



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	カラシナ ( <i>Brassica juncea</i> ) とシロガラシ ( <i>sinapis alba</i> ) の高密度ストレスに対する適応戦略
Author(s)	石川, 枝津子; ISHIKAWA, Shizuko; 島本, 義也 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 15(1), 19-27
Issue Date	1986-03-31
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/12045">https://hdl.handle.net/2115/12045</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	15(1)_p19-27.pdf



# カラシナ (*Brassica juncea*) とシロガラシ (*Sinapis alba*) の高密度ストレスに対する適応戦略

石川枝津子・島本義也・津田周彌

(北海道大学農学部工芸作物学教室)

(昭和60年10月28日受理)

## Adaptive Strategies to High Density Stress in Indian Mustard (*Brassica juncea*) and White Mustard (*Sinapis alba*)

Shizuko ISHIKAWA, Yoshiya SHIMAMOTO  
and Chikahiro TSUDA

(Laboratory of Industrial Crops, Faculty of Agriculture,  
Hokkaido University, Sapporo 060, Japan)

### 緒 言

植物集団は、環境の変動に対してその環境条件に適応した遺伝子型が選択されてその集団の適応値を高めるとき、環境の変化に反応して個体の表現型を変える(可変性)ことにより適応するときがある<sup>5)</sup>。この植物の適応の機構は、気候や土壌条件などの物理的な環境条件を対象に研究がなされてきた<sup>10,14)</sup>。

一方、生物的な環境条件である植物個体群密度に対する対応方法は、発芽の調節や、生育過程の種々の段階での死亡による個体数の調節、あるいは、可変性である<sup>8)</sup>。密度ストレスに対して、種を異にする植物は異なる方法で対応する適応戦略をもつことが予想される。

本研究の目的は、アブラナ類のカラシナ (*Brassica juncea*) とシロガラシ (*Sinapis alba*) を人為的に密度条件を制御して世代を重ねた集団の密度ストレスに対する対応の比較をおこない、二つの種の密度ストレスに対する適応方法の差を検討することである。

### 材料と方法

材料はカラシナ (*Brassica juncea*) の油料用2品種 (Secus, Primus) およびシロガラシ (*Sinapis alba*) の油料用3品種 (Gisiba, Trico, Steinacher) の過密条件下で継代した集団 (H系統) と過疎条件下で継代した集団 (L系統) である。

集団育成の方法は次のとおりである。過密処理として圃場に1m×1mの正方形のプロットを作り種子を約一

万粒播種した。無間引き、無除草で栽培し、成熟時にプロット内の中心部の個体から種子を収穫した。翌年、その bulk 種子を約一万粒同様の条件で栽培した。この集団より得られた系統をH系統と呼ぶ。対照として過疎条件下で世代を重ねる処理をおこなった。他個体から1m離して種子を数粒播種し出芽後間引きして一本立てとした。一品種あたり数個体栽培し、そのうち任意の一個体の種子を翌年同様の条件で栽培した。この集団から得られた系統をL系統と呼ぶ。

これらの密度処理を1976年から1979年までの4世代繰り返した集団からのH系統とL系統を1980年に畦幅50cmと株間30cmの栽植密度で栽培し、結実した種子を実験に供試した。

直径12cmの素焼きのポットに土と1gの複合肥料(40kg当たり、窒素4kg、リン酸13kg、加里10kg、苦土13kg)をつめ、各系統の種子10粒、100粒、1000粒を1982年5月21日に播種した。実験は二反復の乱塊法で屋外でおこなった。播種後30日、60日、90日(収穫時)に刈取り調査をおこなった。30日と60日に生存個体を数え、ポット当たり地上部乾物重(80°Cで24時間乾燥)を調査した。また、収穫時には、生存個体と結実個体を数え、地上部乾物重、個体当たり種子数とさや数、100粒重、ポット当たり種子重を測定した。100粒播種ポットで全生存個体の草丈を調査し、サイズの指標とした。

### 結 果

10粒播種ポットでは、両種とも全個体が収穫まで生存

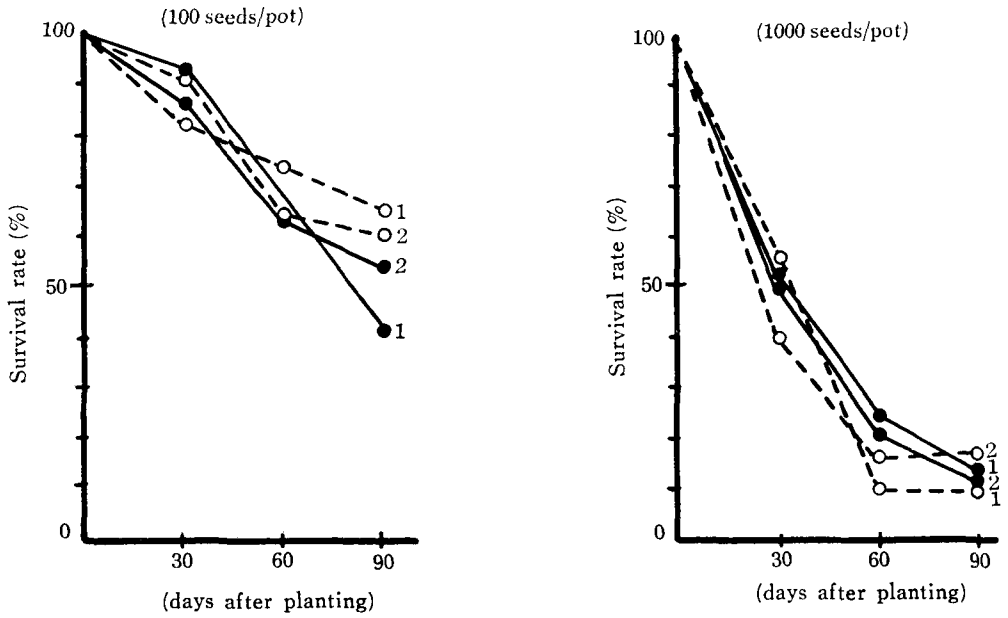


Fig. 1. Survivorship curves of *B. juncea* grown under high density conditions (100 seeds/pot and 1000 seeds/pot). Survival rate of Secus in 100 seeds/pot at 60 days could not be recorded because some plants were infested with disease.  
 ○.....○ : H line. ●——● : L line.  
 1; Secus. 2; Primus.

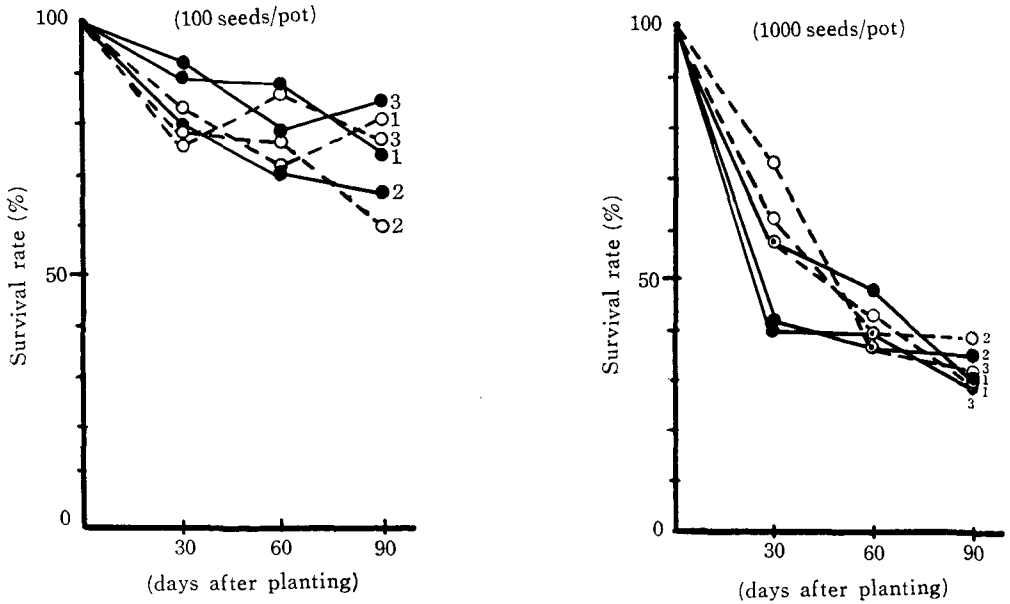
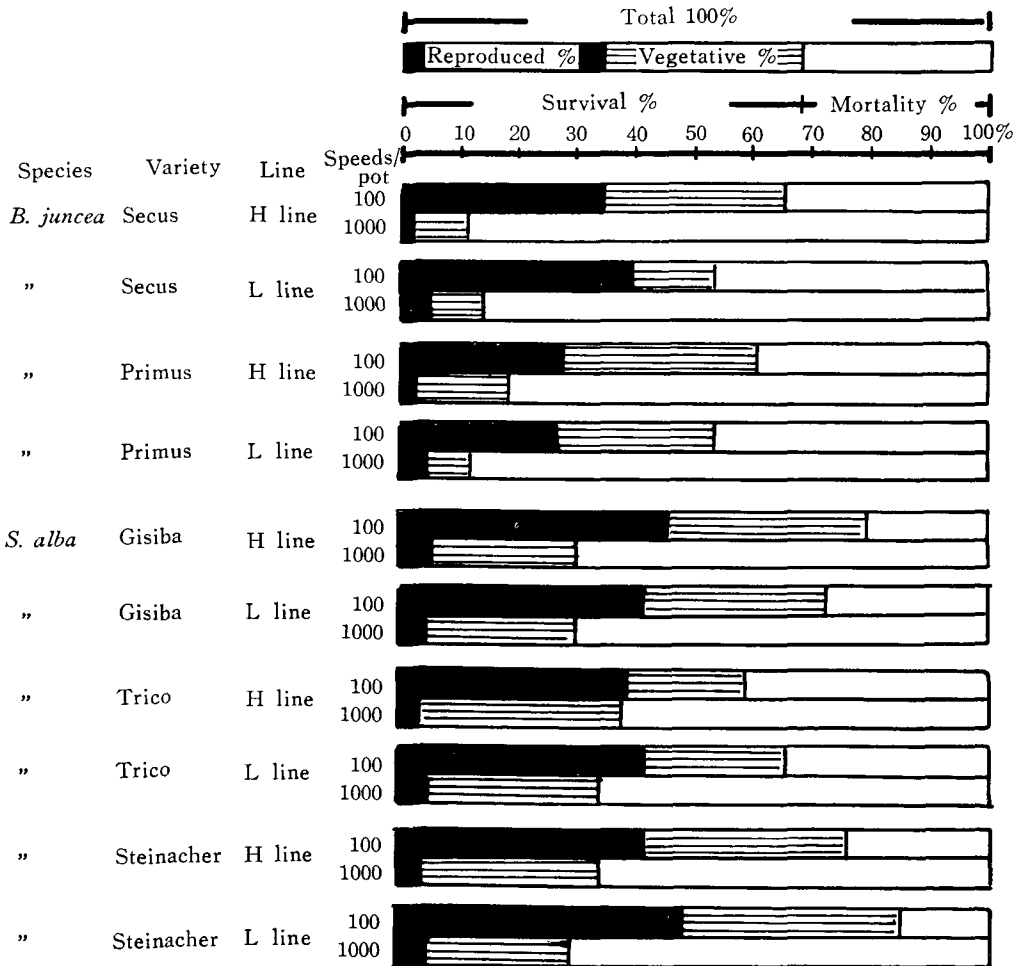


Fig. 2. Survivorship curves of *S. alba* grown under high density conditions (100 seeds/pot and 1000 seeds/pot).  
 ○.....○ : H line. ●——● : L line.  
 1; Gisiba. 2; Trico. 3; Steinacher.

**Table 1.** The decrease in plant number and relative growth rate (RGR, mg/mg/day) between 30 and 60 days after sowing

Density Species	(Seeds/pot) Variety	Line	10		100		1000	
			Decrease	RGR	Decrease	RGR	Decrease	RGR
<i>B. juncea</i>	Secus	H	0	0.064	8	0.046	451	0.068
		L	0	0.084	—	—	279	0.074
<i>B. juncea</i>	Primus	H	0	0.085	33	0.065	243	0.071
		L	0	0.089	19	0.055	243	0.067
<i>S. alba</i>	Gisiba	H	0	0.072	12	0.033	151	0.043
		L	0	0.068	25	0.035	100	0.033
<i>S. alba</i>	Trico	H	0	0.062	2	0.033	226	0.034
		L	0	0.064	10	0.046	52	0.030
<i>S. alba</i>	Steinacher	H	0	0.064	+9*	0.047	364	0.048
		L	0	0.064	5	0.034	+5*	0.033

\*+ means the increase in plant number.



**Fig. 3.** Survival rate and seed setting rate of *B. juncea* and *S. alba* under high density conditions.

した。

カラシナのポット当たりの生存率の推移を Fig. 1 に示した。100粒播種ポットでは、播種後ただちに個体数の減少が始まり、60日まで急速に減少した。1000粒播種ポットでは、個体数の減少はさらに著しく、30日までに約50%の個体が、60日までに約80%の個体が死亡した。

シロガラシのポット当たりの生存率の推移を Fig. 2 に示した。100粒播種ポットでは、30日まで各系統とも個体数が一様に減少したが、それ以降の個体数の変化は系統ごとに異なり、一定の傾向はなかった。1000粒播種ポットでの各系統の個体の減少は、一様であり、30日までの減少が大きく、それ以降の減少は小さかった。

Table 1 に30日から60日の間に死亡した個体数とその期間での相対生長率(RGR)を示した。60日の生存個体数が30日の生存個体数より多いときがあったが、こ

れらは標本にしたポットによる誤差である。RGRは密度の増加により減少し、シロガラシの減少がカラシナに比べて大きかった。カラシナにおいて、死亡個体が多かった1000粒播種ポットのRGRと、すべて生存した10粒播種ポットのRGRの差は有意ではなかった。

Fig. 3 に収穫時の生存率と結実個体数の播種子数に対する割合(結実個体率)の各系統の平均値を示した。100粒播種ポットと1000粒播種ポットとも、生存率はシロガラシがカラシナより大きく、この種間差は有意であった。結実個体率はシロガラシがカラシナより大きかった(100粒播種ポットで有意)。カラシナでは結実個体率の系統間差が有意で、L系統の結実個体率がH系統より大きかった。

100粒播種ポットにおけるサイズ分布と種子生産の関係を、カラシナは Fig. 4 に、シロガラシは Fig. 5 に示した。棒グラフがサイズ(草丈)の頻度分布を示して

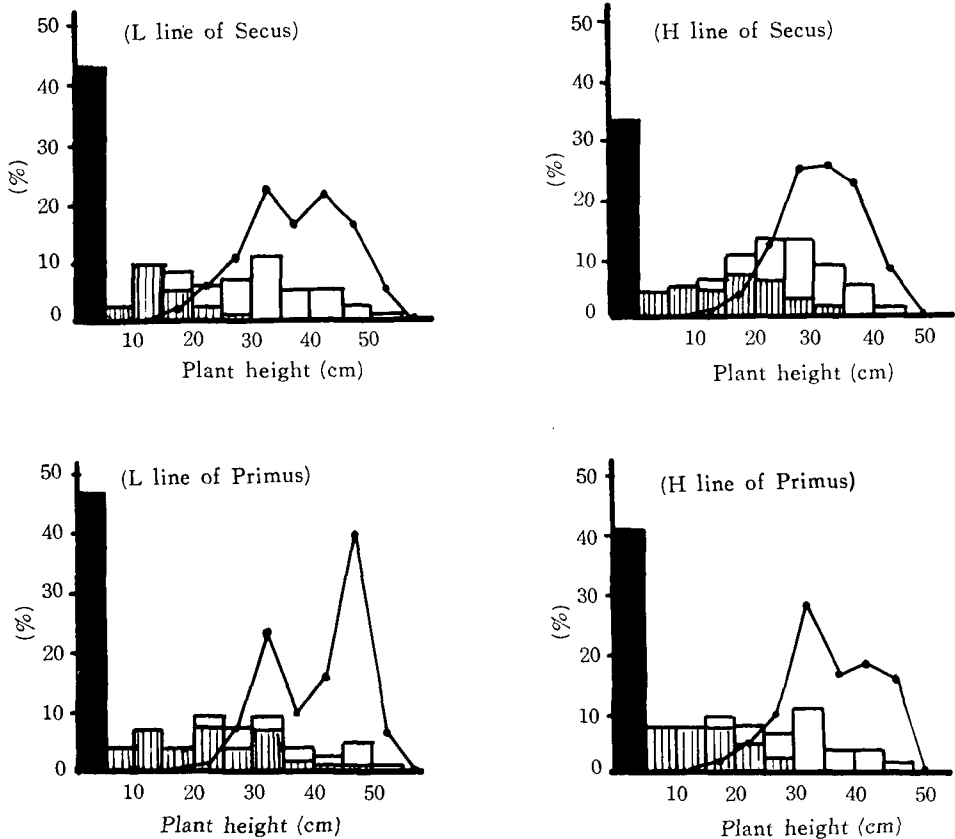


Fig. 4. The frequency distribution of plant size (plant height) and contribution of each class to the total number of produced seeds in *B. juncea*.

●—●: Percentage of size class to total. □: Seed setting plants.  
▨: Non-seed setting plants. ■: Dead plants.

いる。折れ線が各サイズランクの個体が生産した種子数の100粒播種ポット当たりの総生産種子数に対する割合(%)を示している。生存個体は、カラシナでは各サイズランクに均一に分布し、シロガラシでは正規分布する傾向にあった。両種ともサイズの大きな個体が結実し、シ

ロガラシではカラシナに比べてサイズの小さな個体も結実した。各サイズランクの種子生産量の全体の種子生産量に対する割合は、結実個体の多かったサイズランクと個体サイズの大きいランクで高かった。カラシナでは特に、後者における割合が高かった。

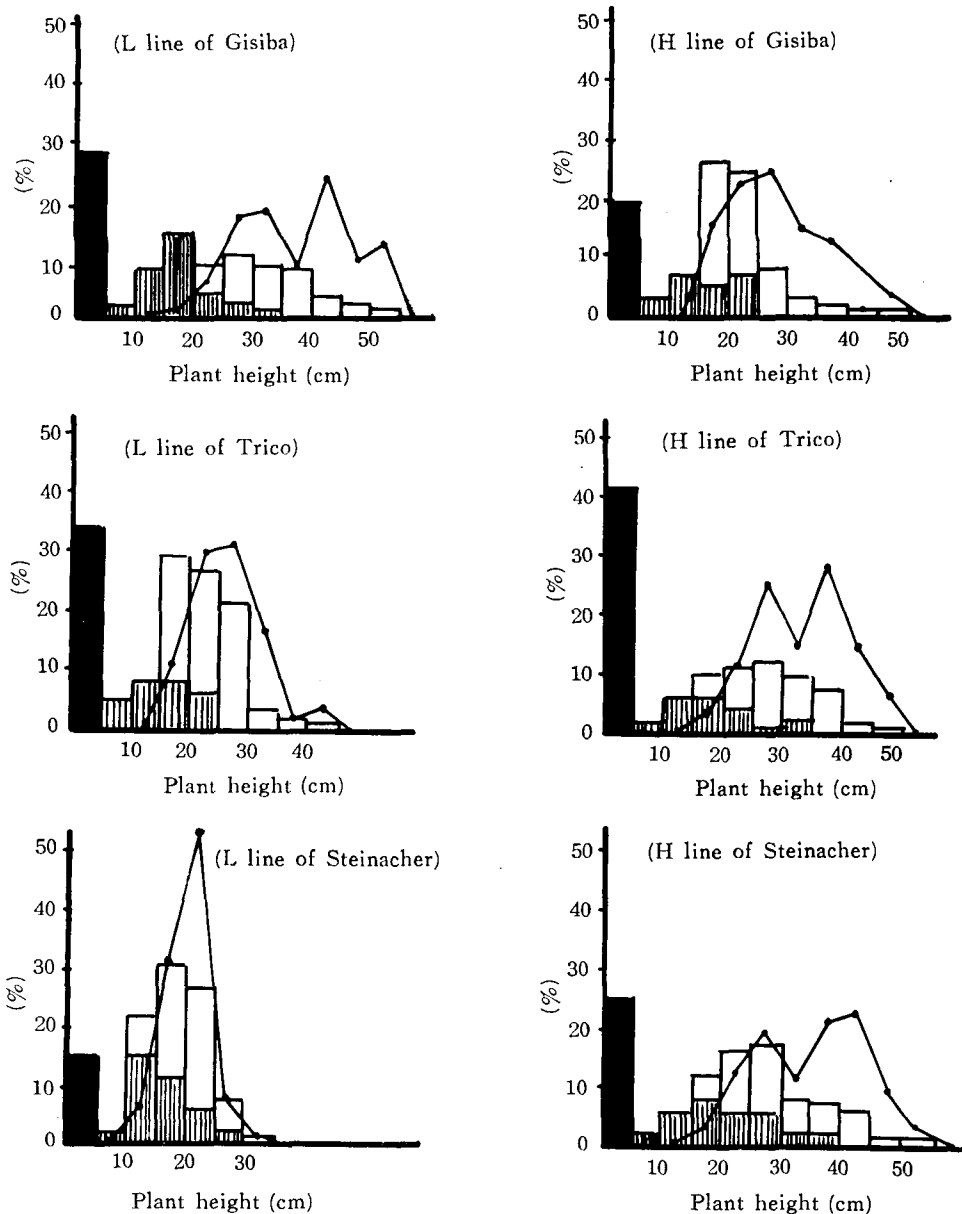


Fig. 5. The frequency distribution of plant size (plant height) and contribution of each class to the total number of produced seeds in *S. alba*.  
 ●—●: Percentage of size class to total. □: Seed setting plants.  
 ▨: Non-seed setting plants. ■: Dead plants.

**Table 2.** ANOVA for several characters of *B. juncea* and *S. alba* grown under different density conditions

Source of variation	DF	(30 days)		(Harvest time)									
		DW/ pot	DW/ plant	DW/ pot	DW/ plant	SY/ pot	SY/ plant	SN/ pot	SN/ plant	CN/ plant	S/C	SW	RE
<i>(Brassica juncea)</i>													
Density (A)	2	**	**	ns	**	ns	**	ns	**	**	**	ns	ns
Line (B)	1	ns	*	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	*	**	ns
Variety (C)	1	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
A × B	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
B × C	1	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C × A	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A × B × C	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	nd
Error	12	0.05	0.27	9.91	404.43	0.29	21.91	8.85#	470.53	8.54	0.51	7.29	19.00
<i>(Sinapis alba)</i>													
Density (A)	2	**	**	ns	**	*	**	*	**	**	**	**	**
Line (B)	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Variety (C)	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A × B	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
B × C	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C × A	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A × B × C	4	ns	ns	**	ns	**	ns	*	ns	ns	ns	*	ns
Error	18	0.07	0.17	1.52	80.68	0.04	3.29	0.22#	14.33	1.05	0.07	10.72	4.04

\*\* , \* : Significant at the 1% and 5% levels, respectively. ns: No significant difference.

Density: 10, 100 and 1000 seeds were sown in 12 cm diameter pot.

Line: H line and L line.

Variety: Secus and Primus (*B. juncea*). Gisiba, Trico and Steinacher (*S. alba*).

DW: Dry weight. SY: Seed yield. SN: Seed number. CN: Capsule number.

S/C: Seeds/Capsule. SW: 100 seed weight. RE: Reproductive effort, (SY/DW).

# :  $\times 10^4$ .

**Table 3.** Mean values of several characters of H line and L line of *B. juncea* grown under different density conditions

Density (Seeds/pot)	Variety	30 days dry weight/plant (mg)		100 seed weight ( $\times 100$ g)		Seeds/ Capsule		Seeds/ pot	
		L line	H line	L line	H line	L line	H line	L line	H line
10	Secus	57.0	69.7	14.5	20.3	6.9	6.3	861	737
	Primus	52.5	54.2	10.3	16.6	7.4	6.3	805	508
100	Secus	13.3	23.3	12.0	16.8	5.6	4.3	742	378
	Primus	16.4	14.8	10.5	13.7	5.8	4.6	696	453
1000	Secus	5.1	7.1	11.6	13.1	4.1	3.9	533	177
	Primus	5.1	7.2	10.2	12.1	4.4	4.4	462	243

Note: The characters with significant between-lines in Table 2 were listed in this table.

密度の効果と系統間差を検定した分散分析の結果を Table 2 に示した。密度の効果がある形質はシロガラシで多かった。シロガラシでは、ポット当たり種子重、ポット当たり種子数、100粒重、RE (再生産効率; 種子重/個体重) で密度の効果があるとなったが、カラシナではそれらの形質においても密度の効果は有意ではなかった。

H系統とL系統の差は、シロガラシではどの形質においても有意にならなかった。カラシナでは、30日の個体重、ポット当たり種子数、さや当たり種子数、100粒重で系統間差が有意となった。これら4形質の系統別の平均値を Table 3 に示した。30日の個体重と100粒重はH系統がL系統より大きく、ポット当たり種子数とさや当たり種子数は、L系統がH系統より多かった。

### 考 察

植物の過密集団では自然間引きにより個体数が減少する。この過程は種によりその様相を異にする<sup>13)</sup>。本実験においてカラシナとシロガラシの両種の過密集団で、個体数の減少が観察され、密度の増加とともに個体数の減少が大きくなった。個体数の減少が小さかったシロガラシでは密度の増加によりRGRが著しく減少し、個体数の減少が大きかったカラシナではRGRの密度条件による変化は小さかった。シロガラシは密度ストレスに対し生長の抑制により対応し、その可変性により生存個体数が多かったと考えられる。一方、カラシナでは、密度変化に対する生長の可変性が小さく、密度ストレスに対し死亡による個体数の減少で対応したと考えられる。

カラシナはシロガラシより、結実個体率が小さかった。100粒重やREは、カラシナでは密度の変化に対して安定した形質であるのに対し、シロガラシでは密度条件に対して可変的であった。シロガラシは可変性により高密度条件下でも結実個体数を確保していると考えられる。

植物の過密集団における個体数の減少や繁殖の成功は、集団内のサイズ分布に関連している<sup>6,11)</sup>。すなわち、密度ストレスの増加とともに、サイズ分布は正規分布からL字型分布に変化する。その過程で、サイズの小さな個体が死亡により集団から除去される。さらに、繁殖に成功する個体は、生存個体のうちサイズの大きな個体である。本実験においても、サイズの小さな個体が死亡により集団から除去されたと考えられる。また、サイズの大きな個体が結実した (Fig. 4, 5)。このサイズ分布と種子生産の関係は種間で異なった。カラシナでは、生存個体のうち草丈の大きくなった少数の個体の種子生産が総

種子生産に占める割合が大きく、それらの個体の次世代への貢献が大きかった。シロガラシではカラシナに比べて結実個体が多く、サイズの小さな個体も結実した。シロガラシでは、サイズの大きな個体による次世代への貢献は、カラシナと比較して相対的に小さいと考えられる。

LEVIN と WILSON<sup>4)</sup> は植物の環境ストレスに対する死亡と可変性による対応が集団の遺伝的構造の決定にどのように影響するかを、コンピュータの模擬実験により検討した。その結果、環境ストレスに対して死亡により対応するときは、自然選択や機会的浮動による集団の遺伝的变化が大きいかを明らかにした。

シロガラシは密度ストレスに対し可変性で対応し、集団内の多くの個体が生存し種子生産をおこなった。カラシナでは、密度ストレスにより死亡が生じ、生存個体のうちある一定以上のサイズの確保に成功した少数の個体が次世代へ種子を残した。カラシナの過密集団のこのサイズの変異が遺伝的であるならば、密度ストレスは淘汰圧となるであろう。

カラシナでは、いくつかの形質で系統間差が有意となった。H系統はL系統より生育初期の個体重が大きかった。材料としたH系統はL系統より種子が大きかった (Table 4)、初期生育の差は種子サイズの差によってもたらされたと考えられる。大きな種子からの個体は初期生育が旺盛であることから、競争条件下で適応的であるとされている<sup>2,3,9,12)</sup>。カラシナの種子サイズ、初期生育の系統間差は、密度ストレスに対して適応的な遺伝子型 (H系統) が選択された結果と考えられる。

Table 4. 100 seed weight of source plants of *B. juncea*

Variety	L line	H line
Secus	23.06	34.38
Primus	16.95	25.62

(×100 g)

カラシナでは、H系統はL系統より種子が大きかったが、種子数は少なかった。種子サイズと種子数の間には、通常負の相関関係が観察される<sup>1,7)</sup>。種子数の系統間差は種子サイズへの選択の結果に対する trade-off として生じたと考えられる。

### 摘 要

植物の密度条件に対する適応の機構を検討するためにカラシナとシロガラシを過密条件下と過疎条件下で継代

した集団から得られた系統を供試して、密度ストレスに対する対応方法を比較するとともに適応方法の差を検討した。

密度ストレスに対して可変性が大きかったシロガラシは、過密条件下で生存個体と結実個体が多かった。一方、カラシナでは密度ストレスにより多数の個体が死亡し、生存個体のうち、サイズの確保に成功した少数の個体が結実した。カラシナにおいて、密度ストレスによる選択の効果が大きいと考えられた。カラシナの過密条件下で継代した系統は過疎条件下で継代した系統より種子が大きく、初期生育が旺盛で過密条件下で適応的と考えられる特性を示した。

過密条件に対して、カラシナの集団は適応的な遺伝子型を選択することにより適応し、シロガラシの集団は可変性により適応することが明らかになった。

#### 引用文献

1. AHMED, S. U. and M. I. ZUBERI: Effects of seed size on yield and some of its components in rapeseed, *Brassica campestris* L. var. *toria*, *Crop Sci.*, **13**: 119-120. 1973
2. BLACK, J. N.: Competition between plants of different initial seed sizes in swards of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) with particular reference to leaf area and the light microclimate, *Aust. J. Agric. Res.*, **9**: 299-318. 1958
3. HARPER, J. L. and M. OBEID: Influence of seed size and depth of sowing on the establishment and growth of varieties of fiber and oil seed flax, *Crop Sci.*, **7**: 527-532. 1976
4. LEVIN, D. A. and J. B. WILSON: The genetic implication of ecological adaptation in plants. In A. H. J. FREYSEN and J. W. WOLDENDROP (ed.) "Structure and functioning of plant populations" North Holland Publ. Co., Amsterdam: 75-100. 1978
5. 森島啓子: 集団の分化と表現型の可変性. "集団の適応と進化" 朝倉, 東京: 145-174. 1978
6. OBEID, M., D. MACHIN and J. L. HARPER: Influence of density on plant to plant variation in fiber flax, *Linum usitatissimum* L., *Crop Sci.*, **7**: 471-473. 1967
7. OLSSON, G.: Some relations between number of seeds per pot, seed size and oil content and effects of selection for these characters in *Brassica* and *Sinapis*, *Hereditas*, **46**: 29-70. 1960
8. PALMBLAD, I. G.: Competition in experimental populations of weeds with emphasis on the regulation of population size, *Ecology*, **49**: 26-36. 1968
9. RHODES, I.: The growth and development of some grass species under competitive stress. 1. Competition between seedlings and between seedlings and established plants, *J. Br. Grassld. Soc.*, **23**: 129-136. 1968
10. SNAYDON, R. W.: Rapid population differentiation in mosaic environment. I. The response of *Anthroxanthum odoratum* populations to soils, *Evolution*, **24**: 257-269. 1970
11. SOLBRIG, O. T.: Studies on the population biology of the genus *VIOLA*. II. The effect of plant size on fitness in *Viola sororia*, *Evolution*, **35**: 1080-1093. 1981
12. WERNER, P. A. and W. J. PLATT: Ecological relationships of co-occurring goldenrods (*Solidago*: compositae), *Amer. Natur.*, **110**: 959-971. 1976
13. YODA, K., T. KIRA, H. OGAWA and K. HOZUMI: Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. (Intraspecific competition among higher plants XI), *Jour. Biol. Osaka City Univ.*, **14**: 107-129. 1963
14. 湯本節三: チモンシロの自生集団における気候的生態型の分化に関する研究, 北海道大学学位論文. 1983

#### Summary

To investigate the adaptive process of plants to high density stress, two lines of *Brassica juncea* and *Sinapis alba*, one succeeded generations under the high density condition (H line) and the other under the low density condition (L line), were grown under different density conditions.

Under the high density condition, *B. juncea* increased its mortality and few plants could attain to the maturity. On the contrary, *S. alba* changed its plant size and most plants could set some seeds. The differences between two species on adaptive strategies to high density suggested that high density stress might operate as selecting pressure in *B. juncea*.

In some characters of *B. juncea*, the differences between H and L lines were detected, but no difference between those lines in *S. alba*. In *B. juncea*, H line more vigorously grew in juvenile phase and set larger seeds than L line. As seed-

lings from large seeds successfully survived under the high density condition, high density stress selected for the large seeds and made establish the H line in *B. juncea*.

It was concluded that *B. juncea* and *S. alba* had different adaptive strategies to high density; *B. juncea* evolved the adaptive population and *S. alba* expressed remarkable phenotypic plasticity.