



Title	豆類の粒大変異に関する作物学的研究
Author(s)	由田, 宏一; YOSHIDA, Koichi
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 15(4), 385-434
Issue Date	1987-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/12082
Type	departmental bulletin paper
File Information	15(4)_p385-434.pdf



豆類の粒大変異に関する作物学的研究

由 田 宏 一

(北海道大学農学部食用作物学講座)

(昭和62年5月29日受理)

Studies on Seed Size Variation in Grain Legumes

Koichi YOSHIDA

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

目 次

緒 論

緒 論	385
第1章 粒大の測定について	386
1. 粒形と1粒重との関係	386
2. 1粒重自動測定装置	390
第2章 粒大分布の特徴	392
1. 個体別にみた粒大分布	393
2. 個体群における粒大分布	394
3. 大豆, 小豆, 菜豆にみられる 粒大分布の一般的特徴	395
4. サンプリング方法について	395
第3章 個体内における粒大変異の要因	399
1. 開花時期と粒大	399
2. 着生位置と粒大	406
第4章 粒大変異の品種間差異	412
1. 大豆について	413
2. 小豆について	416
3. 菜豆について	418
第5章 栽培方法と粒大変異	421
1. 大豆における播種期, 株間, 株立本数の影響	421
2. 小豆における株間と収穫時の 熟成率の影響	423
3. 菜豆における播種期, 株間, 株立本数の影響	423
総合論議	427
引用文献	429
英文摘要	431

作物栽培において、種子の大きさは古くから関心がもたれてきた。種子を大きさあるいは重さで選別して播くことは、少なくとも400年前から続いているようであり⁶¹⁾、RIESとEVERSON⁶⁴⁾によると、1733年にはseed sourceの重要性がおそらく初めて記載されたという。種子の大きさあるいは重さが次代の植物の生長に与える影響について、20世紀始め頃の報告^{25,40,65)}によると、19世紀の後半にはすでに多数の実験が行なわれていることがわかる。種子の大きさには、種間ではもとより種内に大きな変異がみられ、さらに同一個体のなかにも変異のあることは容易に判別できるし、大きい種子から大きい植物が育ち、収量も多いと期待するのはごく自然であろう。

種子の大きさが栽培上問題となるのは、主として品種内の変異であるが、生育あるいは収量等との関係については現在でもなお多くの研究が行なわれている。豆類について比較的最近の例を示すと、大豆では発芽あるいは出芽^{4,26,32)}、生育⁷⁵⁾、呼吸³⁾、光合成⁴⁾、収量^{4,32,75,76)}、環境との相互作用¹⁵⁾、および競合¹⁶⁾についての報告があり、品種内変異ではないが100粒重に関する isogenic line を用いて出芽と根の生長をみた研究がある¹¹⁾。大豆以外ではラッカセイ^{5,19,80)}、ソラマメ⁶⁷⁾、菜豆⁶³⁾、エンドウ⁵¹⁾、ヒラマメ⁸⁸⁾、ヒヨコマメ⁷²⁾などで出芽あるいは収量に与える影響が調べられている。また、中世古ら⁵⁵⁾は数種作物の初期生長を種子重との関連で比較した。

一方、種子を収穫し食用とする作物では、その大きさの変異が品質の評価にも結びついてきた。日本においては、とくに豆類の場合、作物間だけでなく同じ作物内にも種子の色と大きさに幅広い変異がみられる特徴を生か

し、視覚的要素を重視する食文化に深く関りながら、長い間広い地域にわたって栽培が続けられてきた経緯がある。大豆、小豆、菜豆の種子の大きさは通常100粒の重さ(100粒重)をもって表わされる。100粒重は品種によって大きく異なり、大豆で5~55g、小豆で5~25g、菜豆で15~80gであるが^{22,39,81)}、食用にする実用的な品種ではこれらの範囲は狭くなる。豆類種子の大きさは種皮色とともに品種分類上の重要な基準になっているが、我が国では育種上の分類だけでなく、用途と品質を考え長期にわたって継承、発展させてきた生産の実態と密接に関連して、流通面での規格基準⁷⁴⁾にまで入っているのが特徴であり、その厳しい内容は外国に例をみない。すなわち、大豆と小豆では規定の篩に70%以上残ることを大きさの基準に品種を区分し、さらに色と産地を加味していわゆる「銘柄」が指定される。菜豆では主に種皮色に基づいて「銘柄」が形成されてきたが、白色のものは種子の大きさにより区別して命名されている⁵⁶⁾。豆類では種子の外観上の品質として、さらに大きさの均一性すなわち「粒揃い」が重要視され、品種内変異の小さいことが要求される。

前述のように、種子の大きさの栽培上の意義については繰り返し研究がなされてきた。しかし、種子の大きさの変異自体については、作物あるいは品種を通じ、その大きさや性質が比較・検討されたことはほとんどない。豆類の粒揃いについても、これまでしばしば問題にされてきたが、未だに肉眼判定の域を出ず、測定に基づいた客観的な知見は皆無に等しい。それには、多量の種子について個々の大きさを測定する際の時間的・労力的な制限要因が大きく関係している。

本研究では、種子の大きさ(粒大)の測定について検討し、迅速かつ正確な測定方法(自動測定装置)をまず確立した。そのうえで、大豆、小豆、菜豆の多数の材料をもとに、粒大分布の特性、変異をもたらす要因を解析し、さらに粒大変異の品種間差異、年次や栽培方法の影響を調査し、粒揃いの評価に関する問題について検討を加えた。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、終始暖かい御指導を賜った北海道大学農学部後藤寛治教授に深甚の謝意を表す。本論を取り纏めるにあたり、懇篤な御助言をいただいた北海道大学農学部津田周彌教授ならびに木下俊郎教授に謹んで感謝の意を表する。

第1章 粒大の測定について

種子の大きさは単に粒大(seed size または grain size)と呼ばれることが多い。また、粒大はしばしば粒重と同義で用いられる。例えば、収量構成要素としての seed size は平均1粒重を指し、品種特性としての種子の大小もふつうは100粒重をもとにして比較される。一方、種子を目の大きさの異なる数個の篩を用いて等級分け(篩別)することがある。はじめに紹介した種子の大きさと生育等に関する研究のほとんどは篩別した種子を用いている。この場合の粒大はあくまでも粒径であって粒重ではない。粒大変異の研究では、粒大を粒重で表わすかそれとも粒径で表わすかが、方法と関連して重要な問題となる。本研究の目的のひとつは、豆類の粒大に関して、作物間、品種間および品種内における変異の大きさとその性質を知ることであるが、それには多量の測定が伴い、正確で迅速な測定方法の確立が不可欠の条件となるからである。粒径を測定する篩別法は、多量の種子を短時間で処理できる利点がある。篩目の段階を多数用意することによって、少なくとも同じ作物内では、変異の評価が一応可能と考えられる。一方、粒重を対象にすると、測定の精度においては問題ないが、通常の操作手順では効率が悪く、数千から数万粒の単位になると膨大な時間と労力を要することになる。

本章では、大豆、小豆、菜豆について、まず粒径と粒重との関係を明らかにしたうえで、粒大変異の評価方法として篩別法がどの程度まで使えるかを検討し、次に今回開発した一粒重自動測定装置について概要を紹介する。

1. 粒径と1粒重との関係

材料と方法

供試したのは70品種(系統)で、内訳は大豆30、小豆18、および菜豆22である。これらを主な特性とともにTable 1, 2, 3にそれぞれ示した。育種母材、育成系統および新旧品種を含むこれらの材料は、平均的な種子の大きさを基準に、範囲をできるだけ広く、また種々の大きさのものが含まれるように選択した。また、草型や熟性などの生育特性についても多様性をもたせた。種子のほとんどを1978年に北海道立十勝農業試験場より譲り受けたが、菜豆の一部(改良早生大福と改良虎豆)は同中央農業試験場より入手した。ここでは作物あるいは品種の粒大変異を直接評価することが目的ではないので、各品種につきランダムに抽出した50粒を粒径、粒重の測定に供した。

粒径はFig. 1に示すように臍(hilum)に平行な方向

を長さとし、直角な方向を幅、臍をはさむ方向を長さとして測定し、あわせて粒重を秤量した。粒径の測定にはデジタルダイヤルゲージ(小野測器 DG-346型, センサー GS-501型)を用いた。

Table 1. Growth habit, maturity, and seed size of soybeans tested

No.	Cultivar (line)	Growth habit	Maturity	Seed size
1	To-iku No. 180	D	M	EL
2	Yuzuru	D	L	EL
3	Chusei-hikarikuro	D	M	L
4	Himeyutaka	D	M	L
5	Wase-midori	D	E	M
6	Oyachi No. 2	D	M	M
7	Kitamusume	D	M	M
8	Toyosuzu	D	M	L
9	Rankohara No. 1	D	E	M
10	Rankoshi No. 1	D	M	M
11	Kitamishiro	D	M	M
12	Hon-iku No. 65	D	L	M
13	Oshimashirome	I	L	M
14	Tokachinagaha	D	M	S
15	Ohoshu	I	M	M
16	To-iku No. 114	S I	M	M
17	Isuzu	D	M	S
18	Koganejiro	S I	L	S
19	Nagahajiro	D	L	S
20	Shika No. 4	I	M	M
21	Gokuwase-Chisima	D	EE	S
22	Wase-kogane	S I	M	S
23	Hokkaihadaka	D	M	S
24	Ishikarishiro No. 1	D	M	S
25	Comet	I	M	S
26	Harosoy	I	M	S
27	Suzuhime	D	M	S
28	Tenpokushirome	I	E	S
29	Wase-kurosengoku	D	EL	ES
30	Chashoryu	D	EL	ES

Cited mainly from 'Grain legumes in Hokkaido'⁵⁶⁾.

Growth habit: D=determinate; I=indeterminate; SI=semi-indeterminate.

Maturity: EE=extremely early; E=early; M=medium; L=late; EL=extremely late.

Seed size: ES=extremely small; S=small; M=medium; L=large; EL=extremely large.

結果と考察

1) 粒形の作物間および品種間変異

粒長、粒幅、粒厚および粒重の測定結果を、作物毎の最小値および最大値について Table 4 に示した。同表は例えば、大豆の粒長は最小の品種(早生黒千石—Table 1 の No. 29)の平均値が 5.82 mm で、品種内の最小値が 4.61 mm, 最大値が 6.26 mm であることを表わす。3 粒径とも粒重にはほぼ応じて広い範囲に分布した。品種間の差異は、小豆の粒幅と粒厚でやや小さいが、その他で約 2 倍に達した。粒径相互の関係では、3 作物とも粒長>粒幅>粒厚となっており、大豆では粒長と粒幅の差が小さく(なかには粒幅がわずかに大きい品種がある)、小豆は粒幅と粒厚の差が小さい。菜豆では、小豆同様に粒幅と粒厚の差が小さいが、粒長と粒厚の差が品種で著しく異なるのが特徴である。粒径比をみると、大豆、小豆、菜豆でそれぞれ、粒幅/粒長は 0.89~1.02, 0.68~

Table 2. Plant height, maturity, and seed size of azuki beans tested

No.	Cultivar (line)	Plant height	Maturity	Seed size
1	To-iku No. 106	T	M	EL
2	Wase-dainagon	T	L	L
3	Iwate-dainagon	T	L	L
4	Akatsuki-dainagon	M	M	L
5	Wase-tairyu No. 1	M	M	L
6	Kogane-dainagon	T'	M	L
7	Akane-dainagon	M	M	L
8	Kotobuki-shozu	M	M	M
9	Sakae-shozu	T	M	S
10	Takara-shozu	M	M	S
11	Hikari-shozu	M	M	S
12	Hayate-shozu	M	E	S
13	Chagara-wase	S	E	S
14	Hokkai-shiro-shozu	M	M	S
15	Maruba No. 1	T	L	S
16	Kensaki	M	L	S
17	Turu-shozu	T'	M	S
18	Buchi-shoryukei No. 1	M	E	ES

Cited mainly from 'Grain legumes in Hokkaido'⁵⁶⁾.

Plant height: T=tall; T'=tall (viny); M=medium; S=short.

Maturity: E=early; M=medium; L=late.

Seed size: ES=extremely small; S=small; M=medium; L=large; EL=extremely large.

Table 3. Plant type, maturity, and seed size of kidney beans tested

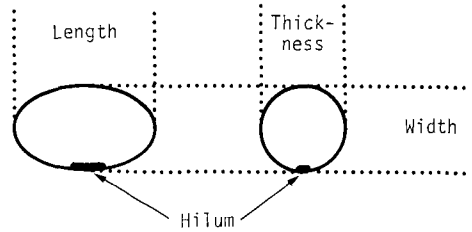
No.	Cultivar	Plant type	Maturity	Seed size
1	Hokkai-kintoki	D	M	L
2	Showa-kintoki	D	M	M
3	Fukujiro-kintoki	D	E	L
4	Manshu-saitou	V	L	L
5	Fukuryu-chunaga	S V	M	M
6	Kairyu-toramame	V	L	L
7	Taisho-kintoki	D	E	M
8	Tsunetomi-nagauzura	D	E	M
9	Kairyu-wase-ofuku	V	L	M
10	Tokachi-shirokintoki	S V	M	M
11	Taisho-shirokintoki	D	E	M
12	Kintoki	D	E	M
13	Benishibori	D	M	M
14	Tenashi-chunagauzura	D	M	M
15	Maekawa-kintoki	D	E	M
16	Gin-tebo	S V	M	S
17	Muroran-ingen	D	E	S
18	Taisho-otebo	S V	M	S
19	Hime-tebo	B	M	S
20	Biruma	S V	M	S
21	Rico 23	S V	E	S
22	Sanilac pea bean	B	E	S

Cited mainly from 'Grain legumes in Hokkaido'⁵⁶⁾.

Plant type: V=viny; SV=short viny; B=bush; D=dwarf.

Maturity: E=early; M=medium; L=late.

Seed size: S=small; M=medium; L=large.

**Fig. 1.** Illustration of seed length, width, and thickness dimensions.

0.77, 0.49~0.81, 粒厚/粒幅は 0.73~0.92, 0.91~0.98, 0.63~0.89, そして粒長/粒厚は 1.09~1.45, 1.36~1.53, 1.47~3.56 で, 比によっては品種間に大きな変異がみられた。次に同一品種内での粒径比の変動をみると, 大豆が最も安定しており, 変異係数で 3% 以下であった。小豆と菜豆では大豆よりもやや大きい 4~6% の変異係数を示す場合が多く, とくに粒長/粒厚は 10% に近い品種もみられた。品種内変動の小さい粒幅/粒長と粒厚/粒幅を指標として品種の粒形を表わしたのが Fig. 2 であるが, 作物間差異, 品種間差異ともにきわめて明瞭であった。

2) 品種内における粒径と粒重との関係

種子を楕円体とみると, 粒長, 粒幅, 粒厚より体積が求まる。粒の体積は, 粒重ときわめて高い相関をもつと予想されるので, 相関係数を算出したところ, 3作物ともほとんどすべての品種において 0.98 以上の値を示し

Table 4. Ranges of length, width, thickness, and weight of seeds between and within cultivars in soybean, azuki bean, and kidney bean

		Minimum		Maximum	
		Mean	Range*	Mean	Range*
Soybean	Length, mm	5.82	4.61-6.26 (29)	10.39	9.24-11.24 (1)
	Width, mm	5.83	5.27-6.28 (30)	9.51	8.53-10.03 (1)
	Thickness, mm	4.41	3.82-4.98 (30)	7.71	6.81- 8.86 (1)
	Weight, mg	108	74-144 (30)	475	343-563 (1)
Azuki bean	Length, mm	5.84	4.96-6.81 (18)	9.07	6.63-10.56 (1)
	Width, mm	4.44	3.71-4.93 (18)	6.28	5.52- 6.82 (2)
	Thickness, mm	4.11	3.61-5.02 (18)	6.04	4.80- 6.81 (3)
	Weight, mg	83	54-124 (18)	244	128-321 (1)
Kidney bean	Length, mm	7.49	6.50-8.55 (22)	19.19	16.70-23.00 (4)
	Width, mm	5.97	5.12-6.67 (22)	10.75	9.59-12.78 (4)
	Thickness, mm	4.02	2.96-4.79 (21)	7.85	6.57- 9.07 (6)
	Weight, mg	168	104-233 (22)	726	458-943 (1)

Numbers in parenthesis show cultivars in Tables 1 to 3.

* within cultivars.

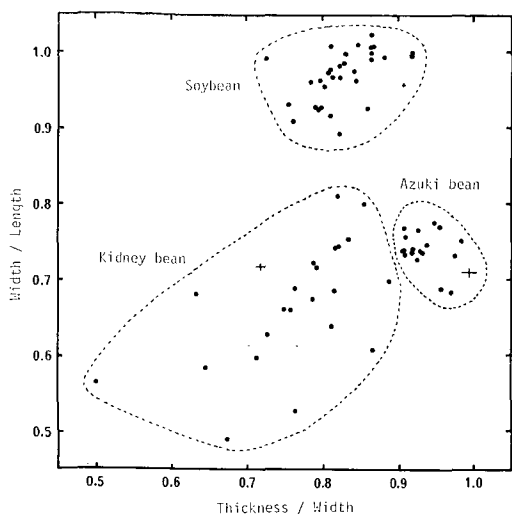


Fig. 2. Differences of seed shape expressed as width per length and thickness per width in soybean, azuki bean, and kidney bean cultivars. Vertical and horizontal bars show means of standard error.

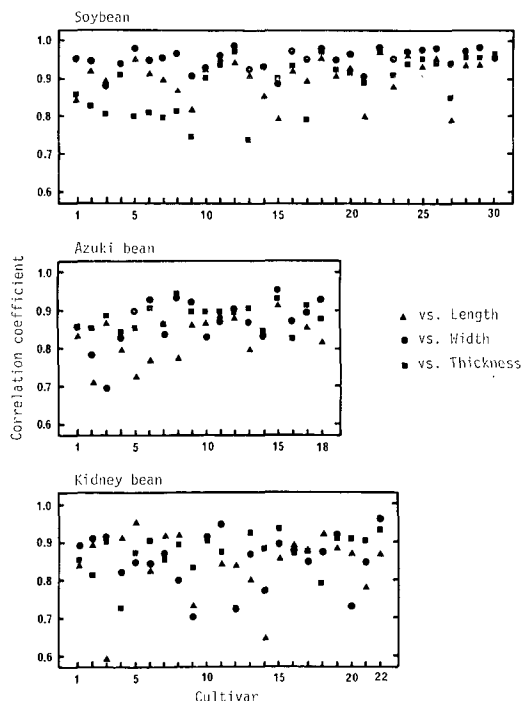


Fig. 3. Correlation between seed weight and seed dimensions in soybean, azuki bean, and kidney bean cultivars. Correlation coefficients were calculated at an equation: $Y = aX^3 + b$, where Y is seed weight and X is each dimension. Cultivars are shown in Tables 1 to 3.

た。前述のように、粒径比の品種内変動は概略5%であり、粒径比で表わした粒形は一般に品種固有の安定した特性と言えそうである。そこで、粒径比は品種内で一定(粒形が相似)であると仮定すると、粒重は各粒径の3乗とそれぞれ直線的な関係をもつと推定される。この想定に基づいて、各粒径の3乗と粒重との相関係数を求めた結果を Fig. 3 に示した。相関係数は0.59~0.98で、体積との関係に比べて全体にかなり精度が低い結果となった。粒重との関係は、大豆では粒幅において0.95以上の高い相関係数を示す品種が多く、粒長と粒厚では品種で大きく異なった($r=0.76\sim0.98$)。小豆の粒重は粒厚との関係が比較的強いといえるが、相関係数は全体に大豆より小さく、菜豆では粒径で一定の傾向がなく精度の上でも大豆、小豆より低い場合が多かった。とくに粒長の場合、小豆や菜豆のなかには粒重に対する決定係数0.4以下の低い値を示す品種があった。以上のように、品種内で、粒径比は変わらないとし、ひとつの粒径で粒重を表わすことは、大豆の粒幅を除いて、かなり精度を欠くことがわかった。

論 議

大豆、小豆、菜豆の種子の大きさや形は、ここに供試した70品種をみても実に多様である。とくに菜豆では粒径の分布範囲が広く、粒径比の品種間差異も大豆や小豆に比べて大きい。菜豆の品種間のレンジは品田と原⁷³⁾による107品種の測定結果とほぼ一致した。一般に、粒長、粒幅、粒厚相互の比は品種内で安定しているとみなされ、品種の粒形を表わす指標として用いられる。大豆では、粒幅/粒長および粒厚/粒幅の組み合わせにより、粒形を球、偏球、楕円体などに分類するが⁶⁾、両比の品種内における変動は1~3%であり、Fig. 2からも実用的な分類基準であることがわかる。小豆と菜豆では粒径比による粒形の分類はまだ一般化していないが、観察により小豆は円筒形、烏帽子形のように、菜豆は球、楕円球、腎臓形のように分けることがある⁵⁶⁾。烏帽子形や腎臓形では、球あるいは楕円体に近いものに比べて粒径の測定誤差が生じやすい。小豆や菜豆で粒径比の品種内変動が大豆に比べてやや大きいのは(C.V. 4~10%)、こうしたやや特異な粒形が含まれることにも起因すると考えられる。

供試した3作物ともすべての品種において、さらに品種内各粒にわたって、粒長>粒幅>粒厚の関係がみられた。大豆には粒幅>粒長の品種もあったが、その差はわずかである(粒幅/粒長=1.01~1.02)。このことから、

篩別法は、大豆、小豆、菜豆に関してほぼすべて粒幅で級分するものと考えてよい。しかし上述のように、粒径比は作物間はもとより品種間でもかなり異なるため、仮に粒幅で変異を求めて比較したとしても、ほとんど意味をなさないであろう。しかも、小豆と菜豆では、粒重との間で粒幅が高い相関を示すとは限らず、むしろ粒長あるいは粒厚との相関が高い品種が多い。篩で粒長や粒厚を求めることは不可能である。したがって、小豆と菜豆では粒大変異の測定に篩別法はほとんど使えないと判断される。大豆は粒幅と粒重との相関がきわめて高く、粒形が類似していれば、品種間の比較においても篩別法の利用がある程度可能と思われる。

3作物について1粒重の分布範囲が類似する各2品種をとりあげ、粒幅と粒重との関係を示したのが Fig. 4である。作物間はもとより、同じ作物でも品種によって粒幅と粒重との関係が異なるばかりでなく、菜豆のビル

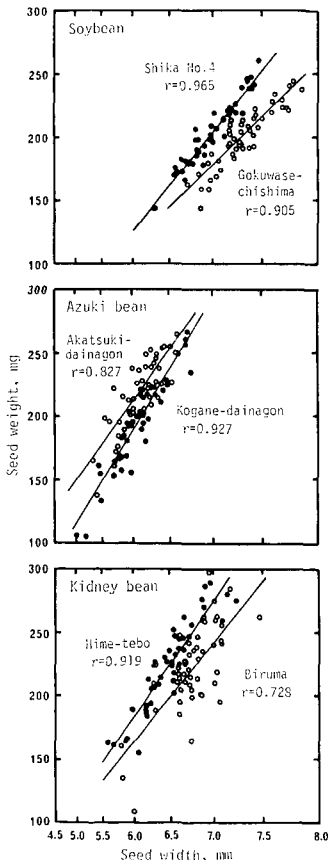


Fig. 4. Some cases of the relation between seed weight and seed width in soybean, azuki bean, and kidney bean cultivars.

マのように品種内でさえ対応が著しく悪いものがあることがわかる。結局、作物、品種にまたがる粒大変異の研究では、篩別法は使えず、1粒重を測定する以外に方法はない。

2. 1粒重自動測定装置

前述のように、作物、品種を通して広く粒大変異を扱うには、粒重を基準にせざるをえない。しかし、種子数を光電的に測定する装置はすでに考案され、実用化もされているが、1粒重を自動的(連続的)に測定する装置はまだない。本研究の遂行上、多量の種子について1粒重の測定を必要とし、精度と速度の両面から、自動装置の開発が不可欠であった。ここに今回試作し、実用可能となった装置についてその概要を紹介する。

1) 装置の構成と作動機構

製作した1粒重自動測定装置は、Fig. 5に示すように、摘粒装置、電子天秤および計算機の3つの基本的な部分により構成される。この外に、摘粒装置には吸引ポンプが付随し、天秤と計算機の信号を調整するインターフェースが必要である。ここでは天秤にザートリウス社製1204-MPまたは1216-MPを、計算機にはキャノン社製AX-1を、また吸引ポンプにはオリオン社製KRA-3を用いた。作動の順序は次の通りである。①摘粒装置により一定時間間隔で種子が1粒ずつ天秤に載せられる、②天秤により粒重が測定される、③測定値が計算機に入り計算処理される。ここで②以降は既製機器間の電気的な信号の授受であり、最も工夫を要したのは種子を1粒ずつ天秤に分配するための摘粒装置であった。

Fig. 6に摘粒装置の概観と各部の名称を、Table 5に主な仕様を示した。種子槽のなかから種子を摘み上げる方法として空気の吸引圧を利用したが、これは吸引式播種機³⁾から着想をえた。装置の作動機構は次のようである。種子槽の一部を通して円盤が低速モーターにより回転している。円盤の外縁近くには小孔があり、ポンプにより吸引圧力が働いている。小孔(吸引口)が種子槽を通過するとき種子が吸着されるが、同時に吸引口が塞がれ、圧力が遮断されて他の種子の吸引を妨げる。種子は、円盤が回転して天秤の上きたとき、引っ掻き棒にあたって吸引口より移動し、圧力が開放され天秤受皿に落下する。以上が一定間隔で繰り返され、種子を1粒ずつ自動的に天秤に荷重することを可能にしている。

なお、種子の落下時における圧力の急減による空気流の変動を小さくするため、本機とポンプとの間に約20ℓの緩衝容器を接続した。円盤に設置した磁石は(Fig. 6)、リードスイッチとの組み合わせにより、測定値が計算機

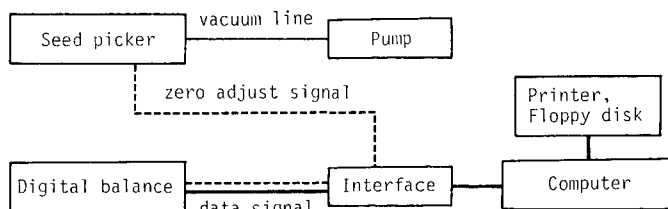


Fig. 5. Block diagram of "Sequential single-seed weighing system".

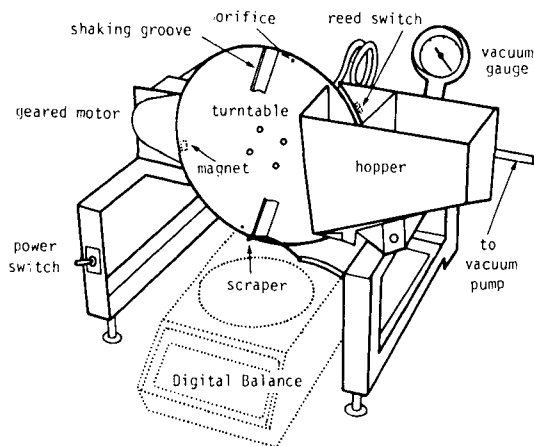


Fig. 6. A view of "Seed picker".

Table 5. Seed picker specifications

Vacuum pressure	max. 40 cm Hg
Turntable size	21.5 cm in diameter
Orifice size	2 mm in diameter
Turntable rotation	12.5 to 15.0 rpm
Hopper volume	approx. 1.3 l
Overall apparatus size (excluding pump)	50×40×40 cm (LWH)

に送られた直後に、荷重のまま値を零にする働き (taring) を受けもつ。

2) 装置の性能

本装置による1粒重の測定精度と速度は使用する天秤の仕様に依存する。ここで用いた天秤は最終読み取り値が0.01 gで1.5~2秒を要したが、taringの時間、信号授受や計算処理の時間を含め、装置全体での1サイクルを2~2.5秒に設定し、摘粒装置の回転数を調整した。従って、試作機では毎時1,500~1,800粒の自動測定が可能である。

摘粒装置の構造上、実際の測定にあたってはいくつかの点に考慮を要する。まず、測定する種子の最小径であ

るが、ここでは大豆、小豆、菜豆の種子サンプルを多数用意し、粒形や成熟度などをみながら、共通の最小径として2 mmを採用した。ただし、この口径では、小粒でしかも長楕円球に近い小豆の場合、2粒以上が同時に吸着されることがあり、後述の防止策をとる必要があった。一方、吸引口が種子槽内を通過する付近の種子相互の位置が固定され、吸着されないまま円盤が回転し続けることがある。試作機では円盤にかくはん用の溝をつけて欠粒状態になるのを防いだ (Fig. 6)。

種子の吸着は表面が滑らかで球に近い形のものほど確実であった。大豆、小豆、菜豆のなかでは大豆が最も安定しており、菜豆では小粒の手亡類が大豆の測定条件そのまま、大粒の金時類は吸引圧をやや高め回転数を少し遅くして順調に測定できた。しかし小豆の場合、吸引圧と回転速度の調節だけでは複粒吸着を防ぎきれなかったため、吸着直後に種子の移動方向をわずかにずらし、一時的に吸引流を漏らして余分な種子を排除する対策を講じた。因に、イネのように0.02 g前後の種子 (玄米) に対しては、最終読み取り値0.001 gの天秤を使用することにより応用可能と思われるが、天秤の機構上測定効率は低下する。また種子の形状からみて、吸引口径の変更を含む複粒吸着防止策が必要となろう。

測定値はインターフェースを介して計算機に送られ、予め組み込んであるプログラムにより処理される。本装置では測定ロット毎の粒重階級別度数を基本データとしてフロッピーディスクに記録し、すべての測定が終わった後に必要な統計計算を行なった。

以上、今回開発した1粒重自動測定装置について、機構と性能の概要を述べたが、技術的なデータは最小限にとどめた。本装置の実用化によって、多量の種子の1粒重を正確かつ迅速に測定することが可能になり、変異の研究を進める上での方法的な隘路が打開されたといえる。

摘 要

豆類の粒大変異を評価する際、方法として簡便な篩別

法が使えるかどうかの検討を含め、大豆、小豆、菜豆計70品種(系統)を供試して、粒長、粒幅、粒厚相互の関係および粒重との関係を作物間、品種間並びに品種内について検討した。また、その結果をもとに1粒重自動測定装置の開発を試みた。

1. 粒径相互の間には、3作物ともほぼすべての品種において、粒長>粒幅>粒厚の関係があった。このことは、篩別法では3粒径のうち粒幅によって大きさを分けることを示す。

2. 粒径比は作物で著しく異なり、比によっては品種間にも大きな変異がみられた。粒径比の品種内変動は、大豆が最も小さくC.V.3%以下であったのに対し、小豆と菜豆では4~6%を示し粒長/粒厚では10%に近い品種もみられた。

3. 粒径と粒重との相関は、大豆では粒幅においてきわめて高いが、粒長および粒厚とは品種間で大きく異なっていた。小豆では粒厚との相関が比較的高いが、菜豆では粒径で一定の関係がなく、相関も大豆・小豆より低かった。

4. 以上のことから篩別法は大豆の粒大の測定にはある程度使えるものの、小豆と菜豆には適さず、共通の方法として1粒重の測定によらざるをえないと判断し、その自動化を試みた。製作した1粒重自動測定装置は、空気の吸引圧を利用した摘粒装置、電子天秤および計算機から成り、0.01gの精度で毎時1,500~1,800粒の自動測定が可能である。

第2章 粒大分布の特徴

一般に、作物の量的形質に関する非遺伝的な個体変異は彷徨変異と呼ばれ、異なる微細環境の集積結果として生じると解されている⁵²⁾。また、彷徨変異の現われ方には一定の規則性があり、正規分布として広く知られる。このような形質の変異を扱うとき、分布の正規性は言わば当然の前提として、測定値から直接に分散あるいは標準偏差等の統計量を求めるのが普通である。大豆、菜豆、小豆は自殖性作物であるから、同一品種内の1粒重も同様に正規分布するものと考えられる。しかしながら1粒重は、草丈や莢数など個体単位で表わされる形質と異なり、個体内に変異をもつ形質である。個体内の粒大変異には多くの要因が関与していると推定され、単純に彷徨変異とみなすことはできないであろう。そこで、正規性の検討を含め、1粒重の分布の特徴を正確に把握しようと考えた。本章では、まず大豆を対象に個体内の粒大分布の特徴を明らかにし、そこにみられる変異とこれらが

集合した個体群の変異との関連を検討した。また、大豆におけると同様の分布特性が小豆、菜豆にみられるかどうかを確認した。続いて粒大変異を評価する際のサンプリング方法を大豆を用いて検討した。

材料と方法

実験1: 粒大の頻度分布について個体単位で調査を行った。1979年5月25日に、伸育型および平均粒大の異なる大豆4品種、十勝長葉(有限・小粒)、トヨスズ(有限・大粒)、黄宝珠(無限・中粒)、Harosoy(無限・小粒)を播種した。栽植様式は、畦幅60cm株間15cm1本立て(11.11個体/m²)である。肥料は、配合肥料「豆類6号」を用い、80kg(N-3.2, P₂O₅-10.4, K₂O-8.0, MgO-2.4kg)/10aを全量基肥として畦に施与した。収穫期に、Fig. 7に示す共通の方法で各品種100個体を刈り取り、風乾した後、個体毎に地上部重、節数、莢数を調査し、整粒について一粒重を測定した。測定には前掲の1粒自動測定装置を使用した(以下同じ)。ここで得られた測定値はサンプリング個体数の検討の際にも利用した。

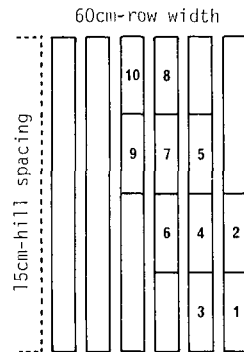


Fig. 7. Sampling situation for the experiment of seed size variation on the base of individual plant. One hundred plants in total were taken from consecutive ten plats of each section (1 to 10).

実験2: 粒大分布の一般的な特徴を調べるため、1979年に大豆30品種(Table 1)を実験1と同様の条件で栽培した。試験区は1品種4畦、畦長約4mで2反復とした。各品種につき反復毎に中央の2畦から生育中層の10個体を収穫、風乾し、節数、莢数などを調査してから主茎・分枝別に整粒の1粒重を測定した。

小豆と菜豆については、1980年に実験した。供試した品種は小豆18品種(Table 2)、菜豆22品種(Table 3)である。播種日は小豆が5月23日、菜豆が5月24日で、

畦幅はそれぞれ 50 cm, 60 cm とし, 株間 15 cm 1 本立てとした。肥料は両作物とも「豆類 6 号」120 kg/10 a を全量基肥として与えた。試験区と調査項目については 1979 年の大豆と同じである。なお, 蔓化の著しい小豆の黄金大納言および菜豆の改良早生大福, 改良虎豆, 満州菜豆には支柱を立てた。

実験 3: 一定の面積から収穫された多量の種子について, その粒大変異を評価する方法を検討するため次の実験を行なった。1978 年に, 大豆 2 品種, 十勝長葉と Harosoy を, 畦幅 30 cm 株間 20 cm 2 本立て (16.67 株/m²) で栽培した。播種日は 5 月 20 日で, 肥料は 1979 年と同じである。収穫期に, 2 品種それぞれボーダーを含まない 3 畦 240 株 (14.4 m²) を全刈し, 風乾の後脱粒して各品種およそ 5 kg の種子をえた。屑粒と虫害粒を除き, よく混合した種子のなかから, 任意に 100, 200, 300, 400, 500 粒をそれぞれ 200, 100, 67, 50, 40 回取り出し, そのつど 1 粒重を測定して変異係数を求め, その安定度から変異を評価する際の適当なサンプルサイズを推定した。

結果と考察

1. 個体別にみた粒大分布

個体単位でみた場合に粒大が正規分布するかどうかを検討した。正規分布における理論頻度は, 観測値の粒大の平均値と標準偏差から次式により推定した。

$$Y = \frac{Nd}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2s^2}} \dots\dots\dots (1)$$

ここに, Y は階級 X (中央値) の頻度を表わし, \bar{x} および s はそれぞれ観測による平均値と標準偏差, N は粒数, d は階級の幅である。測定 of 最小単位を 0.01 g ($d=0.01$) として 4 品種各 100 個体について計算し, 観測頻度と照合した。Fig. 8 に, そのうちの十勝長葉と黄宝珠について数例をあげたが, 観測された粒大の頻度分布は個体により様々な型を示し, 正規分布に近いもの (a~d) もあれば, 正規分布とは見なし難いもの (e~h) も多数みられた。また, 後者の場合, モードが平均値より大粒側に位置する個体が多かった。そこで, それぞれの分布につ

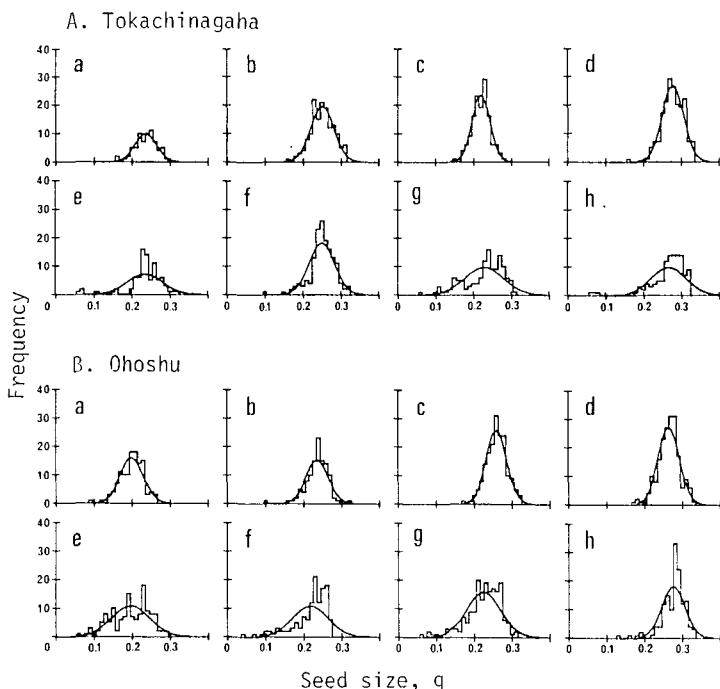


Fig. 8. Some cases of seed size distribution in the individual plant for two soybean cultivars, Tokachinagaha (A) and Ohoshu (B). Curved lines represent the normal distribution estimated by sample mean and standard deviation. For plants a-d the observed values fitted to the normal distribution and plants e-h did not fit to that in the chi-square tests.

Table 6. Characteristics of seed size distribution on the base of individual plant in each 100 plants of 4 soybean cultivars

Cultivar	Normality (Z ² test)	No. of plant	Coefficient of skewness	Mean seed size, mg	No. of seed
Tokachinagaha	P>0.05	64	0.33~-1.32	147~278	69~260
	P<0.05	36	-0.12~-2.19	179~266	69~258
Toyosuzu	P>0.05	74	0.14~-1.86	225~350	25~170
	P<0.05	26	-0.08~-2.32	229~298	36~132
Harosoy	P>0.05	60	0.23~-0.86	165~226	93~365
	P<0.05	40	0.19~-1.14	160~233	105~263
Ohoshu	P>0.05	38	0.09~-2.26	182~289	61~282
	P<0.05	62	-0.32~-2.66	196~282	64~259

いて正規性の検定を行なうとともに、歪みの程度を調べた。適合度検定 (χ²検定) に際しては階級数の調整を行なった。すなわち個体当たり粒数をおよそ150とみると、(階級数=1+3.3 log N, Nは全度数, より) 9前後が適当な階級数となる。そこで階級幅を0.02gとして再度(1)式で理論度数を計算し、頻度の低い両端の階級は適度に一括した。また、歪み係数 g₁ は次式、

$$g_1 = m_3 / (m_2 \sqrt{m_2})$$

但し $m_3 = \sum (X - \bar{X})^3 / N$, $m_2 = \sum (X - \bar{X})^2 / N$

により求めた。得られた結果を Table 6 に示した。適合度検定によると、100 個体中少ない品種で26 個体 (トヨスズ), 多い品種では62 個体 (黄宝珠) において、正規分布が当てはまらないとみなされた (5% 水準)。個体の粒数および粒大の平均値 (平均粒大) は分布の正規性の有無と関係がなかった。歪み係数 g₁ の符号が示すように、正規分布でないと判断される個体は、ほとんどの場合負に歪んだ、すなわち小粒側の端が広がった分布をとった。また、これらの多くが検定の結果正規分布から有意に歪んでいることが確かめられた。

2. 個体群における粒大分布

個体でみた粒大分布は“一般に正規分布と見なし得る”とは言えない。しかしながら、個体が多数集合したときの全体の分布は、個体間の彷徨変異が働いて正規分布により近くなるものと考えられる。Fig. 9 は、個体別に調査した100 個体をすべて込みにしたときの粒大分布を示す。これを個体別分布の例 (Fig. 8) と比較すると、度数は滑らかに変化し、推定される正規曲線にかなり近いことがわかる。しかし、黄宝珠はなお他の品種と異なり、個体にみられた分布の特徴が全体にも反映され、明らかに負の歪みをもつ分布を示した。次に、個体群全体の粒大変異のうち、個体間変異による割合がどの程度あ

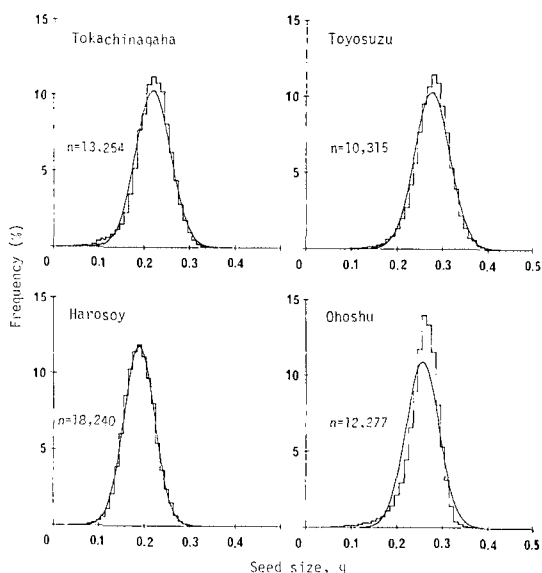


Fig. 9. Seed size distribution of a large sample (100 plants) in soybeans. Curved lines represent the normal distribution estimated by sample mean and standard deviation.

るかを推定した。全体の分散は、次式により個体内の分散と個体間の分散に分解することができる⁴⁹⁾。

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \left\{ (N_1-1) \sigma_1^2 + (N_2-1) \sigma_2^2 + \dots + (N_i-1) \sigma_i^2 \right\} + \frac{1}{N-1} \left\{ N_1 (\mu_1 - \mu)^2 + N_2 (\mu_2 - \mu)^2 + \dots + N_i (\mu_i - \mu)^2 \right\} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、σ², μ, N は母集団の分散, 平均値, 粒数をそれ

Table 7. Intra- and inter-plant variation for seed size in soybeans

Cultivar	Variance ($\times 10^{-4}$)			Mean seed size, g
	intra-plant	inter-plant	total	
Tokachi-nagaha	9.83 (65.7)	5.13 (34.3)	14.96 (100)	0.220
Toyosuzu	10.41 (69.3)	4.61 (30.7)	15.02 (100)	0.277
Harosoy	8.91 (78.2)	2.48 (21.8)	11.39 (100)	0.190
Ohoshu	9.27 (69.3)	4.11 (30.7)	13.38 (100)	0.256

Data were calculated for 100 plants (10,315~18,240 seeds) in each cultivar. Numbers in parenthesis are percentage to total.

それ表わし、 σ_i^2 , σ_i , N_i はそれぞれ i 番目の個体の分散、平均値、粒数を表わす。(2)式の右辺前項が個体内の、後項が個体間の分散である。実測値から推定した各分散の値を Table 7 についてみると、個体間の分散の全体の分散に対する寄与は、Harosoy で 22%、他の 3 品種がおよそ 30% であった。換言すると、個体群の粒大変異は少なくとも 2/3 が個体内の変異に起因するものと推定される。

3. 大豆, 小豆, 菜豆にみられる粒大分布の一般の特徴

前出の大豆 4 品種の粒大分布で、個体レベルでは負に歪んだものが多数みられたが、個体群になると正規分布に近くなることを述べた。しかしながら、Fig. 9 にみられる分布を検定してみると、厳密に正規分布と言えるのは Harosoy のみであって、黄宝珠、十勝長葉トヨズズの 3 品種は正規分布とは見なし得ず (0.5% 水準)、同時に有意な負の歪みが認められた。そこで、小粒側の端が広がった分布の特徴が、多くの大豆品種で、さらに小豆と菜豆においても共通してみられるかどうかを検討した。

まず、供試した 70 品種すべてについて正規性の検定を行なった。対象としたのはすべて 1 品種 20 個体の個体群である。その結果、大豆 30 品種、小豆 18 品種、菜豆 22 品種中、それぞれ 1 品種を除くすべての品種において、粒大は正規分布してないと推定された (0.5% 水準)。また、歪み係数 g_1 は大豆、小豆、菜豆でそれぞれ -1.970~0.341, -0.759~0.010, -0.140~0.211 であったが、正の値を示したのは全体のわずか 5 例で、残りの値のほとんどは推定される g_1 の標準偏差 (0.028~0.086) の数倍~数十倍に相当する負の値であった。これらのことから、

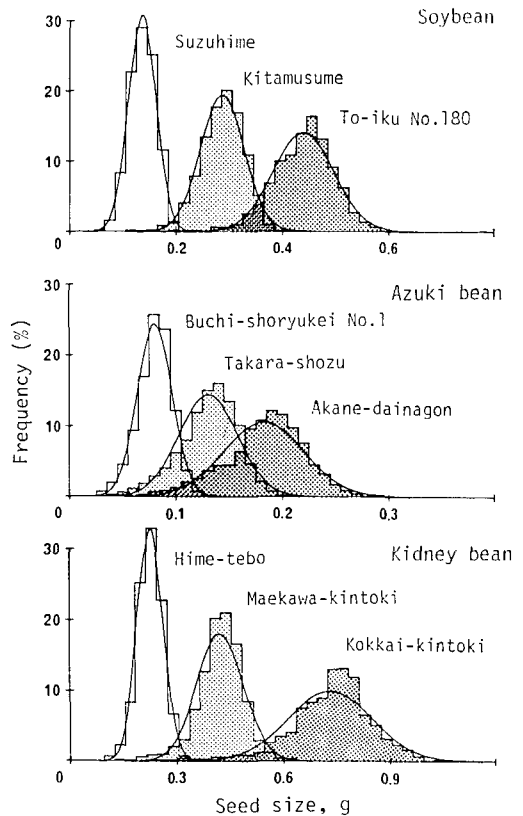


Fig. 10. Seed size distribution for the cultivars with different mean seed size in soybean, azuki bean, and kidney bean. Curved lines represent the normal distribution estimated by sample mean and standard deviation. All seeds of 20 plants were weighed in each cultivar.

厳密には正規分布でなく負の歪みをもつ分布が、3作物に共通した粒大分布の特徴といえる。各作物の粒大分布について、それぞれ平均粒大の異なる 3 品種を例に示したのが Fig. 10 である。同図において、小粒品種の粒大分布は正規分布にきわめて近いが、中・大粒品種では負の歪みをもつことがわかる。また、大粒品種ほど粒大の分布範囲が広がる、言い換えれば平均粒大が大きいと分散も大きいことが明瞭である。

4. サンプリング方法について

品種の粒大変異を評価するときまず最初に問題になるのは、変異の表わし方と測定材料の取り方である。変異の指標としては、単純でしかも実際の分布をある程度推定できること、方法的には測定時間が短くしかも再現性の良いことが要求されよう。測定値のパラッキの程度

は、分散またはその平方根である標準偏差で表わすことが多いが、Fig. 10にも示されているように、これらは平均値に影響されるため、相対的な比較をする際には、標準偏差を平均値で除し(100を乗じ)た変異係数がよく用いられる。一方、種子サンプルの取り方には、個体を基に行なう方法と一定の粒数を対象とする場合とが考えられる。後者の場合は、ある多量の種子に対して粒大変異を推定したいときに必要となろう。ここでは、変異係数を指標にして、両方法における適切なサンプルの大きさを実験的に検討する。

1) 個体単位の場合

実験1の4品種100個体の測定値を用いた。平均粒大と変異係数の頻度分布はFig. 11のとおりであるが、両形質とも広い範囲に分布している。これらの個体は無作為に抽出されてないこともあって(Fig. 7), 分布の型は正規分布に近いものもあるが、歪みの大きいものもあった。母集団が正規分布であるとき、推定値の95%が±Lの精度をもつためのサンプルの大きさは、およそ $4\sigma^2/L^2$ (ただし、 σ は母集団の標準偏差)である。いま、個体の粒大の平均値と変異係数が正規分布するとし、 σ に実測値の標準偏差を用いて、平均値に対して $L=200$ mg, 変異係数に対して $L=2\%$ のときのサンプルの大きさを求めると、平均値で2.3~5.0個体、変異係数で2.8~8.8個体であった。Fig. 11に正規性を当てはめるにはやや無理があるが、ある程度の推定はできる。しかし、平均値の場合は個体を基に平均して求めた値と全体を込みにして算出した値とは実質的にほとんど同じであるが、変異係数ではそれが異なる。すなわち個体群における粒大の分布幅は個体毎のそれよりも常に大きくなるから(Fig. 11), 上記方法は適切な推定とは言い難い。そこで、次の

実験的な方法を試みた。5個体の例で示すと、100個体のなかから、5個体を無作為に取り出し、込みにした粒大の平均値と変異係数を算出し、それを10回繰り返したときの安定度を変異係数により表わした。これらの操作を1, 2, 10, 20個体についても行ない、100個体全体(粒数で約10,000~18,000)の平均値および変異係数と比較しながら、適切なサンプリング個体数を推定した。これらの

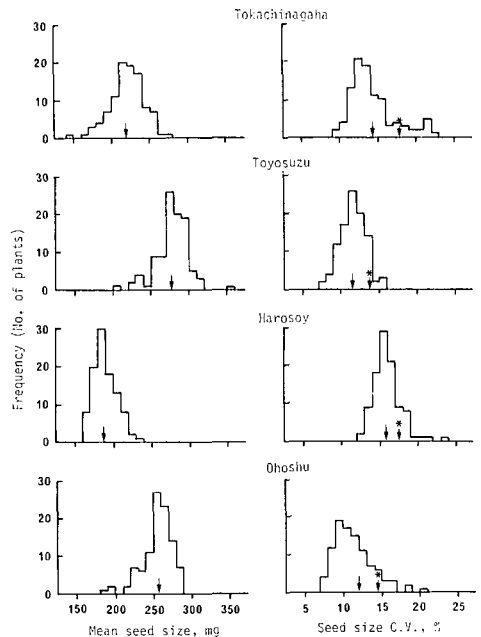


Fig. 11. Frequency distribution of mean seed size and seed size C.V. on the base of individual plant in soybeans. Arrows show means. Asterisked arrows show overall means of 100 plants.

Table 8. Effect of sampe size (plant base) on estimation of mean and coefficient of variation for seed size in soybeans

No. of Plants	Tokachinagaha				Toyosuzu				Harosoy				Ohoshu			
	MSS		SSV ¹⁾		MSS		SSV		MSS		SSV		MSS		SSV	
	\bar{x}	C.V. ²⁾	\bar{x}	C.V.	\bar{x}	C.V.	\bar{x}	C.V.	\bar{x}	C.V.	\bar{x}	C.V.	\bar{x}	C.V.	\bar{x}	C.V.
1	213	12.5	14.8	22.8	289	5.9	11.1	14.2	184	10.2	15.6	9.9	258	7.8	12.0	41.4
2	219	10.2	16.5	28.0	283	4.9	12.0	9.1	184	5.5	17.3	11.7	254	5.9	13.0	23.2
5	213	5.4	16.1	18.1	277	3.7	13.1	18.5	189	3.5	17.6	9.8	256	2.6	15.0	19.2
10	220	3.8	16.8	10.5	276	2.6	13.6	10.4	189	4.3	17.4	4.8	258	2.8	13.9	11.8
20	221	1.7	17.9	5.9	275	1.7	14.4	6.9	190	1.7	17.4	2.6	256	1.5	13.9	10.9
100	219		17.6		277		13.8		189		17.8		256		14.3	

1) MSS=Mean seed size (mg), SSV=Seed size variation (C.V. %).

2) Values for 10 samples when a given number of plants was taken at random from 100 plants.

結果を Table 8 に示した。まず粒大の平均値をみると、1 サンプルの個体数が増すにつれてサンプル間の変動が小さくなり、20 個体では4 品種とも C.V. 2% 未満であった。平均値の変動は2 個体でも十勝長葉以外は5~6% で、5 個体になると十勝長葉も5% 程度に低下した。したがって、平均粒大の推定には通常5 個体の測定で十分である。一方、粒大の変異係数は、個体数の増加に伴い変動が小さくなる傾向はあるが、平均値に比べて全体に大きく、3 品種において5 個体では18~19%、10 個体でなお10% を示した。粒大の変異係数には、個体内の変異が強く関わるから、個体単位のサンプリングではかなり慎重を要する。10% 程度の変動を許容するとすれば

10 個体の、もしもそれ以下を期待するなら20 個体の全粒を測定する必要がある。

2) 粒数単位の場合

十勝長葉と Harosoy を供試した実験3 で得られた種子について、100 粒を単位として測定したときの粒大の平均値および変異係数の頻度分布を Fig. 12 に示す。平均値は100 粒重で表わした。全体の粒数は20,000 粒であるから、前項の個体単位でみたときとそれほど変わらないが、個体単位の場合 (Fig. 11) に比べて正規分布により近似していた。これは、個体内の変異の違いが十分に混合されたことによって分散し、平均化されたためと考えられる。粒大の変異係数も100 粒を単位として平均した値と、全体を込みにしたときの値とはほとんど変わらなかった。100 粒から500 粒まで測定粒数を変えたときのそれぞれのサンプル間の変動を Table 9 に示した。測定粒数が多くなるに従って平均値、変異係数ともにバラツキが確実に減少していくことがわかる。しかも、100 粒がおよそ1 個体に相当するとみて個体単位のときと比較すると、C.V. はほぼ1/2 の値であった。100 粒の平均粒大 (100 粒重) は約5% の変動である。このことから、一般によく使われる100 粒重は、平均的な粒大の推定にきわめて適した指標であることがわかる。しかし、粒大の変異係数は100 粒ではなお10% 以上の変動があり、かなりはずれた値をとる可能性がある (Fig. 12)。これを100 粒重並の精度で推定するには500 粒の測定を必要とするであろう (Table 9)。

論 議

豆類の1 粒重の分布に関する報告はきわめて少ない。宮川⁴⁸⁾ は大豆における確率分布の研究で、通常の分布の解析では、打ち切り標本のために1 粒重の下限が明確でない点を指摘し、分布をしいな部分の指数分布と整粒部分の正規分布との混合分布と仮定し、その重複部分に統

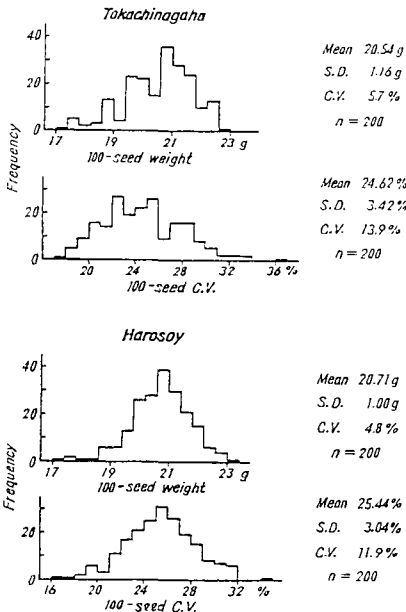


Fig. 12. Frequency distribution of 100-seed weight and 100-seed C.V. (coefficient of variation for seed size in 100 seeds) in soybeans.

Table 9. Effect of sample size (seed base) on mean and coefficient of variation for seed size in soybeans

	Cultivar	No. of seeds				
		100	200	300	400	500
Mean seed size	Tokachinagaha	5.65	4.10	3.15	2.32	2.04
	Harosoy	4.83	3.16	2.19	1.93	1.86
Seed size variation (C.V. %)	Tokachinagaha	13.98	10.63	8.59	6.64	5.54
	Harosoy	11.95	9.96	8.11	6.12	4.46

Values are C.V.s (%) at n=200 for 100-seed, n=100 for 200-seed... (20,000 seeds in total).

計的な考慮をしたらうえて最適のパラメーターを推定したところ、モデルと実際がよく適合したと述べている。ただし、示された理論分布と標本分布のいずれをみても、しいな部分と整粒部分はほぼ分離しているようであった。本実験では、粒幅で2 mm以上、粒重で0.03~0.05 g以上の粒を測定したが、大豆に限らず小豆と菜豆においても、下限に近づくにつれて再び頻度が高くなることはなかった。しいな粒については、定義の問題もあるが、通常の測定でその分布を考慮する必要はほとんどないものと思われる。

品種(個体群)の1粒重の分布については、適合性検定を行なったところ、ほとんどの場合正規分布とは見なされなかった。その点では宮川⁴⁸⁾の結果と異なることになるが、本実験の場合は粒大分布の実態の把握を目的とし、他方は確率論的なアプローチを主としている(適合性の検定はとくに行なっていない)のであって、おそらく本質的な違いではないであろう。DAVIDSON^ら⁷⁾によると、落花生3品種の粒大分布は正規分布またはロジスティック分布に適合するという。しかし、これは1粒重の測定でなく篩別法によっており、しかも年次と場所が込みにされたサンプルの結果であるため、本実験の結果と比較することはできない。

大豆、小豆、菜豆の粒大を多数の品種について実測した結果に基づくと、品種における粒大分布の一般的特徴として、正規分布に近似してはいるが、小粒側の端が広がった歪みをもつことが指摘される。しかも大豆でみたように、その特徴は程度の差はあれ個体内の分布に既に現われている(Fig. 8)。小粒側の端が広がる分布に関しては次のように考えられる。品種には遺伝的に決まる容器としての莢に見合った適当な種子の大きさがあり、通常それは出現頻度の最も高い粒大であろう。しかし、それより小粒および大粒の生じる機会はずしも均等とは言えない。なぜなら、大粒側には莢による制限があるが、小粒側には実質的にそれが無いからである。遅い開花に由来する粒、あるいは同化産物の競争等によって早期に発育が不利となった粒が、小粒のまま収穫期を迎えることは十分ありうる。例えば大豆で、開花期間が長く生育量の大きい無限伸育型の黄宝珠に、“小粒側の裾を引く”特徴をもつ個体が多かったことはそのひとつの現われと考えられる。

こうした分布の特徴から厳密に言うと、粒大変異に関して正規性を前提とした統計量を用いることの適否が問題となろう。歪みの程度をも表わしうる単一の相対的な変異の指標を求めることは困難であるが、実際には変異

の大きさと歪みの程度とは無関係ではない。すなわち、歪み係数(符号を含む)と実測値から計算した変異係数との間には比較的高い正の相関が認められ(例えば大豆で $r=0.735^{***}$)、負の歪みの大きい分布が変異の小さいことに対応している。この関係も前述した粒の肥大過程に由来すると考えられる。このように、変異係数は、大豆、小豆、菜豆の粒大変異に関して、分布の特徴をある程度含んだ簡便で実用的な指標と言えよう。本論では、粒大変異の大きさはすべて変異係数をもって表わしている。

品種(個体群)の粒大変異は、個体内の変異に個体内の変異が加わったものである。個体群全体の分散に占める個体間の分散の割合について、宮川⁴⁹⁾は大豆32品種各5個体の測定により2~34%(多くは20%以下)の値を得ており、本実験の4品種各100個体の結果は22~34%であった。ここで測定した集団は、ボーダーを含み、畦内で連続して取られているため(Fig. 7)、地上部の個体間変異がかなり大きかった。したがって、個体間変異の寄与が30%というのはおそらく最大に近いと考えられる。言い換えれば、粒大の変因はその2/3以上が個体内にあると言える。WOOD^ら⁸⁹⁾は種子重の変異に関する総説的な報告のなかで、個体間変異の占める割合は大麦で35%、エンドウで85%、テンサイで87%と紹介している。この場合、テンサイは他殖性であるから高い値を示して当然としても、自殖性のエンドウの85%という値は、栽培法その他方法の詳細がないので検討できないが、大豆の結果からは想定し難い値である。

堀江^{27,28)}は最近、作物の圃場試験における個体間変異の問題を取り上げ、数作物についてその実態と特性を示しながら、集団としての作物をいかにみるかを論じている。サンプリング方法で示したように、特に形質の変異自体を扱うときには、その特性を実験的に十分把握しておく必要がある。

摘 要

主に大豆を供試し、個体と個体群における粒大分布の特徴を明らかにするとともに相互の関係を検討し、あわせて変異を評価する際のサンプリング方法を検討した。

1. 個体別に粒大分布をみると、正規分布に適合しないものが多数みられ、そのほとんどが“小粒側の裾を引く”負に歪んだ分布であった。

2. 個体が多数集合したとき(個体群)の粒大分布はより正規分布に近似したが、負に歪む特徴はなお残った。この特徴は小豆と菜豆の品種にも共通してみられた。

3. 個体毎の平均値と分散から推定すると、品種（個体群）の粒大変異は少なくとも 2/3 が個体内に起源をもつと考えられた。

4. 粒大変異を評価するには、個体単位のとときは少なくとも 10 個体全粒の変異係数を求める必要がある。不特定多数の試料では、500 粒の測定により 100 粒重並の精度で評価しうる。

第 3 章 個体内における粒大変異の要因

1. 開花時期と粒大

前章において、品種の粒大変異が主として個体内の変異に基づくことを述べた。Fig. 13 に大豆品種キタムスメの個体内の粒大の分布例を示したが、このように種子が個体全体に分散して着生し生長するのが豆類作物の特徴であり、栄養生長と生殖生長の長期にわたる並進と、その間における開花結実習性に深く関係している。開花は粒大が成立する出発点であり、その時期の早晩は粒大変異の強い要因となるに違いない。そこで本章では、まず大豆を対象に、まず個体内における開花時期の違いを

取り上げ、開花・着莢の様相、莢と子実の生長経過をみながら、粒大との関係を明らかにしようとした。

材料と方法

熟期、伸育性、100 粒重の異なる大豆 9 品種（極早生千島、奥原 1 号、スズヒメ、十勝長葉、キタムスメ、ユウヅル、コガネジロ、Comet および Harosoy、特性については Table 1 参照）を 1981 年 5 月 21 日に播種した。栽植様式は畦幅 60 cm、株間 15 cm の 1 本立てである。畦長は 15.6 m で各品種 3 畦とし、中央 1 畦を調査に用いた。肥料は配合肥料「豆類 6 号」80 kg/10 a を全量基肥として与えた。開花時期は、咲いた花の萼に色の異なる合成樹脂塗料で印をつけることにより、5 日単位に区別した。開花始めから 13 日目（第 3 開花日群の中央日）を第 1 回として、以後 5 日毎に成熟期まで 5 個体を掘り取り、塗料の色にしたがって莢実を分類した後、それぞれの群について莢および種子の長さ、幅、厚さをノギスまたは厚み計を用いて測定し、80°C - 48 時間の乾燥により乾物重を求めた。供した莢と種子の数は一定しないが各開花日群につき莢は 20、種子は 40 を目標とした。また、同一品種のなかでは、莢内粒数別の莢数の割合ができるだけ等しくなるよう配慮した。収穫期には、各品種 10 個体につき、約 2 週間の自然乾燥を行ない、個体内における開花日群別の着莢位置を記録し、莢をはずして分類した後、莢数、粒数および 1 粒重を測定した。

結果と考察

1) 開花日別の開花数および着莢率

供試品種の開花期間は 15 日から 35 日にわたったが、その差異は主として伸育性の違いによる。ここでは、開花時期を 5 日毎の開花日群（早いものから順に I, II, …）で扱い早晩を区別した。Fig. 14 に示すように、有限伸育型品種では、早生の極早生千島と奥原 1 号が 3 群に、中・晩生品種は十勝長葉を除いて 4 群に分けられた。半無限型のコガネジロと無限型で早生の Comet は 6 群から、Harosoy は最も多い 7 群から成っていた。しかし、3 開花日群をもつ有限型品種を除き、最終開花日群は着莢に至らずすべて脱落した。

Table 10 に個体当たり開花数、着莢数および着莢率を、Fig. 15 にこれらを開花日群別にみた結果を示した。開花数は品種によって異なり、早生 2 品種で少なく、とくに奥原 1 号は個体当たり約 50 と極端に少なかった。他の 7 品種ではコガネジロの 136 から十勝長葉の 226 までみられた。着莢率にも品種間で大きな差異が認められ、

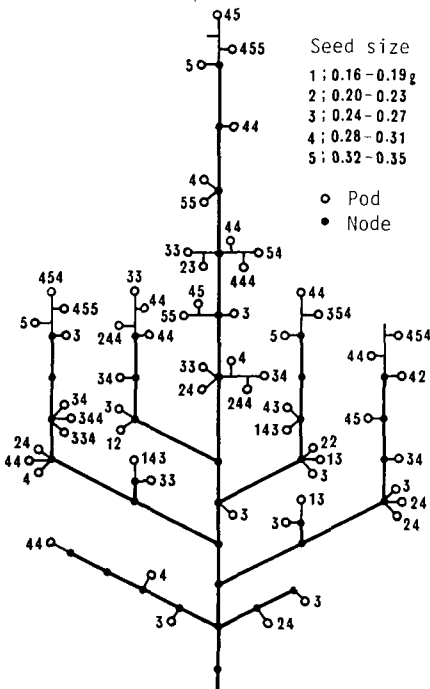


Fig. 13. Distribution of seed size on a plant of soybean cv. Kitamusume. Seeds (represented by a small figure) within a pod were arranged left to right from the peduncle side.

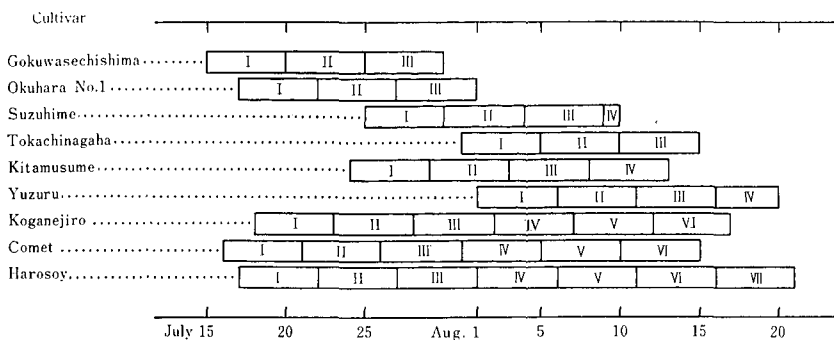


Fig. 14. Flowering period in nine soybean cultivars. Roman numerals represent the flowering groups divided every 5 days.

Table 10. Number of flowers and pods and podding efficiency in soybeans

Cultivar	No. of flowers per plant	No. of pods per plant	Podding efficiency (%)
Gokuwase-chishima (GOK)	97.2	47.2	48.6
Okuhara No. 1 (OKU)	48.6	30.0	61.7
Suzuhime (SUZ)	163.2	78.4	48.0
Tokachinagaha (TOK)	226.4	55.2	24.4
Kitamusume (KIT)	184.6	54.2	29.4
Yuzuru (YUZ)	177.6	36.0	20.3
Koganejiro (KOG)	135.8	67.8	49.9
Comet (COM)	185.6	53.6	28.9
Harosoy (HAR)	177.6	68.0	38.3

Means of five plants grown at a population of 11,111 plants/10 a. Abbreviations of cultivar are used in Figs. 15 and 16.

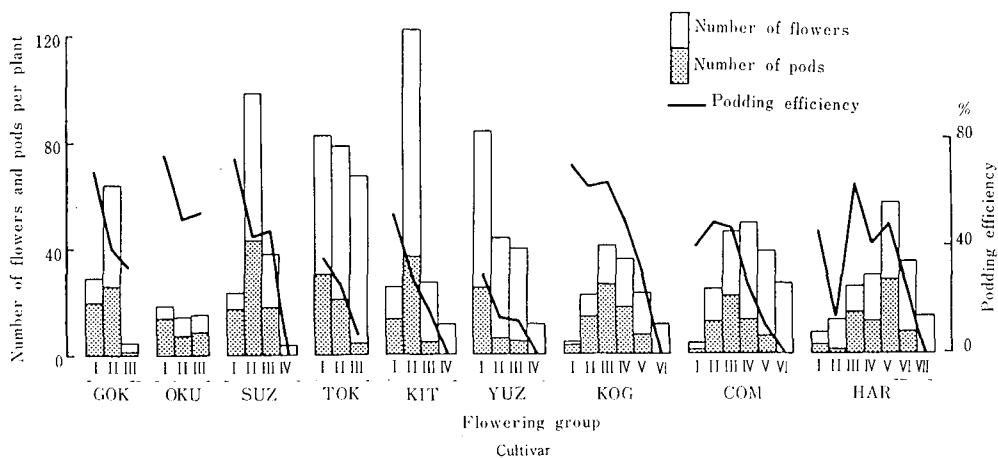


Fig. 15. Number of flowers, number of pods, and podding efficiency in relation to intra-plant flowering date in soybean cultivars. For flowering group and abbreviation of cultivar see Fig. 14 and Table 10, respectively.

奥原1号の62% (開花受精しやすい²⁰⁾) を最高に、コガネジロ、極早生千鳥、スズヒメが約50%を示し、最低がユウヅルの20%であった。開花日群別にみると、半無限型・無限型品種では開花期間の中期に開花数のピークがみられ、有限型では開花始めより10日間に咲く花の数が多かった。着莢率は、全品種とも早い開花日群ほど高い傾向がみられた。これはとくに有限型に顕著で、例えばキタムスメの着莢率は個体としては29%であったが、開花日群Iだけをとると52%の高い値を示す。無限型もほぼ同様であるが、開花日群IとIIの着莢率はやや低い傾向があった。

2) 開花日別の着莢位置

節位毎に開花日群別の莢の分布をみたのが Fig. 16 で、主茎について示した。同図にみられるように、着莢数は節位によって異なり、しかも品種によってその分布型が著しく異なっている。節を上中下に大別すると、半無限・無限型品種はいずれも中位の節に莢が多いが、有限型間では分布に一定の傾向がみられず、十勝長葉とキタムスメの莢数は上中層ではほぼ等しく下層で少ないのに対し、ユウヅルは中層に主体があり、極早生千鳥とスズヒメは最上位節付近に多数の莢をつけるなど多様であった。開花日群別にみると、有限型3品種 (極早生千鳥、奥原1号、ユウヅル) を除き、後生花に由来する莢ほど上位節に着生する傾向があり、とくにこれは無限型に顕著であった。また、これら6品種の中位節は開花日群の数が多

く、この部分の開花期間が長いことがわかる。先に例外とした3品種については、開花日群Iの莢の占める割合が高い。これは、早生で節数の少ない極早生千鳥と奥原1号では、開花始めより5日間で既に主茎全節にわたって開花が完了したこと、ユウヅルでは開花日群II以降の着莢率が低かったこと (Fig. 15) による。分枝については特に調査しなかったが、早い時期に出現した生長の旺盛な分枝では主茎と同様の分布をもつものと推定される。

3) 開花日別の莢実の生長経過

a. 莢および子実の長さ、幅、厚さの推移

Fig. 17 に有限型のキタムスメと無限型の Harosoy について、莢と子実の長さ、幅、厚さの推移を開花日群別に示した。莢の長さとは幅をキタムスメについてみると、開花日群IとIIはほぼ同時に同じ値で最大になり、成熟期までそのまま推移したが、IIIはI, IIに比べ常に小さく推移した。開花時期の差は長さで大きく幅では小さかった。子実の長さとは幅も莢と同様にIIIが劣って生長するが、最大に達して以後差はほとんど消失した。また、莢と子実の厚さは、開花日群I~IIIともほぼ同じ速度で増加を続け、莢ではIIIが最終的に小さい値であったが、種子ではほとんど変わらなくなった。

一方、Harosoy についてみると、莢の長さとは幅の生長に与える開花時期の影響は、キタムスメと同様に長さで大きく幅で小さかったが、最大値はともにIII~VがI,

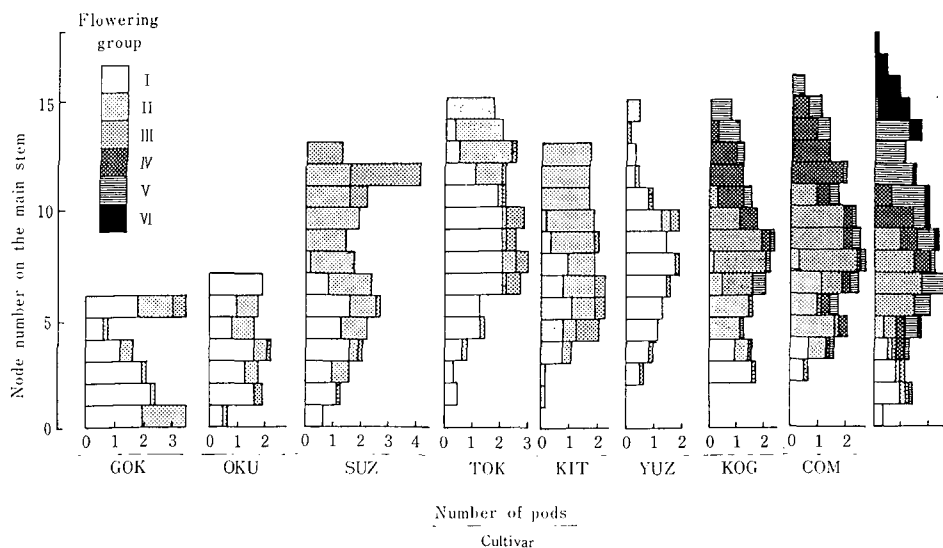


Fig. 16. Nodal distribution of pods in relation to intra-plant flowering date in soybean cultivars. For flowering group and abbreviation of cultivar see Fig. 14 and Table 10, respectively.

II および VI に比べ大であった。子実の長さとは幅は、開花始めより 40~45 日までは、開花日の早いほど大きかったが、その後 I, II の生長が緩慢となり、III, IV, V が順次優勢となっていった。このような生長順位の逆転現象は、莢と子実のすべての大きさに共通してみられた。子実の大きさの開花時期による差異は、成熟期直前の脱

水過程で、とくに長さにおいて急速に小さくなったが、I, II および VI 群の幅と厚さは、他の開花日群に比べ最終的にやや劣った。

他の有限型品種では、キタムスメと同様に遅い開花日群 III の生長が劣り、無限型の Harosoy にみられた開花期間の初期および終期に由来する莢実の生長が劣る傾

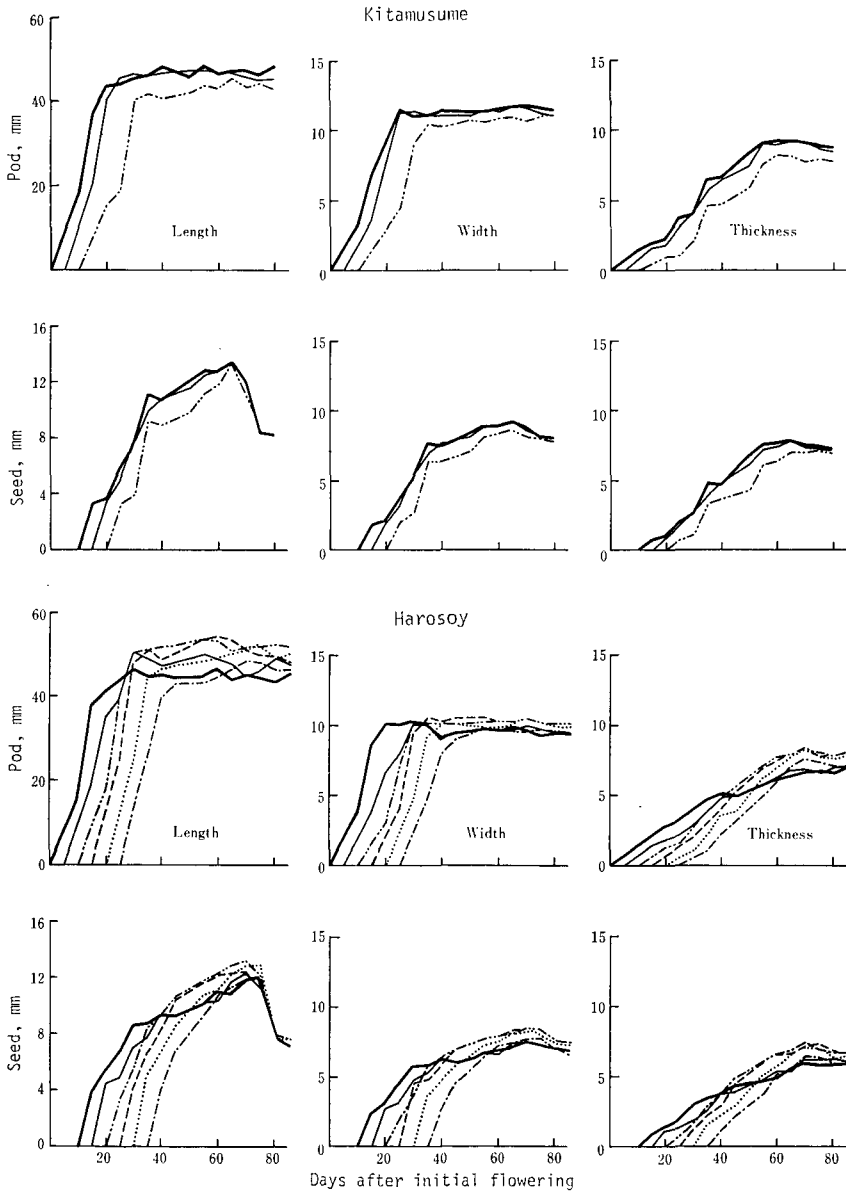


Fig. 17. Changes in length, width, and thickness of pods and seeds in relation to intra-plant flowering date in soybean cultivars, Kitamusume and Harosoy. Flowering groups: — I; — — II; - - - III; - · - IV; · · · V; - · - VI (see Fig. 14).

向が、コガネジロと Comet にもみられた。ただし、両品種では I と V が Harosoy の I, II と VI にそれぞれ相当した。

b. 乾物重の推移

開花時期別にみた莢および子実の乾物重の推移を、有限型のキタムスメ、半無限型のコガネジロ、無限型の Harosoy について Fig. 18 に示した。莢の乾物重は、一般に、長さとな幅が最大に達する時期か、それより5~10日後まで急速に増加するが、その後も主として厚さの増加に従い成熟期近くまで漸増した。開花時期別の莢乾物重の推移には、長さ、幅、厚さにみられたと同様の差異が顕著に認められ、有限型では遅い開花に、半無限・無限型では開花の初期および終期に由来する莢の生長が明らかに劣った。ただし小粒品種のスズヒメでは開花日群間の差異が極めて小さかった。

子実乾物重は全品種、全開花日群ともほぼソグモイド型の推移を示した。すなわち、開花から急速な増加が始まるまでの微増期間、直線的に急増する期間、ほぼ一定になる期間の3相より成る。最終的な子実乾物重は直線的な増加相の勾配と期間によりほとんど決定されるが、これらは品種間でもとより開花日群間にも明らかな差異が認められた。また、子実の外見的大小の開花時期による差異は、成熟に伴う脱水過程でかなり小さくなることをすでに述べたが、乾物重においては、一定の時期

に達してなお差は明瞭であった。

c. 子実の乾物蓄積率および有効登熟期間

子実の生長を定量的に比較するため、Fig. 18 における直線的増加相について DAYNARD ら^{8,9)}の方法を用いて乾物蓄積率 (rate of dry matter accumulation, RDA) および有効登熟期間 (effective filling period, EFP) を算出した結果を Table 11 に示した。RDA は大粒品種ほど大きい傾向があり、開花日群平均で最も大きかったのがユウヅルの 9.19 (mg/day/seed), 最小がスズヒメの 2.48 ではほぼ4倍の差があった。一方、EFP は、極早生千島の平均 25.3 日からコガネジロの 51 日にわたっていたが、品種の平均粒大あるいは熟期との間に一定の傾向はみられなかった。

RDA と EFP は開花時期によって異なり、有限型品種では開花日群 III の RDA または EFP のいずれかが I, II に比べて小さかった。例えば極早生千島の場合、開花日群 I と III の RDA がそれぞれ 6.34, 4.16 であるのに対し、EFP は 24 日、28 日で III が 4 日長いだけである。つまり、遅く開花した花に由来する子実の生長が劣るのは、乾物蓄積率の小さいことが主因であった。他方ユウヅルをみると、I と III の RDA はほとんど変わらないが、EFP はそれぞれ 41 日、33 日で、III の最終子実乾物重が小さかったのは、有効登熟期間が短かったためであることがわかる。次に半無限・無限型品種につい

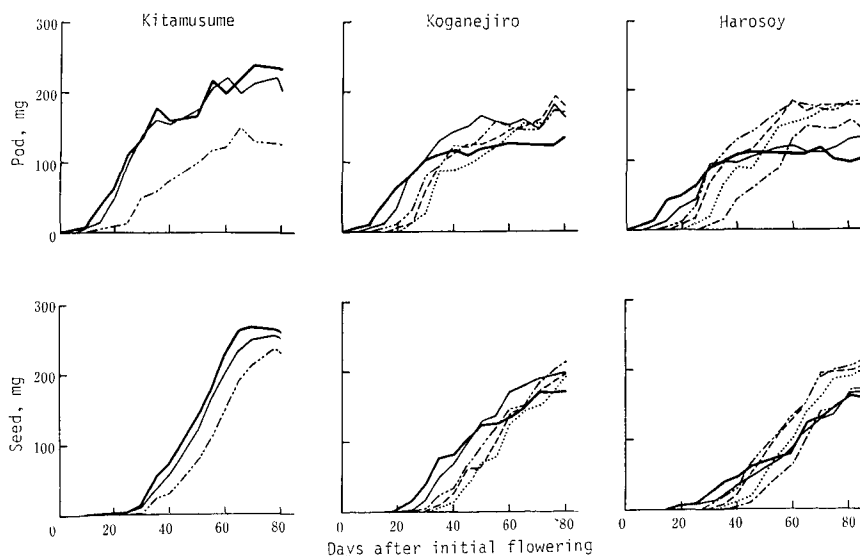


Fig. 18. Changes in pod and seed dry weight in relation to intra-plant flowering date in soybean cultivars, Kitamusume, Koganejuro, and Harosoy. Flowering groups: — I; — II; - - - III; - - - IV; V; - · - · VI (see Fig. 14).

てみると、開花期間中初期の開花に由来する子実は RDA が小さく、終期の子実は EFP が小さい特徴があった。Harosoy を例にとると、開花日群 I の RDA は 2.62 と小粒品種のスズヒメ程度しかないが、開花日が進むにつれて順次大となり、V の 5.66 を最高に VI で小さい。EFP は逆に I が 60 日で最も長く、順次減少して VI ではわずか 36 日であった。

4) 開花日別の粒大

前述のように、子実の生長は個体内の開花日によって

異なり、また品種の伸育型によって生長の経緯も異なっており、最終的な粒大に明瞭な差異が生じた (Table 12)。すなわち、有限型では早い開花日群ほど粒大が大きく、半無限・無限型では開花中期 (コガネジロと Comet は II~IV, Harosoy は III~V) に由来する粒が他より明らかに大きかった。開花日群内の粒大の変動は 14~25% (C.V.) で、Harosoy では粒大の小さい開花日群ほど大きい傾向がみられたが、他の品種では開花日群で差がないかあるいは一定の傾向がなかった。

Table 11. Rate of dry matter accumulation (RDA, mg/day/seed) and effective filling period (EFP, days) of seeds originated from different flowering date in soybeans

Cultivar	Flowering group ¹⁾											
	I		II		III		IV		V		VI	
	RDA	EFP ²⁾	RDA	EFP	RDA	EFP	RDA	EFP	RDA	EFP	RDA	EFP
Gokuwase-chishima	6.43	24	5.77	24	4.16	28						
Okuhara No. 1	5.06	51	6.27	42	6.72	41						
Suzuhime	2.29	46	2.48	41	2.66	38						
Tokachinagaha	6.39	32	7.56	25	6.31	28						
Kitamusume	6.83	38	6.49	39	5.29	44						
Yuzuru	9.72	41	8.54	39	9.32	33						
Koganejiro	2.88	60	3.72	54	4.26	50	4.29	47	4.43	44		
Comet	3.42	50	3.96	46	4.91	41	4.45	39	4.59	38		
Harosoy	2.62	60	3.13	55	4.86	42	5.30	40	5.66	35	4.63	36

1) See Fig. 14.

2) Calculated from the changes of seed dry weight (DAYNARD *et al.*^{8,9)}).

Table 12. Mean and variation of seed size in different flowering date in soybeans

Cultivar	Flowering group ¹⁾													
	I		II		III		IV		V		VI		/plant	
	M	V ²⁾	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V
Gokuwase-chishima	165	19	145	17	103	25							153	20
Okuhara No. 1	296	15	285	14	275	19							291	16
Suzuhime	132	21	129	18	124	18							128	19
Tokachinagaha	203	19	190	18	177	19							195	19
Kitamusume	275	17	280	18	260	17							277	18
Yuzuru	385	17	341	24	335	21							371	20
Koganejiro	165	21	190	22	195	22	190	21	184	19			190	22
Comet	191	19	194	22	200	22	191	18	178	21			194	21
Harosoy	145	25	172	20	216	15	216	16	190	19	168	22	197	20

1) See Fig. 14.

2) M=Mean seed size (mg), V=C.V. of seed size (%), based on 10 plants.

論 議

豆類は栄養生長と生殖生長の並進期間が長い作物といわれ、ある時期には花蕾、花、莢の様々な段階の花器が混在して生長しながら一方で茎葉が生長している。中世古ら⁵⁴⁾によると、両生長の並進期間(開花始めから茎葉最大期)は30~40日におよぶ。個々の粒大は、胚珠の受精に始まり分化した子葉に同化産物が転流・蓄積する過程を経て成立するから、まず個体内の花の咲く時期と位置に影響され、同化産物の蓄積過程で粒間のみならず栄養生長との間にも競合が働き、結果として様々な粒大を生じると考えられる。豆類ではこのように、開花結実習性と茎葉の生長性との関連を抜きにして粒大変異を論じることができない。ここで、大豆の茎の伸育性について概略を述べておきたい。大豆には、茎の伸長が開花時に急に停止した後太さの生長が続く型と、茎の先端が生長し続け次第に細くなっていく型とがあり²⁾、前者を有限伸育型、後者を無限伸育型と呼んでいる。開花期間には有限型が無限型より短く、栄養生長との並進期間が短い³⁵⁾。また、有限型ではふつう茎頂端に長い花序をもち、莢が簇生するが、無限型の先端近くの節では着莢が少ない^{2,35)}などの特徴がある。伸育性は、無限型を優勢とする1遺伝子性形質とされている²⁾。供試験品種のひとつであるコガネヅロは、有限型の十勝長葉と無限型の紫花4号との交配により育成された品種で、農業的形質を含め両型の特徴を合わせもつことから、半無限型と通称されている。また、BERNARD²⁾は第2の遺伝子を想定し、その表現型を“半有限(semi-determinate)”と呼んでいる。

供試した大豆9品種の開花期間は、有限型が15~20日、無限型が30~35日で両型に明瞭な差異があったが、半無限型のコガネヅロは30日で、開花期間の点では無限型に属する。終花期近くの花は着莢に至らないことが多いが、それでも個体内の莢は有限型で15日、無限型で25~30日にわたる開花日の異なる花に由来している。一般に、早く咲いた花ほど着莢率が高い傾向があるが^{21,36,45,68,78,86)}、無限型では開花初めから10日間の着莢率はやや低い。これは、無限型におけるこの時期の旺盛な栄養生長との競合が影響したものとみられる。品種間でみると、開花数と着莢率には有意な負の相関($r = -0.863^{**}$)が認められるが^{68,84)}、同一品種の開花時期間にはそのような関係はなく、むしろ最も開花数の多い時期で40%前後の比較的高い着莢率を示す品種が多かった。結局、着莢数は、最も開花数の多い時期で最も多くなり、開花数はやや少ないが着莢率の高い時期を併せて、

有限型では開花始めから10日間は、半無限・無限型ではほぼ開花中期の15日間は着莢数を確保する主要な期間となっている。また、これらの期間に由来する莢は、主莖上において、生育量の小さい早生品種を除き、概ね中~上位節に分布している。大豆は水平葉をもつため群落下層への光の透過が悪く⁴⁶⁾、中上位節葉の光合成率が高い⁴⁷⁾。光合成産物の大部分は上位葉で生産され²³⁾、莢実の生長はその着生節位葉と密接に関連している²⁹⁾。このように、個体の中・上位層は光合成と光合成産物の転流に有利な条件をもち、開花数、着莢率、着莢数を高めている。しかし、主莖上の着莢パターンについては、無限型では半無限型のコガネヅロを含めてこれまでの報告^{21,24)}とほぼ一致したが、有限型では品種によりかなり異なり、既報^{60,87)}とも一致しない場合が多かった。これは、品種の早晩性や栽植密度の違いにもよると思われる。

莢の大きさの推移は、まず長さと同幅が同時に最大となり、厚さは子実の生長に応じて成熟期近くまで増加を続けるため^{33,36,37,44)}、開花時期による違いは主として厚さの差に現われる。一方、子実の大きさは3径それぞれ開花期にかかわらず最大期がほぼ同じで、成熟期の差は小さい。しかし、莢、子実ともに乾物重には明瞭な差異があり、後生のはみかけの大きさに比べ内容が充実してないようであった。子実の生長速度については、品種で異なり^{12,13,34)}、平均粒大の大きい品種ほど大きい($r = 0.835^{**}$)。他方、子実の平均的な生長期間も品種で異なるが、粒大との関係はほとんどない。開花時期別にみた子実の生長経過は、無限型では後生の子実は肥大期間が短い^{14,53)}、肥大率が高い^{18,53)}ことによって子実重を補償しているのが特徴である。しかし、終花期近くではそれも十分でなく肥大は劣る。さらに無限型では、開花始めから10日間の花に由来する子実の生長の劣ることが注目される。これは無限型は開花始め頃の植物体は有限型に比べて小さく、生長の方向が主として栄養生長に向けられているためと考えられる。一方、開花期間の短い有限型においては、栄養生長と生殖生長の並進期間も短く、子実の生長速度や生長期間に無限型でみられるほど大きな差はないが、後生の莢実で生長が劣るのはさけられない。この場合は栄養生長とではなく前生の莢との競合の結果とみるべきであろう。

以上のように、個体内の開花時期はその後の莢実の生長に影響し、最終的な粒大に大きな差異をもたらすことが明らかとなった。しかしながら、どの品種においても同一開花日群のなかになお約20%(C.V.)の粒大変異がみられ、莢間あるいは莢内における粒の間で同化産物の

競合が働いたことを示唆している。

摘 要

熟期、伸育性、100粒重の異なる大豆9品種について、それぞれの開花期間を5日毎の開花日群に区別し、群毎に開花・結莢およびその後の莢実の生長を追跡調査して、個体内における開花日と粒大との関係を明らかにした。

1. 開花期間は有限型が15~20日で開花数は始めの10日間に多く、無限型(半無限型を含む)が30~35日で開花のピークは中期にあった。着莢率は早く咲いた花ほど高い傾向があったが、無限型では開花初期の花でやや低かった。

2. 主莖上の着莢は、無限型が中位節で多く上下で少ない分布を示し、有限型は品種で異なるが概して中・上位節に多く分布した。無限型の中位節の莢は多くの開花日の花に由来していた。

3. 莢の長さとは幅は最も早く最大に達し、莢の厚さ、子実の長さ・幅・厚さは開花日の差を残しつつ成熟期近くまで増加するが、子実の大きさの差異は脱水過程できわめて小さくなった。

4. 莢および子実の乾物重は後生の花に由来するもので明らかに小さく、無限型では開花初期の場合にも劣り、有限型では乾物蓄積率または期間のいずれかが小さいことに、無限型では開花初期で蓄積率、終期で蓄積期間がそれぞれ小さいことに起因した。

5. 最終的な粒大は有限型では早く咲いたほど大きく、無限型では開花期間の中期約10~15日の花に由来する粒が大で、個体内における開花時期の違いが粒大変異の明らかな要因になっていた。しかし、どの開花日群内にもなお約20%(C.V.)の粒大変異がみられた。

2. 着生位置と粒大

大豆の粒大は個体内の開花時期に明らかに影響されるが、同時に粒の着生位置との関連がきわめて深い。個体内における個々の粒は、大きくは枝条、次いで節、莢そして莢内の各位置に属する(Fig. 13)。前章では粒大変異の時間的要因を取り上げたが、本章では空間的要因としての粒の着生位置に着目し、上記4位置別に粒大との関係を明らかにするとともに、それぞれの位置要因が個体全体の粒大変異にどのように関わっているかを検討した。

材料と方法

大豆11品種(スズヒメ, Comet, ワセコガネ, Harosoy, コガネジロ, イスズ, 十勝長葉, 黄宝珠, キタムスメ, ヒメユタカ, およびユウヅル, 特性は Table 1 参照)を

供試した。栽培方法は第2章の実験2と同様である。各品種につき個体の発育とくに分枝の発育の揃った7個体を選び、個体別に枝条、節位、莢、および莢内の位置を記録しながらすべての粒大を測定した。これらの測定値から、粒大の枝条間、節間、莢間および莢内差異を検討し、さらにこれらの分散成分を、枝分かれ分散分析法により個体別に推定して全体の分散に対する寄与率を求めた。莢内位置については、別に莢内粒数別に各々30莢(4粒莢は品種によって10~20莢)を取り出し、莢内の位置による粒大の差異を詳細に検討した。

結果と考察

1) 枝条間差異

大豆では通常個体当たり数本の分枝が生長する。分枝の発生節位や発達程度は品種によって異なり、栽植密度によっても影響されるが、一般の栽培条件下では収量の多くを分枝が担っている。イネ科作物の分けつと違って分枝は独立した根をもたない。したがって、主莖と分枝あるいは分枝間で栄養的な条件が同じではなく、子実への同化産物の転流・蓄積にも差を生じることが予想される。

Table 13に、主莖および発生節位別の分枝について平均粒大を示した。子葉節と初生葉節には葉が対生するため2本の分枝が生長することがあるが、それぞれ節でまとめた。また、カッコ内はその枝条の個体全体に占める粒数割合(%)である。分散分析の結果、Harosoyを除くすべての品種において、枝条間の粒大に有意差が認められた。主莖の粒大は分枝に比べて一般に大きい傾向があったが、分枝のなかでも発達程度の大きい(粒数の多い)ものは、主莖との粒大の差がほとんどなかった。ただし、スズヒメでは1, 2節に生長した分枝の粒大は主莖よりも有意に大であった。子葉節、初生葉節および最上位に位置する弱小の分枝は、主莖の90%に満たない場合が多かった。また、無限伸育型の3品種すなわち黄宝珠, Harosoy, Cometでは、枝条間の粒大の差異が他の品種(半無限型および有限型)に比べて小さい傾向がみられた。主莖対分枝(平均)で見ると、最も差の大きい十勝長葉とイスズで分枝の粒大が主莖の93%, スズヒメで両者に差がなく、平均すると分枝の粒大は主莖の96%であった。以上のように、品種によってやや異なるが、枝条間における粒大の差異は個体内における粒大変異の一要因となっている。

2) 節間差異

大豆の枝条は節によって構成され、通常分枝発生節を

Table 13. Differences of seed size among shoots in soybeans

Cultivar	Seed size on the main stem	Seed size on the branch, developed from					
		C ¹⁾	P	1	2	3	4
Yuzuru	416 ^a (38)	—	—	401 ^b (23)	408 ^{eb} (20)	381 ^c (13)	375 ^c (6)
Himeyutaka	372 ^a (40)	—	—	357 ^{bc} (19)	367 ^{ab} (19)	349 ^{cd} (13)	340 ^d (9)
Kitamusume	299 ^a (30)	—	247 ^c (2)	301 ^a (21)	298 ^a (21)	284 ^b (17)	276 ^b (9)
Ohoshu	276 ^a (38)	—	276 ^a (20)	265 ^b (17)	275 ^a (15)	263 ^b (7)	269 ^{ab} (3)
Tokachinagaha	247 ^a (35)	—	188 ^c (3)	241 ^{ab} (18)	236 ^{bc} (24)	230 ^c (12)	212 ^d (8)
Isuzu	225 ^a (31)	—	220 ^{ab} (21)	211 ^b (22)	207 ^c (13)	197 ^{cd} (11)	190 ^d (2)
Koganejiro	224 ^a (40)	—	206 ^{cd} (2)	213 ^b (16)	214 ^b (22)	200 ^d (12)	210 ^{bc} (8)
Harosoy	189 ^a (49)	188 ^a (5)	183 ^{ab} (26)	182 ^{ab} (18)	178 ^b (2)	—	—
Wase-kogane	183 ^a (44)	—	166 ^b (7)	184 ^a (16)	183 ^a (23)	171 ^b (10)	—
Comet	170 ^a (30)	147 ^b (3)	153 ^b (23)	170 ^a (19)	171 ^a (19)	146 ^b (6)	—
Suzuhime	134 ^b (29)	—	132 ^b (17)	142 ^a (17)	140 ^a (18)	126 ^c (14)	130 ^{bc} (5)

1) C=Cotyledonary node, P=Primary node, 1 to 4=first to fourth node from the bottom of the main stem.

Means (mg) not followed by the same letter differ significantly at the 5% level within cultivar.

Numbers in parenthesis are percentage to total in number of seeds.

除いてほぼ各節に着莢がみられる。節数は品種によって異なり、有限伸育型では枝条当たりの節数が無限型に比べて少ない。前章で述べたように、開花・着莢様式は伸育型で異なり、節間で開花時期が異なる場合もあれば同じ節のなかに開花時期の異なるものを含む場合もあるなど多様である。さらに、各節の葉は齢が異なり面積も一様でないなど、子実の生長条件は着生する節によってかなり異なるものと推測される。

主茎と最も大きく生長した分枝について、節を生長の順に下、中、上の3群に分け(主茎では下位の分枝発生節を除く)、粒大の差異をみたのが Fig. 19 である。各群に含まれる節の数は品種によって異なり、主茎で2~4、分枝で2~3節であるが、粒大は品種毎に主茎・分枝を込みにして測定し、最大値を100とする相対値で表わした。節群間の粒大には、11品種中イズズとヒメユタカが5%、その他の品種が1%水準で有意差が認められた。多くの品種で中位の節が最も大きい粒大を示したが、ワセコガネは下位節が他よりも有意に大であった。上位節

と下位節の粒大は伸育型との関連が顕著に認められた。すなわち、有限伸育型では、上位節の粒大は中位節と変わらないかむしろ大きく、下位節がすべて小さいのに対し、無限型3品種および半無限型(ワセコガネ、コガネジロ)では、逆に中・下位がほぼ同じで上位節が明らかに小さかった。同時に、これら節群間の粒大の差異は有限型よりも無限・半無限型品種で大きい傾向がみられた。有限伸育型のなかでは、ユヅルが他と異なり上位節で最小の粒大を示した。このように、節の上下で粒大に明瞭な差異があり、個体内変異をもたらす原因のひとつとなっている。

3) 莢間および莢内差異

個体内における粒大の差異を枝条間および節間についてみてきたが、粒の着生位置としては次に節内での差異が考えられる。1節には通常複数の莢が着生し、さらに莢は多くの場合複数の粒を含むから、節内の要因を莢間と莢内の2つに分けることができる。粒への同化産物の供給は実質的にすべて節を介して行なわれる。したがっ

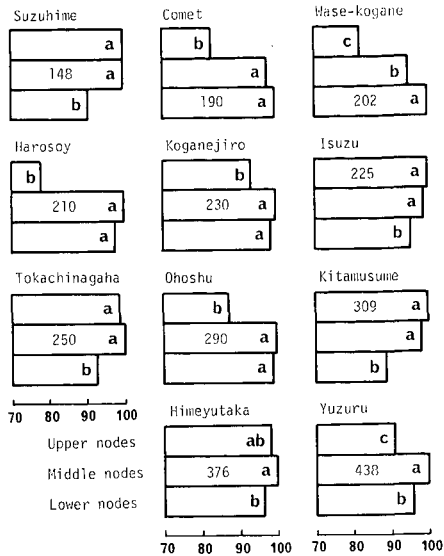


Fig. 19. The effect of nodal position on seed size in soybean cultivars. Each node group includes 2 to 4 nodes on the main stem and 2 to 3 nodes on the largest branch in each of 5 plants. Seed size is expressed as a relative value when the largest size (shown in the column by mg)=100. Values not followed by the same letter differ significantly at the 5% level within cultivars.

Table 14. Differences of seed size among racemes in soybeans

Cultivar	Seed size on the raceme,			
	0 ¹⁾	1	2	2'
Tokachinagaha	207 ^b	220 ^a	211 ^b	191 ^c
Harosoy	—	199 ^a	171 ^b	181 ^{ab}

1) 0, 1, and 2=terminal, primary, and secondary raceme, respectively. 2'=secondary raceme with compound leaf.

Means (mg) not followed by the same letter differ significantly at the 5% level within cultivar.

て、節内の莢間あるいは粒間で競合が起こり、粒大変異が生じると考えられる。

1節につく莢の数は、一般に大粒品種で小粒品種より少なく、枝条当節数の多い無限型品種では有限型に比べて少ない。また同じ品種でも枝条間、節間で莢数は一様でないため、粒大の莢間差異を比較するのは困難であるが、ここでは節内の莢の着生位置を花房の次位で分け、

その差異を検討した。

Table 14 に十勝長葉と Harosoy について花房次位の粒大を示した。ここに、0次は枝条頂端の花房を指し、1次花房は葉腋に最初に出現する花房で、2次花房は1次の基部の腋芽から発生した花房である⁸³⁾。また、2'は1~2枚の葉をもつ2次花房でいわゆる亜枝に相当する。両品種とも1次花房の粒が最も大きく、花房間に有意差が認められた。有限伸育型に特有の頂端花房(0次)に由来する粒は2次花房の粒よりもやや小であった。また、亜枝の粒大は十勝長葉で最も小さく、Harosoyで1次と2次の中間の値を示した。花房別の莢数割合は両品種とも1次が高く、十勝長葉で66%、Harosoyで85%を占め、2次はそれぞれ15、12%にすぎなかった。したがって、1、2次花房の混在する節は少なく、粒大の莢間差異に与える花房次位の影響は比較的小さいものと考えられた。

莢内粒数別の莢についてそれぞれ莢内位置別に粒大を測定して得た結果を Fig. 20 に示した。莢内粒数は1から4まで観察されたが、4粒莢の頻度は低く、特に十勝長葉、キタムスメ、ヒメユタカ、ユヅルの4品種では0.4%以下であったので、対象外とした(その他の品種では2~9%)。分散分析の結果、すべての品種において莢内位置間の粒大の差は1%水準で有意であった。莢内位置と粒大の間には全品種を通じて明瞭な関係がみられた。すなわち、花梗に近い方を基部とすると、4粒莢では基部粒<頂部粒<中央2粒、3粒莢では基部粒<頂部粒<中央粒、そして2粒莢では基部粒<頂部粒である。最大の粒大を示した位置は、3粒莢の中央部または2粒莢の頂部であるが、品種内では両者の粒大に有意差がなかった(イソズを除く)。一方、最小の粒大は、3粒莢までの品種は3粒莢の、4粒莢を有する品種では4粒莢の、いずれも基部に位置し、粒大はほとんどの品種において最大粒の70~85%に留まった。莢内位置の違いによる粒大の差は、枝条間、節間に比べて大きく、個体の粒大変異に強く関わっているものと推定される。また、4粒莢の粒大は平均して他より小さく、2粒莢と3粒莢ではほとんど変わらない。1粒莢の粒大は2、3粒莢より小さい品種が多かったが、なかには Comet, コガネジロ, ユヅルのように最大粒に近い値を示すものもあった。これらの差異は粒大の莢間差異の一部を成すと考えられる。

4) 位置要因別の分散成分

個体内における粒の着生位置を枝条間、枝条内節間、節内莢間、莢内の4段階に分け、粒大との関係を個々に

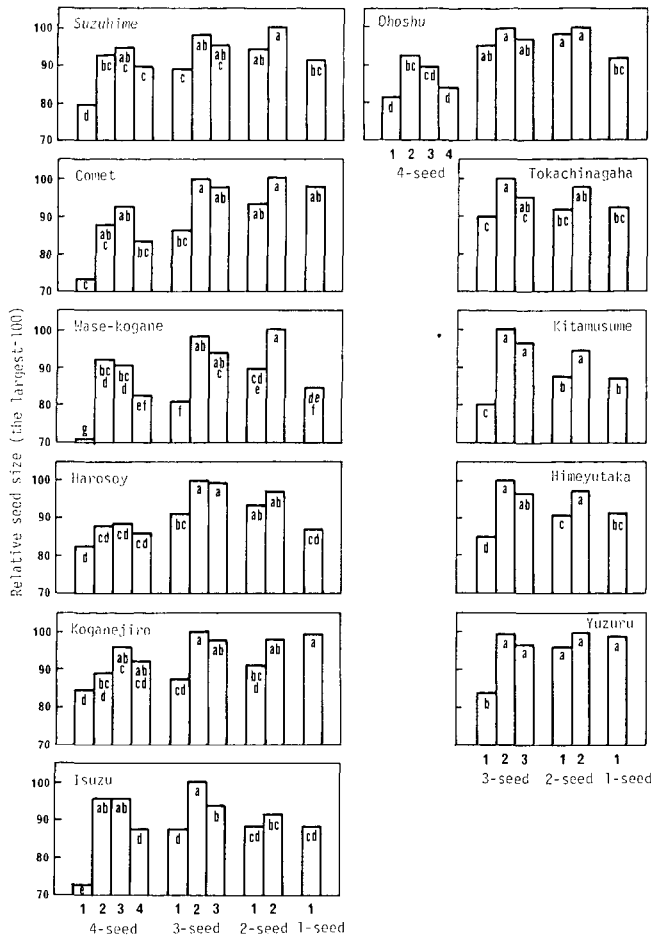


Fig. 20. The effect of seed position within pods on seed size in soybean cultivars. Values not followed by the same letter differ significantly at the 5% level. Seed position 1 is the nearest from the peduncle.

みてきたが、次にこれらが個体全体の粒大変異に関わる割合を分散分析の結果から推定した。Table 15 はその1例でコガネジロのある個体について示した。分散の期待値から算出した4つの位置の分散成分の不偏推定値によると、全体の分散の51%が莢内に起源をもつと解される。コガネジロについて個体毎に推定した分散成分をTable 16に示したが、個体2や7にみられるように、莢内よりも莢間の分散の方が大きい個体があり、また個体2と5では枝条間の分散もかなり大きいなど、各分散の割合は個体間で必ずしも一定ではなかった。供した個体は観察により生育の揃ったものを選んでおり、粒大の平均値は200~226 mg、変異係数は12.6~14.8%で、これらの個体間差異は小さい。確認のため個体を要因に加えて5段階の分散分析を試みたところ、全体の分散に対

する個体間の分散の寄与は3%にすぎなかった。すなわち、個体間の粒大の差はここではほとんど考えなくてよい。同じような粒大変異を示す個体で要因の関与のし方が異なる点について、枝条数、莢数、粒数、枝条当節数、節当莢数、あるいは莢当粒数の対応を調べたが、分散成分との有意な相関関係はほとんど認められなかった。同じ枝条数でもそれぞれの枝条の発達の程度が個体によって異なること、節当莢数なども主茎と分枝あるいは節で異なり、個体間で一律でないため、形質の個体当の総数や平均値の差ではとらえきれないのであろう。例えば、莢間の分散成分が大きいコガネジロの個体7は、主茎の莢数が他の個体に比べて多く、節によっては4~5(通常は2~3)莢の着生がみられた。そのため莢間の競争が強まり、粒大に大きな差異が生じたものと推察される。こ

Table 15. Analysis of variance and estimated variance components for seed size from different sources within plant in soybean, cv. Koganejuro

A. Analysis of variance				
Source	df	SS	MS	Expected variance
bt. shoot (S)	5	190.5	38.10	$\sigma_G^2 + 2.378 \sigma_P^2 + 4.298 \sigma_N^2 + 22.355 \sigma_S^2$
bt. node (N)	30	390.1	13.00	$\sigma_G^2 + 2.337 \sigma_P^2 + 3.864 \sigma_N^2$
bt. pod (P)	27	235.5	8.72	$\sigma_G^2 + 2.130 \sigma_P^2$
wi. pod (G)	79	344.9	4.37	σ_G^2
total	141	1161.0		

B. Estimated variance components				
bt. shoot, $\bar{\sigma}_S^2$	bt. node, $\bar{\sigma}_N^2$	bt. pod, $\bar{\sigma}_P^2$	wi. pod, $\bar{\sigma}_G^2$	total
1.10	1.00	2.05	4.37	8.52
12.9%	11.7%	24.1%	51.3%	100%

Table 16. Inter-plant differences in variance components of seed size within plant in soybean cv. Koganejuro

Plant	Variance component				total
	bt. shoot	bt. node	bt. pod	wi. pod	
1	1.10	1.00	2.05	4.37	8.52
2	3.48	0.01	4.26	3.19	10.94
3	0.24	2.40	0.01	7.62	10.27
4	0.40	1.11	3.88	5.51	10.90
5	2.62	1.72	1.55	2.97	8.86
6	0.09	2.00	1.60	4.08	7.77
7	1.32	0.00	6.19	3.59	11.10
Average (%)	1.32 (13.5)	1.18 (12.1)	2.79 (28.6)	4.48 (45.8)	9.77 (100)

のように、個体によって主要な変因が異なるばあいがあるが、コガネジロについて概略すると、粒大の個体内変異はおよそ1/2が莢内の変異によってもたらされ、次いで莢間の寄与が大きく、枝条間および節間の関与は小さいとみることができる。

各分散成分の平均値を品種別に示したのが Table 17 で、小粒品種(スズヒメ)から大粒品種の順に記した。個体全体の分散は品種によって異なるが、大粒品種ほど大きい傾向があり、また莢間あるいは莢内の分散の大きい品種は全体の分散も大きかった(莢間および莢内との相関はそれぞれ0.705*, 0.835**)。個体の粒大変異の要因別寄与の程度についてみると、枝条間および節間の関与

る割合は莢間、莢内に比べて小さい品種が多かったが、枝条間では十勝長葉とユウヅルが約20%、節間では Harosoy, 黄宝珠, ヌウヅルが約30%で比較の大きな値を示した。莢間の変異による分散成分は品種間差が大きく、キタムスメと黄宝珠の10%程度から Comet, Harosoy の約50%まで分布した。Comet と Harosoy を除く9品種では、莢内の粒大の差異が個体全体の変異に最も強く関与していた。全品種の平均値に基づくと、大豆における粒大の個体内変異は、11%が枝条間の、18%が節間の、28%が莢間の、そして43%が莢内の変異に起因すると推定される。

論 議

子実生長は個体内の開花時期とともに着生位置との関連がきわめて大きい。分散成分の推定により、大豆の個体内の粒大変異に対する位置要因の関りの程度は、枝条間が最も小さく、節間、莢間、莢内の順に、含まれる粒数が少ない位置ほど大きいことが明らかになったが、このことは同化産物の source と sink の対応関係あるいは sink 間での競合に関係していよう。まず枝条についてみると、分枝の発生は主茎葉の展開と密接な関係があり^{62,83)}、高次の分枝になるほど発生・生長は遅れ、また主茎下位葉から分枝への同化産物の転流もみられるが^{41,90)}、早い時期に発生・生長した分枝では同化産物の授受が独立的に行なわれるとみなされる。枝条毎の平均粒大が弱小の分枝を除いてあまり差がないのはこのためであろう。弱小分枝の粒数割合はわずかであるから、分

Table 17. Differences among cultivars in components of seed size within plant in soybeans

Cultivar	Variance component				total
	bt. shoot	bt. node	bt. pod	wi. pod	
Suzuhime	0.92 (22.3)	0.61 (14.8)	2.12 (27.2)	1.47 (35.7)	4.12
Comet	0.75 (5.1)	3.20 (21.9)	6.86 (46.9)	3.82 (26.1)	14.63
Wase-kogane	0.57 (4.3)	2.46 (18.5)	3.66 (27.6)	6.59 (49.6)	13.28
Harosoy	0.16 (1.5)	3.39 (31.0)	4.90 (44.7)	2.50 (22.8)	10.95
Isuzu	1.34 (11.8)	0.74 (6.5)	3.31 (29.3)	5.92 (52.3)	11.31
Koganejiri	1.32 (13.5)	1.18 (12.1)	2.79 (28.6)	4.48 (45.8)	9.77
Tokachinagaha	2.26 (21.1)	1.47 (13.7)	3.07 (28.7)	3.90 (36.6)	10.70
Ohoshu	0.25 (2.5)	3.31 (33.3)	1.00 (10.1)	5.38 (54.1)	9.94
Kitamsume	1.02 (6.0)	3.96 (23.4)	1.23 (7.3)	10.72 (63.3)	16.93
Himeyutaka	2.97 (11.6)	0.73 (2.8)	7.28 (28.4)	14.65 (57.2)	25.63
Yuzuru	2.85 (20.5)	3.54 (25.3)	3.46 (24.7)	4.16 (29.7)	14.01
Average (%)	(10.9)	(18.5)	(27.6)	(43.0)	(100)

枝全体の平均粒大は主茎の粒大に比べてやや小さいにすぎない。粒大分布を調査したときの材料(第2章)について主茎・分枝別の粒大をみると、小豆と菜豆を含め差は3~5%程度であった。枝条間の粒大に差がないことはほかに大豆⁸⁶⁾と菜豆¹⁰⁾で報告されている。

大豆の粒大は節によって異なり、それが粒大変異の1要因になっているが、節間の関与は品種によって2.8~33.3%と大きな差があった。その割合は無定型で大きい、有限型品種のなかにもキタムスメやユウヅルのように、20%を超えるものがみられた。大豆の1複葉における同化産物は、とくに上位葉で、その節の莢だけでなく1/2の葉序にしたがって他の節の莢にも広く移行するから⁹⁰⁾、節を単位とする source-sink 関係は独立的ではなく流動的に変化すると考えられる。しかしそれでもなお、無定型では複葉面積が上位節ほど小さく⁵⁴⁾、下位節の莢では栄養生長との競合が起こる(前章)など、節位で有利・不利が生じやすい。また有限型でも、品種によっては節間の莢数がかなり異なるように(Fig. 16)、節によって粒の肥大条件は同じではない。

このように、粒大変異には枝条および節の違いによる差が含まれ、品種間差もみられるが、これらの関与は併せて30%程度で、残りの約70%は節内莢間および莢内の粒大の差異に起因している。しかも、両者の比率は品種間差異がきわめて大きいのが特徴である。すなわち無定型の Harosoy と Comet では、粒大変異のおよそ1/2が莢間の差異によるもので、逆に多くの有限型品種では莢内の差異が要因として1/2近くを占めた。この違い

は、同一節内の莢は有限型ではほぼ同じ時期に咲いた花に由来するため莢間の競合よりも莢内でのそれが大きく、無定型では莢数の多い中位節で開花時期の異なる莢実を含むため、開花の早晩が莢間の粒大の差となって現われたと解される。しかし、同じ無定型でも黄宝珠は節間の差の関与がかなり小さく(約10%)特異であった。

莢内の粒大は中粒>頂粒>基粒の関係が品種に共通してみられた。同じ規則性が小豆においても報告されている⁷¹⁾。大豆の莢内胚珠の発育に関しては加藤³⁹⁾による詳細な報告があり、受精の順序、花梗からの距離、あるいは配列の型などから同化産物配分の有利・不利を論じている。莢内位置による粒大の差異については、栄養条件のほかに、子実よりも先に大きさが決まる容器としての莢の形態、すなわち両端の先細りが関係しており、粒大変異をもたらす程度固定した要因になっていると推察される。

小豆^{43,59,69,70)}と菜豆^{30,38,77)}でも開花・結実を扱った研究は比較的多いが、粒大との関係をみたものは少なく、菜豆ではほとんどない。小豆の開花は約1カ月続き、早期に開花したもので結実率が高く肥大速度が早い⁶⁹⁾。また、佐藤⁷⁰⁾によると、節位でみた小豆の開花・結実パターンは大豆の無定型に似ている。一方、菜豆には矮性、叢性、半蔓性、蔓性のように草型が著しく異なるものがあり(Table 3参照)、開花習性の違い⁷⁷⁾や、生長パターンの比較^{54,79)}が報告されている。小豆と菜豆における粒大変異の要因についても、莖葉の生長性と開花習性に密接に関連すると考えられる。

摘 要

伸育性、100粒重などの異なる大豆11品種を供試し、個体内の粒の着生位置すなわち枝条、節、莢および莢内について粒大の差異を調べ、粒大変異の要因解析を行なった。

1. 枝条間の粒大の差は、無限型品種で有限型よりやや小さい傾向があったが、子葉節、初生葉節あるいは最上位に位置する弱小の分枝を除くときわめて小さかった。分枝粒は主茎粒よりも平均4%劣るにすぎない。

2. 節間においては、ほぼすべての品種で中位節の粒大が最も大きかったが、有限型では下位節の粒が小さく、半無限・無限型では上位節の粒が明らかに小さい特徴がみられた。

3. 花房次位別にみると、有限・無限型を含めて最も莢数の多い1次花房の粒大が最も大きく、有限型特有の茎頂花房は2次花房より粒大が小さかった。莢内粒数別の粒大は、4粒莢<3粒莢 \leq 2粒莢の関係にあったが、1粒莢の粒大は、2、3粒莢よりも劣る品種が多かった。

4. 莢内位置による粒大の順序には、花梗側を基部とすると、4粒莢で基部粒<頂部粒<中央2粒、3粒莢で基部粒<頂部粒 \leq 中央粒、2粒莢で基部粒 \leq 頂部粒の明瞭な関係がみられた。4粒莢または3粒莢の基部粒は最大粒よりも15~30%小さかった。

5. 個体の粒大変異は、全品種の平均値で、11%が枝条間の、18%が節間の、28%が莢間の、そして43%が莢内の変異に由来すると推定されるが、無限型品種(黄宝珠を除く)では莢間の関与が約50%で莢内よりも大きかった。

第4章 粒大変異の品種間差異

粒大変異は、個々の種子における同化産物の蓄積の差を表わしており、これまで大豆でみきたように、開花・結実習性と莖葉の生長性との密接な関連のなかで生じると考えられる。大豆、小豆、菜豆の品種生態は多様で、開花・結実習性のほかに草型、分枝性、熟性など個体の生長に関わる多くの特性があり、また、第1章でみたように粒自体の形や大きさにも明らかな品種間差異がある。こうした品種特性の違いは直接あるいは間接に粒大変異に関係するに違いない。しかしながら、豆類における粒大変異の品種間差異については、これまで大豆で小規模な観察はあるものの^{49,53)}、第2章で検討した適切な測定量に基づく評価は皆無である。小豆と菜豆については測定例すらなく、粒大変異の実態は全く知られていな

い。実際、豆類では粒質の評価において粒大の均一性すなわち「粒揃い」がしばしば問題にされてきたが、その評価はすべて肉眼判定に委ねられている。

本章では、大豆、小豆、菜豆の粒大変異について、それぞれ諸特性の異なる多くの品種を用い、品種特性との関連あるいは年次の影響をみるなかで、作物間・品種間におけるその差異を検討する。特に大豆については、粒揃いの点で無限型品種が不利といわれているので、伸育性との関連を確明するため、isogenic lineによる比較も試みた。

材料と方法

大豆については1979年と1980年に30品種・系統(Table 1)を用いた。小豆については1980年に18品種・系統(Table 2)、1983年と1984年にハヤテショウズ、室小豆、エリモショウズ(1981年の新品種⁵¹⁾)、寿小豆、アカネダイナゴンの5品種を、菜豆については1980年に22品種(Table 3)も供試した。1979年の大豆および1980年の小豆と菜豆に関する実験方法はすでに第2章の第2実験で述べたので略する。1980年の大豆については、5月21日に播種し、栽植密度を畦幅60cm株間10cm1本立て(16.7個体/m²)、2反復とした。施肥量は1979年と同じである。1983、1984年の小豆の播種日はそれぞれ5月25日、5月24日で、畦幅60cm株間10cm1本立て(16.7個体/m²)とし、肥料は配合肥料「豆類6号」を90kg(N-3.6, P₂O₅-11.7, K₂O-9.0, MgO-2.7kg)/10aの割合で全量基肥として与えた。区制は3反復乱塊法である。大豆と小豆については、収穫期にいずれも1反復につき生育中庸の10個体を選び、風乾して莖長、節数および収量構成要素等を調査した後、粒径2mm未満の未熟粒と病虫害の著しい粒(これらは粒数比で0.5%未満であった)を除いて1粒重自動測定装置にかけた。菜豆の場合は、粒大が大豆・小豆に比べてかなり大きい品種が多く、個体当たり粒数が少ないことを考慮して、1反復につき15個体とした。

大豆の伸育性と粒大変異に関する実験は1981年と1985年に行なった。供試材料はHarosoyとClark(両品種とも無限型)の伸育性に関する4つのisogenic line, Dt₁dt₂(無限型), Dt₁Dt₂(半有限型), dt₁Dt₂(有限型)およびdt₁dt₂(有限型)である。これらの種子はR. L. BERNARD氏²⁾より譲り受けた。播種日は1981年が5月21日、1985年が5月16日である。区制は3反復で栽植様式および施肥量等は1979年に準じた。調査方法も同じである。

結果と考察

1. 大豆について

Table 18 に、1979、1980 両年における粒大の測定結果を示した。1979 年は気温、降雨量ともにほぼ平年並みで生育は良好であったが、1980 年は 8 月に降雨量が多く低温に経過したため前年より生育が劣った。また、品種によってはかなり倒伏または枝折れした (1980 年の 5 品種はそのため測定から除外した (Table 18))。粒大の変異係数は 1979 年が 10.2~26.1%、1980 年が 12.2~21.6% で、分散分析の結果、両年次とも品種間に有意差が認め

られた (1% 水準)。共通 25 品種で比較すると、1980 年は前年よりも平均粒大、変異係数ともにやや大きい傾向がみられた。年次を含めた分散分析 (Table 19) によると、粒大の変異係数は年次間差および年次×品種の交互作用ともに 5% 水準で有意であった。一方、品種の粒大変異係数について年次間の順位相関係数 (r_s) を算出したところ、0.781*** の値が得られた (Fig. 21)。すなわち、大豆の粒大変異 (係数) は、栽培年次により異なるが、品種間で順位は比較的安定していた。

Fig. 22 にみられるように、粒大の平均値と標準偏差との間には両年次ともほぼ直線的な正の関係が認められ

Table 18. Seed size variation in soybean cultivars

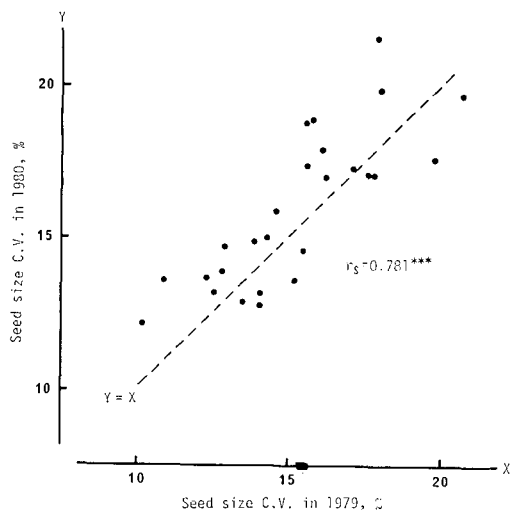
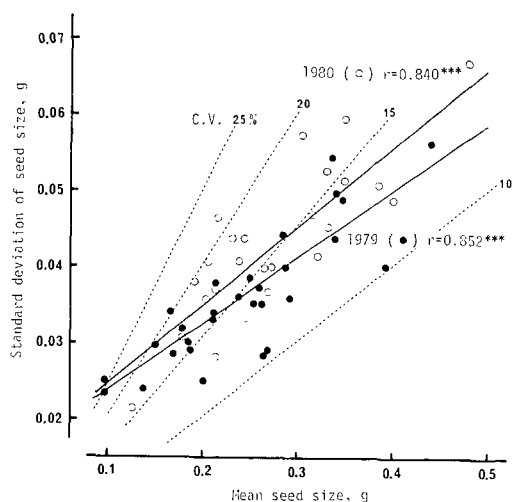
Cultivar (line)	1979		1980	
	Mean seed size (mg)	C.V. of seed size (%)	Mean seed size (mg)	C.V. of seed size (%)
Toiku No. 180	439	12.8	480	13.9
Yuzuru	392	10.2	398	12.2
Himeyutaka	346	14.1	383	13.2
Chusei-hikarikuro	340	14.6	330	15.9
Oyachi No. 2	339	12.9	348	14.7
Wase-midori	335	16.2	349	17.0
Toyosuzu	292	12.3	329	13.7
Kitamusume	287	13.9	315	14.9
Okuhara No. 1	284	15.6	304	18.8
Oshimashirome	268	10.9	269	13.6
Ohoshu	263	10.8	—	—
Hon-iku No. 65	261	13.5	321	12.9
To-iku No. 114	260	14.3	265	15.0
Rankoshi No. 1	253	13.9	—	—
Kitamishiro	249	15.5	273	14.6
Tokachinagaha	237	15.2	245	13.6
Koganejiro	213	17.8	238	17.1
Shika No. 4	211	16.1	244	17.9
Isuzu	210	15.8	231	18.9
Nagahajiro	200	12.6	214	13.2
Hokkaihadaka	187	15.6	213	17.4
Horosoy	184	16.4	—	—
Gokuwase-chishima	178	18.0	191	19.9
Wase-kogane	178	17.9	215	21.6
Ishikarishiro No. 1	168	17.1	178	17.3
Comet	165	20.7	206	19.7
Tenpokushirome	150	19.8	203	17.6
Suzuhime	137	17.6	126	17.1
Chashoryu	96	26.1	—	—
Wase-kurosengoku	96	24.6	—	—

Values are based on 20 plants (1,300~4,100 seeds) in each cultivar.

Table 19. Analysis of variance for seed size variation (C.V.) in soybeans

Source	df	MS
Year (Y)	1	16.00*
Error a	1	0.09
Cultivar (C)	24	23.88**
Y × C	24	2.58*
Error b	48	1.32

*, ** Significant at the 5% and 1% level, respectively.

**Fig. 21.** Correlation between years for seed size variation (C.V.) in twenty-five soybean cultivars.**Fig. 22.** Relationship between mean and standard deviation for seed size in soybean cultivars.

た(1979年で $r=0.852^{***}$, 1980年で 0.840^{***})。一方, Fig. 22 の直線の傾きが示すように変異係数は大粒品種ほど小さく, 平均粒大とは有意な負の相関が認められた(1979年で $r=-0.755^{***}$, 1980年で -0.573^{**})。したがって, 平均粒大の異なる品種間の粒大変異を比較するとき, 指標として標準偏差(分散)を用いると, 変異係数とは評価が逆になる。

品種の粒大変異は, 一般的な傾向として小粒品種で大きく大粒品種で小さいことがわかったが, 続いて平均粒大以外の形質とはどのような関係にあるかを1979年の結果について検討した(Table 20)。単相関でみると, 粒大変異と有意な正の相関を示した形質は粒数, 莢数, 節数および1節当莢数で, 有意な負の相関を示したのが粒重(子実収量)および粒重比(粒重/地上部重)であった。しかしながら, 粒数をはじめこれらの形質の多くは平均粒大とも有意な相関を示した。そこで, 平均粒大の影響を除いた偏相関で粒大変異との関係をみると, 粒数, 莢数, 1節当莢数とはなお有意であったが, 粒重, 節数および粒重比とは有意でなかった。莢数との関係を示すと Fig. 23(A) のようである。また, 1莢内粒数が多い品種は粒大変異が小さい傾向がみられたが(偏相関で $r=-0.423^*$)、同じ程度の平均粒大で他に比べ1莢内粒数が多くしかも粒大の変異係数の小さいやや特異な品種(オシマシロメ, 黄宝珠, ナガハジロ)があるため, これを除くと両形質の間に有意な相関はなかった($r=-0.146$)。

開花期間と粒大変異とは, 単相関と偏相関のいずれについても, ほとんど関係ないことを示した。両形質の関係を図示したのが Fig. 23(B) である。30品種のうち9品種が無限型(半無限型を含む)であるが(Table 1), 第3章でも述べたように, これらと有限型品種は開花期間により明瞭に区別される。しかし, 開花期間の長い無限型品種と短い有限型品種で, 粒大変異はほぼ同じ範囲に分布しており, 分散分析でも両伸育型の粒大変異に有意差は認められなかった。これは, 無限型品種のなかに, 黄宝珠のように有限型・大粒のユウヅルに匹敵する最も小さい粒大変異を示す品種があることでも明らかである(Table 18)。伸育型と粒大変異との関係をさらに明確にするため, isogenic line を用いて実験した結果を Table 21 に示した。各遺伝子型は, 草丈と主莖節数に現われているように, 表現型では無限型($Dt_1 dt_2$), 半有限型($Dt_1 Dt_2$) および有限型($dt_1 Dt_2, dt_1 dt_2$) である²⁾。粒大変異は Harosoy, Clark とともに18~26%の値を示したが, 分散分析によると, Harosoy では遺伝子型間に5%で有意差がみられた。これは半有限型の粒大変異が

Table 20. Correlation between seed size variation (C.V.) and various traits in soybean cultivars (n=30)

Traits	Range	Correlation coefficient	
		single	parpial
Mean seed size	69-430 mg	-0.755***	(fixed)
No. of seed per plant	65-256	0.777***	0.391*
Seed weight per plant	15.2-33.5 g	-0.541**	-0.219
No. of pod per plant	35.2-146.2	0.848***	0.653***
No. of seed per pod	1.60-2.66	0.043	-0.423*
No. of node per plant	25.6-77.9	0.520**	0.171
No. of pod per node	0.87-2.17	0.652***	0.437*
Top weight per plant	28.4-67.2	-0.186	-0.110
Seed per top in weight	0.38-0.60	-0.478**	-0.311
Flowering period	10-40 days	-0.050	-0.356
Growing period	107-159 days	0.002 (-0.693***)	0.001 (-0.599***) ¹⁾
Seed shape			
Thickness/width	0.73-0.92	-0.439*	-0.715***
Width/length	0.89-1.02	-0.327	-0.397*
Degree of sphere ²⁾	82-95%	-0.454*	-0.687***

1) Excluding 2 cultivars with high photosensitivity.

2) Calculated from deviation of seed length, width, and thickness (i.e. 100-C.V. of three diameters, %).

*, **, *** Significant at the 5%, 1%, and 0.1% level, respectively.

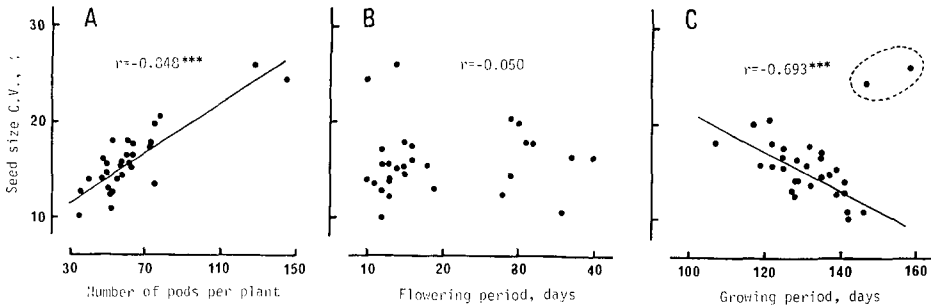


Fig. 23. Relationship between seed size variation (C.V.%) and number of pods, flowering period, and growing period in soybean cultivars.

兩年次とも他よりわずかに小さかったため、有限と無限とでは差がなかった。Clark では年次との交互作用が大きく、遺伝子型間に一定の傾向がみられなかった。品種の生育期間と粒大変異は、全品種を通してみるとほとんど相関がなかった。しかし、Fig. 23 (C) に示すように、晩生で粒大変異の最も大きい2品種（早生黒千石と茶小粒）を除くと、負の有意な相関が認められた。除外した品種は感光性が高く開花期がきわめて遅い点で他と異なっている。一般的には熟期の遅い品種は粒大変異が小さ

いといえよう。

次に品種の粒形と粒大変異との関係を調べた。先に測定した粒厚/粒幅および粒幅/粒長の粒径比 (Fig. 2) について粒大変異係数との相関を求めたところ、偏相関でそれぞれ -0.715***、-0.397* が得られた (Table 20)。粒径比が1に近い品種ほど粒大変異は小さい傾向がある。また、粒長、粒幅、粒厚の3径が等しいとき粒形は球と考え、3径の変異係数を指標に球形度 (100-C.V.%, 100% で球) を算出したところ、最大のオンマシロメが

95%, 最小の極早生千鳥が81.7%であったが、これらの値と粒大の変異係数との間には単相関で $r = -0.454^*$, 偏相関で $r = -0.687^{***}$ の関係がみられた。粒形が球に近い品種ほど粒大変異は小さい傾向があるといえる。

2. 小豆について

1980年に栽培した小豆18品種の平均粒大と粒大変異

を Table 22 に示した。生育量は8月前後の低温のため全体にやや小さかったが、登熟は良好で、平均粒大はほとんどの品種で平年よりやや大であった。粒大変異は16.1%から25.3%を示し、品種間に有意差が認められた(1%水準)。しかしながら、多くの品種の粒大変異はおよそ20~22%の狭い範囲にあり、平均粒大との相関も負

Table 21. Seed size variation in soybean isogenic lines for stem termination

Cultivar	Year	Traits	Genotype (Phenotype) ¹⁾			
			Dt ₁ dt ₂ (Ind.)	Dt ₁ Dt ₂ (S.D.)	dt ₁ Dt ₂ (Det.)	dt ₁ dt ₂ (Det.)
Harosoy	1981	Mean seed size, mg	225	207	218	209
		Seed size C.V., %	18.6	17.7	23.2	24.3
	1985	Mean seed size, mg	168	190	210	186
		Seed size C.V., %	26.4	21.5	25.6	24.4
		Plant height, cm	97	90	31	52
		No. of node on the main stem	17.5	16.6	6.6	9.5
Clark	1981	Mean seed size, mg	173	173	187	184
		Seed size C.V., %	22.4	23.5	18.4	26.0
	1985	Mean seed size, mg	173	163	166	184
		Seed size C.V., %	24.7	21.3	26.1	22.8
		Plant height, cm	91	88	47	67
		No. of node on the main stem	18.4	17.7	11.6	12.4
Significance of seed size C.V.	bt. year (Y)		bt. isogenic lines (I)		Y × I	
	Harosoy	NS	*		NS	
	Clark	NS	NS		**	

1) Ind.=Indeterminate, S.D.=Semi-determinate, Det.=Determinate. Materials were obtained from Dr. R. L. BERNARD²⁾.

*, ** Significant at the 5% and 1% level, respectively. NS=Not significant.

Table 22. Seed size variation in azuki bean cultivars

Cultivar (line)	Mean seed size (mg)	Seed size C.V. (%)	Cultivar (line)	Mean seed size (mg)	Seed size C.V. (%)
Buchishoryu-kei No. 1	81	20.4	Hokkai-shiro-shozu	157	21.8
Chagara-wase	125	22.4	Kotobuki-shozu	166	21.8
Kensaki	128	22.9	Wase-tairyu No. 1	182	22.2
Sakae-shozu	130	25.1	Akane-dainagon	184	19.9
Takara-shozu	131	21.1	Kogane-dainagon	190	22.7
Hikari-shozu	133	25.3	Akatsuki-dainagon	200	20.2
Hayate-shozu	133	17.7	Wase-dainagon	203	23.2
Tsuru-shozu	147	19.2	Iwate-dainagon	204	21.0
Maruba No. 1	157	21.4	To-iku No. 106	251	16.1

Differences between cultivars for seed size C.V. are significant at the 1% level.

Table 23. Correlation between seed size variation (C.V.) and various traits in azuki bean cultivars ($n=18$)

Traits	Range	Correlation coefficient	
		single	partial
Mean seed size	81-251 mg	-0.335	(fixed)
No. of seeds per plant	127-366	0.092	-0.448
Seed weight per plant	25.0-34.7 g	-0.360	-0.377
No. of pods per plant	27.1-50.3	0.106	-0.214
No. of seeds per pod	4.1-7.4	0.086	-0.282
No. of nodes per plant	22.8-34.8	0.509*	-0.575*
No. of pod per node	0.89-1.89	-0.231	-0.621**
Branch per plant in seed weight	0.34-0.68	0.592*	0.671**
Growing period	119-144 days	0.050	0.213
Seed shape			
Thickness/width	0.91-0.98	-0.232	-0.070
Width/length	0.68-0.77	-0.113	-0.233
Degree of sphere ¹⁾	75-83%	-0.214	-0.248

1) See Table 20.

*, ** Significant at the 5% and 1% level, respectively.

Table 24. Seed size variation in five modern azuki bean cultivars for two years

Cultivar	Mean seed size (mg)		Seed size C.V. (%)	
	1983	1984	1983	1984
Hayate-shozu	126	94	23.9	22.8
Takara-shozu	119	91	24.9	27.5
Erimo-shozu	151	111	22.8	25.0
Kotobuki-shozu	155	131	23.4	24.7
Akane-dainagon	198	175	20.9	22.0
Significance of seed size C.V.	bt. years (Y)		bt. cultivars (C)	Y×C
	*		**	NS

*, ** Significant at the 5% and 1% level, respectively. NS=not significant.

ではあるが有意でなかった ($r=-0.335$)。

大豆と同様に粒大変異と品種の諸形質との相関をみると (Table 23), 粒数, 莢数, 1 莢内粒数および粒重とはすべて有意でなかったが, 節数とは正の有意な関係が認められた。主茎節数は全品種を通して 12~14 で品種間差は小さいから, 節数の差は主として分枝節数の差である。すなわち分枝節数の多い品種ほど粒大変異が大きい傾向があるといえる (分枝節数との偏相関は 0.642**)。これは粒重でみても同じで, 分枝粒重比の高いものほど粒大変異は大きかった ($r=0.671$ **)。また, 分枝節数の

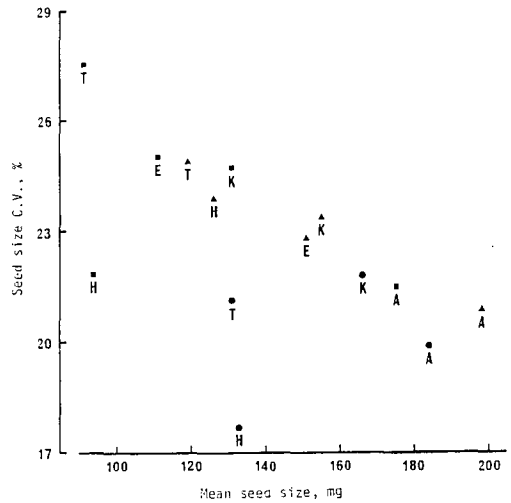


Fig. 24. Relationship between mean seed size and seed size variation (C.V.%) in five modern azuki bean cultivars for three years. ● (1980, ▲ 1983, ■ 1984: H; Hayate-shozu, T; Takara-shozu, E; Erimo-shozu, K; Kotobuki-shozu, and A; Akane-dainagon.)

少ない品種は 1 節当たり莢数が多かったため, 1 節当たり莢数と粒大変異の間には有意な負の相関が検出された。

品種生態としては分枝性のほかに蔓化の程度と熟性と

Table 25. Seed size variation in kidney bean cultivars

Cultivar	Mean seed size (mg)	Seed size C.V. (%)	Cultivar	Mean seed size (mg)	Seed size C.V. (%)
Sanilac pea bean	169	14.8	Taisho-shiro-kintoki	582	13.9
Rico 23	178	20.8	Fukuryu-chunaga	586	14.7
Hime-tebo	226	15.3	Taisho-kintoki	607	16.3
Biruma	237	12.1	Tokachi-shiro-kintoki	608	12.9
Taisho-otebo	246	12.2	Tsunetomi-nagauzura	616	19.1
Gin-tebo	318	15.7	Kairyō-toramame	628	13.9
Muroran-ingen	319	18.3	Kairyō-wase-ofuku	631	12.6
Maekawa-kintoki	422	15.3	Showa-kintoki	695	16.3
Tenashi-chunagauzura	457	26.8	Fuku-shiro-kintoki	701	16.7
Benishibori	524	16.3	Manshu-saitou	704	17.7
Kintoki	554	14.5	Hokkai-kintoki	727	15.9

Differences between cultivars for seed size C.V. are significant at the 1% level.

Table 26. Seed size variation in four plant types of kidney beans

Plant type	No. of cultivars	Seed size C.V. (%)
Dwarf	11	17.2
Bush	2	15.1
Short viny	6	14.7
Viny	3	14.7

Differences are not significant.

が考えられるが、いずれも粒大変異とは関係ないようであった。すなわち、供試品種で明らかな蔓性を示したのは黄金大納言と蔓小豆であるが、粒大変異はそれぞれ22.7, 19.2%で他とほとんど変わらなかった (Table 22)。また、生育日数と粒大変異との相関もきわめて低かった (Table 23)。

粒形についても大豆と同様にして調べてみたが、粒径比、球形度ともに粒度変異との関係はほとんど認められなかった。

Table 24 に、1983年と1984年における5品種の平均粒大、粒大変異および子実収量を示した。1983年は冷涼年で生育・収量ともに1980年に類似しており、1984年は8月中の高温・干ばつにより収量は前年の1/2程度に留まった。また、平均粒大も1984年が1983年に比べ平均20%小さかった。一方、1984年の粒大変異は、ハヤテショウズを除く4品種で、前年よりも1.3~2.6% (比率で平均約8%) 高く、年次間に有意差がみられた。年

次×品種の交互作用は有意でなかった。年次の影響をさらに検討するため、1980年 (エリモショウズを除く4品種) を含めた3年間について、粒大変異と平均粒大との関係を示したのが Fig. 24 である。5品種のなかでハヤテショウズは必ずしも該当しないが、全体の傾向として平均粒大が小さいと粒大変異が大きい関係が、同じ品種についてもみられた。すなわち、粒大が小さい年は粒大変異が大きいとみなされよう。

3. 菜豆について

1980年は開花期以降低温に経過したが登熟は比較的良好で、収量は10a換算で235~402kg、平均328kgであった。Table 25に、22品種の平均粒大と粒大変異を示した。粒大変異の品種間差は有意で(1%水準)、12.1% (ビルマ) から26.8% (手無中長鶏) までみられ、大豆 (Table 18) とほぼ同じ範囲にあった。一方、品種の平均粒大は、小は大豆に近いものから大は大豆をはるかに上回るものまで広い範囲にわたっているが、粒大変異と平均粒大との間にはほとんど相関がなく ($r = -0.018$)、大粒ほど変異の小さい大豆と大きな相違を示した。また、品種の草型別に粒大変異をみたのが Table 26 であるが、矮性品種が他よりわずかに大きいものの有意差は認められなかった。

莢数をはじめ、品種の諸形質と粒大変異との相関も、Table 27 に示すように、ほとんど有意でなかった。ただし、分枝粒重比とは5%で有意な相関がみられ、分枝数においても同様であった (単相関で $r = 0.452^*$)。これは、分枝依存性の高い矮性品種に粒大変異が比較的高い

Table 27. Correlation between seed size variation (C.V.) and various traits in kidney bean cultivars (n=22)

Traits	Range	Correlation coefficient	
		single	partial
Mean seed size	169-727 mg	-0.018	(fixed)
No. of seeds per plant	27-165	-0.003	-0.052
Seed weight per plant	21.2-36.2 g	-0.128	-0.130
No. of pods per plant	5.4-35.9	-0.094	-0.219
No. of seeds per pod	2.6-6.3	0.149	0.187
No. of nodes per plant	12.3-29.4	-0.125	-0.142
No. of pods per node	0.20-1.52	0.004	-0.008
Branch per plant in seed weight	0.16-0.83	0.427*	0.435*
Growing period	96-129 days	-0.119	-0.126
Seed shape			
Thickness/width	0.50-0.89	-0.159	-0.165
Width/length	0.49-0.81	-0.443*	-0.474*
Degree of spherel ¹⁾	41-80%	-0.411	-0.438*

1) See Table 20.

* Significant at the 5% level.

ものが多かったためである。粒形では、粒幅/粒長が1に近い、または3粒径の差が小さい品種ほど粒大変異が小さい傾向がみられた。

論 議

大豆、小豆、菜豆品種の粒大変異は、下限は作物によりやや異なるが、10%から27%の範囲にあった。この値は、それぞれ諸特性のかなり異なる70品種を供して得られたものであり、通常の栽培条件下における3作物共通の一般的な分布範囲とみてよいであろう。しかし、品種間でみた粒大変異と他の特性との関係は、作物によってやや異なっていた。まず注目されるのは平均粒大との関係で、大豆では粒大変異との間に有意な負の、小豆も有意ではないがやはり負の相関があるのに対し、菜豆ではほとんど相関がないことである。これらの関係をまとめて図示したのが Fig. 25 で、菜豆の平均粒大は、小は0.2g前後で大豆の小粒程度のものから大は0.7gを越えるものまで、品種の差がきわめて大きいのが特徴であるが、大豆のほぼ上限である0.45gまでの品種の粒大変異は、同程度の平均粒大をもつ大豆あるいは小豆品種と大きな違いはない。しかし、大豆、小豆にみられる負の関係が、菜豆を含めて成立するとみなすと(0.45gまでは全体で $r = -0.711^{***}$)、菜豆の0.5g以上の品種は平均粒大に比べて粒大変異がかなり大きいことになる。平

均粒大と粒大変異の負の関係はとくに大豆で顕著であったが、近年の大粒化の育種目標のなかで、揃いの良い方に選抜が働いた可能性がある。というのは、Fig. 10にも示したように、大粒になればなるほど粒大の分布幅は広がり、小粒に比べて見掛け上揃いの悪さが目立つと考えられるからである。手亡類、金時類のように古くから種皮色や粒の大小による銘柄指定の強い菜豆では、揃いの選抜がまだ加わっていないのかもしれない。しかし、実証するには交配実験を含めたより多数の材料による検討を必要とする。最も小さい粒大変異示した(約10%)大豆の大粒品種ユウヅルは、莢の2/3が初めの5日間に咲いた花に由来し、しかもこの時期の着莢率は35%程度にすぎなかった(Fig. 15)。このように、大豆では莢数(粒数)の調節が大粒でより早い時期に起こることが、変異を小さくしているひとつの要因と考えられる。

2年間ではあるが大豆品種の粒大変異は比較的安定していた。一方、小豆品種の粒大変異は年次変動が大きく、同化産物の source と sink の対応が気象条件に大きく左右され、両者のバランスが大豆に比べて崩れやすい。小豆(菜豆も)では品種特性として粒大変異を扱うことは現段階では困難であろう。菜豆品種で手無中長鶉の粒大変異がとくに高い(約27%)のが注目されるが、調査した形質の範囲ではそれに結びつくような特徴を見出すことはできなかった。菜豆についてはこうした特異な品

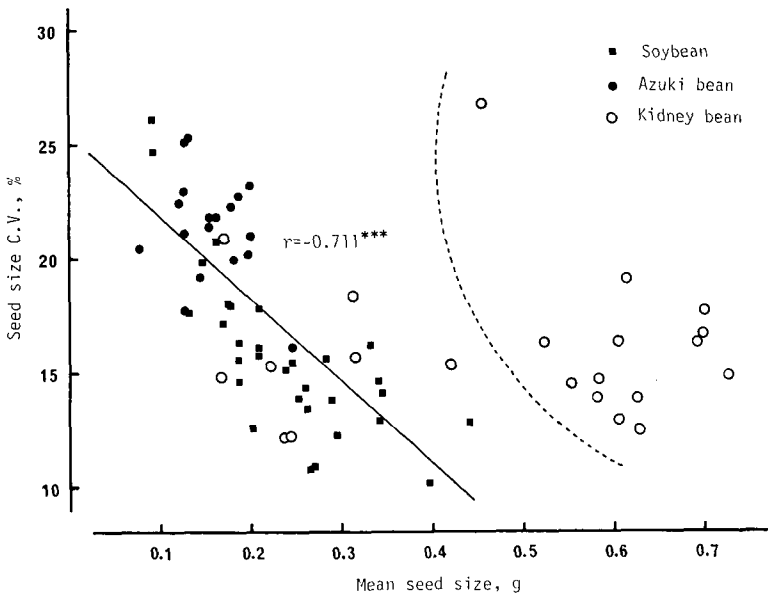


Fig. 25. Relationship between mean seed size and seed size variation (C.V.%) in the cultivars of three grain legumes.

種を含め、粒大変異の要因の解析が必要である。

次に品種の草型と粒大変異について考察しておきたい。既に述べたように、大豆には茎の伸育性に有限型と無限型とがあり、開花期間は無限型が有限型より明らかに長い。そのため、無限型の粒大変異は有限型よりも大きいものと思われてきた。それには1967年の永田の報告⁵³⁾が大きく関係している。すなわち永田は、有限型2品種と無限型1品種を用い、本研究第3章と同様に開花日と子実生長との関係を調査した結果から、無限型では開花日により粒大に差が生じて全体の変異係数が有限型より大きいとした。しかしながら、本実験の有限型21品種、無限型(半無限型を含む)9品種の結果は、伸育型と粒大変異はほとんど関係ないことを示した。このことは、有限型でも開花日により粒大が異なること(Table 12)、茎の位置でも有限型の粒大が齊一とは言えないこと(Fig. 19)、さらに isogenic line の結果でも有限・無限で一定の傾向がなかったこと(Table 21) などからも明らかであろう。ただし、有限と無限では、個体内位置要因別にみると変異の起源を異にしている(Table 17)。

小豆には大豆の伸育性に相当する草型の分離はなく、開花期間の長さや茎の生長形態は大豆の無限型に類似している。通常の栽培条件下で明らかに蔓性を示す品種があるが、節間が長いだけで節数は普通のものほとんど変わらないためか、粒大変異は他と違いはなかった。一

方、菜豆には有限型と無限型があり、それぞれをさらに矮性・叢性、半蔓性・蔓性のよう分類しているが⁵⁶⁾、粒大変異をみる限り、4草型間に大きな違いはなく(Talbe 26)、また有限・無限で大別しても有意差は認められなかった。ただ、矮性品種は粒の60~80%を分枝に依存しており、粒大の枝条間差異によって粒揃いが悪くなる要素をもつと考えられる。分枝依存性が高い品種ほど粒大変異が大きい傾向は小豆にもみられた。

摘 要

草型、熟期、粒大の異なる大豆、小豆、菜豆それぞれ30、18、22品種(系統)を栽培して粒大変異を調査し、品種特性との関連を検討した。とくに大豆においては、isogenic line を用いて伸育性との粒大変異との関連を精査した。また、大豆と小豆数品種について粒大変異に及ぼす年次の影響を調べた。

1. 大豆について

1) 粒大変異(変異係数、以下同じ)は10.2~26.1%で有意な品種間差異が認められ、大粒品種ほど変異が小さい傾向がみられた。平均粒大が同じであれば、莢数、粒数の多い品種で、また生育期間の短いもので粒大変異が大きい傾向にあった。粒形では、球に近い品種ほど変異が小さい特徴があった。

2) 粒大変異と品種の開花期間の長短とは関係がな

く、有限伸育型と無限伸育型で粒大変異に有意差は認められなかった。伸育性に関する isogenic line の結果も同様であった。

3) 粒大変異は栽培年次により異なるが、品種の順位相関は比較的高く、 $r_s=0.781^{***}$ が得られた。

2. 小豆について

1) 粒大変異は 16.1~25.3% で有意な品種間差が認められた。しかし、平均粒大との相関は負ではあるが有意でなく ($r=-0.335$)、大粒品種の粒大変異が小さいとは限らなかった。

2) 分枝節数の多い、したがって粒数の分枝依存度が高い品種は粒大変異が大きい傾向にあった。蔓化の程度や生育期間、また粒形の違いは粒大変異とほとんど関係なかった。

3) 粒大変異は年次によって異なり、同じ品種では平均粒大が小さい年は粒大変異が大きい傾向がみられた。

3. 菜豆について

1) 粒大変異は 12.1~26.8% で品種間差が有意であったが、平均粒大とはほとんど相関がなかった ($r=-0.018$)。

2) 粒数の分枝依存度が高い矮性品種は粒大変異がやや大きい傾向が認められるが、叢性、半蔓性、蔓性の比較で有意差はなかった。粒形では扁平な粒の場合大変異が大きい傾向がみられた。

第5章 栽培方法と粒大変異

前章では大豆、小豆、菜豆について、作物間および品種間の差異を検討しながら、これまでほとんど知られてなかった粒大変異の実態を明らかにした。そこにみられた変異の大きさの違いは、粒揃いに客観的なひとつの評価基準を与えることになるが、実際栽培では粒揃いおよび栽培環境の影響が問題となる。

品種の粒大変異が栽培年次すなわち気象条件の影響を受けることは既に述べたが、本章では、現在栽培されている主要品種を含む数品種を供試し、大豆と菜豆では播種期と栽植密度について、小豆では栽植密度と収穫時の熟莢率について粒大変異との関係を検討する。

材料と方法

大豆については、粒大の異なる有限型 5 品種、石狩白 1 号、十勝長葉、キタムスメ、トヨスズ、ユウヅルを用い、1979 年に実験した。畦幅 60 cm、株間 15 cm、1 本立て、5 月 23 日播種を標準区とし、株間処理として 7.5 cm (狭植区) と 30 cm (広植区) を、株立本数処理として

2 本立て (2 本区) と 3 本立て (3 本区) を、播種期処理として 6 月 6 日播き (晩播区) をそれぞれ設けた。当該処理以外の条件は標準区と同じである。肥料は各区共通で、配合肥料「豆類 7 号」を 10 a 当たり 80 kg (N-3.2, P_2O_5 -10.4, K_2O -8.0, MgO-2.4 kg) を全量基肥として与えた。試験区は品種を主区とする分割区法 2 反復で、1 区は 4 畦 (長さ約 3.5~5 m) より成り、中央 2 畦を収穫した。そのなかから平均的な 10 個体 (または 10 株) を選んで風乾し、節数、莢数等を調査した後、主茎・分枝別に脱粒し、著しい未熟粒・虫害粒を除いて 1 粒重自動測定装置にかけた。

小豆に関しては 1982 年に実験を行なった。最近の栽培品種を中心に代表的な 5 品種、ハヤテシヨウズ、宝小豆、エリモシヨウズ、寿小豆およびアカネダイナゴンを供試した。播種日は 5 月 26 日である。畦間を 60 cm とし、株間を 10 cm (密植区)、20 cm (標準区)、30 cm 区 (疎植区) の 3 水準とした。すべて 2 本立てで、20 cm 区 (8.3 株/m²) は一般栽培条件に近い。肥料は前掲「豆類 6 号」を 10 a 当たり 90 kg の割合で播種前に施与した。試験区は品種を主区とする分割区法 2 反復である。1 区 4 畦 (畦長約 5 m) のうち中央 2 畦を調査に用いた。各区収穫期近くに熟莢割合を調べ、約 70% (60~80%) の時期と約 90% (80~100%) の 2 回にわたって収穫し、風乾の後それぞれ平均的な 15 株について大豆と同様の調査、測定を行なった。

菜豆については 1981 年に栽植様式と播種期の影響を実験した。供試品種は、大正金時 (矮性)、姫手亡 (叢性)、福粒中長および十勝白金時 (半蔓性) の 4 品種である。畦幅を 60 cm 共通として次の 8 処理を行なった。播種は 5 月 28 日を標準に、5 月 15 日 (早播)、6 月 10 日 (晩播) の 3 時期に行ない、それぞれに株間 15 cm 区 (標準) と 30 cm 区 (広植) を設けた。これらはすべて 1 本立てであるが、標準播種期においてはさらに、株間 15 cm 2 本立て、30 cm 2 本立ての処理を加えた。肥料は基肥として「豆類 6 号」を 120 kg/10 a の割合で与えた。区制は品種を主区とする分割区法 2 反復で、1 区 4 畦 (畦長約 4~5 m) から成り、中央 2 畦を収穫・風乾し、平均的な 15 個体 (2 本立ては 15 株) について大豆と同様の調査・測定を行なった。

結果と考察

1. 大豆における播種日、株間、株立本数の影響

まず、粒大以外の主な形質について、処理の平均的な効果を Table 23 でみると、主茎長をはじめ個体当たり

の分枝数、節数、莢数および粒重はすべて栽植密度の影響を強く受け、一般に言われるように、主茎長は密植になるほど増加し、その他の形質は逆に密植ほど減少した。また、標準よりも2週間遅い晩播区は、節数、莢数でみると標準区に近い値まで回復したが、粒重では約10%劣った。1莢内粒数は、広植区と晩播区でわずかに大きい傾向がみられた。単位面積当たりの収量は、30 cmの広植区を除いて密度間の差異がほとんどなかった。ただし、これらは品種を込みにした処理の効果についてであ

り、分散分析によると、すべての形質について処理間差異が有意であると同時に、品種との交互作用もまた有意であった(1莢内粒数を除く)。粒大以外の形質に関する個々の品種の反応については省略するが、収量は平均してトヨスズが高く、全区の最高値はトヨスズ3本立区の315 kg/10 aであった。

平均粒大および粒大変異におよぼす処理の影響を品種別に Fig. 26 に示した。平均粒大についてみると、各品種とも栽植条件により異なったが、品種との交互作用が

Table 28. Some traits of soybeans under various planting methods

Traits	Planting method						
	Sowing date	5/23	5/23	5/23	5/23	5/23	6/1
Hill spacing, cm ¹⁾	15	15	15	7.5	30	15	
Plants per hill	1	2	3	1	1	1	
Symbol ²⁾	S	2	3	N	W	L	
Main stem height, cm	61.8	74.1	77.2	72.2	54.6	67.9	
No. of branches per plant	4.4	2.2	1.1	2.0	6.1	4.0	
No. of nodes per plant	37.8	23.3	16.1	23.1	52.0	36.5	
No. of pods per plant	52.3	28.7	18.3	27.8	91.6	50.5	
No. of seeds per pod	1.87	1.78	1.82	1.82	1.98	1.92	
Seed weight per plant, g	25.1	12.6	8.5	12.5	47.6	22.9	
Seed weight per m ² , g	279	280	283	278	264	254	

Means of five cultivars.

1) Row width=60cm.

2) Symbols of treatment are used in Fig. 26.

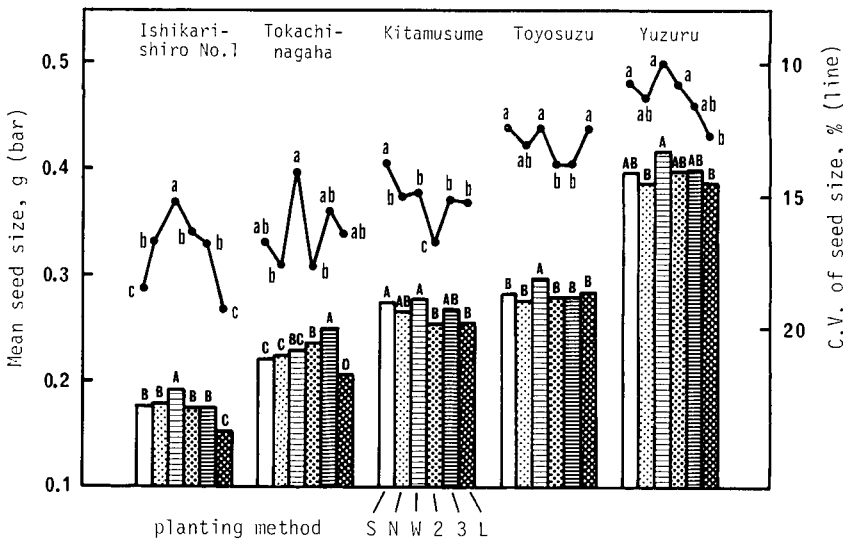


Fig. 26. Effects of planting method on mean seed size and seed size variation (C.V.%) in soybean cultivars. Values not followed by the same letter differ significantly at the 5% level within cultivars. For symbols of treatment see Table 28.

大きかった。十勝長葉で本数が増すと大粒化する傾向を示したが、その他の品種では株立本数の影響はほとんどなかった。株間に対しては、広植区の粒大が他より大きかったものの、十勝長葉とキタムスメでは株間間に有意差が認められなかった。また、晩播きすると、トヨスズ以外の品種ですべて小粒化し、特に石狩白1号と十勝長葉で顕著であった。

一方、粒大変異が最も小さくなる栽植条件は、キタムスメで標準区である以外は広植区であったが、トヨスズは標準区と晩播区も同様に小さかった。逆に粒大変異を大きくする条件は、キタムスメでは2本区、トヨスズで2本区ないし3本区、ユウヅルで晩播区（これらは標準区よりも有意に大）のように、品種により異なった。標準区の粒大変異との比較においても、石狩1号は晩播区を除くすべての処理で粒大変異が小さく、キタムスメはすべての処理で逆に大きくなり、トヨスズは処理間差異が小さいなど多様な反応を示した。

平均粒大と粒大変異との対応関係は、品種間では、Fig. 25にもみられるように、大粒品種ほど変異が小さいことが明らかであるが、品種内の処理間では、大粒化する条件が面ずしも変異の減少に結びついていなかった。すなわち石狩白1号、キタムスメおよびユウヅルの3品種の相関係数は0.73程度の負の値を示したが(10%で有意)、十勝長葉とトヨスズは0.15以下でほとんど対応がみられなかった。なお、粒大変異と子実収量の相関は、負ではあったが、収量の処理間差が小さいこともあって、すべての品種で有意でなかった。

2. 小豆における株間と収穫時の熟英率の影響

Table 29 に株間を変えた時の収穫時(熟英率90%)の

Table 29. Some traits of azuki beans under three levels of hill spacing

Traits	Hill spacing, cm ¹⁾		
	10	20	30
Main stem height, cm	40.7	38.5	37.1
No. of branches per plant	2.0	2.9	3.1
No. of nodes per plant	15.2	23.1	27.4
No. of pods per plant	10.7	19.6	27.9
No. of seeds per pod	5.48	5.34	5.60
Seed weight per plant, g	8.0	14.6	21.8
Seed weight per m ² , g	267	243	242

Means of five cultivars at 90% mature-pod stage.

1) Two plants per hill with a 60 cm-row width.

主な形質について、5品種の平均値を示した。主莖長およびその他の形質の株間に対する一般的な反応は大豆と同じ傾向にあった。ただし、大豆に比べて主莖長の株間間差異が小さく、全体に生育量が平年より小さかった。これは、実験年次(1982年)が開花始めまで低温に経過し、生育期間中の雨量が平年に比べて少なかったことによる。子実収量は平年よりやや劣る程度で、全区平均で約250 kg/10 aであった。株間と収量の関係を品種別にみると、ハヤテシヨウズ、エリモシヨウズ、寿小豆の3品種はいずれも密植(10 cm)で最も収量が高く、アカネダイナゴンは標準植、宝小豆は疎植(30 cm)であったが、ハヤテシヨウズを除き株間の差異は比較的小さかった。また、熟英率70%での収量は、90%に比べてやや多い傾向がみられた(ハヤテシヨウズを除く)。

平均粒大と粒大変異に及ぼす処理の影響を Table 30 に示した。平均粒大が大きい条件は、熟英率70%では4品種が疎植、90%では3品種が標準植であり、密植は宝小豆を除いて最も小粒となった。しかし、全体に平均粒大の株間間差異は小さく、分散分析の結果も有意と認められなかった。どの品種も株間を込みにすると、熟英率70%の平均粒大は90%の場合よりも有意に大であったが、その差はわずか1~6 mgにすぎなかった。

粒大変異は密植で大きく、とくに熟英率90%で顕著であった。また、熟英率70%では疎植で粒大変異が小さく、90%では標準値で小さい傾向がみられたが、株間と熟英率の交互作用は有意でなかった。平均粒大と粒大変異とは負の関係にあり、ハヤテシヨウズと宝小豆では弱い($r = -0.561$ と -0.540)、エリモシヨウズ、寿小豆、アカネダイナゴンは $r = -0.743$ ~ -0.959^{**} を示したことから、小粒化をもたらす条件は、とくに中・大粒の品種において、粒揃いを悪くするといえよう。

3. 菜豆における播種期、株間および株立本数の影響

大豆、小豆と同様に、菜豆でも個々の品種の各栽植条件に対する反応は必ずしも同じではなかったが、収穫期の主な形質に関する一般的な傾向を Table 31 についてみると、主莖長は株間および株立本数で変わらず晩播で増加し、個体当たり分枝数と節数も密度間より播種期間の差が大であった。形態形質のこのような反応は、実験年(1981年)の気象によるところが大きく、5~6月上旬の低温と5月下旬の多雨により早播区と標準播区、特に早播区の初期生育が悪かったのに対し、晩播区ではその影響が小さかったことに関係している。また、7月中旬以降の気温も平年より低かったため生殖生長が緩慢で、疎植による英数の増加(補償効果)が小さかった。結局、

Table 30. Effects of hill spacing and % mature-pod on mean seed size and seed size variation in azuki beans

A. Mean seed size								(mg)
% of mature-pod at harvest (P)	Hill spacing, cm (S)	Cultivar (C)						
		Hayate-shozu	Takara-shozu	Erimo-shozu	Kotobuki-shozu	Akane-dainagon		
70	10	117	125	143	155	175		
	20	120	118	144	146	187		
	30	120	115	146	160	191		
90	10	117	114	138	143	173		
	20	118	120	143	150	186		
	30	119	110	141	152	179		
Significance	C **	S NS	C×S NS	P **	P×C NS	P×S *	P×C×S NS	

B. Seed size variation								(C.V.%)
% of mature-pod at harvest (P)	Hill spacing, cm (S)	Cultivar (C)						
		Hayate-shozu	Takara-shozu	Erimo-shozu	Kotobuki-shozu	Akane-dainagon		
70	10	20.0	17.9	16.5	17.2	21.6		
	20	17.9	18.1	16.8	19.1	16.9		
	30	18.0	17.5	16.4	17.0	15.8		
90	10	18.9	19.9	18.9	19.5	19.5		
	20	17.0	17.5	16.7	18.8	17.6		
	30	18.1	18.9	17.4	17.8	16.1		
Significance	C NS	S **	C×S NS	P NS	P×C NS	P×S NS	P×C×S NS	

*, ** Significant at the 5% and 1% level, respectively. NS=not significant.

Table 31. Some traits of kidney beans under various planting methods

Traits	Planting method								
	Sowing date	5/15	5/15	5/28	5/28	5/28	5/28	6/10	6/10
	Hill spacing, cm ¹⁾	15	30	15	30	15	30	15	30
	Plants per hill	1	1	1	1	2	2	1	1
Main stem height, cm		74.6	75.0	80.7	79.8	27.5	76.1	89.1	83.2
No. of branches per plant		3.9	5.3	4.2	5.3	3.0	3.9	4.9	6.4
No. of nodes per plant		24.8	36.4	27.6	38.8	19.7	29.6	30.3	45.6
No. of pods per plant		14.6	23.3	16.0	21.9	9.5	15.1	14.2	24.9
No. of seeds per pod		3.41	3.31	3.10	3.29	3.08	3.06	3.17	3.30
Seed weight per plant, g		20.4	34.1	21.6	33.9	13.0	20.0	20.7	35.4
Seed weight per m ² , g		227	190	240	188	272	222	230	197

Means of four cultivars.

1) With a 60 cm-row width.

Table 32. Effects of planting method on mean seed size and seed size variation in kidney beans

A. Mean seed size.						(mg)	
Planting method (T)		Cultivar (C)				Significance	
		Taisho-kintoki	Tokachi-shiro-kintoki	Fukuryu-chunaga	Hime-tebo	T	T × C
Sowing date	5/15	499	476	544	260	**	*
	5/28	502	519	553	284		
	6/10	557	520	574	258		
Hill spacing	15 cm	506	498	551	266	NS	NS
	30 cm	532	517	562	268		
Plants per hill	1	502	519	553	284	NS	NS
	2	493	525	575	274		

B. Seed size variation.						(C.V.%)	
Planting method (T)		Cultivar (C)				Significance	
		Taisho-kintoki	Tokachi-shiro-kintoki	Fukuryu-chunaga	Hime-tebo	T	T × C
Sowing date	5/15	20.9	18.1	14.2	15.7	**	*
	5/28	19.7	16.3	14.1	14.6		
	6/10	15.0	14.0	12.8	17.7		
Hill spacing	15 cm	18.6	16.6	14.1	15.9	NS	NS
	30 cm	18.5	15.6	13.3	16.0		
Plants per hill	1	19.7	16.3	14.1	14.6	NS	NS
	2	21.5	16.3	13.0	14.4		

*, ** Significant at the 5% and 1% level, respectively. NS=not significant.

収量は4品種とも、標準播種日で個体密度の高い株間15 cm 2本立区が最高となった(大正金時 191 kg, 姫手亡 330 kg, 十勝白金時 324 kg, 福粒中長 243 kg/10 a)。

平均粒大は、Table 32 に示すように、播種期の違いにより顕著な差異がみられた。株間では15 cm よりも30 cm でやや大きい傾向があったが有意でなく、株立本数でも有意差は認められなかった。早播区の粒大が小さく晩播区で大きい点については、前述した気象による生育初期の差とともに、晩播区では開花日(標準播の約10日後の7月19~24日)頃が約19°Cの低温であったため、開花・着莢が制限されて粒大が補償的に大きくなったことが考えられる。ただし、姫手亡は標準播の粒大が最も大で、晩播区の開花期の低温は関係してないようであった。

粒大変異も播種期による差のみが有意であったが、平均粒大と逆の関係にあり、晩播区が小さく早播区が大きかった。平均粒大が大きいと粒大変異が小さいという関係は、Fig. 27 に示すように、株間と株立本数処理を含

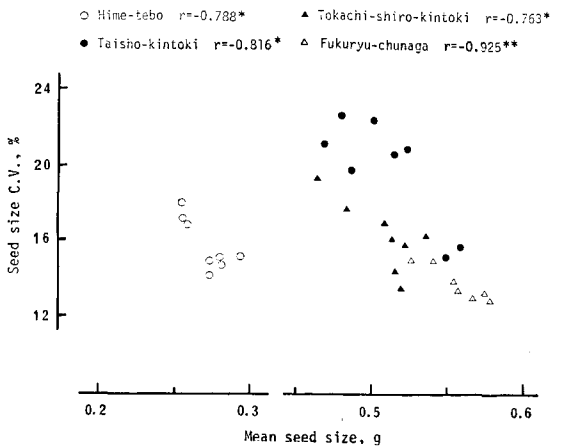


Fig. 27. Relationship between mean seed size and seed size variation (C.V.%) under various planting methods in kidney bean cultivars.

めてどの品種にも当てはまった。ここで測定の対象外とした不良種子についてふれておきたい。不良種子とは、早期発育停止粒（品種固有の種皮色がつくに至らない）、種皮が異常（しわ、亀裂など）を呈する粒、病虫害粒を指し、褪色（色流れ）粒は含まれない。不良種子の粒数割合は、矮性の大正金時が低温・多雨の影響を最も強くうけ、早播区で15%、標準播区で23%と他の3品種（4%以下）に比べて著しく高かった。大正金時にはこうした粒揃い以前の問題があったことを付け加えておく。

論 議

大豆の100粒重は、晩播で減少^{1,58)}、栽植密度による差はきわめて小さいとされ^{17,42,66)}、また小豆の100粒重も密度・播種期で反応が小さいといわれている⁷⁰⁾。大豆で密植すると100粒重が増加したという報告もあるが⁵⁷⁾、本実験の結果では、大豆、小豆、菜豆の平均粒大は株間が広くなると大粒化する傾向が認められた（ただし菜豆では有意差はない）。また、菜豆の平均粒大は晩播で増加した。一方、粒大変異の反応は、大豆は品種により必ずしも明確でないが、3作物ともほぼ平均粒大の反応に対応し、小粒化に伴って変異が拡大した。小豆の年次変動にみられたように（Fig. 24）、この関係は気象条件についても同じと考えられる。要するに粒の登熟が良いと揃いも良いということである。粒揃いの点では菜豆を除いて疎植（株間30cm）条件で有利といえるが、他の密度区との変異係数の差は、大豆小粒品種ではやや大きいものの平均して2%程度にすぎない（Fig. 26 および Table 30）。ここでの個体密度の差は大豆で6倍、小豆で3倍であることを考えると、実際栽培で栽植条件を多少変えたとしても粒揃いへの影響はほとんどないとみなされよう。

小豆は霜害を避けるため熟莢が7~8割の時点で収穫されることが多いが、未熟莢の割合が高いと粒揃いが悪くなると考えられる。しかし、熟莢率70%の平均粒大は90%に比べわずかに大きい傾向がみられたが、粒大変異に有意差はなかった。実際、群落として70%、90%の熟莢率であっても、個体では様々な段階のものが含まれるので、粒大変異にまで影響することはほとんどないと思われる。

菜豆は栽培年が不良気象であったため、平均粒大、粒大変異ともに播種期の差のみが有意で、株間や株立ち本数の影響はみられなかった。しかし、晩播を除くと、株間15cmよりも30cm（1本立て）で平均粒大が大きく粒大変異が小さい傾向がみられた。菜豆でも大豆・小豆

と同様に粒揃いからみると疎植が有利と推定されるが、15cmとの差は変異係数でわずか1%であった。

摘 要

主要栽培品種を含む大豆5品種、小豆5品種、菜豆4品種を供試し、栽植方法（播種期、密度）が平均粒大および粒大変異に及ぼす影響を検討した。小豆については収穫時の熟莢率との関係も調査した。

1. 大豆について

5月23日播種で株間7.5, 30cm（1本立て）、2, 3本立て（株間15cm）、6月6日播種（15cm, 1本立て）の6処理を行なった。畦幅は60cm共通である。

平均粒大は栽植条件によって異なり、一般に広植え（30cm）で大粒化し、晩播で小粒化する傾向がみられたが、株立ち本数の影響は小さかった。粒大変異が最も小さい処理はキタムスメを除き広植えであった。逆に大きい条件はキタムスメで2本立て、トヨスズで2ないし3本立て、ユウヅルで晩播のように、品種により異なった。トヨスズの粒大変異は処理間差異が小さい特徴があった。品種内においては、石狩白1号、キタムスメ、ユウヅルでは小粒化で粒大変異が大きくなる傾向がみられたが、十勝長葉とトヨスズではほとんど対応がなかった。

2. 小豆について

畦幅60cm 2本立てで株間10, 20, 30cmの処理を行ない、熟莢率70%と90%の時期に収穫した。

平均粒大は、熟莢率70%では4品種が株間30cmで、90%では3品種が20cmで大きく、10cmの密植で小さい傾向がみられたが、株間間に有意差はなかった。粒大変異は密植で大きく、熟莢率では有意差がなかった。小粒化に伴い粒大変異が大きくなる傾向がみられ、エリモショウズ、寿小豆、アカネダイダゴンの中・大粒品種でより顕著であった。

3. 菜豆について

播種日を5月15日、28日（標準）、6月10日に、株間を15, 30cm（1本立て）に設定し、標準播種期にさらに2本立て区を加えて計8処理を行なった。畦幅は60cm共通である。

平均粒大、粒大変異ともに播種期の影響が最も大きく、晩播で粒大が大きく変異が小さかった。株間および株立ち本数は平均粒大、粒大変異に有意な影響を及ぼさなかったが、粒大は15cmよりも30cmでやや大きい傾向がみられた。大正金時、姫手亡、十勝白金時、福粒中長のすべての品種において平均粒大と粒大変異には有意な負の相関が認められた。

総合論議

作物における種子の大きさの栽培上の意義については、現在でもよく議論され研究が行なわれている。一般に、大きい種子は小さい種子に比べて胚が大きいかあるいは胚乳、子葉の貯蔵物が多く、初期の光合成量が多いため幼植物の生長が旺盛である。これが最終収量の増加に結び着くかどうかは環境条件の良否に依存するが、少なくとも収量の安定性に貢献するとみられている。WOOD ら⁸⁹⁾によると、種子を等級分けし、大きいものを選んで栽培する労力は、収量の増加による経済的利益によって十分に補償されるという。一方、種子の大きさが齊一であることは、広い面積に対し機械による精密な播種を可能にし、立毛が確立し、収量の安定・増加をもたらすと考えられる。また、種子の大きさの均一性が高いと、日本における豆類のように品質として粒揃いが求められる場合、付加価値が高まる。このように、種子の大きさの均一性の問題、言い換えれば変異性の問題は、栽培・利用の両面における応用的な研究課題でもある。しかしながら、種子の大きさの変異(粒大変異)については、これまでまとまった研究がほとんどない。粒大変異は、一般的な環境(気象、土壌条件)による変異と微細環境による個体間変異、さらに個体内の変異とが集積した形質であり、その大きさや性質を理解するには多量の材料を扱わなければならない。従来の手作業による測定を方法とする限り狭い範囲を対象とせざるをえず、品種や作物にまたがる変異の研究はきわめて困難である。本研究ではまず1粒重自動測定装置の開発・実用化によりその方法的な隘路を打開した。その上で、大豆、小豆、菜豆の粒大変異について、広くその実態を明らかにするとともに、変異をもたらす要因を解析した。以下、本研究で得た結果について、粒揃いの評価に関わる実用的な問題を含めて総括的に論議しておきたい。

1. 粒大分布の特徴と変異の指標

大豆、小豆、菜豆の粒大分布は、もしも適合性検定(χ^2 検定)を行なわないならば、通常は“正規分布と見なしうる”かもしれない。しかし正確には、正規分布に近似してはいるが負に歪んだ分布である。この“小粒側の裾が広がる”分布は、個体内において既にみられる特徴である。これは粒大の上限が莢殻によりほぼ決まるのに対し、下限は実質的にないこと(個々の粒が上限に向かって次々と収束していく過程)によって生じるものと解される。分布の“小粒側の裾の部分”の頻度はきわめて低いが、ほとんどは同化産物の競合等によって早期に発

育を停止した粒であろう。本論では粒大変異の指標としてすべて変異係数を用いたが、分布との関係でみると、前述した粒の肥大過程を反映して、変異が小さいと負の歪みが大きい傾向が認められた。このように粒大の変異係数は、分布の実態をある程度表わした指標である。他の変異の指標としては分散ないし標準偏差があるが、平均値とは明らかな正の相関があるため、変異の比較に適さない。それらを用いると、後でも述べるように、大粒種は小粒種に比べると常に変異が大とみなされることになる。

2. 粒大の個体間および個体内変異

一般に、形質の品種間あるいは処理間差異をみる場合、特に圃場実験においては、個体間変異を十分に考慮した適切なサンプリングが必要とされる。しかし、堀江²⁸⁾が指摘しているように、作物集団における個体間の変異の実態とその特性が実際に検討されることは少ない。圃場でみられる粒大変異は個体内の変異に集団としてさらに個体間変異が加わるから、その評価は特に慎重を要する。大豆の結果によると、個体群の粒大差異は、最大30%前後が個体間変異に基づくものと推定され、数個体の測定では変異係数の変動が大きい。通常の調査では少なくとも10個体の測定が必要である。また、粒大の変異係数は平均値(100粒重)と違って、個体群では個体のときよりも分布が広がるから、個体毎に求めて平均するのは適当でない。

大豆の粒大変異はおおよそ70%以上が個体内の変異に起因すると考えられるが、その主な変因は開花時期と位置である。一般に遅い開花に由来する粒ほど肥大が劣り、無限型では開花初期のものも小粒である。しかし、同じ開花時期のなかにも粒の大小があり、着生位置が関係し同化産物の競合が起こっている。個体内では枝条、節、莢、莢内いずれの位置内においても粒大に差がみられ、それぞれの位置要因の全体の変異に対する関りの程度は品種によって異なる。一般に、枝条の関与は有限型品種で大きく、逆に節の関与は無限型で大きい傾向があるが、枝条と節を併せて平均約30%で、粒大変異の約70%は莢間および莢内の変異によってもたらされる。莢間の差は無限型品種では有限型より大きい。これは開花期間の長いことが主因となっていよう。一方、有限型では莢内における粒大の差の関与が無限型に比べて大であった。莢内位置による差は、大部分が莢の形態から生じるものと考えられるが、有限型品種では莢殻組織の柔軟性が無限型に比べて小さいのかもしれない。その組織解剖学的な研究が今後の課題とならう。

3. 品種特性としての粒揃いとその安定性

子実の品質を評価する際、粒揃いがよく問題にされるが、その実態はこれまでほとんど不明であり、本研究の目的のひとつはこの問題を作物学的な立場からできるだけ広く検討することであった。そのため、圃場条件下で栽培された作物で、集団としての特性を表わすに十分な種子数を扱い、できるだけ多くの品種の粒大変異を比較検討した。

草型、熟期、100粒重等の特性が異なる大豆30品種、小豆18品種、菜豆22品種の結果によると、粒大変異(係数)はそれぞれ10~26%、16~25%、12~27%で作物間にそれほど大きな差はない。粒大変異の品種間差異については、大豆では他の形質との関係が比較的明瞭であり、年次による影響も小さいから、品種特性としての検討がある程度可能である。以下いくつかを指摘すると、最も大きな特徴は大豆では大粒品種ほど粒大変異が明らかに小さい傾向を示すことである。この関係は小豆では弱く、菜豆ではほとんどない。ここでは、粒大の相対的な変異は作物・品種で本来それほど違わないと仮定し、大豆では大粒を育成する過程で「揃い」の選抜が加わった可能性があるとして解釈してみたが、生物学的な意味づけには交配実験を含む多数の材料による検討が必要である。

粒揃いとの関連でこれまで触れられてきた唯一の特性が大豆の伸育性である。無限型は有限型に比べ、開花期間が長く栄養生長と生殖生長との並進期間が長いから、粒の生長競争が強く揃いの点で不利とされてきたわけである。しかし、実際にそれを裏づける知見はきわめて乏しい。本研究の無限型(半無限型を含む)9品種の結果および isogenic line の結果は、大豆の伸育性と粒揃いはほとんど関係ないことを示した。個体内の開花時期や着生位置と粒大との関係は伸育性により異なる。しかし、変異の起源が異なっても、全体の粒大変異に伸育型による違いはない。また、菜豆品種についても有限(矮性、叢性)・無限(半蔓性、蔓性)で粒大変異に特に差はみられない。開花期間の長さは粒揃いに関係する特性ではないとみなされる。

大豆で注目されるのは、無限型中粒品種の黄宝珠とオンマシロメの粒大変異が、有限型大粒品種エウヅル並の最も小さい値を示したことである。オンマシロメは十勝長葉と黄宝珠との交配から育成されており、同じ組み合わせからナガハジロが出ているが、この品種も同程度の粒大をもつ品種のなかでは変異が小さい。このことは粒揃いの良さが遺伝する可能性を示唆していよう。また、これら3品種の粒形は球にきわめて近い点でも類似して

いる。大豆では粒が球に近い品種ほど変異が小さい関係があり、菜豆にもその傾向がみられたが、興味深い現象である。なお、供試した小豆および菜豆品種のなかにも類縁のごく近いものがいくつかあるが、粒大変異および他の形質との関係で特に注目される組み合わせはなかった。

粒大変異は他の形質と同様に栽培年次(気象条件)の影響を受ける。同一品種であれば一般に小粒化すると変異が大きくなるとみてよい。これは栽培方法についても同じである。本試験では3作物とも疎植(株間30cm)すると平均粒大(100粒重)が増加し、それに伴って粒大変異が小となる傾向がみられたが、気象要因(播種期を含めて)に比べると差異は小さく、変異係数でわずか1.2%にすぎない。疎植による収量減を考慮すると、実際栽培ではほとんど問題にならないと考えられる。

4. 品質としての粒揃い

粒揃いの良否は、数十粒程度を直接比較するのであれば、肉眼による判定もある程度可能であろう。しかし、その結果はごく一部の材料についてのその場限りの判断にすぎない。しかも、大粒種と小粒種の粒大変異を肉眼で評価・比較しようとする、変異幅(分散)の小さい小粒種の方が常に粒揃いが良いと判断されかねない。しかし、相対的な変異の大きさは小粒種で大粒種よりも高い場合が多いのである。変異の肉眼判定は粒形がほぼ同じで平均値が近いときに可能であって、そうでない場合の相対的評価は実際上不可能であろう。粒揃いを客観的に評価するには1粒重を測定し変異係数を求める外にはないのである。不特定多数の種子について粒揃いを評価する際は、よく混合した後、少なくとも300粒(変異係数の変動約8%の精度)の測定が必要であろう。開発した1粒重自動測定装置によれば、その所要時間は10~12分である。

我が国において、大豆、小豆、菜豆は、今日伝統食品と呼ばれる味噌、豆腐、納豆(大豆)、餡、甘納豆(菜豆・小豆)、煮豆(大豆・菜豆)等に用いられる重要な食用作物である。また豆類は、主生産地である北海道において、ムギ類およびバレイショ・テンサイとともに畑作輪作体系上の基幹作物となっている。大豆は輸入が自由化されてから久しいが、国産大豆の品質向上がなお求められている。小豆と菜豆は外貨割当(IQ)制度によりある程度保護されているが、内外の価格差が大きく国内産が次第に圧迫されつつあり、生産コストの引き下げと同時に品質の改善が差し迫った課題となっている。豆類品質の評価上、「粒揃い」の問題は今後ますます重要になるものと考えられる。

引用文献

1. ABEL JR, G. H.: Response of soybeans to dates of planting in the Imperial Valley of California. *Agron. J.* **53**: 95-98. 1961
2. BERNARD, R. L.: Two genes affecting stem termination in soybeans. *Crop Sci.* **12**: 235-239. 1972
3. BURRIS, J. S., A. H. WAHAB and O. T. EDJE: Effect of seed size on seedling performance in soybeans. I. Seedling growth and respiration in the dark. *Crop Sci.* **11**: 492-496. 1971
4. BURRIS, J. S., O. T. EDJE and A. H. WAHAB: Effect of seed size on seedling performance in soybeans. II. Seedling growth and photosynthesis and field performance. *Crop Sci.* **13**: 207-210. 1973
5. CARVALHO, N. M., L. M. MASSONI FILHO and R. SADER: Effect of peanut (*Arachis hypogaea*) seed size and position in the soil on total and speed of germination. *Seed Sci. & Tech.* **9**: 849-852. 1981
6. 大豆調査基準委員会 (農技研生理第2科畑作第2研究室) 編. 大豆調査基準. 1974
7. DAVIDSON JR, J. I., P. D. BLANKENSHIP and V. CHEW: Probability distribution of peanut seed size. *Peanut Sci.* **5**: 91-96. 1978
8. DAYNARD, T. B., J. W. TANNER and W. G. DANCAN: Duration of the grain filling period and its relation to grain yield in corn, *Zea mays* L. *Crop Sci.* **11**: 45-48. 1971
9. DAYNARD, T. B. and L. W. KANNENBERG: Relationship between length of the actual and effective grain filling periods and the grain yield of corn. *Can. J. Plant Sci.* **56**: 237-242. 1976
10. DE MOURA, R. L. and K. W. FOSTER: Spatial distribution of seed yield within plants of bean. *Crop Sci.* **26**: 337-341. 1986
11. EDWARD JR, C. J. and E. E. HARTWIG: Effect of seed size upon rate of germination in soybean. *Agron. J.* **63**: 429-430. 1971
12. EGLI, D. B.: Rate of accumulation of dry weight in seed of soybeans and its relationship to yield. *Can. J. Plant Sci.* **55**: 215-219. 1975
13. EGLI, D. B. and J. E. LEGGETT: Dry matter accumulation patterns in determinate and indeterminate soybeans. *Crop Sci.* **13**: 220-222. 1973
14. EGLI, D. B., J. E. LEGGETT and L. M. WOOD: Influence of soybean seed size and position on the rate and duration of filling. *Agron. J.* **70**: 127-130. 1978
15. FEHR, W. R. and A. H. PROBST: Effect of seed source on soybean strain performance for two successive generations. *Crop. Sci.* **11**: 865-867. 1971
16. FONTES, L. A. N. and A. J. OHLROGGE: Influence of seed size and population on yield and other characteristics of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Agron. J.* **64**: 833-836. 1972
17. 藤森郁夫: 大豆の栽培条件に対する反応の品種間差異 第1報 栽植密度と施肥量の組合せに対する反応. 北海道立農試集報 **10**: 31-41. 1963
18. GBIKPI, P. J. and P. K. CROOKSTON: Effect of flowering date on accumulation of dry matter and protein in soybean seeds. *Crop Sci.* **21**: 652-655. 1981
19. GORBET, D. W.: Effect of seed size on the performance of 'Florunner' peanuts. *Peanut Sci.* **4**: 32-36. 1977
20. 後藤寛治・成河智明: 大豆の耐冷性に関する研究. 福井重郎編 大豆の育種. ラテイス社 東京. 1968
21. HANSEN, W. R. and R. S. SHIBLES: Seasonal log of the flowering and podding activity of field-grown soybeans. *Agron. J.* **70**: 47-50. 1978
22. HARTWIG, E. E. and C. J. EDWARDS JR.: Effect of morphological characteristics upon seed yield in soybeans. *Agron. J.* **62**: 64-65. 1979
23. HATFIELD, J. L. and R. E. CARLSON: Photosynthetically active radiation, CO₂ uptake, and stomatal defusive resistance profiles within soybean canopies. *Agron. J.* **70**: 592-596. 1978
24. HERBERT, S. J. and G. V. RITCHFIELD: Partitioning soybean seed yield components. *Crop Sci.* **22**: 1074-1079. 1982
25. HOFFMAN, I. C.: The relation of seed of kernels in sweet corn to evenness of maturity. *J. Agric. Res.* **31**: 1043-1053. 1925
26. HOPPER, N. W., J. R. OVERHOLT and J. R. MARTIN: Effect of cultivar, temperature and seed size on the germination and emergence of soya beans (*Glycine max* (L.) Merr.). *Ann. Bot.* **44**: 301-308. 1979
27. 堀江正樹: 圃場試験法の歴史と課題 (13). 農業技術 **41**: 88-93. 1986
28. 堀江正樹: 圃場試験法の歴史と課題 (14). 農業技術 **41**: 133-138. 1986

29. HOWELL, R. W.: Physiology of the soybean. *Adv. Agron.* **12**: 265-310. 1960
30. 井上頼数: 菜豆の生殖生理に関する研究 (第4報) 花芽分化・開花・結実間の対応について. 園雑 **24**: 56-58. 1955
31. 伊藤道秋・端 俊一・岡村俊民: 吸引式播種装置に関する研究. 農機誌 **37**: 526-532. 1975
32. JOHNSON, D. R. and V. D. LUEDDERS: Effect of planted seed size on emergence and yield of soybeans (*G. max* (L.) Merr.). *Agron. J.* **66**: 117-118. 1974
33. 鎌田悦男: 大豆における子実の発育過程 (1). 特に其の組織学的観察. 日作紀 **20**: 296-298. 1952
34. KAPLAN, S. L. and H. R. KOLLER: Variation among soybean cultivars in seed growth rate during the linear phase of seed growth. *Crop Sci.* **14**: 613-614. 1974
35. 加藤一郎: 大豆の生育. 作物体系 第4編. 豆類. 養賢堂, 東京. pp. 1-62. 1962
36. 加藤一郎: 大豆における脱落花器及び不稔実粒の組織学的並に発生学的研究. 東海近畿農試研報 **11**: 1-52. 1964
37. 加藤一郎・坂口 進・内藤文男: 大豆の花器並に子実の発育過程. 東海近畿農試研報 **1**: 96-114. 1954
38. 加藤照孝: 矮性菜豆の花芽の発育と窒素施肥期. 農及園 **30**: 459-460. 1955
39. 河原栄治・小山八十八: 小豆, いんげん豆. 作物体系 第4編. 豆類. 養賢堂, 東京. 1962
40. KIESSELBACH, T. A.: Relation of seed size to yield in small grain crops. *J. Amer. Soc. Agron.* **16**: 670-82. 1924
41. KOKUBUN, M. and Y. ASAHI: Distribution and utilization of ¹⁴C-labelled assimilate in debranched soybeans. *Japan. J. Crop Sci.* **54**: 353-358. 1985
42. KOKUBUN, M. and K. WATANABE: Analysis of the yield-determining process of field-grown soybeans in relation to canopy structure. VI. Characteristics of grain production in relation to plant types as affected by planting patterns and planting densities. *Japan. J. Crop Sci.* **51**: 51-57. 1982
43. 今 友親: 高温年における小豆の開花・結実および登熟について. 北農 **46**: 52-62. 1979
44. 昆野昭長: ダイズの子実生産機構の生理学的研究. 農技研報 **D27**: 139-295. 1976
45. 昆野昭長・福井重郎・小島睦男: 土壌水分が大豆の体内成分ならびに結莢に及ぼす影響. 農技研報 **D11**: 111-149. 1964
46. 玖村敦彦: 大豆の物質生産に関する研究 第2報. 大豆個体群の光合成に及ぼす光の強さの影響. その1 天候によって光の強さが変わる場合の受光状態と光合成. 日作紀 **33**: 473-481. 1965
47. 玖村敦彦: 大豆の物質生産に関する研究 第5報. 個体群の光合成系について. 日作紀 **38**: 74-90. 1968
48. 宮川三郎: ダイズ1子実粒重の確立分布における変異. 育雑 **30**: 260-271. 1980
49. 宮川三郎: ダイズの1子実粒重分布の品種間差異. 育雑 **31**(別1): 72-73. 1981
50. 村田吉平・成河智明・千葉一美・佐藤久泰・足立大山・松川 勲: あずき新品種「エリモシヨウズ」の育成について. 北海道立農試集報 **53**: 103-113. 1985
51. MURRAY, G. A., J. B. SWENSEN and D. L. AULD: Influence of seed size and planting date on the performance of Austrian winter field peas. *Agron. J.* **76**: 595-598. 1984
52. 長尾正人: 育種学大要. 養賢堂, 東京. 1960
53. 永田忠男: 大豆の無限伸育性の育種学的意義. 第3報 有限無限伸育性品種の結実過程の差異—a. 莢および種子の生長と成熟. 育雑 **17**: 25-32. 1967
54. 中世古公男・後藤寛治・浅沼興一郎: 大豆, 小豆, 菜豆の生産生態に関する比較作物学的研究 第1報. 疎植条件下における乾物生産過程の差異. 日作紀 **48**: 82-91. 1979
55. 中世古公男・後藤寛治: 大豆, 小豆, 菜豆の生産生態に関する比較作物学的研究 第6報. 初期生育の品種間差異と種子重ならびに子葉の特性との関係. 日作紀 **51**: 110-116. 1982
56. 日本豆類基金協会編 北海道における豆類の品種. 1977
57. 西入恵二: 寒冷地における機械化栽培ダイズの生産力解析に関する研究. 東北農試研報 **54**: 91-186. 1976
58. 西入恵二・松井重雄・泉山陽一: 寒地におけるダイズの安全作期に関する研究 第1報. 作期の相違とダイズの生育, 収量. 北海道農試研報 **126**: 105-121. 1980
59. 野村信史・浅沼興一郎: 生育時期別の低温処理が小豆品種の開花順序と開花速度に及ぼす影響. 北海道立農試集報 **20**: 73-79. 1970
60. 大庭寅雄・大泉久一・工藤藤六・上田邦彦: 大豆の開花結実性に関する研究—気象並びに耕種条件と大豆の部位別開花結実性との関係—. 日作紀 **30**: 68-71. 1961
61. OEXEMANN, S. W.: Relation of seed weight to vegetative growth, differentiation and yield in plants. *Amer. J. Bot.* **29**: 72-82. 1942

62. 大泉久一：大豆の分枝発生機構並にその栽培的意義に関する研究。東北農試研報 25：1-95. 1962
63. RIES, S. K.: The relationship of protein content and size of bean seed with growth and yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96: 557-560. 1971
64. RIES, S. K. and E. H. ENERSON: Protein content and seed size relationship with seedling vigor of wheat cultivars. *Agron. J.* 65: 884-886. 1973
65. ROTANNO, N. A: Effect of seed size on plant production with special reference to radish. *Bot. Gaz.* 78: 397-413. 1924
66. 斎藤正隆・大久保隆弘編著 大豆の生態と栽培技術。農山漁村文化協会, 東京. 1980
67. SALIH, F. A. and S. H. SALIH: Influence of seed size on yield and yield components of broad bean (*Vicia faba*). *Seed Sci. & Tech.* 8: 175-181. 1980
68. 三分一 敬：大豆の開花および着莢様式についての品種間差異。北農 31：1-5. 1962
69. 佐藤久泰：小豆の莢伸長ならびに子実の肥大経過について。北農 37：19-28. 1970
70. 佐藤久泰：小豆品種の栽培環境に対する反応。北海道立農試集報 29：61-71. 1973
71. 佐藤久泰：小豆の開花・登熟について一気温と栽植密度の影響。北海道立農試集報 41：10-20. 1979
72. SAXENA, N. P., A. NARAYANAN and A. R. SHELDRAKE: Effect of seed-grading on the yields of chickpea and pigeonpea. *Indian J. Agric. Sci.* 51: 699-702. 1981
73. 品田裕二・原 正紀：菜豆粒大形質の変異および遺伝性。育・作北海道談話会報 26：38. 1986
74. 食料庁検査課監修 農産物検査関係法規（農産物規格規定）. 1979
75. SINGH, J. N., S. K. TRIPATHI and P. S. NEGI: Note on the effect of seed size on germination, growth and yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Indian J. Agric. Sci.* 42: 83-86. 1972
76. SMITH, T. J. and H. M. CAMPER JR.: Effect of seed size on soybean performance. *Agron. J.* 67: 681-684. 1975
77. SUBHADRABANDHU, S., M. W. ADAMS and D. A. REICOSKY: Abscission of flowers and fruits in *Phaseolus vulgaris* L. I. Cultivar differences in flowering pattern and abscission. *Crop Sci.* 18: 893-896. 1978
78. 田尻龍彦・立野寿之：大豆の生態 第1報。結実習性について。中国四国農試研報 1(A): 26-34. 1952
79. 田中 明・藤田耕之・菊池清子：菜豆の栄養生理学的研究(第2報)。矮性種および半蔓性種の生育経過。土肥誌 47: 499-505. 1976
80. THOMAS, R. L., A. J. PRIOR and J. E. GRAFIUS: Improving the quality of a groundnut population in Zambia by bulk selection of seed. *Exp. Agric.* 10: 185-192. 1974
81. 戸刈義次・菅 六郎：食用作物学。養賢堂, 東京. 1957
82. 鳥越洋一・進士 宏・栗原 浩：ダイズの発育形態と収量成立に関する研究 第1報。主茎の節間伸長と分枝の発育との関係。日作紀 50: 191-198. 1981
83. 鳥越洋一・進士 宏・栗原 浩：ダイズの発育形態と収量成立に関する研究 第2報。花房着生の規則性と次位別花房の開花習性。日作紀 51: 89-96. 1982
84. VAN SCHAİK, P. H. and A. H. PROBST: The inheritance of inflorescence type, peduncle length, flowers per node, and percent flower shedding in soybeans. *Agron. J.* 50: 98-102. 1958
85. VAN SCHAİK, P. H. and A. H. PROBST: Effects of some environmental factors on flower production and reproductive efficiency in soybeans. *Agron. J.* 50: 192-197. 1958
86. WALLACE, S. U.: Yield and seed growth at various canopy locations in a determinate soybean cultivar. *Agron. J.* 78: 173-178. 1986
87. WIEBOLD, W. J., D. A. ASHLEY and H. R. BOERMA: Reproductive abscission levels and patterns for determinate soybean cultivars. *Agron. J.* 73: 43-46. 1981
88. WILSON, V. E.: Components of yield and seed characteristics in Lentil. *Hort-Science* 12: 555-556. 1977
89. WOOD, D. W., P. C. LONGDEN and P. K. SCOTT: Seed size variation; its extent, source and significance in field crops. *Seed Sci. & Tech.* 5: 337-352. 1977
90. 由田宏一・後藤寛治：伸育性の異なる大豆品種における¹⁴C-同化産物の転流および分布。日作紀 44: 185-191. 1975

Summary

Harvested seeds are composed of a wide range of seed sizes. This fact has been watched with keen interest for a long time and there are a great many reports on the significance of seed size to subsequent growth and yield. Seed size variation,

that is to say uniformity of seed size, is an important factor in evaluating (but only observing with naked eye) seed quality of grain legumes in Japan. However, little data are available on the extent and the source of seed size variation based on actual measurement. A reason for this situation seems to be mainly due to the time-consuming labor necessary for measuring the size of large quantities of seeds.

In this study, first, the methodology for seed size in three grain legumes (soybean, azuki bean, and kidney bean) was investigated and a quick and accurate method (an automatic weighing system) was established.

Using many different cultivars, the characteristics of distribution and the source of variation of seed size were analyzed. Moreover, to provide information for the uniformity of seed size in grain legumes, the effects of cultivar and planting method on seed size variation were examined. The principal results obtained in this study were summarized as follows:

I. The Measurement of Seed Size.

Using a total of 70 cultivars (lines) which mainly differed in plant type, maturity, and seed size, variations of seed length, width and thickness were estimated and the relation to seed weight within cultivars were investigated. On the basis of these results, it was checked whether a slotted sieve method, with its easy handling, was useful or not for seed size estimation, then an automatic sequential single-seed weighing system was designed and presented.

1. Among seed dimensions, a clear relationship of length > width > thickness was found in almost all cultivars. This shows that seed size variation using a slotted sieve method is based on the measurement of seed width in soybean, azuki bean, and kidney bean.

2. Ratios of one seed dimension to another such as length/width were remarkably different between crops and cultivars. Within cultivars these ratios were stable in soybean (below 3% in C.V.) than in azuki bean and kidney bean (4 to 6% in common, 10% for length/thickness in some cases).

3. Of the three seed dimensions width was correlated most closely with seed weight in soybean cultivars, whereas thickness had relatively high correlations in azuki beans. In kidney beans, there

was not found a constant relationship between one seed dimension and seed weight, and correlation coefficients were lower than those in soybeans and azuki beans.

4. From these observations, it was concluded that a slotted sieve method was inappropriate for estimation of seed size variation across three grain legumes and there might be no common method except measurement of single-seed weight. It was then attempted to design and assemble an automatic single-seed weighing system.

5. A new system, which consists of three major parts, as follows; seed picker regulated by negative vacuum pressure, digital electronic balance and a computer, can sequentially weigh approximately 1,500 to 1,800 individual bean seed per hour with 0.01 g readability.

II. Characteristics of Seed Size Distribution.

Further work was performed in order to provide more accurate information concerning the seed size distribution in cultivars and to investigate the appropriate sample size for estimation of seed size variation.

1. After observing individual plants (in each 100 plants of 4 soybean cultivars), many cases did not fit the normal distribution in the chi-square tests, but rather their distribution was characteristic of a negative skewness.

2. The distribution shape of plant communities closely resembled the normal distribution but a negative skewness still remained. Such a characteristic of the seed size distribution was observed not only in soybeans but also in azuki beans and kidney beans.

3. At least two-thirds of seed size variation for cultivars were estimated to be attributed to intra-plant variation.

4. In the estimation of seed size variation at least all seeds from 10 plants (plant base) or 300 seeds (seed base) should be measured.

III. Source of Seed Size Variation within Plant.

A. Flowering Date.

The significance of the intra-plant flowering date in the development of pods and seeds was investigated under field conditions with nine soybean cultivars differing in growth habit, maturity, and mean seed size. Flowers were distinguished every five days by painting the calyxes a different color.

1. In semi-indeterminate and indeterminate cul-

tivars the peak of flowering was in the middle of the flowering period while in determinate types most flowering occurred in the first ten days. It tended to be the earlier the flowering date the lower the abscission level, although the podding efficiency of the earliest flowering group of the indeterminate types was somewhat low.

2. The nodal distribution of pods on the main stem were different between types of growth habit and also among determinate cultivars. In the determinate types most pods in the upper and middle portions of the main stem showed a tendency to appear in the first 5 days of flowering and in the middle 10 days in the other types.

3. Pod length and pod width attained their maximum values within 20 to 30 days after flowering regardless of cultivars or flowering groups. Although thickness of pod, and length, width and thickness of seed increased until near maturity, differences in sizes of seed among flowering groups became very small during the dehydration process.

4. At maturity the dry weights of pods and seeds that originated from the later period of flowering were less than those from the earlier period. In indeterminate types, the earliest-flowered pods and seeds were also low in dry weight. In determinate types seeds from the later flowering group had a low rate of dry matter accumulation (RDA) or a short effective filling period (EFP), whereas in indeterminate types the earlier-flowering seeds had a low RDA while seeds from the later flowering period had a short EFP.

5. Flowering date was shown to be a major source of seed size variation within plants, however, C.V. of about 20% in seed size was still found in each flowering group in each cultivar.

B. Seed Position.

Differences of seed size between shoots, between nodes, between pods, and within pods were investigated for 11 soybean cultivars and contribution of these four sources to seed size variation within plants was analysed.

1. Little differences were found in seed size between shoots except in poor-developing branches. Seed size was an average of 4% smaller in branches than in the main stem.

2. Larger seeds were located on the middle nodes of shoots. Smaller seeds tended to be located on the upper nodes in indeterminate cultivars

while on the lower nodes in determinate ones.

3. Primary racemes had larger seeds than secondary and terminal racemes. Among pods with a different number of seed, the mean seed size of a 4-seed pod was the smallest followed by that of 3-seed pod and 2-seed pod. Seed size of a 1-seed pod was not always the smallest among the cultivars.

4. Clear relationships of size for seeds from a pod were found, as follows; $\text{base} < \text{top} < \text{central two}$ for a 4-seed pod, $\text{base} < \text{top} \leq \text{center}$ for a 3-seed pod, and $\text{base} < \text{top}$ for a 2-seed pod (base seeds were defined as located near the peduncle). The size of base seeds in 4- or 3- seed pods were 15 to 30% smaller when compared with the largest seeds.

5. From the analysis of variance, seed size variation within plants accounted, on an average in cultivars, for 11, 18, 28 and 43% of variation between shoots, between nodes, between pods, and within pods, respectively. Contribution of variance between pods to total was about 50% in indeterminate cultivars (except Ohoshu), which is larger than in determinate cultivars.

IV. Differences among Cultivars for Seed Size Variation.

The extent of seed size variation (expressed as C.V.; coefficient of variation) and its relation to various traits were examined in 30 cultivars (lines) for soybeans, 18 for azuki beans, and 22 for kidney beans, which differed mainly in plant type, maturity, and mean seed size.

A. Soybeans.

1. Seed size C.V.s ranged from 10.2 to 26.1% with significant differences among cultivars. There was a significant negative correlation between C.V. and mean seed size. Where mean seed size was similar, C.V. was correlated positively to the number of pods (seeds) per plant and negatively to the growing period. For seed shape a cultivar having more spherical seeds tended to show low seed size C.V.

2. No correlation was found between the flowering period and seed size C.V. among cultivars, suggesting independence of stem termination habit from uniformity of seed size. Similar results were obtained from the experiment of isogenic lines for stem termination.

3. Although the differences of seed size C.V.

between years and year by cultivar interaction were significant ($P=0.05$), the rank correlation for cultivars was relatively high ($r_s=0.781^{***}$).

B. Azuki beans.

1. Differences of seed size C.V. among cultivars were significant, and ranged from 16.1 to 25.3%. Seed size C.V. showed a non-significant, although negative, correlation with mean seed size among cultivars ($r=-0.335$).

2. Number of nodes, pods and seeds on branches per plant were positively correlated with seed size C.V. No correlation was found with the other traits examined such as plant height, growing period, number of pods per plant and so on.

3. Seed size C.V. varied from year to year, but tended to be high when mean seed size was small.

C. Kidney beans.

1. There was no correlation between C.V. and mean seed size among cultivars ($r=-0.018$), although C.V.s ranged from 12.1 to 26.8% with significant differences.

2. Seed size C.V. was positively correlated with the number of seeds on branches per plant, and showed non-significant differences among plant types (dwarf, bush, semi-viny, and viny). A cultivar with flatter seeds showed a tendency of having a high seed size C.V.

V. Effects of Planting Methods on Seed Size Variation.

Five soybeans, five azuki beans, and four kidney bean cultivars were used to examine the effects of planting date, number of plants per hill, and hill spacing on seed size C.V.

1. Soybeans. The experiment consisted of six treatments: 7.5, 15, and 30 cm hill spacings with one plant per hill; 2 and 3 plants per hill with 15 cm hill spacing (the planting date was May 23 in these treatments); and late planting on 6 June with 15 cm hill spacing and one plant per hill. Row width of 60 cm was common to all treatments.

Mean seed size tended generally to be large for a wide hill spacing and to be small for late plant-

ing. There was little effect from the number of plants per hill on mean seed size. The lowest seed size C.V.s were obtained under the wide hill spacing except cv. Kitamusume, but the conditions that maximized C.V. were varied among the cultivars. Within cultivars across treatments, seed size C.V. increased with decreasing mean seed size in cvs Ishikarishiro No. 1, Kitamusume, and Yuzuru, but such a correspondence was not found in cvs Tokachinagaha and Toyosuzu.

2. Azuki beans. Plants were sown at 10, 20, 30 cm hill spacings with 60 cm row width and two plant per hill. Harvest was done at 70% and 90% mature-pod stages.

For mean seed size, a 30 cm hill spacing resulted in large size at the 70% stage in 4 cultivars, whereas a 20 cm hill spacing resulted likewise at the 90% stage in 3 cultivars, although the differences were not significant between hill spacings. Seed size C.V. was significantly high for a 10 cm hill spacing, but was not significant in the difference between 70% and 90% mature-pod stages. With decreasing mean seed size, C.V. tended to increase, especially in medium- and large-seeded cultivars (Eimo-shozu, Kotobuki-shozu, and Akanedainagon).

3. Kidney beans. A total of eight treatments were made: three planting dates (15 May, 28 May, and 10 June) with two hill spacings (15 and 30 cm) at one plant per hill, plus 15 and 30 cm hill spacings at two plant per hill on 15 May. Row width was 60 cm in all treatments.

Planting date had significant effects on both mean and C.V. of seed size: low C.V. with large mean seed size was obtained from late planting. There was no significant differences between hill spacings and number of plants per hill, but mean seed size was slightly larger in 30 cm than in 15 cm hill spacing. In all cultivars, seed size C.V. was significantly and negatively associated with mean seed size among the treatments.