アズキにおける品質関連形質の変異とその成因

第3報 種子の吸水性と硬実性について*

由 田 宏 一・佐 藤 久 泰**・佐 藤 導 謙***

(北海道大学農学部・**北海道立北見農業試験場)

1994年3月31日受理

要 旨: 1987年から1989年に北海道内4支庁(地域)から生産者単位で収集した品種エリモショウズ(総計544点)について、一部他の品種およびダイズを供試し、27°Cの浸水条件下で吸水性と硬実性を調査・比較した。アズキ種子の吸水率は、浸水初期にきわめて低く4時間後で約5% (ダイズでは85%) にすぎず、その後12時間まで急増し、24時間を過ぎて再び緩慢になるS字形の推移を示した。浸水12時間後の吸水率は小粒品種ほど高く、同一品種でも年次によって異なったが、24時間後で差はほとんど消失した。また、吸水率に地域間差異はほとんどみられなかった。種子の大きさ(粒大)、水分、比重と浸漬12時間後の吸水率との間には、年次あるいは地域によっては負の有意な相関が認められたが、全体としていずれの形質も吸水率に与える影響は小さいと考えられた。浸水36時間後の未吸水粒を硬実とみなすと、13%の高率を示す試料もあったが、地域間の差は比較的小さく(0.35~0.74%)、年次による差が大きかった(0.06~1.21%)。硬実は小粒で発生しやすい傾向がみられ、水分、種皮率、比重、収穫後の乾燥・調整期間とはほとんど関係なかった。また、登熟期間中の平均気温や雨量と硬実率との関係は明かでなかった。

キーワード: アズキ, 吸水性, 硬実, 地域間差異, 年次間差異, 品質。

The Extent and Its Source of Variation for Characteristics Related to Seed Quality of Adzuki Beans
III. The water uptake of seeds and hardseededness: Koichi YOSHIDA, Hisayasu SATO** and Michinori SATO
(Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060, Japan; **Hokkaido Prefectural Kitami Agricultural Experiment Station, Kunneppu 099-14, Japan)

Abstracts: Water uptake of seeds and hardseededness under 27°C soaking in adzuki bean (*Vigna angularis*) cv. Erimo-shozu were evaluated for seedlots (a total of 544 growers) collected from four districts in Hokkaido (42-45°N lat) from 1987 to 1989. For comparison, the other cultivars and soybean cv. Kitahomare also were investigated in 1987. The change with time in percent water uptake (PWU) of adzuki bean seeds displayed a sigmoid curve; seeds absorbed water very slowly by 5% (cf. 85% in soybean) at 4 h of soaking, quickly through 12 h, and slowly again after 24 h. Differences in PWU were remarkable after 12 h of soaking with higher percentages in smaller-seeded cultivars. There was a greater difference between years in PWU than among districts. These differences, however, mostly disappeared after 24 h. Seed size, moisture content, and specific gravity were not closely related to PWU after 12 h, although significant negative correlations were found in some cases. Percent hard seeds (PHS), evaluated after 36 h of soaking, varied in the ranges 0~13%, 0.35~0.74%, and 0.06~1.21% among individual seedlots, districts, and years, respectively. Within or between seedlots, smaller seeds tended to become hard. Seed characteristics such as moisture content, percent seed coat, and specific gravity, and conditioning period were rarely associated with PHS. Also, the relationship between mean day temperature or rainfall during the reproductive period and PHS was unclear in this investigation.

Key words: Adzuki bean, Hard seed, Interannual difference, Locality, Seed quality, *Vigna angularis*, Water uptake.

著者らはこれまでアズキの品質関連形質として粒大と種皮色をとりあげ、主産地である北海道において生産者単位で広く収集した材料をもとに、変異の大きさとその成因を検討してきた^{45,46)}。これらに続き本論文では種子の吸水性について調査した結果を報告する。

アズキは、ほとんどの食用マメ類がそうであるように、水を加えて過熱・調理される。主用途である

餡の製造過程において、種子の吸水が均一でないときには「煮えむら」を生じ、なかでもきわめて吸水の悪い硬実(いわゆる「石豆」)が混入していると製品に大きな影響を及ぼす。一方、圃場においては、アズキは出芽不揃い、欠株、「野良生え」を生じやすい作物として知られており、いずれも種子の吸水が均一でないことに関係している。このように、種子の吸水性は利用面だけでなく栽培面における品質という意味でもきわめて重要な形質のひとつである^{3,6,41)}。しかし、アズキ種子の吸水性に関する知見は乏しく、硬実発生の実態についてはほとんどわかつ

* 一部は第188回講演会(1989年10月)において発表。

*** 現在、北海道立中央農業試験場。

Table 1. Number of seedlot examined
(cv. Erimo-shozu)*

District	Year		
	1987	1988	1989
Ishikari	13	25	26
Sorachi	55	58	50
Kamikawa	18	34	30
Tokachi	85	86	64
Total	171	203	170

* Seeds were collected from different growers with a few exception and stored at $14\pm4^{\circ}\text{C}$ and $60\pm5\%$ of relative humidity until the start of the evaluation (for about 4 months after harvest and conditioning).

ていない。

材料と方法

供試材料は1987年、1988年および1989年に北海道内の石狩、空知、上川および十勝支庁から生産者単位で収集した品種エリモショウズである(第1表)。このうち前2年については既報^{45,46)}の材料と共通する。吸水率の推移に関する調査に限り、比較のために1987年に収集した音更小豆、ハツネショウズ、ハヤテショウズ、宝小豆、寿小豆、アカネダイナゴンの6品種(9~36点)と、同年本学付属農場産のダイズ品種キタホマレを加えた。各支庁(以後、地域と呼ぶ)における生産者はごく一部を除き年次によって異なる。収集した種子は測定(それぞれ翌年4月)まで $14\pm4^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $60\pm5\%$ の条件下で保存した。種子の吸水性については、生産者を測定単位(以後、試料と呼ぶ)として、よく混合してから200粒を取り出して秤量した後ペトリ皿に入れ、種子が浸る程度に蒸留水を注ぎ、 $27\pm1^{\circ}\text{C}$ の恒温条件下で4、8、12、24および36時間後に、吸水粒数および全粒の重量を測定し、吸水率を求めた。36時間後には、吸水した粒のほとんど全てが種皮の一部が裂け幼根が突出する状態になっており、未吸水粒と完全に区別できたので、このとき未吸水粒を硬実とみなし、数と重量を測定した。硬実を生じた試料に関しては、硬実を除いて(すなわち、36時間以内に吸水した正常粒を対象に)吸水率を計算した。1989年産については36時間後の調査のみを行った。

24時間後における吸水粒の一部(各試料50粒)について種皮と子葉を分離し、 80°C 48時間の通風乾燥重により種皮率を求めた。

吸水試験とは別の試料(各100粒)を用いて、80

$^{\circ}\text{C}$ で48時間乾燥し、さらに 105°C で3時間の乾燥後秤量し、種子水分を計算した。種子の比重は、15 mlの蒸留水を入れた25 mlのメスシリンダーに50粒を浸漬して得た体積と乾物重とから算出した。

硬実発生率に関係すると思われる要因として、種子の諸形質のほかに、1988年に試料収集と同時に調査した圃場での乾燥調整(島立てあるいはニオ積み)期間を含めた。また、生殖生長期間の気象条件との対応をみるために、札幌(石狩)、岩見沢(空知)、旭川(上川)および帯広(十勝)の各測候所における気温と降雨量のデーターを参考にした。生殖生長期間を、十勝では8月1日から9月30日まで、他の地域では7月21日から9月10日までと概略みなした。

結 果

アズキ種子の吸水は浸漬後4時間まできわめて緩慢で、その後12時間まで急速に進み、24時間を過ぎると再び緩慢になるS字型の推移を示し、ダイズとは対照的であった(第1図)。最も大きく異なる点は、浸漬後4時間でダイズは85%の吸水率を示すのに対し、アズキはわずか5%にすぎないことである。また、36時間後の吸水率は両者で類似するが(125~130%)、ダイズでは12時間後にほぼ吸水を終えていた。1987年産のアズキ品種を比較すると、最も差が現れた浸漬後12時間で、ハヤテショウズの吸水率が最も高く、次いでエリモショウズ、アカネダイナゴンの順であり、粒大(それぞれ128、135、160 mg)との対応がみられた。なお、第1図では簡略のために残り4品種を省いたが、粒大と12時間後の吸水率との間には有意な負の相関があった($r=-0.834^*$, $n=7$)。吸水率には品種間差だけでなく年次間差も認められ、硬実発生率の高かった(後述)1988年産エリモショウズは1987産に比べて明らかに吸水速度(硬実は含まれていない)が遅かった。

浸漬後12時間および24時間におけるエリモショウズの吸水率を地域別に第2表に示した。12時間後の吸水率には年次で約24%の違いが認められたが地域間の差異は小さく、石狩産が他に比べてわずかに低い程度であった。また、24時間後になると年次間差はほとんどなくなり、地域間では十勝産の吸水率がわずかに高かった。

最も差が現れる浸漬後12時間の吸水率と、他の種子形質との関係をみたのが第3表である。1988年産では、粒大、水分および比重ともに、全地域を通し

て、また地域内においても吸水率とほとんど相関がなかった。一方、1987年産においては、上川を除く3地域で粒大が大きいと吸水率が低い関係が得られ、石狩と十勝では吸水率と水分との間に有意な負の相関が認められた。比重では1987年十勝産におい

Fig. 1. Percent water uptake of seeds as a function of soaking time at 27°C.

Cultivars: Erimo-shozu, solid lines; Hayate-shozu, a dot-dash-line; Akanedainagon, a dashed line. As a comparison, soybean cv. Kitahomare (a dotted line) was added. All cultivars except Erimo-shozu were harvested in 1987.

てのみ同様の関係が得られた。

硬実発生率は、地域および年次によって0%から1.9%までみられ、年次による差が顕著であった(第4表)。1988年産では各地域とも半数以上の試料から硬実が見いだされ、全地域平均で他の2年産の約10~20倍の高率に達した。石狩と空知では各年とも硬実がみられ、3年を通して硬実率の比較的低い地域は上川であった。なお、個々の試料でみると、1988年産には5%以上(最大13%)の硬実率を示すものが13試料含まれていた。

1988年において、硬実を発生した試料のみを対象に、吸水粒と硬実粒の浸漬開始時における粒大を比較したところ、明らかに差が認められた(第5表)。すなわち、硬実の粒大は吸水粒よりも9~13%小さく(上川を除く)、硬実が小粒側で発生しやすいことがわかった。

同じ1988年において、硬実発生率(0%の試料を

Table 2. Mean percent water uptake of seeds after 12 and 24 hours of soaking across districts and years*.

District	12 hours		24 hours	
	1987	1988	1987	1988
Ishikari	77	54	116	113
Sorachi	83	57	114	113
Kamikawa	84	62	114	116
Tokachi	85	59	121	120

* Two hundred seeds per seedlot were soaked in water at 27°C. Data are given on a air-dry basis and the seeds not swollen were excluded from them. Standard errors of the mean ranged from 0.4 to 3.6. Evaluation was not done in 1989.

Table 3. Correlations between percent water uptake of seeds after 12 hours soaking and some seed characteristics¹⁾.

Water uptake ²⁾ vs.	Within district				Overall
	Ishikari	Sorachi	Kamikawa	Tokachi	
Seed size	-0.57*	-0.29*	-0.39	-0.27*	-0.08
	-0.02	-0.30*	-0.16	0.09	0.01
Moisture %	-0.63*	0.05	0.36	-0.27*	-0.17
	-0.11	-0.05	0.35	-0.02	0.06
Specific gravity	0.43	-0.13	-0.12	-0.54***	-0.29**
	0.31	0.11	-0.17	-0.11	-0.04

1) The upper values in each characteristic show the coefficients in 1987 and the lower those in 1988. *, **, and *** indicate significance at the 5%, 1%, and 0.1% levels, respectively (the number of seedlot shown in Table 1).

2) Percent water uptake, seed size, moisture %, and specific gravity ranged 50 to 110%, 83 to 178mg, 10.5 to 16.0%, and 1.096 to 1.217 in 1987, and 20 to 101%, 90 to 185mg, 9.5 to 13.2%, and 1.108 to 1.236 in 1988, respectively.

Table 4. Mean percent hard seed across districts and years*.

District	Year			
	1987	1988	1989	Avr.
Ishikari	0.12 (23)	1.22 (64)	0.06 (11)	0.53 (34)
Sorachi	0.05 (6)	1.91 (73)	0.15 (22)	0.74 (35)
Kamikawa	0 (0)	0.79 (53)	0.05 (7)	0.35 (25)
Tokachi	0.21 (29)	0.90 (60)	0 (0)	0.41 (32)
Overall	0.13 (18)	1.21 (63)	0.06 (9)	0.51 (32)

* Each value shows a percentage of total (200-seed times the number of seedlot listed in Table 1). Hard seeds were defined as those that failed to absorb water during 36 hours soaking at 27°C. The figures in parentheses are percent seedlots that hard seeds were observed.

含む) と他の種子形質との相関を示したのが第6表である。全試料を通してみた場合、硬実発生率と有意な相関を示した形質は粒大と浸漬12時間後の吸水率のみで、水分、種皮率、比重、乾燥調整期間とはいずれもほとんど相関がなかった。また、地域内でみても、12時間後の吸水率を除き全体に相関係数は低い値であった。

年次による硬実発生率の差異が気象条件に関係するかどうかをみるため、生殖生長期中の平均気温と降雨量について調べた(第7表)。前述のように、1988年は他の2年に比べて硬実発生率がかなり高かったが、平均気温はいずれの地区も平年並で、前年よりやや高く次年よりも低かった。一方、1988年の降雨量は、平年に比べ上川で少なく空知と十勝で多く、硬実発生率の低かった前後の2年に対し地域に共通した特徴を見いだすことはできなかった。

考 察

種子の吸水は発芽の際の必須条件である。したがって、吸水性あるいは硬実(不透水)性に関する研究は植物学、生態学および農学の広範囲にわたり、その歴史も長く、これまでにいくつかの総説が出ているが、近年では1978年にRolston³³⁾が詳述している。ここではアズキ、サイトウ、ダイズなど食用マメ類を扱った報告に限って引用し、本実験の結果について考察を加えたい。

Table 5. Seed size differences between normal seeds and hard seeds within the seedlots in which hard seeds occurred (1988)¹⁾.

District	Normal seeds	Hard seeds	Significance ²⁾
Ishikari	120	104	**
Sorachi	114	106	**
Kamikawa	112	112	
Tokachi	149	130	***
Overall	129	116	***

1) Mean air-dry weight (mg/seed) at the start of soaking. Hard seeds were defined as those that failed to swell during 36 hours soaking at 27°C.

2) ** and *** indicate significance at the 1% and 0.1% levels, respectively.

Table 6. Correlations between percent hard seed and some seed characteristics (1988)¹⁾.

Percent hard seed vs.	Within district	Overall
Seed size	-0.25~-0.18	-0.21*
Water uptake %, after 12 hours	-0.58~-0.29	-0.37***
Moisture %	0.15~ 0.35	0.16
Seed coat % ²⁾	0.01~ 0.24	0.14
Specific gravity	-0.15~ 0.13	0.07
Desiccation period ³⁾	-0.12~ 0.39	-0.01

1) See Table 1 for number of seedlot.

* and *** indicate significance at the 5% and 0.1% levels, respectively.

2) Ranged from 8.02 to 10.15 on a dry weight basis.

3) Air drying period after harvest in the field, with a range of 1 to 41 (averaged 25) days.

いくつかの食用マメ類のなかで、アズキはとくに始めの吸水速度が遅い作物として知られている^{16,35,38)}。本実験の結果も同様に、浸水後4時間の吸水率は5%程度で、ダイズと対照的であった(第1図)。アズキの最初の吸水部位は臍条(通常は珠柄の残りで覆われて見えない)の一端に隣接する種瘤であり、他端に位置する珠孔や臍条、またそれ以外の種皮からはほとんど吸水しないことで^{35,36)}、他のマメ類^{6,16,21,23,24,26,38)}と異なる。ただしKuoとTarn²²⁾によると、緑豆(*Vigna radiata*)では始めの1時間は種瘤が主な吸水部位である。アズキの場合、SEM観察によると種瘤中央には長さ0.5 mm程度の隙間があり⁴⁸⁾、その下に楔形をした特殊な細胞があつて

Table 7. Mean day temperature and rainfall during the reproductive stage of development¹⁾.

District	Mean day temperature (°C)				Rainfall (mm)			
	1987	1988	1989	Aver. ²⁾	1987	1988	1989	Aver.
Ishikari	20.0	20.2	21.8	21.0	235	255	312	209
Sorachi	19.9	20.5	21.9	20.4	206	307	252	241
Kamikawa	19.2	19.9	21.5	20.2	243	194	252	279
Tokachi	16.1	17.6	18.5	17.6	229	374	369	253

1) Reproductive stages were roughly assigned from August 1 to September 30 in Tokachi, and from July 21 to September 10 in the other districts.

2) Averages for the previous 30 years.

内部への透水を可能にしている³⁶⁾。

第1図に示した吸水経過は、肉眼的には、浸水4時間でまず種瘤が膨潤し、8時間までは種瘤付近の表皮が部分的に膨らみ、以後種子全体に急速に拡がって吸水を続け、24時間までにほぼ膨張が終わり、36時間後に珠孔近くから幼根が突出することに対応している。予備的な観察によると、その後も吸水は続くが、主として幼根と胚軸によるものであり、子葉自体の吸水は36時間で実質的に終了するとみなしてよいであろう。12時間後にみられた差異は、種瘤を通して入った水が内部から種皮に達し、膨潤することで種皮そのものが次第に透水化していく過程での遅速を表していると考えられる。

種子の吸水速度は作物によって異なるが、同じ作物でも品種・系統で異なり、小粒種で早く^{4,17)}、種皮が厚いと遅く^{6,38,43)}、種皮の緻密さあるいは成分の変化に関係しており^{2,4,6,26)}、有色のものは遅いと言われ^{6,18,19,24,32,43)}、サイトウでは品種により主要な吸水部位が異なるという報告がある²³⁾。また吸水速度は、同じ品種でも収穫時期、収穫後の乾燥調整あるいは脱粒方法によっても変化し^{12,27,43)}、貯蔵温度が高いと低下する¹¹⁻¹³⁾。

本実験によると、12時間後におけるアズキの吸水率は大粒品種で低く、同じエリモショウズでも栽培年次により異なったが地域差は小さく、24時間後では品種、年次、地域間すべてほとんど差がなくなった(第1図、第2表)。しかしながら、これは種子を比較的高い温度(27°C)で浸水したときの吸水であって、圃場における出芽にあてはめることはできない。12時間後に現れた吸水率の差は、低温で水が十分でない春先の圃場条件下では出芽速度におそらく大きな影響を及ぼし、出芽不揃いの原因になるものと考えられる。吸水性に差をもたらすと思われる形質として、ここでは粒大、水分および比重を検討してみたが、いずれもきわめて関係が弱く(第3表)、

多くの要因が複雑に関与していることを示唆している。

硬実は種皮が水を透さないために種子が膨潤し得ず、したがって発芽し得ない現象を指すが³⁰⁾、バリアができる機作については未だはっきりしない。すなわち組織・形態の面で見ると、硬実の種皮は緻密でカルシウムが多く含まれ³⁴⁾、フェノール化合物が多く^{27,42)}、スベリン層⁹⁾やクチクラ¹⁾が発達しており、臍あるいは珠孔が閉じている^{34,44)}、種瘤に隙間がない⁴⁸⁾、表皮に小孔がない⁴⁾などさまざまであり、正常種子の吸水部位が作物によって異なることにも関係して、統一した見解がない。一方、硬実の発生に関係するいくつかの間接的な要因もあげられている。硬実は品種間内ともに小粒で発生しやすく^{1,3-5,8,15,38)}、種皮が厚く^{15,26,34,38,44)}、水分が低い^{1,9)}。また、こうした傾向を生じやすい栽培環境として、登熟期間の高温・乾燥^{2,8,14,29,40)}あるいは逆に低温・多湿⁴¹⁾を指摘する報告がある。硬実発生率は収穫した後の条件によっても影響され、高温で乾燥すると増加し⁴⁷⁾、手で脱粒したときに高く機械を使うと低い^{29,31,47,48)}。

著者らも、他の多くの報告と同様に小粒側で硬実が発生しやすいという結果を得たが、硬実の粒大は正常粒よりも約10%小さい程度で(第5表)、硬実率と粒大の相関も全試料を通して有意ではあるが低い値であったから(第6表)、硬実を粒大で選別する³⁾ことはほとんど不可能である。同様に、水分、種皮率、比重のいずれの形質からも硬実の発生を予測することはできない(第6表)。収集した試料は栽培条件をはじめ収穫・調整・脱粒に関わる条件が多様であった。こうした複雑な種子源のもとで硬実の発生しやすい条件を抽出することはむずかしく、乾燥調整期間と硬実率との間に相関がなかったこともその現れのひとつかもしれない(第6表)。この点では登熟期間の気象条件も同じである。硬実発生率の高か

った1988年の気象条件に特異性はみられなかった(第7表)。しかしこのことだけで、登熟期間中の特定の時期の気象が関係したこと、あるいは硬実が収穫から調査までの過程で一部軟化したことを否定できない。いずれにしても、平均して1%以上の硬実がみられた事実は軽視できないと思われ、硬実の発生条件を解明するために実験系を整えた今後の研究が必要である。

一方、硬実性は遺伝的な形質であり^{10,20,23,28,39)}、野生種で発生率が高い^{10,26,27,42)}。野生種に備わっている硬実性は種の保存にとって都合のよい性質であるが、栽培と加工(調理)にとっては不都合であるため、長い間にわたって軟実化への選抜が加えられてきた。しかしその代り、ダイズにみられるように、栽培規模の拡大に伴って品質の「圃場劣化」や貯蔵力の不足が問題化し^{5,9,20,25,29,31)}、最近では逆に栽培品種に野生種の硬実性を導入する試みが行われている^{10,20,31)}。また、サイトウでは「半硬実」系統の育成に関する報告がある⁷⁾。アズキと同様に、同じ亜属の栽培種であるケツルアズキ(*Vigna mungo*)も硬実発生率が高いといわれており⁴¹⁾、これらはまだ野生の性質を残しているとみることができよう。今後、広い遺伝資源の探索と育種技術によってアズキの硬実性を改良することは可能と思われるが、現在の高い貯蔵力・生存力³⁷⁾を維持することも重要で、当面、利用に際しては脱粒機を強めにかけることにより硬実を打破する対策が有効であろう⁴⁸⁾。

謝辞: 本研究を進めるにあたり、ご協力いただいた各地域の農業改良普及員の方々に厚く感謝する。

引用文献

1. Arechavaleta-Medina, F. and H.E. Snyder 1981. Water imbibition by normal and hard soybeans. *J. Am. Oil Chem.* 58: 976—979.
2. Baciuc-Miclaus, D. 1970. Contribution to the study of hard seed and coat structure properties of soybean. *Proc. Int. Seed Test. Assoc.* 35: 599—617.
3. Bourne, M.C. 1967. Size, density, and hardshell in dry beans. *Food Technol.* 21: 335—338.
4. Calero, E., S.H. West and K. Hinson 1981. Water absorption of soybean seeds and associated causal factors. *Crop Sci.* 21: 926—933.
5. Dassou, S. and E.A. Kueneman 1984. Screening methodology for resistance to field weathering of soybean seed. *Crop Sci.* 24: 774—779.
6. Deshpande, S.S. and M. Cheryan 1986. Microstructure and water uptake of *Phaseolus* and winged beans. *J. Food Sci.* 51: 1218—1223.
7. Dickson, M.H. and M.A. Boettger 1982. Heritability of semi-hard seed induced by low seed moisture in beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 107: 69—71.
8. Dornbos, D.L.Jr. and R.E. Mullen 1991. Influence of stress during soybean seed fill on seed weight, germination, and seedling growth rate. *Can. J. Plant Sci.* 71: 373—383.
9. Duangpatra, J. 1976. Some characteristics of the impermeable seed coat in soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). *Diss. Abstr.* 37: 1061—B.
10. Hartwig, E.E. and H.C. Potts 1987. Development and evaluation of impermeable seed coats for preserving soybean seed quality. *Crop Sci.* 27: 506—508.
11. 畑井朝子 1982. 小豆の貯蔵温度が品質におよぼす影響. *家政学雑誌* 33: 579—584.
12. ——— 1983. 小豆の貯蔵湿度が品質・調理特性に及ぼす影響. *北教大紀要* 2C33: 57—65.
13. ——— 1984. 道産豆の生産時の機械化、乾燥方法の差による品質劣化. *豆類加工技研報* 8: 36—48.
14. Hill, H.J., S.H. West and K. Hinson 1986. Effect of water stress during seedfill on impermeable seed expression in soybean. *Crop Sci.* 26: 807—812.
15. ———, ——— and ——— 1986. Soybean seed size influences expression of the impermeable seed-coat trait. *Crop Sci.* 26: 634—637.
16. Hori, T. and S. Hiramitsu 1953. Studies on the water absorption in relation to the structure of the seed-coat in the Leguminosae plants. *Sci. Rep. Fac. Lib. Arts Educ., Gifu Univ. (Natural Sci.)* 1: 47—53.
17. Horings, G.P., E.E. Gamble and S. Shanmugasundaram 1991. The influence of seed size and seed coat characteristics on seed quality of soybean in the tropics: field weathering. *Seed Sci. Technol.* 19: 665—685.
18. Hou, F.F. and F.S. Thseng 1991. Studies on the flooding tolerance of soybean seed: varietal differences. *Euphytica* 57: 169—173.
19. Kannenberg, L.W. and R.W. Allard 1964. An association between pigment and lignin formation in the seed of the lima bean. *Crop Sci.* 4: 621—622.
20. Kilen, T.C. and E.E. Hartwig 1978. An inheritance study of impermeable seed in soybean. *Field Crops Res.* 1: 65—70.
21. Korban, S.S., D.P. Coyne and J.L. Weihing 1981. Rate of water uptake and sites of water entry in seeds of different cultivars of dry bean. *Hort. Sci.* 16: 545—546.
22. Kuo, W.H. and A.W.Y. Tarn 1988. The path way of water absorption of mungbean seeds. *Seed Sci. Technol.* 16: 139—144.

23. Kyle, J.H. and T.E. Randall 1963. A new concept of the hard seed character in *Phaseolus vulgaris* L. and its use in breeding and inheritance studies. *Am. Soc. Hort. Sci.* 83: 461—475.
24. Legesse, N. and A.A. Powell 1992. Comparisons of water uptake and imbibition damage in eleven cowpea cultivars. *Seed Sci. Technol.* 20: 173—180.
25. Longer, D.E. and Y. Degago 1990. Field weathering effects on normal and hard-seeded soybean genotypes. *Arkansas Farm Res.* 39: 9.
26. Lush, W.M. and L.T. Evans 1980. The seed coats of cowpeas and other grain legumes: structure in relation to function. *Field Crops Res.* 3: 267—286.
27. Marback, I. and A.M. Mayer 1974. Permeability of seed coats to water as related to drying conditions and metabolism of phenolics. *Plant Physiol.* 54: 817—820.
28. Moore, S.H. 1991. Implication of the interaction between seed size and scarification on developing and conditioning hardseeded soybean. *J. Seed Technol.* 15: 97—104.
29. ——— and E.A. Drummond 1991. Scarification of hardseeded soybeans by combine harvesting. *J. Seed Technol.* 15: 22—28.
30. 中村俊一郎 1985. 農林種子学総論. 養賢堂, 東京, 94.
31. Potts, H.C., J. Duangpatra, W.G. Hairston and J. C. Delouche 1978. Some influences of hardseededness on soybean seed quality. *Crop Sci.* 18: 221—224.
32. Powell, A.A., M. de A. Oliveira and S. Matthews 1986. Seed vigour in cultivars of dwarf French bean (*Phaseolus vulgaris*) in relation to the colour of the testa. *J. Agric. Sci.* 106: 419—425.
33. Rolston, M.P. 1978. Water impermeable seed dormancy. *Bot. Rev.* 44: 365—396.
34. Saio, K. 1976. Soybeans resistant to water absorption. *Cereal Foods World* 21: 168—173.
35. 佐藤次郎 1957. 豆科作物の種子に関する生理生態学的研究 (1) 吸水部位について. *日作紀* 25: 180.
36. ——— 1959. 小豆における種瘤の研究. 福島大学芸部理科報 8: 24—29.
37. 佐藤久泰・村田吉平 1978. 小豆種子の貯蔵年数と主要形質の変動について. *北農* 45: 1—7.
38. Sefa-Dedeh, S. and D.W. Stanley 1979. Textural implications of the microstructure of legumes. *Food Technol.* 33: 77—83.
39. Srinives, P. 1980. Variation and inheritance of hardseededness in soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.). *Diss. Abstr.* 42: 432—B.
40. 鈴木清史・国井輝男 1986. 上川北部の1地域における大豆および小豆栽培の実態と問題点. *北農* 53: 10—23.
41. Tomer, R.P.S. and P. Kumari 1991. Hard seed studies in black gram (*Vigna mungo* L.). *Seed Sci. Technol.* 19: 51—56.
42. Werker, E., I. Marbach and A.M. Mayer 1979. Relation between the anatomy of the testa, water permeability, and the presence of phenolics in the genus *Pisum*. *Ann. Bot.* 43: 765—771.
43. Wyatt, J.E. 1977. Seed coat and water absorption properties of seed of near-isogenic snap bean lines differing in seed coat color. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 102: 478—480.
44. Yaklich, R.W., E.L. Vigil and W.P. Wergin 1984. Scanning electron microscopy of soybean seed coat. *Scan. Electron Microsc.* 2: 991—1000.
45. 由田宏一・佐藤久泰 1990. アズキにおける品質関連形質の変異とその成因. 第1報 北海道産にみられる粒大の変異. *日作紀* 59: 450—454.
46. ———・———・上嶋 尚・石井伸朗・佐藤導謙 1991. アズキにおける品質関連形質の変異とその成因. 第2報 北海道産にみられる種皮色の変異. *日作紀* 60: 234—240.
47. ———・佐藤導謙・中世古公男 1990. アズキ種子の吸水性—とくに収穫時期, 乾燥条件, 脱粒方法との関連について. *育種・作物学会北海道談話会報* 30: 49.
48. ———・照井昭義・——— 1991. アズキにおける種皮の構造と物理的性質. *育種・作物学会北海道談話会報* 31: 45.