べた。さらにこれら両形質に特徴的な8品種について自動自家受粉能力に関連する花器形質の品種間差異を明らかにし、自動自家受粉能力と花器形質との関係を追究することによって、カラシナ類の生殖様式を明確にすることを試みた (八城ら 2001)。

### 第1節 人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率の品種間差異

一般に、自家和合性程度が高く、かつ花粉媒介昆虫のいない条件下での自家受粉能力である自動自家受粉能力の高い植物では、花粉媒介者のいない状況下でも高い結実率が得られる。エンドウ、ダイズ、イネなどは自家和合性程度が高く、花粉媒介者がいない条件でも自家受粉できる完全な自殖性作物であるが、トウモロコシなどは自家和合性であるが雌雄異花かつ雌雄異熟であるため自家

受粉できない他殖性作物である。

不完全自殖性であるカラシナ類の花は、4本の長い雄蕊と2本の短い雄蕊および中央に雌蕊を備えた典型的な両性花であり、自動自家受粉が可能である。したがって、カラシナ類の生殖様式も自家和合性程度と、自動自家受粉能力の強弱によって決まる(生井1991; Namai *et al.* 1992)。カラシナ類は自動自家受粉のみでも受精・結実できるが、1花当たり約20の胚珠を有するカラシナ品種「黄からしな」では花粉媒介昆虫や風を媒介として400粒以上の自家・他家混合花粉が受粉されれば、90%以上の結実率が期待される(大澤・生井1987)。カラシナ類の自家和合性程度にはかなりの種内変異がみられるという報告がある(Olsson 1960a)が、自動自家受粉能力に関する報告はなされていない。

そこで、中国、日本およびタイのカラシナ類21品種について、自家和合性程度ならびに、自動自家受粉能力の品種間差異を調べた。

#### 材料および方法

供試材料として、当研究室で保存中の中国の10品種、「Chinese broad leaf」(Exp. No. C1)、「榨菜(Zatsai)(S6-28)」(C2)、「榨菜(S7-1)」(C3)、「榨菜(T2B-7)」(C4)、「雪裡紅(Celifon)」(C5)、「瘤子芥(Liu-Zi Chie)」(C6)、「体心芥菜(Tah-Shin Chie-Tsai)」(C7)、「大坪埔包心芥菜(Tah-Ping-Puh Pau-Shin Chie-Tsai)」(C8)、「鳳屋春芥菜(Feng-Uei Chun Chie-Tsai)」(C9)、「小芥菜(Tiau Chie-Tsai)」(C10)、日本の5品種、「葉からしな(Hakarashina)」(J1)、「かつお菜(Katsuona)」(J2)、「黄からしな(Kikarashina)」(J3)、「芹葉からし(Serihakarashi)」(J4)、「島菜(Shimana)」(J5)、タイの6品種、「Champion」(T1)、「Chun chaai」(T2)、「M. 3」(T3)、「Knock out」(T4)、「Mustard green」(T5)、「P. S-1」(T6)の合計21品種を用いた(表1-1)。

1990年2月下旬に筑波大学農林技術センター内のビニルハウス内で播種し、4

月下旬に 6 号植木鉢 (直径 18cm) に移植し、開花直前にガラス室内の隔離網室に入れ、花粉媒介昆虫や風などの花粉媒介者排除下で生育させた。自家和合性程度を評価するために、各品種とも開花が始まった花房数が 6 花房以上の各 6 個体について、3 花房の開花当日の各 4 花に多量の花粉を用いた人工自家受粉を行った。また、自動自家受粉能力を評価するために、別の 3 花房について各花房中央の 15 花に自然受粉すなわち自動自家受粉を行わせた。各個体それぞれの結実率を求め、各品種 6 個体の平均値をその品種の結実率とした。人工自家受粉による結実率は多量の自家花粉による結実率であるため、自家和合性程度の推定値を示す。自動自家受粉による結実率は自家和合性程度と自動自家受粉能力の大きさを反映している。そこで、各品種の自動自家受粉能力を推定するために、自家和合性程度の変異を考慮した上で、下記の式により自家受粉結実率に対する相対値としての推定自動自家受粉能力を求めた。

$$\text{推定自動自家受粉能力} = \frac{\text{自殖性程度}}{\text{自家和合性程度}} = \frac{\text{自動自家受粉結実率}}{\text{人工自家受粉結実率}} \quad (1-1)$$

## 結果

表 1-1 に各品種の人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率の各平均値および変動係数を示した。いずれの値にも有意な品種間差異が認められ、人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率は「Knock out」(T4) のそれぞれ 51.4%、32.4%から「瘤子芥」(C6) のそれぞれ 88.4%、70.8%まで幅広い品種間差異が認められた。なお、人工自家受粉結実率は 1000 粒以上の多量の自家花粉による結実率であるため、自家和合性程度の推定値として用いられる。この人工自家受粉結実率と推定自動自家受粉能力の間には  $r = -0.318$  で有意な相関は認められなかった (図 1-1)。自動自家受粉結実率と推定自動自家受粉能力との間には  $r = 0.750$  で 1%水準の有意な正の相関が示された (図 1-2)。また、ほとんどの品種において人工自

表 1-1. 隔離網室で栽培した 21 品種の人工自家受粉結実率，自動自家受粉結実率の平均値および変動係数

品種名	実験 番号	(a) 人工自家受粉 結実率 (%) (変動係数 (%))	(b) 自動自家受粉 結実率 (%) (変動係数 (%))	(a)-(b)
<b>(1) 中国品種群 (China)</b>				
Chinese broad leaf	(C1)	63.7 (12.1) bcd <sup>1)</sup>	59.4 (13.0) abc	4.3
榨菜 (S6-28)	(C2)	77.0 (7.7) abc	44.0 (12.3) cde	33.0**
榨菜 (S7-1)	(C3)	80.1 (8.1) ab	40.5 (11.1) de	39.6**
榨菜 (T2B-7)	(C4)	80.4 (7.5) ab	52.7 (16.7) bcd	27.7**
雪裡紅	(C5)	73.4 (7.1) abc	51.0 (20.4) bcd	22.4**
瘤子芥	(C6)	88.4 (9.6) a	70.8 (12.3) a	17.6**
体心芥菜	(C7)	74.8 (12.2) abc	44.6 (19.5) cde	30.2**
大坪埔包心芥菜	(C8)	78.0 (20.3) abc	61.0 (31.8) abc	17.0
鳳屋春芥菜	(C9)	65.3 (21.0) bcd	48.3 (31.1) cde	17.0
小芥菜	(C10)	69.4 (17.9) bc	50.9 (30.5) bcd	18.5*
中国品種群平均		75.1 A	52.3 A	
<b>(2) 日本品種群 (Japan)</b>				
葉からしな	(J1)	80.0 (17.1) ab	51.3 (37.4) bcd	28.7*
かつお菜	(J2)	78.3 (17.2) ab	55.4 (16.4) abcd	22.9**
黄からしな	(J3)	78.7 (23.5) ab	49.2 (19.9) cde	29.5**
芹葉からし	(J4)	78.6 (12.8) ab	49.6 (18.3) cd	29.0**
島菜	(J5)	74.2 (13.7) abc	54.9 (25.3) abcd	19.3*
日本品種群平均		78.0 A	52.1 A	
<b>(3) タイ品種群 (Thai)</b>				
Champion	(T1)	60.6 (32.7) cd	46.6 (44.2) cde	14.0
Chun chaai	(T2)	68.9 (20.8) bc	67.0 (10.1) ab	19.0
M. 3	(T3)	66.4 (25.3) bcd	59.6 (22.0) abc	6.8
Knock out	(T4)	51.4 (18.7) d	32.4 (38.0) e	19.0*
Mustard green	(T5)	64.0 (21.1) bcd	50.0 (23.6) bcd	14.0
P. S-1	(T6)	71.3 (9.5) abc	46.8 (22.6) cde	24.5**
タイ品種群平均		63.7 B	50.4 A	

<sup>1)</sup> 各結実率について Duncan の多重検定を行い，小文字および大文字の同じアルファベットは品種間，地域品種群間において 5%水準で有意差のないことを示す。

\*, \*\*はそれぞれ 5%, 1%水準で有意差があることを示す。

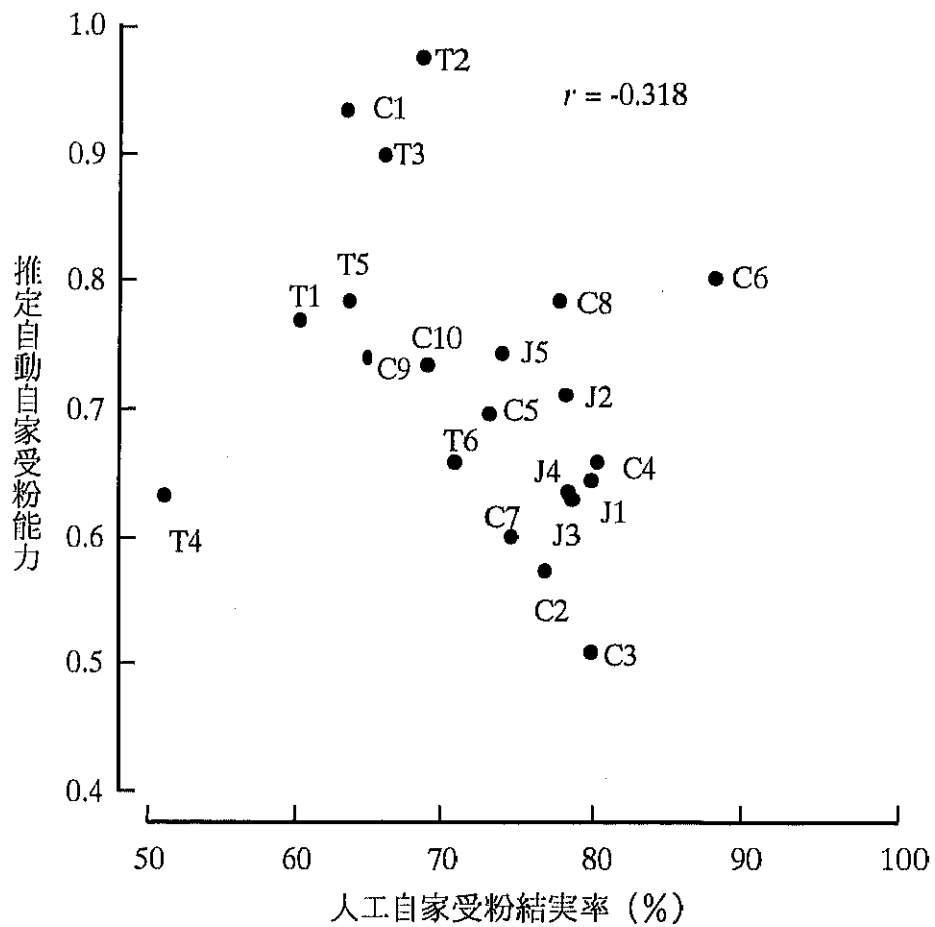


図1-1. 隔離網室において栽培した21品種の人工自家受粉結実率と推定自動自家受粉能力の関係.

●の傍の文字は表1-1に示した実験番号を示す.

推定自動自家受粉能力 = 自動自家受粉結実率 ÷ 人工自家受粉結実率

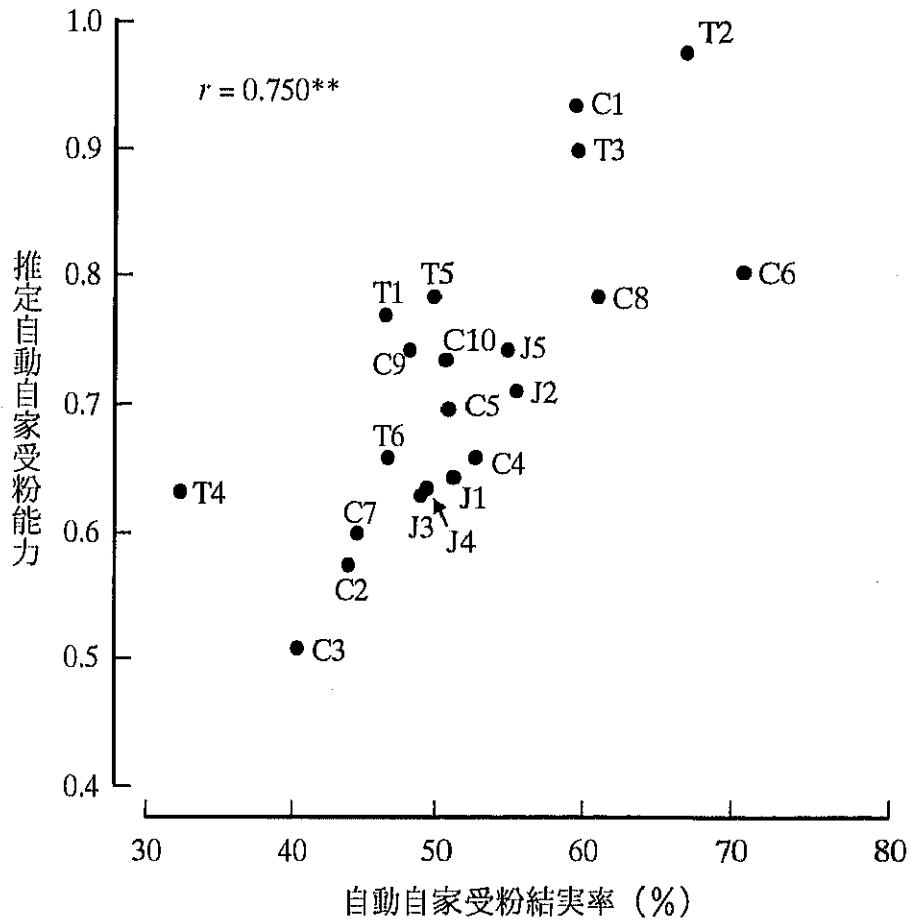


図1-2. 隔離網室において栽培した21品種の自動自家受粉结实率と推定自動自家受粉能力の関係.

●の傍の文字は表1-1に示した実験番号を示す.

推定自動自家受粉能力 = 自動自家受粉结实率 ÷ 人工自家受粉结实率

家受粉結実率は自動自家受粉結実率より有意に高い値を示したが、両者の間に有意な相関は認められなかった ( $r = 0.382$ ).

供試品種は人工自家受粉結実率も自動自家受粉結実率も高い「瘤子芥」(C6) および両者とも低い「Knock out」(T4), 人工自家受粉結実率が高いが自動自家受粉結実率は低いグループ (「榨菜 (S7-1)」(C3), 「黄からしな」(J3), 「芹葉からし」(J4) など), 両者とも中程度であるタイのグループ (「Knock out」(T4) を除く) というように, 人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率について様々な組み合わせの品種があることが分かった. タイの品種群は中国や日本の品種群と比較して人工自家受粉結実率が低かった (表 1-1).

また, 人工自家受粉結実率の変動係数は「Champion」(T1) のみが 30%以上であったが, 「榨菜 (S6-28)」(C2), 「榨菜 (S7-1)」(C3), 「榨菜 (T2B-7)」(C4), 「雪裡紅」(C5), 「瘤子芥」(C6), 「P. S-1」(T6) では 10%以下であった. 自動自家受粉結実率においては「葉からしな」(J1), 「Champion」(T1), 「Knock out」(T4) では 35%以上であったが, 「Chinese broad leaf」(C1), 「榨菜 (S6-28)」(C2), 「榨菜 (S7-1)」(C3), 「瘤子芥」(C6), 「Chun chaai」(T2) は 15%以下であり, 品種により個体間変異に大きな違いが認められた. なお, 人工自家受粉結実率の高い品種ほど, 自家和合性程度の個体間変異が小さくなる傾向が認められた. すなわち, 「Champion」(T1) は自家和合性程度が低く, 個体間変異の大きい品種であり, 「榨菜 (S7-1)」(C3), 「榨菜 (T2B-7)」(C4), 「瘤子芥」(C6) は自家和合性程度が高く, 個体間変異の小さい品種であった.

## 考察

カラシナ類の自家受精によって結実できる自家和合性程度と花粉媒介者のいない条件下での自家受粉能力である自動自家受粉能力に関して, 供試した品種については, 自動自家受粉結実率と自動自家受粉能力を計算によって求めた推

定値との間には有意な正の相関が示されたことから、自動自家受粉結実率を自動自家受粉能力の推定値として用いられることが分かった。このことに基づいて、カラシナ類には自家和合性程度ならびに自動自家受粉能力に幅広い品種間差異があるために、自殖性程度に幅広い品種間差異が存在することが明らかとなった。すなわち、自家和合性程度と自動自家受粉能力がともに高い「瘤子芥」(C6) は自殖性程度が高い品種である。自家和合性程度と自動自家受粉能力がともに低い「Knock out」(T4)、および自家和合性程度は高いが自動自家受粉能力の低い「榨菜(S7-1)」(C3)、「黄からしな」(J3)、「芹葉からし」(J4)などは自殖性程度の低い品種であり、昆虫の訪花などで受粉が促されれば結実率が高まる性質を示す品種である。なお、この場合、後者の自家和合性程度は高いが自動自家受粉能力の低い「榨菜 (S7-1)」(C3)、「黄からしな」(J3)、「芹葉からし」(J4)の3品種は、自家和合性程度も低い「Knock out」(T4)よりも結実種子における自殖種子の割合が高い品種であるものと推定される。これらの結果から、供試品種の多くは自家和合性を有しているが、十分な結実を得るためには、昆虫や風などの花粉媒介者が不可欠であることが明らかである(八城ら 2001)。

人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率の個体間変異についてみると、タイの品種群には全体的に中国の品種群や日本の品種群よりも自動自家受粉結実率に大きな変異がみられ、自家和合性程度を表す人工自家受粉結実率があまり高くなく、個体間変異の大きい品種が多かった。このことから、タイ地域のカラシナ類については、自殖性程度を高め、安定した結実を示す方向への選抜が可能であると推測される(八城ら 2001)。

人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率との間には相関がないことから、自家和合性程度と自動自家受粉能力は独立した形質であるといえる。ナタネなどアブラナ科複二倍体作物品種の自家和合性程度や自動自家受粉能力は遺伝形



質であり、品種育成地の花粉媒介昆虫の多少による自然選択を受け、品種間に変異が生じてきたことが推定されている (Namai and Ohsawa 1987)。本研究の結果、両形質に明確な品種間差異がみられたことから、これらの形質は遺伝的に制御されているものと考えられ、Namai and Ohsawa (1987) の結果と一致した。また、植物の生殖様式の進化の一つの方向は他殖性から自殖性であると考えられている (Stebbins 1957; Jain 1976; Fægri and Pijil; 1979; Wyatt 1983, 1984)。自家和合性程度と自動自家受粉能力が低い値を示す完全他殖性植物から両形質が高い値を示す完全自殖性植物へと進化していく過程には、様々な経路があるものと考えられる (生井 1991)。自家和合性程度と自動自家受粉能力には様々な組み合わせがあることから、生井 (1991) が指摘しているようにそれぞれの形質は独立に選択圧を受けて、他殖性から自殖性へと進化することが示唆される。

したがって、カラシナ類には自動自家受粉によって結実できる能力の程度を示す自殖性程度について個体間変異が大きい品種もあり、このような品種は遺伝的に安定しておらず、環境の変動や栽培条件によって品種分化が起こり易い品種であると推測される。

## 第 2 節 花器形質の品種間差異と自動自家受粉粒数および自動自家受粉結実率との関係

自動自家受粉能力には雌雄蕊の位置関係が大きく関与しているとされている (Kohn and Barrett 1992)。カラシナ類の花は、4本の長い雄蕊と2本の短い雄蕊ならびに1本の柱頭をもつ雌蕊からなる完全花であるが、雌雄蕊の位置関係など生殖様式に関わる花器形質の詳細な研究はなされていない。このようなカラシナ類の生殖様式を解明するためには、様々な品種について自家和合性程度や自

動自家受粉能力を明らかにするとともに、これらの形質について葯と柱頭の接触程度や位置関係などの花器形質との関係を明らかにする必要がある。

そこで、花器形質の品種間差異と自動自家受粉能力との関係を明らかにするために、第1節で供試した21品種のうち、生殖様式に特徴のある8品種について、花器形質の品種間差異を明らかにし、自動自家受粉能力と花器形質との関係を追究することによって、カラシナ類の生殖様式を明確にすることを試みた。

### 材料および方法

第1節で供試した21品種のうち、人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率に関して、(a) 両者とも高い1品種（「瘤子芥」(C6)）、(b) 両者とも中間的な3品種（「Chinese broad leaf」(C1）、「雪裡紅」(C5）、「M. 3」(T3)）、(c) 人工自家受粉結実率は高いが自動自家受粉結実率は低い3品種（「榨菜 (S7-1)」(C3）、「黄からしな」(J3）、「芹葉からし」(J4)）、(d) 両者とも低い1品種（「Knock out」(T4)）の合計8品種（表1-1、表1-2）を供試し、1991年に前年と同様の方法によって隔離温室の中で栽培した。

開花が揃った品種より順次、各品種12個体、1個体当たり5花について、午前7時前後に開花した花を調査対象花として用い、開花1時間後と2時間後の開葯程度と長い4本の雄蕊の葯について柱頭への接触本数を調査した。なお、予備実験の結果から4本の雄蕊の葯は同調して開葯し、時間の経過とともに葯は柱頭より離れていくことが分かっている。さらに、各品種5個体、1個体当たり5花について、開花2時間後にマイクロ画像解析装置を用いて図1-3に示した(1)から(7)までの項目について調査した。すなわち、雄蕊形質として(1)葯の長さ(2)花糸の長さ、雌蕊形質として(3)雌蕊の長さ、葯と柱頭の位置関係を示す形質として(4)葯と柱頭の距離と(5)葯上端と柱頭との高低差、雌蕊と花弁との位置関係を示す形質として(6)花冠の深さおよび(7)雌蕊と花弁の

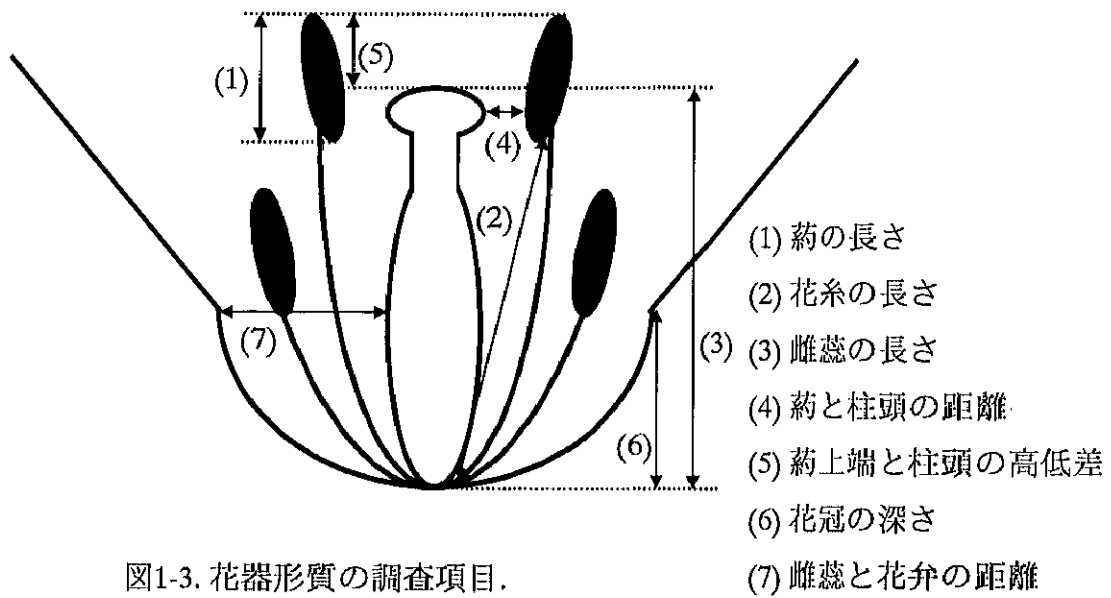


図1-3. 花器形質の調査項目.

距離である。また、開花後の時間的経過による自動自家受粉能力の変化の品種間差異と花器形質との関係を明らかにするために、各品種 8 個体、1 個体当たり 3 花について、開花後 2~3 時間経過した花の雄蕊の葯を全て除雄して、受粉花粉が受精したと考えられる開花 2 日後に柱頭を採取して顕微鏡下で受粉粒数を調査し、開花後 2~3 時間までの自動自家受粉粒数を求めた。なお、調査対象花は除雄されるまで自動自家受粉がなされる状態であるが、除雄された時点では葯と柱頭は接触していないことを確認しており、その後は同一花内の自動自家受粉がなされない状態である。調査対象花について結実まで至らせることによって、花器形質と自動自家受粉粒数、自動自家受粉結実率との関係を分析した。さらに、ここでの除雄した場合と上記 1 における除雄しない場合の自動自家受粉結実率を比較することで、自動自家受粉能力の時間的変化を解析した。

## 結果

表 1-2 に各品種の開花 1, 2 時間後に開葯が確認された花の割合と柱頭への葯の平均接触本数を示した。両形質とも各時間において有意な品種間差異が認められた。「榨菜 (S7-1)」(C3)、「Knock out」(T4) は「瘤子芥」(C6)、「雪裡紅」(C5)、「M. 3」(T3)、「黄からしな」(J3) よりも開葯が早く、「M. 3」(T3)、「Knock out」(T4) は「榨菜 (S7-1)」(C3)、「黄からしな」(J3)、「芹葉からし」(J4) よりも柱頭への葯の接触本数が多かった。開花 2 時間後には、ほとんどの花が開葯していたが、多くの花の柱頭への葯の接触本数は開花 1 時間後よりも減少していた。

表 1-3 に開花 2 時間後の花器形質の平均値を示した。測定した 7 つの花器形質のうち、(4) 葯と柱頭の距離以外の 6 形質では品種間差異が認められた。自家和合性程度と自動自家受粉能力がともに高い「瘤子芥」(C6) は、(1) 葯の長さ、(2) 花系の長さが他品種に比べて長く、(5) 葯上端と柱頭との高低差が 1.30mm

表 1-2. 隔離網室で栽培した 8 品種における開花 1 時間後と開花 2 時間後における開葯花率と柱頭に接触した葯数

品種名	実験 番号	開葯花率 (%)		柱頭に接触した葯数	
		1 時間後	2 時間後 <sup>2)</sup>	1 時間後	2 時間後
(a) 高高グループ <sup>3)</sup>					
瘤子芥	(C6)	57.0	d <sup>4)</sup> 82.0	c	3.7 <sup>5)</sup> a 2.8abc
(b) 中中グループ					
Chinese broad leaf	(C1)	74.3	bc	100.0a	2.7 bc 2.0 bcd
雪裡紅	(C5)	59.6	d	91.7abc	3.7a 3.0abc
M. 3	(T3)	54.2	d	88.9abc	4.0a 4.0a
(c) 高低グループ					
榨菜 (S7-1)	(C3)	89.6a		97.2ab	3.3ab 1.3 cd
黄からしな	(J3)	56.3	d	87.5 bc	2.2 c 0.5 d
芹葉からし	(J4)	65.4	cd	81.3 c	2.5 c 1.5 cd
(d) 低低グループ					
Knock out	(T4)	83.5ab		100.0a	4.0a 3.3ab

1) これら 8 品種は表 1-1 に基づいて 21 品種から選ばれた。

2) 開花 1 時間後と開花 2 時間後を示す。

3) (a) 高高グループ: 人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率がともに高いグループ。 (b) 中中グループ: 人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率がともに中程度のグループ。 (c) 高低グループ: 高い人工自家受粉結実率と低い自動自家受粉結実率のグループ。 (d) 低低グループ: 人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率がともに低いグループ。

4) 各項目の時間ごとに品種間で Duncan の多重検定を行い、同じアルファベットは 5%水準で有意差のないことを示す。

5) 四強雄蕊で調査したため最大値は 4.0。

表 1-3. 隔離網室で栽培した 8 品種における開花 2 時間後の花器形質の平均と変動係数

品種名	実験 番号	(1) 葯の 長さ <sup>2)</sup>	(2) 花糸 の長さ	(3) 雌蕊 の長さ	(4) 葯と柱 頭の距離	(5) 葯上端 と柱頭の 高低差	(6) 花冠 の深さ	(7) 雌蕊と花 弁の距離
(a) 高高グループ <sup>3)</sup>								
瘤子芥	(C6)	2.10a <sup>4)</sup> (7.7) <sup>5)</sup>	6.49 a (7.2)	7.17a (10.6)	0.31a (52.0)	1.30 a (25.7)	4.61 ab (8.9)	1.11 a (14.7)
(b) 中中グループ								
Chinese broad leaf	(C1)	2.03a (5.4)	5.81 ab (8.3)	7.14a (6.7)	0.13a (71.7)	0.65 b (51.6)	4.09 b (7.7)	1.00 abc (5.6)
雪裡紅	(C5)	1.92a (3.4)	5.93 ab (4.7)	7.26a (4.0)	0.16a (22.6)	0.52 b (56.8)	4.28 b (6.0)	0.91 abc (6.3)
M. 3	(T3)	1.55 c (12.2)	6.36 a (7.5)	7.04a (7.6)	0.32a (113.3)	0.66 b (37.6)	4.18 b (10.2)	0.87 bcd (8.6)
(c) 高低グループ								
榨菜 (S7-1)	(C3)	1.59 c (23.2)	5.34 b (9.5)	6.14 b (7.0)	0.15a (58.4)	0.72 b (40.6)	4.08 b (8.2)	0.67 d (12.1)
黄からしな (J3)	(J3)	2.02a (9.7)	6.29 a (10.2)	7.89a (13.3)	0.26a (54.8)	0.48 b (78.3)	4.33 b (10.8)	1.06 ab (6.9)
芹葉からし (J4)	(J4)	1.64 bc (12.2)	6.11 a (5.1)	7.86a (6.4)	0.27a (44.5)	-0.18 c (87.3)	4.89a (4.9)	0.79 ab (11.6)
(d) 低低グループ								
Knock out	(T4)	1.87ab (6.0)	5.91 ab (8.0)	7.29a (13.6)	0.20a (83.8)	0.38 b (146.4)	4.51 ab (8.5)	0.91 abc (8.4)

<sup>1)</sup> これら 8 品種は表 1-1 に基づいて 21 品種から選ばれた。

<sup>2)</sup> 各調査項目については図 1-1 に示す。単位は mm。

<sup>3)</sup> (a) 高高グループ: 人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率がともに高いグループ。

(b) 中中グループ: 人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率がともに中程度のグループ。

(c) 高低グループ: 高い人工自家受粉結実率と低い自動自家受粉結実率のグループ。

(d) 低低グループ: 人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率がともに低いグループ。

<sup>4)</sup> 各項目ごとに品種間で Duncan の多重検定を行い、同じアルファベットは 5%水準で有意差のないことを示す。

<sup>5)</sup> ( ) 内の数字は変動係数 (%)。

で、(7) 雌蕊と花卉の距離が 1.11mm と葯上端が柱頭より高い位置にある大型の花をもつ品種であることが分かった。一方、自家和合性程度が高く自動自家受粉能力が低い「榨菜 (S7-1)」(C3) は、(1) 葯の長さ、(2) 花糸の長さ、(3) 雌蕊の長さがともに他品種に比べ短く、(7) 雌蕊と花卉の距離が 0.67mm と短い小型の花をもつ品種であることが分かった。また、自家和合性程度が高く自動自家受粉能力が低い「芹葉からし」(J4) は葯が短く柱頭より低い位置にあり、花冠が細長い品種であった。なお、いずれの品種についても (4) 葯と柱頭の距離ならびに (5) 葯上端と柱頭との高低差の変動係数の値が大きく、これらの花器形質は個体間変異または花間変異が大きいことが分かった。「瘤子芥」(C6) は (5) 葯上端と柱頭との高低差の個体間変異が小さく、「Knock out」(T4) はそれが大きい品種であった。

表 1-4 に各花器形質間の相関を示した。有意な相関は (1) 葯の長さ－(7) 雌蕊と花卉の距離の間および、(2) 花糸の長さ－(4) 葯と柱頭の距離の間で示され、葯が長いほど雌蕊と花卉の距離が長くなること、ならびに花糸が長いほど葯と柱頭の距離が長くなることが分かった。また、(2) 花糸の長さ－(3) 雌蕊の長さの間、(2) 花糸の長さ－(7) 雌蕊と花卉の距離の間ならびに、(3) 雌蕊の長さ－(6) 花冠の深さの間には有意な相関は示さなかったものの、花糸が長いほど雌蕊が長く雌蕊と花卉の距離も長くなり、雌蕊が長いほど花冠が深くなる傾向が示された。

表 1-5 に開花 2～3 時間後までの自動自家受粉粒数とそれによる自動自家受粉結実率を示した。供試した 8 品種の自動自家受粉粒数は 7.1 粒～33.2 粒、自動自家受粉結実率は 4.1%～50.3%であり、自動自家受粉粒数、自動自家受粉結実率ともに有意な品種間差異があった。両者の間には  $r = 0.846$  で 1%水準の有意な正の相関があり、自動自家受粉粒数が多いほど自動自家受粉結実率が高くなることが分かった。そこで、開花後の時間的経過による自動自家受粉能力の変化の

表1-4. 隔離網室で栽培した8品種における各花器形質間の相関係数

	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
(1) 葯の長さ <sup>1)</sup>	0.311	0.353	-0.120	0.426	0.053	0.879**
(2) 花糸の長さ		0.639	0.862**	0.179	0.460	0.689
(3) 雌蕊の長さ			0.405	-0.497	0.624	0.499
(4) 葯と柱頭の距離				0.107	0.510	0.300
(5) 葯上端と柱頭の高低差					-0.391	0.462
(6) 花冠の深さ						0.112
(7) 雌蕊と花卉の距離						—

<sup>1)</sup> 各調査項目については図 1-1 に示す。

\*\*は 1%水準で有意であることを示す。



表1-5. 隔離網室で栽培した8品種における開花2～3時間後までの自動自家受粉粒数と自動自家受粉結実率

品種	実験番号	自動自家受粉粒数	自動自家受粉結実率 (%)
(a) 高高グループ <sup>2)</sup>			
瘤子芥	(C6)	33.2a <sup>3)</sup>	50.3 a
(b) 中中グループ			
Chinese broad leaf	(C1)	33.0a	33.3 ab
雪裡紅	(C5)	20.7ab	17.0 bcd
M. 3	(T3)	18.0ab	20.7 bcd
(c) 高低グループ			
榨菜 (S7-1)	(C3)	32.0a	27.4 bc
黄からしな	(J3)	7.1 b	13.5 bcd
芹葉からし	(J4)	12.8 b	4.1 d
(d) 低低グループ			
Knock out	(T4)	14.6 b	9.5 cd

<sup>1)</sup> これら 8 品種は表 1-1 に基づいて 21 品種から選ばれた。

<sup>2)</sup> (a) 高高グループ: 人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率がともに高いグループ. (b) 中中グループ: 人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率がともに中程度のグループ. (c) 高低グループ: 高い人工自家受粉結実率と低い自動自家受粉結実率のグループ. (d) 低低グループ: 人工自家受粉結実率と自動自家受粉結実率がともに低いグループ.

<sup>3)</sup> 各項目ごとに品種間で Duncan の多重検定を行い, 同じアルファベットは 5%水準で有意差のないことを示す.

品種間差異を明らかにするために、開花 2~3 時間後に除雄した場合の自動自家受粉結実率と除雄しない場合の自動自家受粉結実率を比較した (図 1-4)。供試した 8 品種の除雄した場合の自動自家受粉結実率は 4.1%~50.3%であり、除雄しない場合の 32.4%~72.4%よりも各品種とも低い値を示しており、「Chinese broad leaf」(C1)、「雪裡紅」(C5)、「M. 3」(T3)、「黄からしな」(J3)、「芹葉からし」(J4)、「Knock out」(T4) については処理間に有意差があった。したがって、開花後まもなく自動自家受粉が行われる品種と開花後時間をかけて自動自家受粉が行われている品種があることが分かった。

表 1-6 に各花器形質と開花 2~3 時間後までの自動自家受粉粒数およびそれらの花の自動自家受粉結実率との間の相関を示した。(3) 雌蕊の長さで自動自家受粉粒数の間には有意な負の相関があり、(5) 葯上端と柱頭との高低差と自動自家受粉結実率の間には有意な正の相関があったことから、雌蕊が長い品種ほど自動自家受粉粒数が少なくなり、葯上端が柱頭より高い位置にある品種ほど結実率が高くなることが分かった。また、(5) 葯上端と柱頭との高低差と自動自家受粉粒数の間には有意な相関はなかったものの、葯上端が柱頭より高い品種ほど自動自家受粉粒数は多くなる傾向が示された。

以上の結果から、カラシナ類を花器形質の変異に基づいて分類すると、葯上端が柱頭より高い位置にあり自動自家受粉粒数が多い「瘤子芥」(C6)、葯上端と柱頭がほぼ同じ位置にあり自動自家受粉粒数が少ない「黄からしな」(J3) や「Knock out」(T4)、葯上端が柱頭より低い位置にあり自動自家受粉粒数が少ない「芹葉からし」(J4) まで、花器形質に品種間差異が存在し、それに伴う自動自家受粉粒数および自動自家受粉結実率にも品種間差異があることが分かった。

## 考察

カラシナ類の花器形質に関して、本研究によって、「瘤子芥」(C6) のように

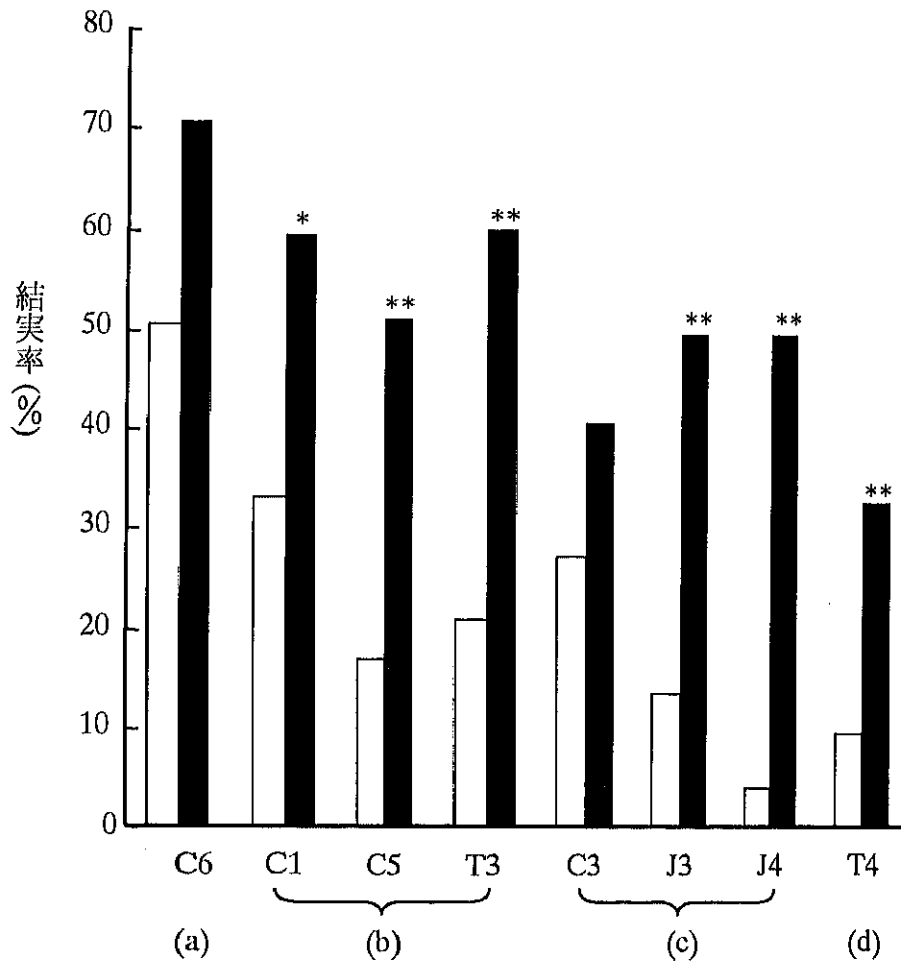


図1-4. 隔離網室で栽培した8品種の開花後2~3時間後に除雄した場合と除雄しない場合の自動自家受粉結実率.

\*, \*\*はそれぞれ 5%, 1% 水準で有意差のあることを示す.  
 横軸は各品種を実験番号で示す (表1-3および表1-5参照).  
 (a), (b), (c), (d) については表1-3および表1-5参照.

□: 除雄した場合, ■: 除雄しない場合

表1-6. 隔離網室で栽培した8品種における花器形質と開花後2~3時間後までの自動自家受粉粒数および自動自家受粉結実率との相関係数

花器形質	自動自家受粉粒数	自動自家受粉結実率
(1) 葯の長さ <sup>1)</sup>	0.161	0.436
(2) 花糸の長さ	-0.348	0.124
(3) 雌蕊の長さ	-0.722*	-0.464
(4) 葯と柱頭の距離	-0.356	0.044
(5) 葯上端と柱頭の高低差	0.681	0.919**
(6) 花冠の深さ	-0.381	-0.273
(7) 雌蕊と花弁の距離	-0.012	0.424

<sup>1)</sup> 各調査項目については図 1-1 に示す。

\*, \*\*はそれぞれ 5%, 1%水準で有意であることを示す。

葯，花糸ともに長く，雌蕊と花弁の距離が長い大型の花をもつ品種から，「榨菜(S7-1)」(C3)のように葯，花糸，雌蕊ともに短く，雌蕊と花弁の距離が短い小型の花をもつ品種まで存在し，品種間差異のあることが明らかとなった．特に，「瘤子芥」(C6)は他の品種と比較して葯が柱頭より高い位置にあった．Ornduff (1969)は葯が柱頭に接し易い花器形質をもつ植物は自殖を主とすると報告しているが，本研究の結果，自家和合性程度と自動自家受粉能力はそれぞれ独立な遺伝形質であると推定できることから，自家受粉すれば自殖をすることは必ずしもいえない．したがって，このOrnduff (1969)の説は自家和合性程度が高い場合にのみいえることである．さらに，これらの花器形質は自動自家受粉能力ばかりでなく，花粉媒介昆虫が訪花する際の自家受粉粒数にも影響を及ぼす遺伝的形質である(八城ら 2001)．

自家受粉においては柱頭と葯の距離が重要であることが知られている(Schoen 1982; Holtsfold and Ellstrand 1992; Lloyd and Schoen 1992)が，葯が柱頭から離れていたとしても葯が柱頭に接近した状態であれば，わずかな振動でも受粉され得るものと推測される．実際に，本研究の結果，カラシナ類の自動自家受粉粒数には品種間差異があり，自動自家受粉は葯と柱頭が接触したときだけなされるのではなく，葯と柱頭が離れていても花粉の自然落下によってなされることが明らかとなった．開花して2~3時間後のほとんどの花は開葯しており，しかも葯と柱頭はかなり接近した状態であり，多くの供試品種では開花して2~3時間後までの自動自家受粉粒数は20粒前後であった．本研究では「黄からしな」(J3)については，開花して2~3時間後までの自動自家受粉粒数が7.1粒と少なかったが，大澤・生井(1987)は除雄しないで2~3日おいた場合の平均自動自家受粉粒数は118粒であることを報告している．また，「黄からしな」(J3)では，自家受粉粒数が10粒，20粒の場合の結実率はそれぞれ11.8%，24.5%であり，100粒で51.6%，500粒以上で80%以上の高い結実率となることが知られて

いる (Namai and Ohsawa 1986, 1988). 本研究において, 除雄しないで自動自家受粉させた場合には, 受粉粒数はさらに増加することが予想され, このことが自動自家受粉結実率の向上に寄与しているものと推測される (八城ら 2001).

自動自家受粉の実態について例を挙げて示すと, 「瘤子芥」(C6) は葯と柱頭の接触程度もそれほど高くなく, 開花 2 時間後の葯と柱頭の距離が他品種に比較して大きい値を示し, 開葯も遅い品種であるが, 自家受粉粒数が多い理由は, 葯上端が柱頭より高い位置にあるため, 花粉の自然落下により自家受粉がなされているためと考えられる. すなわち, 葯が柱頭から離れている場合の自家受粉を制御する花器形質として, 葯と柱頭の高低関係が考えられる. また, 「榨菜 (S7-1)」(C3) は, 開花して 2~3 時間後までの自動自家受粉結実率は他の品種よりも高いが, 除雄しないで結実させた場合には他の品種よりも低くなることから, 開花して時間が経過すると自動自家受粉されにくい品種であるといえる. 「黄からしな」(J3) と「芹葉からし」(J4) において, 開花して 2~3 時間後の自動自家受粉粒数と自動自家受粉結実率がともに低い値を示している理由は, 開葯が遅く, 葯が柱頭より低い位置にあり, 葯と柱頭の接触程度も大きくないためであると思われる. しかし, これらの品種について除雄しないで自動自家受粉させた結実率は比較的高いことから, 開葯後しばらくしてから自動自家受粉していたことが伺える. 「Knock out」(T4) は自家和合性程度が低いばかりでなく, 自動自家受粉能力も低く自動自家受粉粒数が少ないために, 自動自家受粉結実率が著しく低い品種であるといえる. このように開花後まもなく比較的多くの自動自家受粉が行われる品種から, 開葯後時間をかけて比較的多くの自動自家受粉が行われる品種まであり, 様々な品種間差異があることが分かった (八城ら 2001).

したがって, カラシナ類の生殖様式については, 自家和合性程度および, 柱頭と葯の接触程度や位置関係などの花器形質に関連した自動自家受粉能力の大

きさという独立した二形質によって、自殖性程度の品種間差異が連続的に存在することが明らかとなった。また、自殖性程度の低い品種は自殖性程度の高い品種よりも自殖性程度の個体間変異が大きい傾向があることから、自殖性程度の低い品種については自殖性程度に関する選抜が可能であるものと思われる。

従来、カラシナ類の受粉条件について種々の異なる見解が出されていた。その原因は、自家和合性程度の変異や花器形質の変異に伴う自動自家受粉能力の変異など、生殖様式に大きな品種間差異があることが十分に理解されなかったためであるといえる。

以上のことから、カラシナ類は不完全自殖性を示し、自殖性の高い品種から自殖性の低い品種まであり、個体間変異が大きい品種もあって集団内に幅広い変異を有する植物種であり、植物の適応と分化を生殖生物学的に追究するための最適な供試植物の一つであるといえる。

## 要約

カラシナ類 (*Brassica juncea*) の生殖様式は不完全自殖性であるとされている。しかし、受粉に花粉媒介昆虫を必要としないという報告や必要とするという報告もあり、見解が統一されていない。

そこで、日本・中国・タイのカラシナ類 21 品種について自家和合性程度と自動自家受粉能力の品種間差異を明らかにするとともに、これら 21 品種の中で両形質に特徴的な 8 品種について自動自家受粉能力と花器形質との関連を追究し、カラシナ類の生殖様式を明確にすることを試みた。その結果、自家和合性程度を表す人工自家受粉結実率の品種ごとの平均は 51.4%から 88.4%、自動自家受粉能力を表す一つの指標である自動自家受粉結実率の品種ごとの平均は 32.4%から 70.8%の範囲であり、両形質とも幅広い品種間差異が認められた。大部分の品種は自動自家受粉結実率が人工自家受粉結実率よりも低いことから、十分な結実を得るためには花粉媒介昆虫による受粉の補助を必要とするが、品種によっては必要としないことが明らかとなった。

自動自家受粉の時間的経緯を見ると、自動自家受粉は開花直後の柱頭に接近した葯が開葯すると始まり、葯は時間の経過とともに柱頭から離れるが、2~3 時間以降も連続的になされていた。また、開花後まもなく速やかに自家受粉される品種と、開花後時間をかけてゆっくり自家受粉される品種があった。自動自家受粉粒数は、開葯後の葯と柱頭の接触程度および位置関係に依存しており、葯上端が柱頭よりも高い位置にあれば受粉粒数が多いことが分かった。また、自殖性程度の低い品種は高い品種に比べ諸花器形質の品種内変異が大きかった。

以上の結果、カラシナ類では、自家和合性程度に品種間差異があること、さらに葯と柱頭の接触程度や位置関係などの花器形質の変異が存在し、それに伴う自動自家受粉能力にも幅広い品種間差異があるため、花粉媒介昆虫の必要度にも幅広い品種間差異があることが明らかとなった。