

第4章 インゲンマメの製アン特性に及ぼす子実形質の影響

北海道におけるインゲンマメ (*Phaseolus vulgaris* L.) の作付面積は、水田の減反緩和等により減少傾向にあり、1989年の21,300haに対し、作付面積は1997年では14,500haとなっている。生産量は、豊作年の1995年では42,300tあったが、冷害年の1993年では24,300tであり、1994年には収穫時期の長雨の被害により16,600tと著しく減少している(日本豆類基金協会, 1998)。こうした生産の不安定性は、供給量の不足と価格の高騰による実需者の輸入豆類への移行を引き起こし、ひいては国産インゲンマメの需要を減少させる懸念がある。このような状況下において、北海道産のインゲンマメには、高品質かつ安全な生産物の安定生産、安定供給が求められている。しかしながら、インゲンマメの品質についてはアズキと同様に、外観形質に基づく検査等級以外では、用途や嗜好性などに応じた実需者個々の判断基準で決められることが多く、評価法も確立されていない。実需者が加工原料を選別する上では、同一条件で作業を行える均質な原料が望まれており、加工適性の評価指標や基準値の設定の必要性が高まっている。

インゲンマメの種類は非常に多く、流通上では銘柄として区分されているが、それらは主として外観上の違いに基づき分類されているものである。しかし、手亡類、大福類、金時類といった異なる種類のものであっても、種としては同じインゲンマメに属し、北海道で高級菜豆と呼ばれるつる性のマメ類の内、「大白花」や「紫花豆」のような花豆類のみが、種の異なるベニバナインゲン (*Phaseolus coccineus* L.) に属する。このように種類により、種皮色、粒大とも変異の大きいインゲンマメでは、その用途も多岐にわたるが、煮豆や甘納豆のような原粒の形を残した加工形態と、アンやきんとんのようなつぶされた状態で用いる加工形態に大別できる。そこで本章では、インゲンマメをつぶして用いる場合の製アン特性に及ぼす子実形質の影響について検討した。

第1節 実験方法

1. 供試材料

1990年～1993年の4年間に、中央農試および十勝農試において、また、1993年に上川農試、北見農試および遺伝資源センターにおいて、それぞれ同一条件で栽培された、手亡類、大福類および金時類11品種、計35点を調査・分析に供試した。

また、1993年には、十勝管内(金時類・手亡類)、網走管内(大福類)および胆振管内(大福類)から、それぞれの地域での栽培基準により生産された菜豆類を70戸の農家から、合計6品種、70点を収集し、調査・分析に供試した。

なお、供試品種は、手亡類が「姫手亡」、「銀手亡」、「雪手亡(1992年奨励品種)」, 大福類が「大福」、「改良早生大福」、「洞爺大福」、金時類が「大正金時」、「北海金時」、「丹頂金時」、「福白金時」、「福勝(1994年奨励品種)」の11品種であった。また、試料は11～12月に収集してから分析時期まで5℃の恒温室に保存し、収穫後1年以内に分析を行った。

2. 分析・測定方法

百粒重、子実水分、タンパク含有率、および吸水増加比(WIRI)は、第2章と同様にして測定した。

粗脂肪含有率は、ジエチルエーテルによる7時間の連続抽出法により測定した。

デンプン含有率は、0.7N塩酸で加水分解した後に、グルコース・オキシダーゼ法によりブドウ糖量を求め、これに0.9を乗じて算出した。

浸漬液固形分は、吸水増加比測定時の浸漬液を105℃で18時間乾固し、子実乾物重量に対する浸漬液中の固形分重量の割合として算出した。

アミログラム粘度は、超遠心粉碎機により0.5mm以下の粒度にした粉碎物を用いて、ブラベンダー社ビスコグラフにより、試料濃度12%(乾物換算)、初期温度28℃、昇温速度1.5℃/分、最高温度92℃、最高温度保持時間15分の条件で測定した。最高粘度の単位は、ブラベンダー・ユニット(B.U.)で表示した。

種皮色は、表面の汚れを除去した子実を、1粒ずつ6mmφの反射試料台上に置き(単粒法)、色彩色差計(日本電色 ND-1001 DP)を用いて、L*値、a*値、b*値を1試料につき20回測定し、第2章と同様にC*値を算出した。

煮熟増加比(WIRB)は、子実50gに150mlのイオン交換水を加えて25℃で18時間吸水後、オートクレーブを使用して、98℃で40分(1993年産の金時類は30分)煮熟し、第2章と同様にして算出した。

生アンは、上記条件で煮熟した後に第2章と同様に生して調製した。

生アンの色およびアン粒子の粒径組成は、上記の条件で得られた生アンを用いて、第2章と同様にして測定した。

3. 官能試験

20歳代から50歳代の中央農試の職員をパネルとして、平均粒径が異なる1993年産の「雪手亡」の加糖アン（生アン100gに上白糖60gを加えて加熱調製し、再度粒径を測定）を用いて、舌ざわりおよびその好みについて比較検討した。

嗜好性（舌ざわりの好み）については、32名（男19名、女13名）のパネルにより、加糖後の平均粒径が118 μ mのアンの評価値を0（基準）とし、平均アン粒径が111 μ mのアンの評価を、-3（非常に好まない）から3（非常に好む）までの7段階評価法で行った。舌ざわりの評価については、31名（男18名、女13名）のパネルにより、加糖後の平均粒径が115 μ mのアンの評価値を0（基準）とし、110 μ mおよび119 μ mのアンについて、-3（非常にざらつく）から3（非常になめらか）までの7段階評価法で比較を行った。

第2節 結果および考察

1. 製アン特性と子実形質の関係

(1) 子実形質相互の相関関係

インゲンマメの子実成分や吸水・煮熟特性および製アン特性の変動幅について、1993年産の主要3品種を用いて調査した結果をTable 25に示した。「雪手亡」では、粗脂肪、浸漬液固形分およびアミログラム最高粘度でCVが10%を越える比較的大きな変動がみられた。「改良早生大福」では、水分、浸漬液固形分およびアン収率でCVが20%を越える大きな変動がみられ、アミログラム最高粘度ではCVが36%と著しい変動が認められた。

「大正金時」では、百粒重、水分、浸漬液固形分およびアミログラム最高粘度でCVが10%を越える比較的大きな変動が認められた。

各品種に共通して変動の大きかった調査項目としては、浸漬液固形分およびアミログラム最高粘度があげられた。なお、水分の変動要因としては、収穫時の乾燥条件や収穫後の保管条件の影響が考えられた。また、「改良早生大福」では水分の低い試料において吸水増加比が低い傾向にあり、水分10%以下の試料では未吸水粒も認められた。

一方、これら3品種の製アン特性の特徴としては、「雪手亡」では、煮熟増加比およびアン収率とも高く、平均アン粒径が大きかった。「改良早生大福」では、煮熟増加比は「大正金時」よりも高かったが、アン収率は3品種の中で最も低く、平均アン粒径が最も小さかった。「大正金時」では、煮熟増加比が3品種の中で最も低かったが、アン収率は最も高く、平均粒径は「雪手亡」とほぼ同等であった。

次に、これらインゲンマメの子実形質の相互関係および製アン特性との相関関係について、1993年産の手亡類、大福類および金時類を用いて調べた結果をTable 26に示した。

タンパク含有率と他の品質関連形質との関係について解析したところ、子葉部と種皮部のタンパク含有率では異なる傾向を示していた。子実全体のタンパク含有率は子葉部のタンパク含有率と同様の傾向を示したが、種皮部を含む子実タンパク含有率では、他の品質関連形質との相互関係が不明瞭になる場合もあった。そこで、相互関係をより明確にするために、子実タンパク含有率と相関の認められた項目については、子葉部のタンパク含有率との関係について検討することとした。

子葉部タンパク含有率は、デンプン含有率との間に負

Table 25. Variation in the characteristics related to seed quality of common beans harvested in 1993.

	Yukitebou(n=31)				Kairyowase-ofuku(n=17)				Taishoukintoki(n=16)			
	Min.	Max.	Ave.	CV(%)	Min.	Max.	Ave.	CV(%)	Min.	Max.	Ave.	CV(%)
100-seed Weight(g)	23.2	32.3	27.3	7.7	43.0	61.1	55.1	8.9	51.6	76.3	61.8	10.0
Moisture(%)	10.5	17.9	14.3	8.5	8.4	25.0	16.0	24.6	10.0	15.8	13.2	15.0
Cotyledon Protein(%)	20.4	27.6	23.1	7.4	18.1	25.5	22.1	8.4	20.4	26.4	24.2	7.6
Starch(%)	41.8	47.6	45.0	3.6	40.3	49.0	44.2	5.6	42.9	47.6	44.8	2.7
Fat(%)	1.57	2.33	1.98	11.2	1.55	1.91	1.73	5.3	1.21	1.45	1.30	5.9
DSSW(%)	0.65	1.21	0.93	17.0	0.59	1.64	0.92	27.9	0.69	1.10	0.79	12.9
Max. Viscosity(B.U.)	460	690	565	11.5	250	1180	632	36.0	520	1000	763	19.4
WIRI	2.20	2.32	2.27	1.2	1.85	2.52	2.38	6.0	2.25	2.31	2.29	0.8
WIRB	2.59	2.85	2.75	1.8	1.92	2.76	2.60	8.1	2.42	2.53	2.47	1.2
Ann Yield(%)	52.9	64.3	61.6	3.2	19.4	66.1	58.1	20.1	61.3	64.6	63.5	1.6
Ann Particle Size(μ m)	103.3	118.0	109.0	3.2	96.5	105.0	102.1	2.3	106.0	111.5	108.4	1.3

DSSW; Dissolved Solid in Soaking Water, WIRI; Weight Increase Ratio by Imbibition, WIRB; Weight Increase Ratio by Boiling.

Table 26. Correlations between characteristics related to seed quality of common beans harvested in 1993.

	Tebou (n=34)	Ofuku (n=38)	Kintoki (n=26)
Protein:Fat	-0.509**	-0.336*	-0.716**
Protein:Starch	-0.717**	-0.706**	-0.887**
DSSW:Protein	-0.589**	-0.469**	-0.663**
DSSW:Starch	0.459**	0.328*	0.572**
Max. Viscosity: Protein	-0.492**	-0.535**	-0.499**
Max. Viscosity: Starch	0.393*	0.662**	0.568**
WIRI:WIRB	0.451**	0.768**	-0.010

DSSW; Dissolved Solid in Soaking Water, WIRI; Weight Increase Ratio by Imbibition, WIRB; Weight Increase Ratio by Boiling.

*; $P < 0.05$, **; $P < 0.01$.

の相関が認められ、手亡類では $r = -0.717^{**}$ 、大福類では $r = -0.706^{**}$ 、金時類では $r = -0.887^{**}$ の高い負の相関関係にあった。また、子葉部タンパク含有率と粗脂肪含有率との間にも負の相関が認められ、手亡類では $r = -0.509^{*}$ 、大福類では $r = -0.336^{*}$ 、金時類では $r = -0.716^{**}$ の有意な負の相関関係にあった。このように、タンパク含有率の高いインゲンマメではデンプンおよび粗脂肪含有率が低い傾向にあった。

浸漬液固形分は、子葉部タンパク含有率との間に有意な負の相関（手亡類： $r = -0.589^{**}$ 、大福類： $r = -0.469^{**}$ 、金時類： $r = -0.663^{**}$ ）が認められ、デンプン含有率との間では有意な正の相関関係（手亡類： $r = 0.495^{**}$ 、大福類： $r = 0.328^{*}$ 、金時類： $r = 0.572^{**}$ ）にあった。このように、浸漬液固形分はタンパク含有率の高いインゲンマメで低く、デンプン含有率の高いインゲンマメで高い傾向にあった。

アミログラム最高粘度は、子葉部タンパク含有率との間に有意な負の相関（手亡類： $r = -0.492^{**}$ 、大福類：

$r = -0.535^{**}$ 、金時類： $r = -0.499^{**}$ ）が認められた。また、アミログラム最高粘度とデンプン含有率の間では正の相関が認められ、手亡類では $r = 0.393^{*}$ 、大福類では $r = 0.662^{**}$ 、金時類では $r = 0.568^{**}$ の有意な正の相関関係にあった。このように、アミログラム最高粘度はタンパク含有率の高いインゲンマメで低く、デンプン含有率の高いインゲンマメで高い傾向にあった。しかし、本特性値はデンプンの糊化特性を示すものであり、デンプン含有率とタンパク含有率は負の相関関係にあることから、デンプン含有率による影響が大きいものと考えられた。

(2) アン色と種皮色の関係

1993年に十勝農試および中央農試で栽培された、インゲンマメ 11 品種の種皮色と生アン色について Table 27 に示した。赤系種皮色の金時類の中では福勝の種皮色が L^{*} 値、 a^{*} 値、 b^{*} 値ともにやや高かったが、生アン色では他の赤系金時類と差は認められなかった。白系種皮色のインゲンマメの中では、大福類の種皮の L^{*} 値が高く、明るい白色をしていたが、生アンでは手亡類の方が L^{*} 値が高く、明るく白い色となっていた。手亡類の中では、銀手亡の種皮の L^{*} 値がやや高かったが、生アンでの差はわずかであり、観察上の差は認められなかった。また、福白金時の種皮色は、手亡類に類似していたが、生アンの色は大福類とほぼ同じ傾向にあった。

次に、種皮色と生アン色の関係について 1993 年産のインゲンマメを用いて検討した。その結果、Table 28 に示すように、福白金時を除く赤系種皮色の金時類では、 L^{*} 値にのみ有意な正の相関 ($r = 0.409^{*}$) が認められたが、手亡類および大福類では、いずれの測定値にも有意な相関関係はみられなかった。アズキでは L^{*} 値および a^{*} 値について、種皮色と生アン色の間に有意な正の相関が認

Table 27. Seed Coat Colour and Non-sugared Ann colour of Common Beans.

Variety	Seed Coat Colour				Non-sugared Ann Colour			
	L^{*}	a^{*}	b^{*}	C^{*}	L^{*}	a^{*}	b^{*}	C^{*}
Himetebou	76.3	-0.5	10.1	10.1	80.1	0.0	11.3	11.3
Yukitebou	77.7	-0.5	9.0	9.0	77.0	0.9	12.0	12.1
Gintebou	78.8	-0.6	9.7	9.7	80.2	-0.8	11.1	11.1
Kairyouwase-ofuku	86.6	-1.1	7.9	8.0	72.6	-0.1	11.5	11.5
Touya-ofuku	88.0	-1.3	8.4	8.5	74.0	0.9	13.5	13.6
Ofuku	88.2	-1.3	8.7	8.8	72.8	0.1	12.4	12.4
Taishoukintoki	24.4	21.9	4.4	22.3	63.3	5.3	10.5	11.8
Fukumasari	25.3	24.0	5.1	24.6	63.5	5.2	10.5	11.7
Hokkaikintoki	24.1	22.6	4.6	23.1	64.2	4.7	11.5	12.4
Tanchoukintoki	23.0	20.3	3.3	20.6	63.8	4.8	11.1	12.1
Fukushirokintoki	79.9	-0.4	12.1	12.1	73.3	0.3	13.7	13.7

Tebou and Kintoki beans were grown at Tokachi Agricultural Experiment Station in 1993.
Ofuku beans were grown at Hokkaido Central Agricultural Experiment Station in 1993.

Table 28. Correlations between non-sugared Ann colour and seed coat colour of common beans.

	Tebou ^a (n=25)	Ofuku (n=31)	Kintoki ^b (n=35)
L*	-0.226	-0.252	0.409*
a*	0.118	0.336	0.081
b*	-0.055	0.050	-0.230
C*	-0.195	0.203	0.029

*: $P < 0.05$, Beans were harvested in 1993.

^a, Except 'Gintebou'; ^b, Except 'Fukushirokintoki'.

められていたが、赤系種皮色の金時類の a^* 値には有意な相関がみられず、アズキと金時類ではその影響が異なっていた。このようにインゲンマメでは、種皮色から生アンの色を判断することは困難であった。

2. アン収率に及ぼす煮熟増加比の影響

(1) 煮熟時間による煮熟増加比の推移

インゲンマメの煮熟増加比の経時変化について、1993年産の手亡類、金時類（以上十勝農試産）および大福類（虻田町産）を用いて検討した。手亡類では Fig. 26 に示すように、各品種とも煮熟時間 40 分で煮熟増加比が 2.8 を越えほぼ一定に達し、アン収率も 60% を越えていたことから、40 分で十分に煮熟が進んでいることが確認された。しかし、大福類では Fig. 27 に示すように、煮熟時間 80 分以降まで煮熟増加比の上昇が認められ、煮熟時間 40 分の時点で煮熟増加比が 2.8 前後と大きくなっていても、アン収率は 60% に達しておらず、十分には煮熟が進んでいないものと考えられた。また、大福類の中では「洞爺大福」の煮熟速度が速かった。金時類では Fig. 28 に示すように、「福白金時」の煮熟速度が速く、煮熟時間 40 分で煮熟増加比が 2.8 を越えほぼ一定に達していた。しかし、「北海金時」では煮熟時間 40 分で煮熟増加比が 2.5 と低く、他の品種でも煮熟増加比が 2.7 を越えるものではなく、60 分程度まで煮熟増加比の上昇が認められた。このように、赤系種皮色の金時類では煮熟時間 40 分における煮熟増加比は他のインゲンマメに比べ低かったが、煮熟は十分進んでおり、アン収率がいずれの品種でも 60% を越えていたことから、比較的早い時間からアン粒子の膨潤が進んでいるものと推察された。

このように、インゲンマメの種類により煮熟速度に差が認められたが、手亡類や金時類では吸水時間が 16 時間で十分に吸水しているため、短い煮熟時間でもアン粒子の膨潤は進んでいるものと考えられた。また、赤系種皮色の金時類では他の品種に比べて煮熟増加比が小さくとも 60% を越えるアン収率が得られ、1993 年産では煮熟時

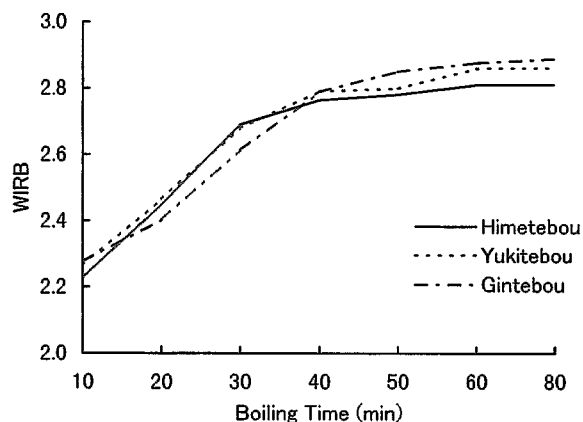


Fig.26. Changes in Weight Increase Ratio by Boiling (WIRB) of common beans (Tebou group) with boiling time.

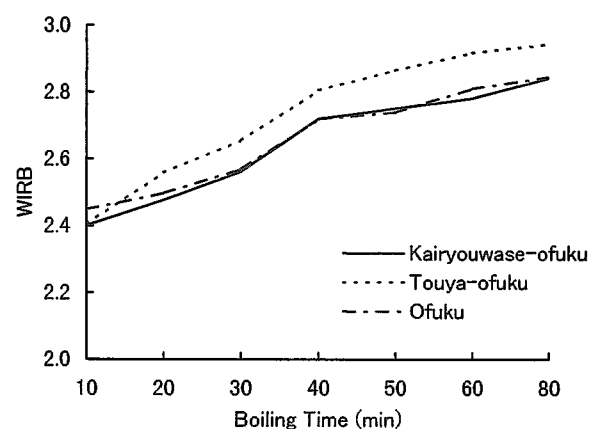


Fig.27. Changes in Weight Increase Ratio by Boiling (WIRB) of common beans (Ofuku group) with boiling time.

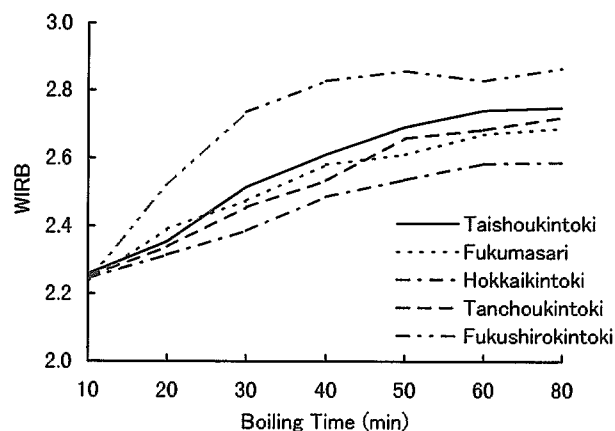


Fig.28. Changes in Weight Increase Ratio by Boiling (WIRB) of common beans (Kintoki group) with boiling time.

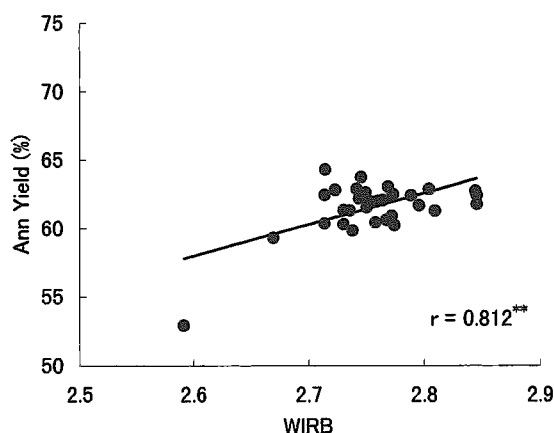


Fig.29. Relationship between Ann Yield and Weight Increase Ratio by Boiling (WIRB) of common beans (Tebou group).
Tebou beans were harvested in 1993, n=34.

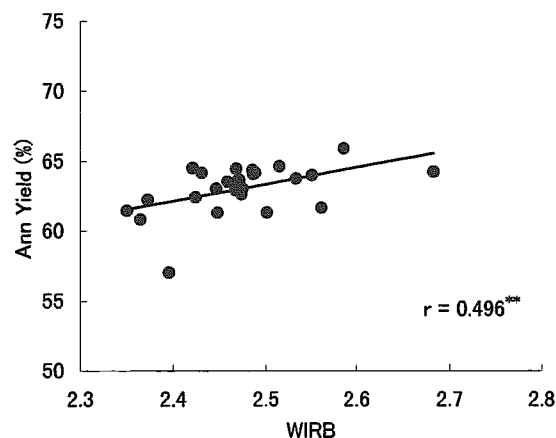


Fig.31. Relationship between Ann Yield and Weight Increase Ratio by Boiling (WIRB) of common beans (Kintoki group).
Kintoki beans were harvested in 1993, n=26.

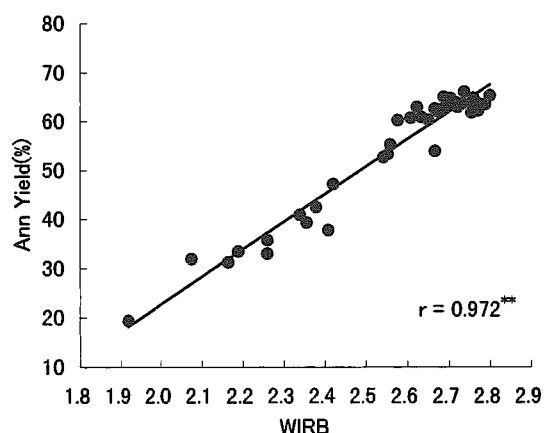


Fig.30. Relationship between Ann Yield and Weight Increase Ratio by Boiling (WIRB) of common beans (Ofuku group).
Ofuku beans were harvested in 1993, n=38.

間 30 分でも同程度のアン収率が得られた。これらの金時類では煮熟時間を長くするにしたがって、皮切れや煮崩れが特に多くなることから、アン粒子形成後の煮熟増加比の上昇は、デンプンの糊化・膨潤によるもののみならず、種皮と子葉間への水の抱え込みや、子葉組織内部への水の取り込みが関与している可能性が推察された。

(2) アン収率と煮熟増加比の相関関係

1993 年に道立各農業試験場および現地農家で栽培されたインゲンマメを用いて、アン収率と煮熟増加比の関係について検討した。その結果、アン収率と煮熟増加比の間には、手亡類では $r=0.812^{**}$ (Fig. 29, $n=34$)、大福類では $r=0.972^{**}$ (Fig. 30, $n=38$)、金時類では $r=0.496^{**}$ (Fig. 31, $n=26$) の高い正の相関が認められた。

このように、同じ種類のインゲンマメでは、アズキと同様に一定時間における煮熟増加比（手亡類・大福類で 40 分、金時類で 30 分）はアン収率に影響を及ぼしており、煮えやすさ（煮熟程度）の指標となり得るものと考えられた。なお、金時類の煮熟時間は 1993 年産では 30 分としたが、金時類では煮熟増加比が小さくとも他の種類のインゲンマメに比べアン収率が高かった。

一方、煮熟増加比は吸水増加比との間にも、手亡類で $r=0.451^{**}$ 、大福類で $r=0.768^{**}$ の正の相関が認められたが、金時類では有意な相関関係がみられず (Table 26)、その傾向は種類および年次により異なっていた。大福類では煮熟速度が遅く、アン収率にも大きな変動がみられたが、これら大福類では吸水増加比がアン収率にまで影響を及ぼす場合も認められ ($r=0.783^{**}$, 1993 年産, $n=38$)、吸水時間が 16 時間では吸水が不十分であることも想定された。また、1993 年産の大福類ではアン収率と子実水分の間に高い正の相関関係 ($r=0.801^{**}$, $n=38$) が認められており、水分が低い場合には、吸水時間 16 時間では十分な吸水が行われず、一定の煮熟時間の下ではアン収率の低下を招いたものと考えられた。従って、大福類では吸水条件が煮熟速度およびアン収率の制限要因となっているものと考えられた。

このように、インゲンマメの吸水および煮熟特性はアズキと大きく異なり、アズキでは種皮からの吸水はほとんど行われず、臍部分に存在する種瘤を通して行われるが (佐藤, 1957; 由田ら, 1991b)、インゲンマメでは主として種皮全体から速やかに吸水し (Deshpande and Cheryan, 1986)、8 時間程度で飽和に達すると言われていた (黒田ら, 1993)。しかし、インゲンマメでは吸水せ

Table 29. Ann particle size and 100-seed weight of common beans.

Variety	100-seed Weight(g)				Ann Particle Size(μ m)			
	1990	1991	1992	1993	1990	1991	1992	1993
Himetebou	28.4	28.9	28.4	25.3	109.9	109.2	108.7	108.7
Yukitebou	29.0	29.1	27.4	27.7	108.8	109.1	110.4	112.3
Ofuku	65.9	68.0	69.3	71.2	104.9	—	105.2	104.6
Kairyouwase-ofuku	57.1	57.1	59.0	58.9	104.7	—	103.4	102.5
Touya-ofuku	65.6	63.9	68.2	65.9	104.0	—	103.9	101.6
Taishoukintoki	53.6	78.4	73.1	56.2	109.4	118.9	112.9	106.0
Tanchoukintoki	58.9	92.3	91.7	72.1	115.1	124.8	122.0	111.9
Hokkaikintoki	71.4	86.8	89.4	74.0	121.7	124.8	122.9	118.0
Fukumasari	—	98.6	86.2	72.9	—	125.5	120.5	111.0
Fukushirokintoki	70.6	82.8	77.9	70.9	116.6	114.1	110.8	107.0

ずに煮熟した場合には、膨潤に時間がかかり煮えむらを生じることから、吸水が不十分な条件では煮熟増加比が吸水増加比に影響を受けているものと考えられた。

3. アン粒径に及ぼす百粒重の影響

(1) アン粒径の品種間差異

インゲンマメの品種による、百粒重および平均アン粒径の差異について比較を行った (Table 29)。手亡類では、「姫手亡」と「雪手亡」の間には、百粒重および平均アン粒径ともにほとんど差が認められなかった。大福類では、「改良早生大福」の百粒重が小さかったが、平均アン粒径では「洞爺大福」とほとんど差がなかった。金時類では、百粒重の大きい「丹頂金時」、「北海金時」および「福勝」では平均アン粒径も大きい傾向にあった。

また、インゲンマメの種類間でアン粒径を比較すると、平均アン粒径は大福類で小さく、金時類および手亡類で大きかった。手亡類は百粒重が小さいにも関わらず、「大正金時」とほぼ同程度の平均アン粒径であった。そこで、アン粒子の粒度分布パターンを1993年産のインゲンマメ3品種を用いて比較した (Fig. 32)。その結果、平均アン粒径が112.3 μ mの「雪手亡」では大きいアン粒子の割合が多く、平均アン粒径101.6 μ mの「洞爺大福」では小さいアン粒子の割合が多くなっていた。平均アン粒径106.0 μ mの「大正金時」は両者の中間に位置したが、分布パターンとしては「雪手亡」に近かった。

インゲンマメのアン粒子の光学顕微鏡写真 (Fig. 33) では、種類の異なる3品種とも同様に、円から楕円形をした種々の粒径のものが認められ、アン粒子の内部にはデンプン粒が鱗状に観察された。しかし、アズキと比較すると、アン粒子の外側を覆っている細胞膜の厚さがアズキよりも厚く、デンプン粒は小さく数が多い傾向にあった。マメ類の子実の微細構造に関しては、デンプン粒は短楕円形をしているが、種により大きさや形状が異

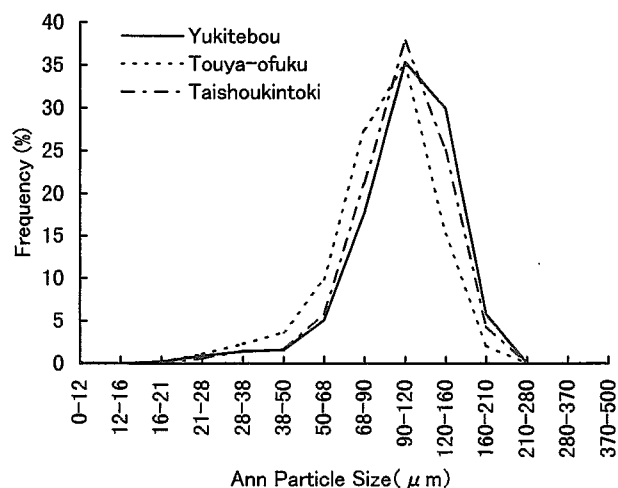


Fig.32. Composition of Ann particle size for common beans. The average particle size for 'Yukitebou' is 112.3 μ m, for 'Touya-ofuku' is 101.6 μ m and for 'Taishoukintoki' is 106.0 μ m.

なり (Saio and Monma, 1993), アン粒子の大きさやその表面構造にも差異が認められることが報告されている (小林ら, 1992b)。

(2) アン粒径と百粒重の相関関係

1993年産のインゲンマメを用いて、百粒重と平均アン粒径の関係について検討した結果、両者の間には正の相関が認められた。手亡類では、 $r=0.606^{**}$ (Fig. 34, $n=34$) の有意な正の相関関係が認められ、「雪手亡」に限った場合でも同様の傾向 ($r=0.765^{**}$, $n=31$) にあった。大福類では、 $r=0.781^{**}$ (Fig. 35, $n=38$) の高い正の相関関係が認められ、「改良早生大福」のみでみた場合にも同様の傾向 ($r=0.869^{**}$, $n=17$) が認められた。金時類でも、 $r=0.735^{**}$ (Fig. 36, $n=26$) の高い正の相関関係が認められ、この関係は「大正金時」に限った場合でも同様 ($r=0.773^{**}$, $n=16$) であった。

このように、百粒重の大きなインゲンマメでは平均ア

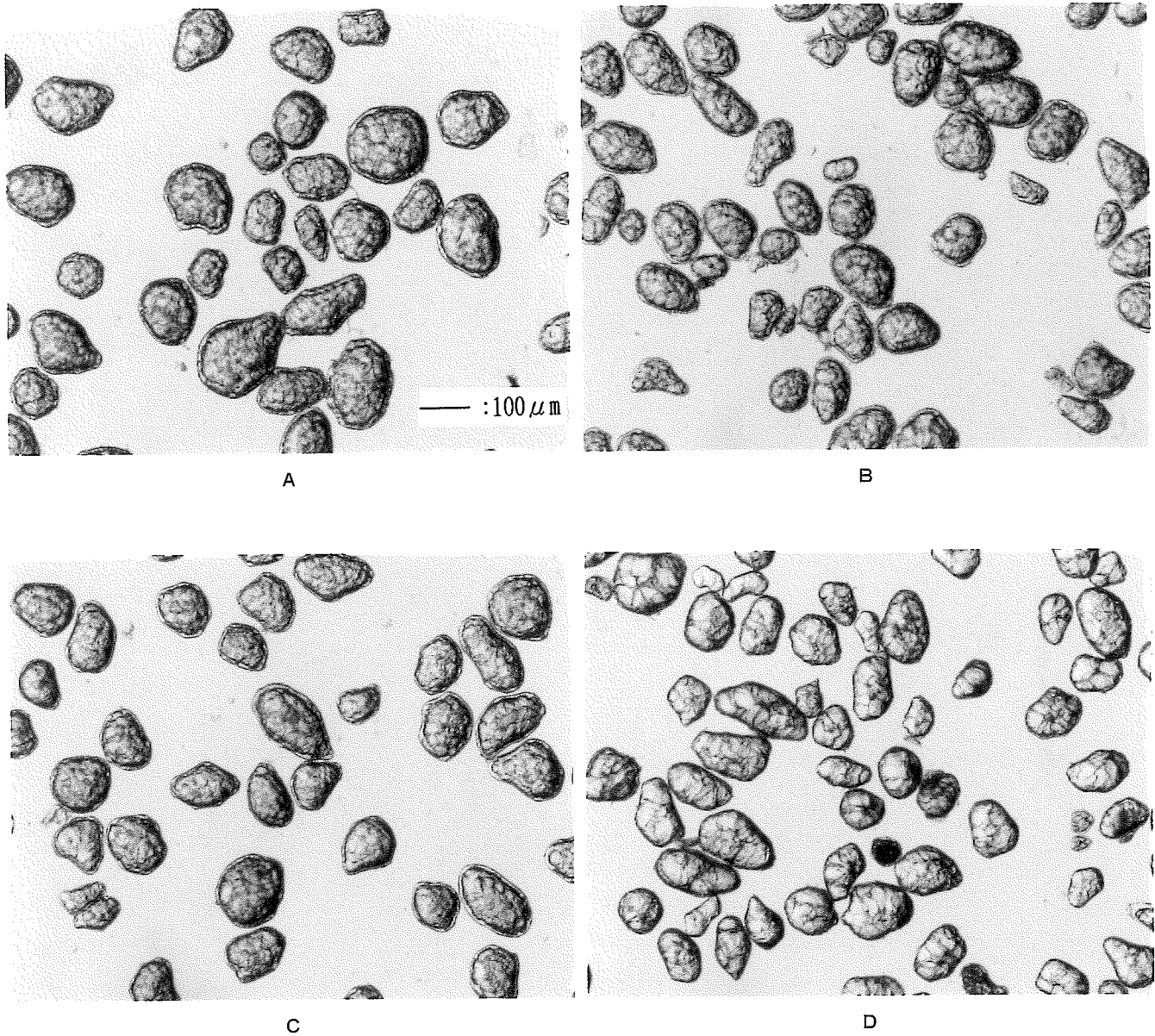


Fig.33. Ann particles prepared from common beans and adzuki beans.
 A: 'Yukitebou' (mean particle size; 112.3 μm),
 B: 'Touya-ofuku' (mean particle size; 101.6 μm),
 C: 'Taishoukintoki' (mean particle size; 106.0 μm),
 D: 'Erimoshouzu' (mean particle size; 100.7 μm).

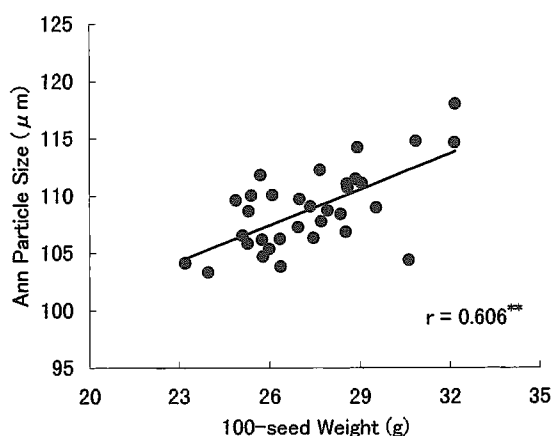


Fig.34. Relationship between Ann particle size and 100-seed weight of common beans (Tebou group.)
Tebou beans were harvested in 1993 (n=34).

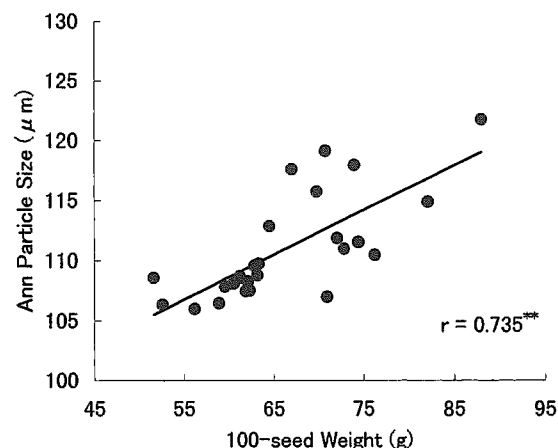


Fig.36. Relationship between Ann particle size and 100-seed weight of common beans (Kintoki group.)
Kintoki beans were harvested in 1993 (n=26).

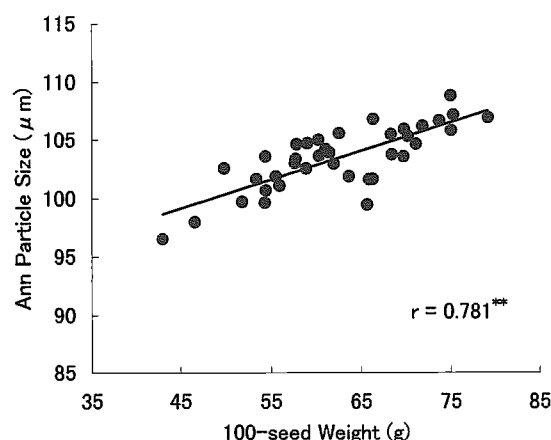


Fig.35. Relationship between Ann particle size and 100-seed weight of common beans (Ofuku group.)
Ofuku beans were harvested in 1993 (n=38).

ン粒径も大きく、アズキの場合と同様に、百粒重はアン粒子の平均粒径に影響を及ぼしていることが判明した。ただし、インゲンマメの中では、百粒重の小さい手亡類では平均アン粒径が $110\mu\text{m}$ 前後であるのに対し、百粒重の比較的大きい大福類では平均アン粒径が $105\mu\text{m}$ 以下のものがほとんどであり、アズキのように品種を越えて普遍的に言えるものではなかった。すなわち、インゲ

ンマメの場合には、手亡類、大福類、金時類それぞれの種類の中でのみこの関係は成立した。

次に、インゲンマメのアン粒子の粒径組成について、アズキの場合で用いた5段階の粒径区分に当てはめて比較すると、Table 30 に示すように、平均アン粒径が「エリモショウズ」に近い「洞爺大福」では粒径組成割合も非常に類似していた。一方、平均アン粒径の大きい「雪手亡」および「大正金時」では、 $100\mu\text{m}$ 以上の大きなアン粒径の組成割合が50%を越えていた。しかし、いずれの品種でも最頻値を示す粒径区分は $150\sim 100\mu\text{m}$ であり、ピークの位置は一致していた。

アズキの場合、百粒重の大きな品種では、大きなアン粒子の組成割合が多くなっており、子実の子葉細胞にも大きなものが多く認められていた。しかし、インゲンマメでは子葉細胞の大きさが必ずしも粒大(百粒重)に影響を及ぼしていないことが示唆された。すなわち、手亡類のように百粒重が小さい品種であっても、百粒重が2倍程度ある大福類よりも平均アン粒径が大きいということは、両者間で子実1粒当たりの子葉細胞数が大きく異なっているものと考えられた。このように、同じ種に属するインゲンマメであっても、品種により種子1粒当たりの子葉細胞数には大きな変異が存在すると推定される

Table 30. Ann particle size and the composition of particle size for common beans and adzuki beans harvested in 1993.

Variety	Ann Particle Size(μm)	Composition of particle size(%)				
		500-150	150-100	100-75	75-60	<60(μm)
Yukitebou	112.3	11.3	48.7	24.4	7.5	8.1
Touya-ofuku	101.6	6.6	39.6	29.7	11.5	12.6
Taishoukintoki	106.0	8.7	46.3	28.3	9.0	7.7
Erimoshouzu	100.7	6.3	39.1	30.6	11.8	12.2

が、同じ種類の品種の中では子葉細胞の大きさが百粒重に影響を及ぼしている（百粒重とアン粒径の間に有意な相関関係が認められる）ものと考えられ、遺伝的な面からも興味もたれる。

4. 白アンの舌ざわりの官能評価

(1) 粒径の異なるアンの好みの評価

平均アン粒径と嗜好性（舌ざわりの好み）との関係について調査を行った(Fig. 37)。その結果、加糖後の平均粒径 $118\mu\text{m}$ のアンを基準とした場合、平均粒径 $111\mu\text{m}$ のアンを「やや好む(1)」から「非常に好む(3)」と評価した人の合計は 40.6%で、「やや好まない(-1)」から「非常に好まない(-3)」と評価した人の合計 28.1%よりも多かった。しかし、両者を「同等(0)」と評価した人が 31.3%おり、平均評価値は 0.13 であった。従って、平均粒径が $7\mu\text{m}$ 異なる手亡アンの比較では、舌ざわりの好みの評価に大きな差は認められないものと判断された。

手亡アンではアズキアンに比べて平均アン粒径が大きいにも関わらず、舌ざわりは比較的なめらかで、粒径の違いによる嗜好性の差異は明確ではなかった。顕微鏡による観察(Fig. 33)において、インゲンマメではアズキに比べて細胞壁よりなるアン粒子表面の細胞膜が厚く、内部のデンプン粒が小さいといった差異が認められた。また、やや大きな粒径でも舌ざわりになめらかさを感じたことから、インゲンマメのアンの舌ざわりには、アン粒径以外の要因も関与している可能性が考えられた。インゲンマメでは、その種類によりアンの食感が異なると

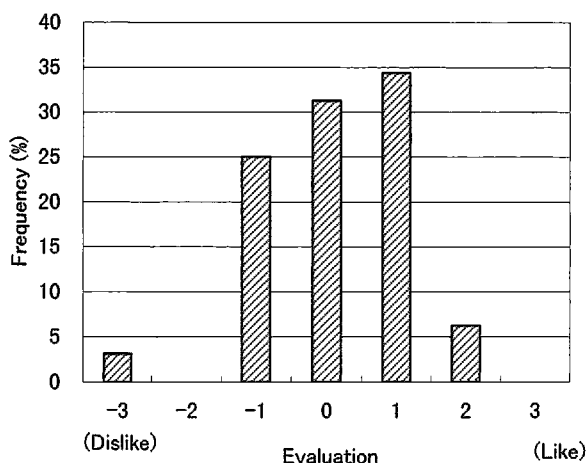


Fig.37. Sensory evaluation for preference of mouthfeel for Tebou-Ann with different particle size.

Comparison between Tebou-Ann with particle size of $111\mu\text{m}$ and $118\mu\text{m}$ (Evaluation Value;0).

の報告もあり(小林ら, 1992a), ペクチンによるアン粒子表面の保水性の差異が、その原因の一つとしてあげられている(道川ら, 1992)。

(2) 粒径の異なるアンの舌ざわりの評価

次に、平均アン粒径と舌ざわり（なめらかさ）の関係について調査を行った(Fig. 38)。その結果、加糖後の平均粒径 $115\mu\text{m}$ のアンを基準とした場合、平均粒径 $110\mu\text{m}$ のアンの評価は、「なめらか(2)」から「非常にざらつく(3)」まで広範囲に分布し、平均評価値は -0.45 であった。また、平均粒径 $119\mu\text{m}$ のアンの評価もほぼ同様に、「なめらか(2)」から「ざらつく(2)」まで広範囲に分布し、平均評価値は -0.42 であった。このように、平均粒径 $115\mu\text{m}$ のアンの舌ざわりと比較した場合、両者の評価は「なめらか」および「ざらつく」の両方向に分布しており、平均評価値には明確な差は認められなかった。

アン粒径と舌ざわりの関係に関して、アズキのアンでは、 $150\mu\text{m}$ 以上の粗い粒子は舌ざわりのざらついた練りアンを、 $75\mu\text{m}$ 以下の細かい粒子は粘りの強い練りアンを生ずる傾向にある言われている(谷地田ら, 1972)。また、第2章のアズキアンの官能試験の結果では、平均粒径 $5\sim 10\mu\text{m}$ の差異が識別可能であった。しかし、手亡アンの結果では、平均粒径が $4\sim 5\mu\text{m}$ 異なる手亡アンの舌ざわりの差異を識別することは困難であり、平均粒径が $9\mu\text{m}$ 異なる場合でも平均評価値には差が認められなかった。

アンの食味に関与する大きな要因の一つとして物性が上げられる。アンの物性には、アン粒子の大きさ以外に、

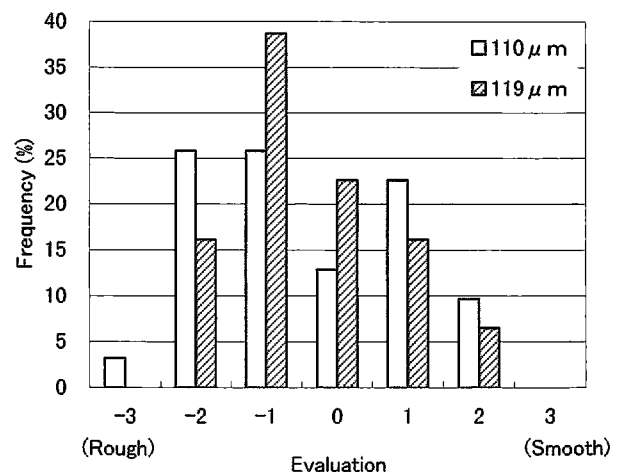


Fig.38. Sensory evaluation for mouthfeel of Tebou-Ann with different particle size.

Comparison between Ann with particle size of $115\mu\text{m}$ (Evaluation Value;0).

形状、崩壊の程度および水の存在状態などさまざまな影響が考えられ、さらに、糖の種類、加熱時間、練り方、加水量など製アン過程での非常に多くの要因が関与していると言われている(塩田ら, 1976)。練りアンの嗜好性には物性の影響が大きく、官能評価値に対する寄与率は保水力および硬さで高いとの報告もある(安部, 1986)。アン粒子内部のタンパク質およびデンプンの特性もまた、調理特性あるいは食感に寄与する可能性が指摘されている(渡辺ら, 1982a)。このようにアンの物性に関しては、アン粒子の大きさのみならずその構成成分や性状も重要な要因であり、食感および嗜好性に与える影響を考慮する必要性が示唆された。

第3節 要 約

インゲンマメの製アン特性に及ぼす子実形質の影響および、白アンの舌ざわりとアン粒径の関係について検討し、以下の結果を得た。

(1)アズキと異なりインゲンマメでは、種皮色から生アンの色を判断することは困難であった。タンパク含有率が低く、デンプン含有率の高いインゲンマメでは、アミ

ログラム最高粘度が高い傾向にあった。

(2)手亡類では煮熟時間 40 分で十分に煮熟が進んでおり、煮熟増加比がほぼ一定に達していたが、大福類では煮熟時間 80 分でも煮熟増加比は上昇傾向にあった。赤系種皮色の金時類では煮熟時間 60 分程度まで煮熟増加比の上昇は認められたが、40 分の時点で煮熟は十分に進んでいた。また、煮熟増加比とアン収率の間には高い正の相関関係が認められ、手亡類、大福類、金時類といった同じ種類の中では、一定時間における煮熟増加比は煮えやすさを現す指標となり得るものと判断された。

(3)インゲンマメの平均アン粒径は、大福類で小さく、金時類および手亡類で大きかった。百粒重と平均アン粒径の間には、手亡類、大福類、金時類それぞれの種類の中では有意な正の相関関係が認められ、百粒重がアン粒径に影響を及ぼしていることが確認された。

(4)官能試験の結果では、平均アン粒径が $7\mu\text{m}$ 異なる手亡アンの嗜好性に差はみられず、平均粒径が $9\mu\text{m}$ 異なるアンの舌ざわりの平均評価値にも有意差は認められなかった。

第5章 インゲンマメの煮豆加工特性に関わる変動要因

北海道におけるインゲンマメの生産量（1997年；30,800t）は全国の90%以上を占めており、そのうちの半分以上が金時類（1997年；20,200t）となっている（日本豆類基金協会, 1998）。この金時類の主用途は煮豆であるが、煮豆の加工特性に関する報告はほとんど見あたらない。煮豆用途向けのダイズでは、育種素材の特性評価に際して蒸煮したダイズの硬度測定が行われている（矢ヶ崎ら, 1989, 1994）。香西ら（1989）は、煮豆用の原料ダイズの評価に際し、蒸煮ダイズのかたさが加工適性項目として重要であると述べている。金時類においても、加藤ら（1995）は先に、煮豆の嗜好性にはかたさの影響が大きいことを報告している。

煮豆のかたさについては、一般に柔らかいものが好まれる傾向にあるが、加工上は煮崩れを起こさないことが重要である。煮豆の加工に際しては、原料豆の浸漬、煮熟、調味といった工程が取られるが、用いる原料豆の性状により煮え方が大きく異なるため、適切な煮熟条件を設定する必要がある。そこで本章では、金時類を対象として、煮豆の加工特性に大きな影響を及ぼすかたさの評価方法について検討し、その変動要因について解析した。また、煮豆加工過程における種皮色の変化についても検討した。

第1節 実験方法

1. 供試材料

1992年～1995年の4年間に、十勝農試（淡色黒ボク土）、北見農試（表層多腐植質黒ボク土）、上川農試（士別市；褐色低地土、1994年のみ比布町；褐色低地土）および植物遺伝資源センター（灰色台地土）において栽培された、「大正金時」、「北海金時」、「丹頂金時」、「福勝」の金時類4品種、計43点を供試した。また、1992年

～1994年の3年間に、十勝管内の農家で栽培された「大正金時」、計68点を供試した。両者を合わせた各年次毎の供試点数は、1992年；24点、1993年；25点、1994年；60点、1995年；2点の合計111点であった。

栽培試験を行った各農業試験場の土壌の理化学性は、第3章と同様にして測定し、Table 31に示した。施肥量（N:P₂O₅:K₂O kg ha⁻¹）は、十勝農試；40:200:112、北見農試；36:144:84、上川農試；50:120:70、遺伝資源センター；36:108:84であった。なお、試料は収集してから分析時期まで5℃の恒温室に保存し、収穫後1年以内に分析を行った。

2. 分析・測定方法

百粒重、子実水分、タンパク含有率、およびデンプン含有率は、第2章および第4章と同様にして測定した。種皮色は、表面の汚れを除去した子実を、1粒ずつ6mmφの反射試料台上に置き（単粒法）、色彩色差計（東京電色 TC-1800 MK II）を用いて、L*値、a*値、b*値を1試料につき20回（色流れ粒に関わる測定では40回）測定し、第2章と同様にC*値を算出した。

種皮率は、25℃で18時間イオン交換水に浸漬後の子実を種皮と子葉部分に分離し、全乾物重量に対する種皮乾物重量の割合として算出した。

吸水増加比（WIRI）は、子実100粒を350mlのイオン交換水に25℃で18時間浸漬し、第2章と同様にして算出した。

煮熟粒は、子実100粒を350mlのイオン交換水に25℃で18時間浸漬後、オートクレーブにより98℃で20分煮熟して調製し、第2章と同様にして煮熟増加比（WIRB）を算出した。なお、煮熟条件を一定にするため、同時に煮熟する試料数は毎回6試料とした。

Table 31. Physicochemical properties of soil(0-15 cm) in the experimental plots at Hokkaido Agricultural Experiment Stations.

Location	Soil	pH	Truog P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	CEC cmol(+)kg ⁻¹	Ca	Mg	K	Total-C g kg ⁻¹	Total-N g kg ⁻¹	C/N
	Texture*				cmol(+)kg ⁻¹					
Tokachi	SL	5.9	43	16.0	3.6	0.5	0.3	38.1	2.0	18.9
Kitami	L	5.4	73	35.5	7.9	1.0	1.2	64.0	6.2	10.3
Kamikawa(Shibetu)	CL	5.1	240	13.5	4.6	0.8	0.8	10.2	1.3	7.8
Kamikawa(Pippu)	SL	6.1	510	15.0	5.3	2.0	1.2	24.8	1.9	12.8
PGRC	C	5.7	271	20.4	10.1	2.4	0.7	59.0	5.6	10.5

*Based on Japan Agricultural Society System.
PGRC; Plant Genetic Resources Center.

整粒率は、上記条件で煮熟した時に、皮切れおよび煮くずれのみられない粒数を全粒数に対する割合として算出した。

調味煮豆は、子実 300g に 1,200ml のイオン交換水を加え、25°C で 18 時間浸漬後、オートクレーブにより 98°C で 20 分煮熟し、10~15 分放置(煮熟後のかたさに応じて調整)後、オートクレーブから取り出し、直ちに水切りを行った。上白糖 200g および食塩 1.5g を 400ml の脱塩水に溶かした調味液に煮熟粒を入れ、オートクレーブにより 80°C で 3 時間加熱した。放冷後、5°C で一晚浸漬を続け、翌日調味液を廃棄することにより調製した。

3. 煮熟硬度の測定

煮熟粒の硬度は、単軸圧縮・引張型レオメータ(タケトモ電機テンシプレスサーTTP-50BX)を用いて測定した。測定モードはプランジャーが被測定物を 1 往復のみ圧縮する 1 バイト分析、試料変形速度は 2 mm s^{-1} 、測定時の試料温度は 20°C とし、1 試料につき 20 粒の測定を行った。プランジャーの形態は円柱型とし、直径 11.25 mm と直径 2.50 mm のものを使用した。なお、今回使用した単軸圧縮・引張型レオメータでは圧縮度の設定ができないため、50% 程度の圧縮度を得られるようにクリアランスを 5 mm に設定し、圧縮荷重 (N) を測定した。

4. 官能試験

20 歳代から 50 歳代の中央農試の職員 31~32 名をパネルとして、調味後の煮豆を用いて、煮豆を評価する際の重点項目および煮豆のかたさについて調査した。煮豆のかたさについては、子葉部および種皮部それぞれについて、基準試料のかたさを 0 とする相対評価で、-3 (非常にかたい) から 3 (非常に柔らかい) までの 7 段階の

評点法により、4 回の官能試験を行った。なお、機器測定値による硬軟と逆の評価を下したパネル数の全パネル数に対する割合を、ここでは誤認率と定義した。

第 2 節 結果および考察

1. 煮豆加工過程における種皮色の変化

(1) 煮熟による色の変化

金時類の煮豆の外観(色)の評価に際して、種皮色がその指標として用いることが可能であるかを検討するため、1994 年産の金時類 ($n=60$) を用いて、煮豆の調製過程における種皮色の変化について調査した。煮熟粒(未加糖)の色は煮熟前の種皮色に比べ、 L^* 値と b^* 値は高くなり、 a^* 値は低くなっていた (Fig. 39)。すなわち、明度 (L^* 値) は大きく上昇したが、彩度 (C^* 値) は低下し、明るく薄い色へと変化した。なお、種皮色と煮熟粒色との関係について検討した結果、いずれの測定値にも有意な相関関係は認められず、種皮色から煮熟粒の色を推定することは困難であると判断された。

次に、煮熟時間 10 分から 50 分までの煮熟過程における色の経時変化について調査した結果 (Fig. 40)、 L^* 値は煮熟時間 10 分から 20 分にかけて低下したが、その後の変化はほとんどみられなかった。また、 b^* 値は煮熟時間の増加に伴いやや上昇する傾向にあったが、 a^* 値ではほとんど変化がみられなかった。このように、煮熟による色の変化は、 L^* 値では煮熟後の早い段階に起こっていたが、それ以後の煮熟時間の長さによる影響は小さかった。

煮豆の加工過程における種皮色の変化をみるため、吸水後、煮熟後および調味後の色を調査した。その結果、Fig. 41 に示すように、 L^* 値は吸水後で著しく高くなったが、煮熟および調味により徐々に低下した。 a^* 値および

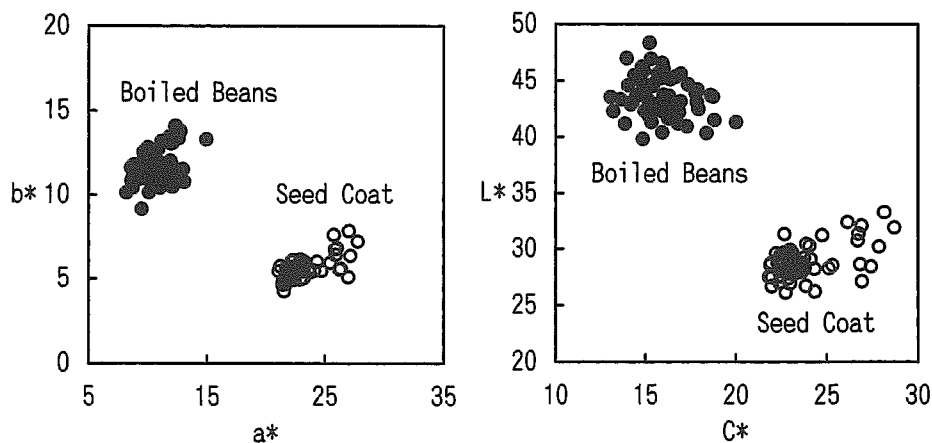


Fig.39. Relationship between seed coat colour and boiled bean colour. Kintoki beans were harvested in 1994 ($n=60$).

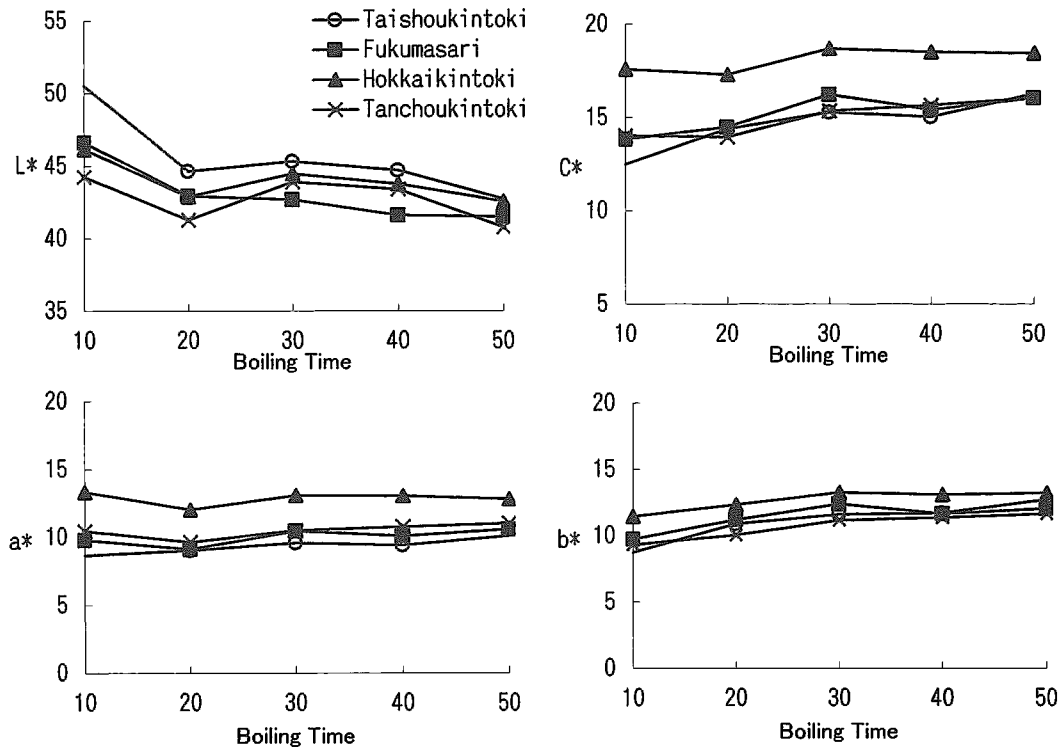


Fig.40. Changes in the seed coat colours with boiling time.

Kintoki beans were grown at Tokachi Agricultural Experiment Station in 1994.

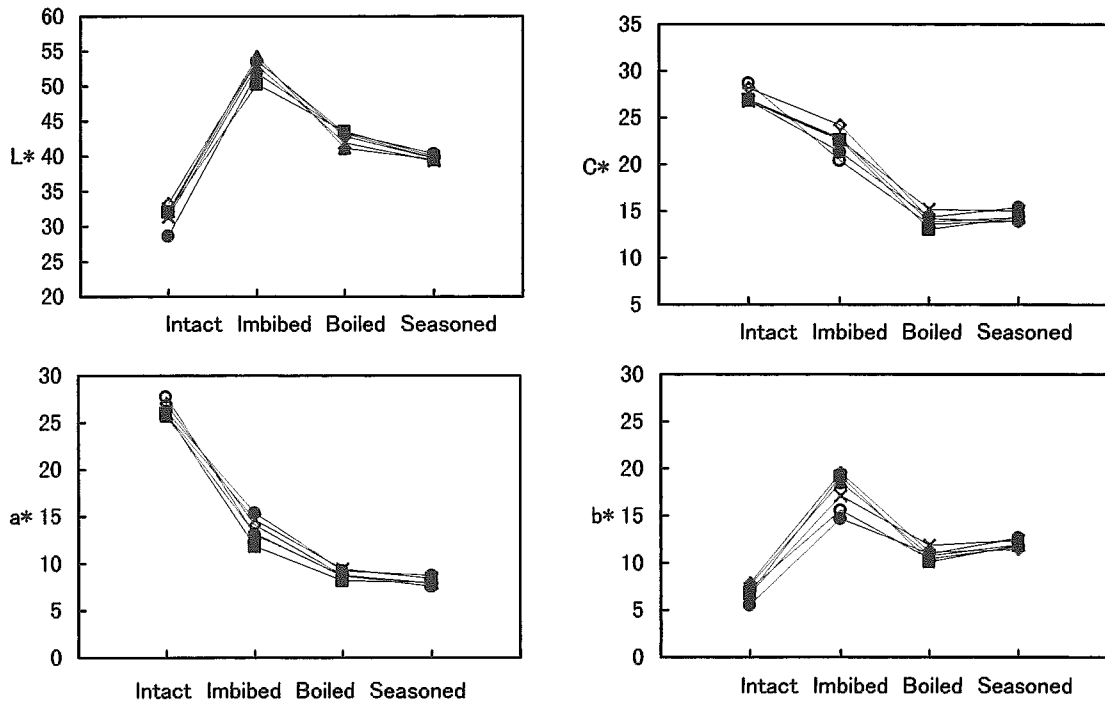


Fig.41. Changes in the seed coat colours during preparation of seasoned boiled beans.

Kintoki beans ('Taishoukintoki', 'Fukumasari' and 'Hokkaikintoki') were grown at Kamikawa Agricultural Experiment Station and Plant Genetic Resources Center in 1994 (n=6).

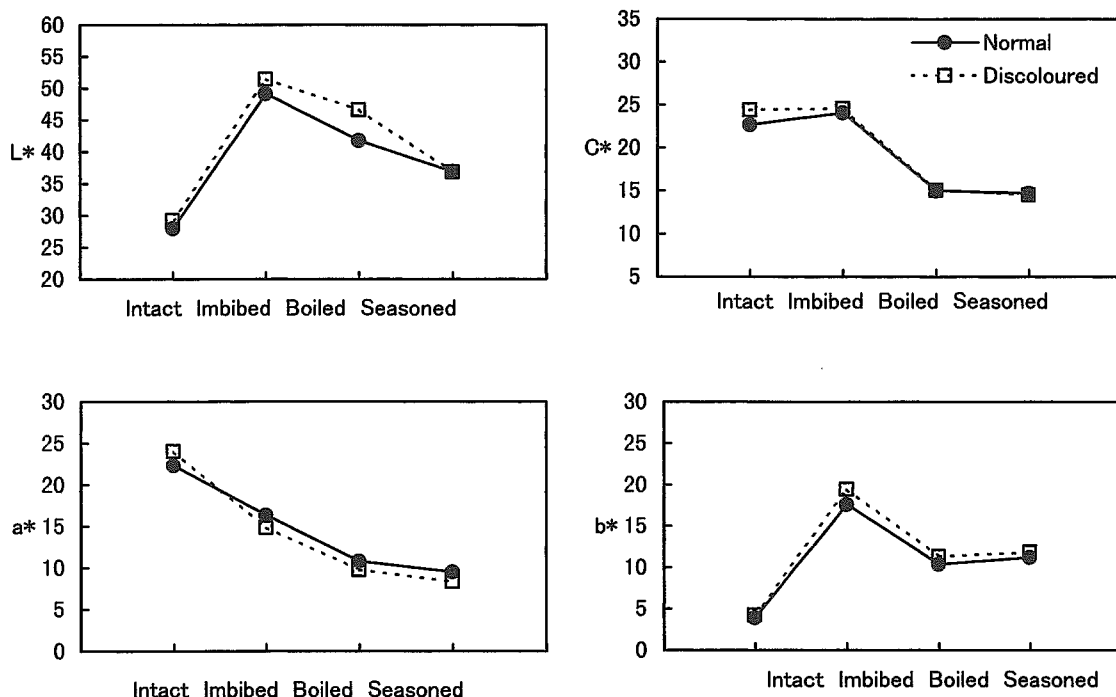


Fig.42. Changes in the seed coat colours of normal and discoloured seeds during preparation of seasoned boiled beans. Kintoki beans were grown at Tokachi Agricultural Experiment Station in 1995.

び C^* 値は吸水、煮熟、調味の過程で低下を続けたが、調味による変化は小さかった。 b^* 値では L^* 値と同様に、吸水後は著しく高くなり、煮熟により低くなる傾向がみられたが、調味後はわずかながら上昇した。このように、調味後の煮豆の色は、原料子実の種皮色に比べ、 L^* 値および b^* 値は高くなるが、 a^* 値は低下し、赤味が薄く黄色味の濃い、やや明るく薄い色へと変化した。

(2) 色流れ粒における色の变化

金時類は収穫期の降雨により色流れ粒を生ずる場合があり、流通上の大きな問題となっている。このような、外観品質の著しく低下（種皮色が不均一に脱色）した原料を用いて、煮豆を調製した場合の色の变化について検討した。

Fig. 42 に示すように、種皮色の平均値で比較すると、色流れ粒は正常粒に比べ、 a^* 値および C^* 値がやや高く、 L^* 値および b^* 値ではわずかな差しか認められなかった。しかし、各測定値の変動係数（CV）を比較すると、色流れ粒では L^* 値および b^* 値で大きなばらつきがみられた（Fig. 43）。すなわち、色流れ粒の L^* 値および b^* 値は、平均値で比較すると正常粒と大きな差はなかったが、子実により色むらが大きいことを示していた。

煮豆の加工過程における色の变化を比較すると、吸水および煮熟過程において、色流れ粒の a^* 値は正常粒より低下していた。調味後の煮豆の色で比較すると、色流

れ粒は正常粒に比べ、やや赤味が薄く黄色味が濃い色となったが、平均値で比較するとほとんど差が認められなかった。しかし、種皮色でみられた色むらは煮豆となっても個体間の差として現れており、色流れ粒の煮豆色のばらつきは正常粒よりも大きく、特に a^* 値では変動係数が20%を越えていた（Fig. 44）。

このように、著しい色流れ粒を用いた場合には、種皮色の不均一性が調味後の色にまで影響を及ぼし、煮豆の色のばらつきとして現れることが確認された。

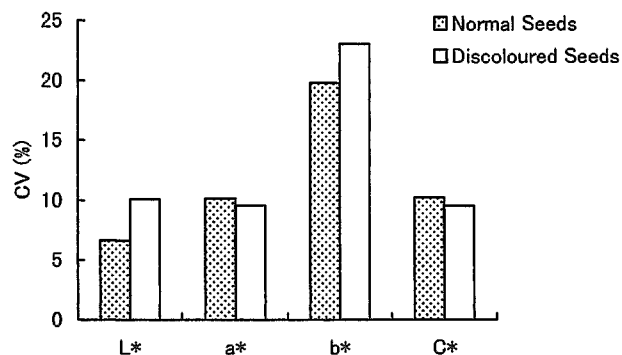


Fig.43. Coefficients of variance for seed coat colour of normal and discoloured seeds. Forty seeds of 'Taishoukintoki' harvested in 1995 were used for the calculation.

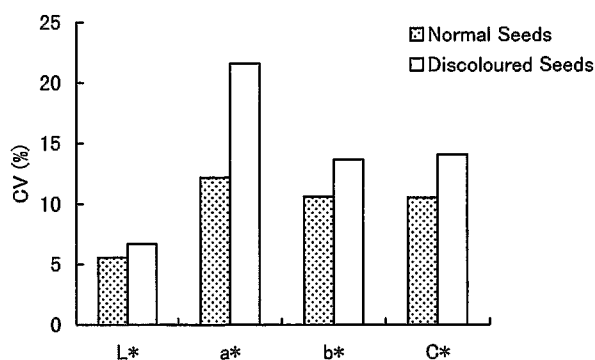


Fig.44. Coefficients of variance for boiled beans colour of normal and discoloured seeds. Forty seeds of 'Taishoukintoki' harvested in 1995 were used for the calculation.

2. 煮熟硬度の測定

(1) 煮熟硬度測定条件の設定

単軸圧縮・引張型レオメータ（テンシプレッサー）による煮熟硬度の測定条件について検討した結果, Fig. 45に示すように, 断面積が被測定物よりもやや小さい直径11.25mmのプランジャーを用いると, 最大荷重は圧縮終了点付近に認められた. 圧縮終了点では圧縮度が50%程度となっており, 子葉部のかたさが最大荷重として表現されるものと考えられたため, 圧縮抵抗の最大荷重を子葉部硬度として評価した. 一方, 直径2.50mmのプランジャーを用いると, 最大荷重は種皮貫入時に認められたことから, 貫入抵抗の最大荷重を種皮部硬度として評価した.

この条件で, 1994年産の十勝農試産金時類4品種を用

いて, 煮熟硬度を20粒ずつ測定した時の変動係数の平均値は, 子葉部で17.0% (最小値13.4%~最大値21.3%), 種皮部で20.0% (最小値16.1%~最大値25.9%)と種皮部でやや高かった. 収穫年次が異なる場合にも同様の傾向が認められた. また, この子葉部硬度の変動係数は, 矢ヶ崎ら (1994) が蒸煮ダイズ20粒の硬度を, 直径10mmのプランジャーを用いてレオメータにより測定した時の変動係数と同程度であった.

(2) 煮熟時間の検討

金時類主要4品種の煮熟時間と煮熟粒（整粒）の硬度との関係を Fig. 46に示した. 子葉部の硬度は, 98°Cに到達後の煮熟時間10分ではどの品種でも高く, 十分に煮熟していない状態であったが, 煮熟時間20分で著しく低下し, その後50分まではほぼ直線的に漸減した. 一方, 種皮部では煮熟時間50分まで漸減傾向にあり, 部位により軟化の挙動に差が認められた. アズキでは, 80°Cの加熱でデンプンの糊化度は70%以上に上昇する (渡辺ら, 1982b)と報告されている. 金時類の子葉部の硬度が煮熟時間20分で大きく低下したのは, この間にデンプンの糊化が急速に進んだためと考えられた. また, 煮熟時間を変化させても品種間の順位はほぼ維持されていた.

煮熟時間による整粒率の推移 (Fig. 47) をみると, 煮熟20分まではどの品種でも整粒率は90%以上を維持していたが, 煮熟30分以降, 品種による差が大きくなり, 煮熟40分では50%を下回る場合も認められた. これらのことから, 金時類の煮熟硬度の一般的測定条件としては, 整粒率90%以上を維持し, 煮熟がある程度進行している煮熟時間20分が適当であると判断した.

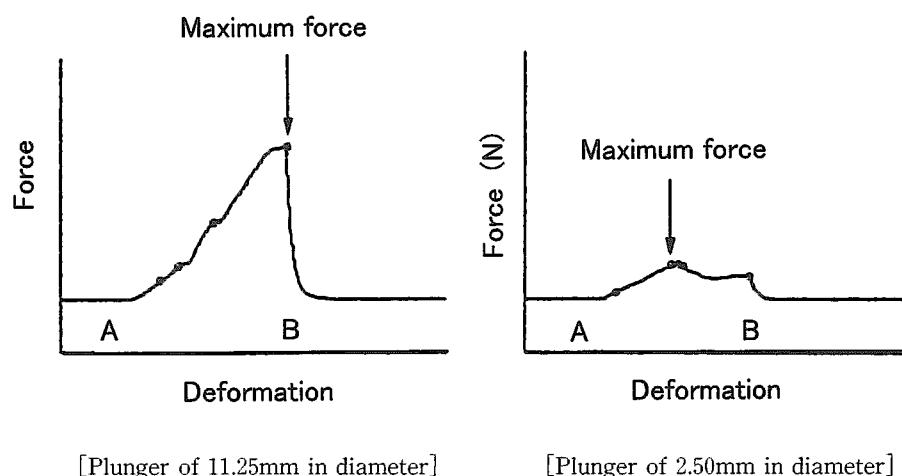


Fig.45. Force-deformation curves of boiled beans. Hardness of cotyledon was measured as a maximum force of compression by plunger of 11.25mm in diameter, and hardness of seed coat was measured as a maximum force of sticking by plunger of 2.50mm in diameter. A: Surface of sample, B: Position of plunger end at maximum compression.

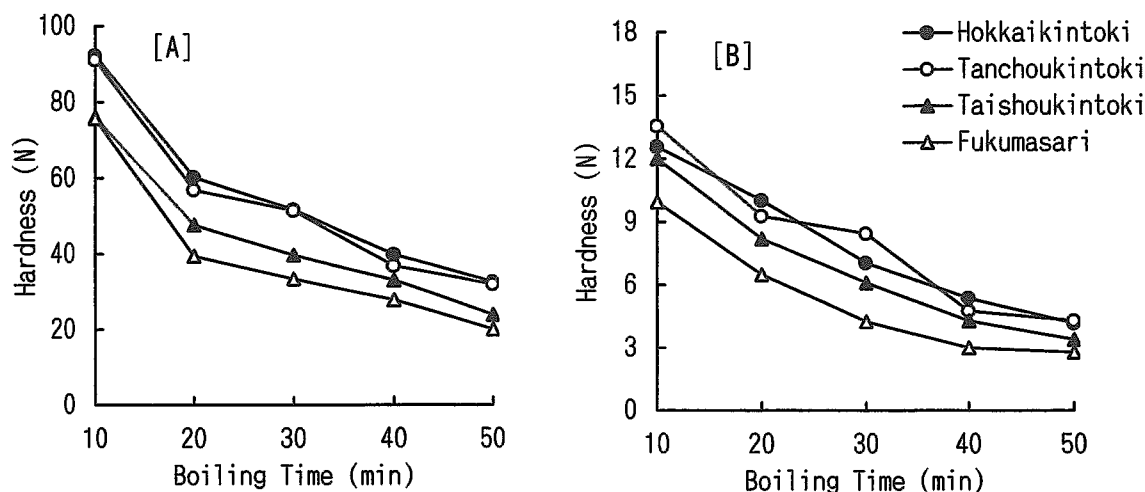


Fig.46. Influence of boiling time on hardness of boiled beans.
Kintoki beans were grown at Tokachi Agricultural Experiment Station in 1994.
[A]; Hardness for cotyledon, [B]; Hardness for seed coat.

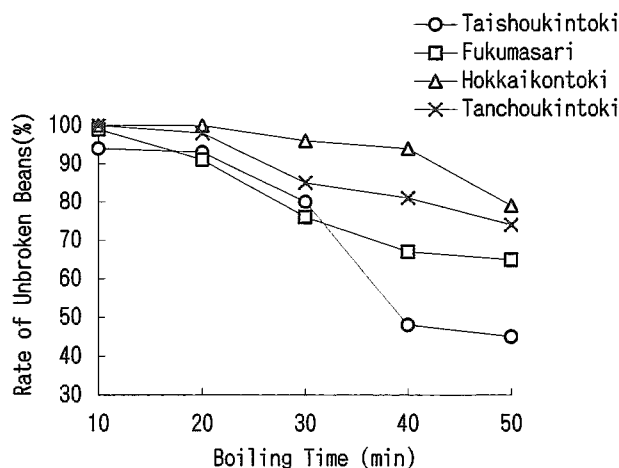


Fig.47. Changes in rate of unbroken beans with boiling time.
Kintoki beans were grown at Tokachi Agricultural Experiment Station in 1994.

(3) 煮熟硬度と煮熟増加比の関係

煮熟時間を変化させた場合、子葉部および種皮部の硬度は低下したが、煮熟増加比は増大する傾向がうかがわれた (Fig. 48)。そこで、1994 年産の金時類 60 点を用いて両者の関係について検討した。その結果、Fig. 49 に示すように、煮熟増加比と子葉部硬度の間には、 $r = -0.643^{**}$ の高い負の相関関係が認められた。また、煮熟増加比と種皮部硬度の間にも、 $r = -0.676^{**}$ の高い負の相関関係が認められた。また、子葉部硬度と種皮部硬度の間にも高い正の相関関係がみられた ($r = 0.757^{**}$) ことから、煮熟増加比が煮熟粒硬度の指標として用いることが可能であると考えられた。

次に、1994 年の十勝農試産金時類主要 4 品種を用いて、10 分から 50 分まで煮熟時間を変化させた時の煮熟硬度 ($n=20$) を基に、子葉部と種皮部それぞれの硬度を煮熟増加比より推定することを試みた。Fig. 50 に示すように、子葉部硬度 (Y_1) は煮熟増加比を説明変数とした(8)式により、決定係数 $R^2=0.875$ 、標準誤差 7.3N という高い精度で推定が可能であった。

$$Y_1 = -1342.4 X + 251.6 X^2 + 1814.6 \quad (8)$$

同様に、種皮部硬度 (Y_2) は煮熟増加比を説明変数とした(9)式により、決定係数 $R^2=0.819$ 、標準誤差 1.3N という高い精度で推定が可能であった。

$$Y_2 = -157.6 X + 28.6 X^2 + 220.1 \quad (9)$$

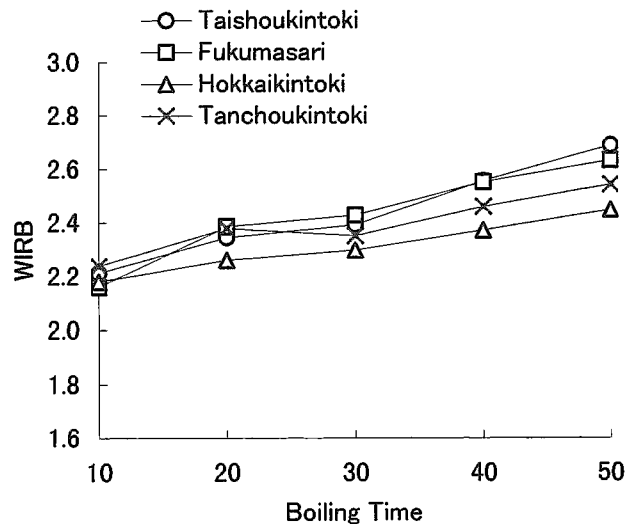


Fig.48. Changes in Weight Increase Ratio by Boiling (WIRB) with boiling time. Kintoki beans were grown at Tokachi Agricultural Experiment Station in 1994.

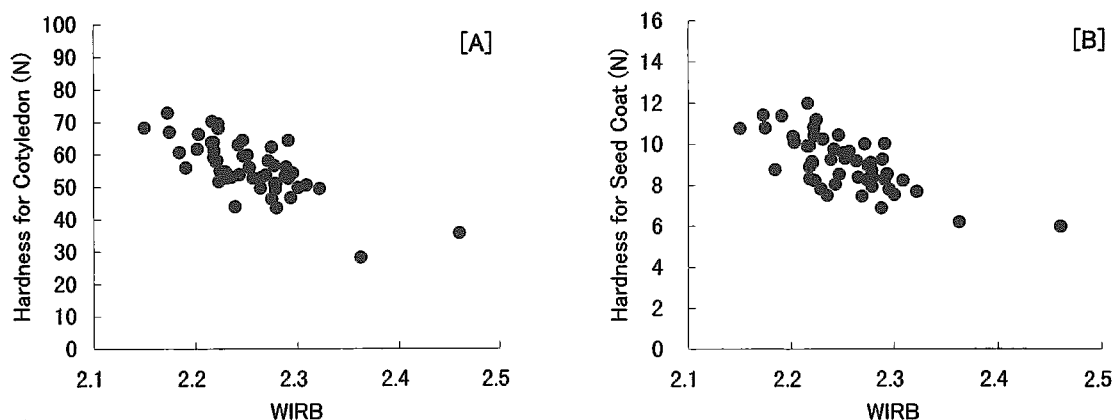


Fig.49. Relationship between hardness of boiled beans and Weight Increase Ratio by Boiling (WIRB). Kintoki beans ('Taishoukintoki') were harvested in 1994 (n=60). [A]; Cotyledon, [B]; Seed Coat.

インゲンマメではダイズと同様の膨潤過程を示し、浸漬後約8時間で重量および体積は飽和値に達することが知られている(黒田ら, 1993)。しかし、ダイズでは蒸煮時の重量増加比が、浸漬時の重量増加比と相関が認められている(平, 1983)のに対し、本試験での浸漬時の吸水増加比と煮熟増加比の間には一定の傾向は認められず、吸水増加比の煮熟硬度への関与も認められなかった。この理由としては、浸漬時の重量増加には、膨張した種皮と子葉部との間における水の保持等も考えられ、煮熟により内部に取り込まれた水による重量増加(デンプン粒の膨潤・糊化等)とは異なることが推察された。

このように、煮熟増加比は煮熟硬度に大きく関与して

おり、レオメータのような物性測定機器が使用できない場合には、煮熟増加比による煮熟硬度の推定が可能であることが示唆された。

3. 煮豆のかたさと官能評価

(1) 煮豆の官能評価に影響を及ぼす評価項目

一般に、煮豆製造業者では、製品の出来上りを均一にするために、用いる原料により煮熟時間や味付けの調整が行われている。煮豆の嗜好性を評価する上で、どのような特性が重要であるかを調査するために、外観およびかたさの異なる2品種を用いて、同一条件で煮豆を調理し、中央農試職員31名により官能検査を行った。なお、

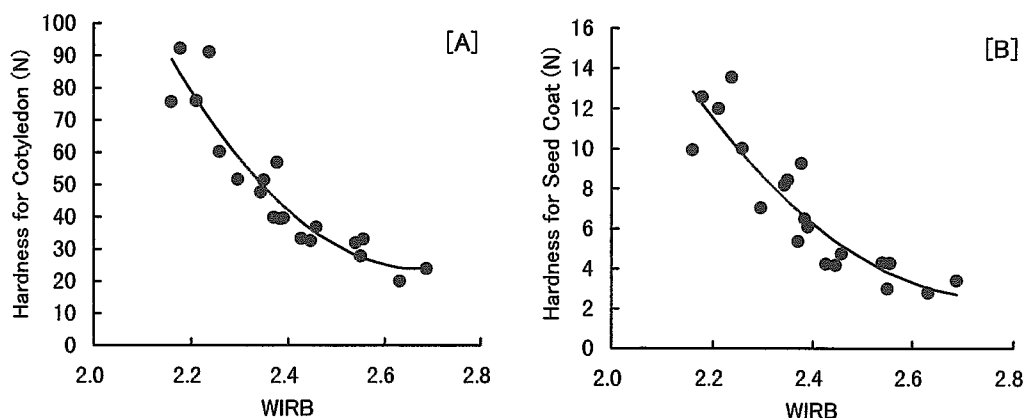


Fig.50. Regression curve for hardness of boiled beans from Weight Increase Ratio by Boiling (WIRB).
 [A]; Cotyledon $Y_1 = -1342.4X + 251.6X^2 + 1814.6$, $R^2 = 0.875$, $n = 20$
 [B]; Seed Coat $Y_2 = -157.6X + 28.6X^2 + 220.1$, $R^2 = 0.819$, $n = 20$

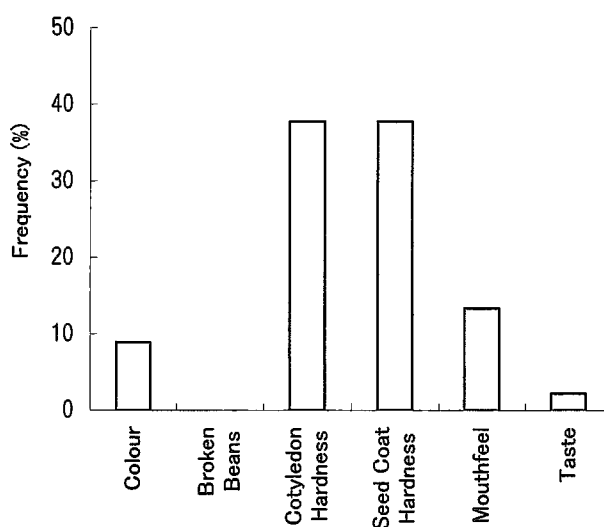


Fig.51. Most important item for sensory evaluation.
 Comparison between 'Hokkaikintoki'
 and 'Fukumasari',

かたさについては子葉部と種皮部のかたさを独立項目として調査し、最重点項目として上げられた項目のみを集計した。その結果、Fig. 51 に示すように、色や煮くずれといった外観形質や味を重視している人は10%未満であったのに対し、子葉部や種皮部のかたさを重視している人はともに38%おり、合計で76%の人がかたさを重視していることが判明した。また、舌ざわりを重視している人も13%いた。

このように、煮豆の嗜好性には、かたさや舌ざわりなどのテクスチャーが大きく関与していることが明らかとなった。なお、舌ざわりについては種皮のかたさや口中での皮残りが関与していることも推察された。また、味については、本結果ではあまり重視されていなかった。

これは、品種が異なっても、同一の調味条件で煮豆を調製したために味の違いは小さく、原料の差異よりもむしろ加工時の調味による影響が大きいと考えられた。

(2) 煮豆のかたさの評価

市販の煮豆製品では、煮熟後に新たな調味液に浸漬して再加熱後、レトルト殺菌を行うものが多い。そこで、煮熟硬度と官能評価の関係をみるために、煮熟後に調味液に浸漬した煮豆を用いて官能検査を実施した。なお、調味後の硬度は1/2程度に低下するが、煮熟後と調味後の子葉部硬度の間には $r=0.9$ 以上の高い正の相関関係が認められた。しかし、種皮部硬度では、収穫年次により有意な相関関係が認められない場合もあった。

調味後の煮豆硬度と官能評価値の関係については、Table 32 に示すように、「大正金時」による同一品種内の比較では、調味後の子葉部硬度の差が3 N程度、種皮部硬度の差が1 N程度あれば官能評価の平均値には有意差が認められた。また、機器測定による硬軟と逆の評価を下した誤認率も10%以下と小さかった。一方、異なる品種による比較でも、官能評価の平均値に有意差が認められたが、調味後の子葉部硬度の差が10 N以上、種皮部硬度の差が1.5 N以上と大きい場合でも、誤認率は同一品種の比較の場合を上回った。ただし、かたさの官能評価値と機器測定による圧縮力とは関連性が認められた。

このように、同一品種内の比較では、煮豆の硬度の違いをほとんどの人が識別できたが、異なる品種間の比較では、硬度の差異がより大きくとも、誤認率は同一品種間の場合よりも高かった。一般に、官能検査では複合的な要因を感知して判断するため、機器測定値と矛盾する場合もあり(古川, 1994)、本試験においても異なる品種

Table 32. Sensory hardness of boiled and seasoned beans.

Standard Variety	Comparing Variety	Cotyledon			Seed Coat		
		Objective Hardness(N) ^a	Subjective Hardness ^b	Disagreement (%) ^c	Objective Hardness(N) ^a	Subjective Hardness ^b	Disagreement (%) ^c
Taishoukintoki	Taishoukintoki	2.5	1.19**	3.2	0.7	1.23**	6.5
Taishoukintoki	Taishoukintoki	-3.5	-0.61**	3.2	-1.2	-0.52**	9.7
Fukumasari	Hokkaikintoki	-4.2	-1.42**	19.4	-1.5	-1.31**	12.9
Taishoukintoki	Fukumasari	10.8	1.13**	12.9	1.8	0.81**	12.9

^a; Difference of hardness measured by rheometer between standard and comparing varieties.

^b; Difference of hardness obtained by sensory evaluation between standard and comparing varieties, -3; very hard, 0; same, +3; very soft, **; Significantly different at P<0.01.

^c; Percentage of panelist who's evaluation disagreed with the hardness measured by rheometer.

間で比較した場合には、かたさ以外のテクスチャーや粒大、色などに差異があることが、官能による識別率の低下につながったものと考えられた。

4. 煮熟硬度の変動要因

(1) 煮熟硬度の品種間および年次間差異

1992年～1994年に十勝農試で栽培された金時類を用いて、品種および年次間の煮熟硬度を比較した結果をTable 33に示した。主要品種である「大正金時」の煮熟硬度に比べ、「福勝」では子葉部および種皮部硬度とも低い傾向にあり、「北海金時」および「丹頂金時」では高い傾向にあった。なお、「福勝」の子葉部および種皮部硬度には、「北海金時」および「丹頂金時」との間に5%水準で有意差が認められた。また、「福勝」では他の品種に比べ種皮率が有意に低く、いずれの年次でも種皮部硬度が低いという特徴があった。このように、煮熟硬度には品

種により差異が認められ、部位別に測定することにより、品種特性をより明確にできるものと考えられた。

次に、煮熟硬度が一定の軟らかさに達する時間について、品種間の比較を行った。子葉部硬度が「大正金時」の煮熟硬度のほぼ平均値(50.9±10.1N, 3年合計81点)に相当する50Nとなる時間について検討した結果(Fig. 46), 「大正金時」や「福勝」では20分以内に到達するのに対し、「北海金時」や「丹頂金時」では30分以上を要した。同様に、種皮部硬度が「大正金時」のほぼ平均値(8.2±1.6N, 3年合計81点)に相当する8Nとなる時間は、「福勝」では20分以内であるのに対し、「大正金時」では20分以上、「北海金時」や「丹頂金時」では30分以上を要した。このように、一定の軟らかさに達するための煮熟時間にも品種間差異が認められ、煮熟時間20分における煮熟硬度の高低と一致していた。

煮熟硬度を収穫年次間で比較すると(Table 33), 1992

Table 33. Differences in hardness of boiled Kintoki beans differing varieties and harvest year.

Variety	Year	Cotyledon Hardness(N)	Seed Coat Hardness(N)	Percentage of Seed Coat(%) [*]	100-seed Weight (g) [*]
Taishoukintoki	1992	37.9	5.6	6.1	73.1
	1993	35.5	6.1	7.0	56.2
	1994	50.5	8.2	7.4	49.7
	Mean±SD	41.3 ^{ab} ±8.1	6.6 ^{ab} ±1.4	6.9 ^a ±0.7	59.6 ^a ±12.1
Fukumasari	1992	31.0	4.6	5.5	86.2
	1993	37.8	5.5	5.8	72.9
	1994	35.5	5.5	6.7	56.6
	Mean±SD	34.8 ^a ±3.4	5.2 ^a ±0.5	6.0 ^b ±0.6	71.9 ^b ±14.8
Hokkaikintoki	1992	37.0	6.0	6.1	89.4
	1993	44.7	7.8	6.4	74.0
	1994	58.3	9.4	7.3	59.3
	Mean±SD	46.7 ^b ±10.8	7.8 ^b ±1.7	6.6 ^a ±0.6	74.3 ^b ±15.3
Tanchoukintoki	1992	38.5	6.1	6.1	91.7
	1993	46.3	7.4	7.1	72.1
	1994	52.7	9.9	7.5	55.0
	Mean±SD	45.8 ^b ±7.1	7.8 ^b ±1.9	6.9 ^a ±0.8	72.9 ^b ±18.3

Means which share no common following letters differ significantly at P=0.05.

Kintoki beans were grown at Tokachi Agricultural Experiment Station, *; Dry weight basis.

年産は供試4品種とも子葉部、種皮部共に煮熟硬度が最も低く、百粒重が大きく、種皮率が低い傾向にあった。1994年産は「福勝」を除き、子葉部、種皮部共に煮熟硬度が高く、百粒重が小さく、種皮率が高い傾向にあった。なお、調査した3年のうち、1992年は平年（十勝農試の7月～9月の日平均気温18.1℃；前10年間の平均値）に近い気温（同17.4℃）であったが、1993年は低温・湿潤の冷害年（同15.4℃）、1994年は異常高温・乾燥年（同20.4℃）と、著しく気象状況の異なる2年を含んでいる。このように、同一圃場において同一条件で栽培したものであっても、収穫年次により煮熟硬度には大きな変動が認められた。なお、金時類では収穫年次によって粒大は著しく変動し、百粒重と煮豆の内部を構成するアン粒子の大きさとの間には正の相関関係が認められる（加藤ら、1995）ことから、アン粒径の差異も煮熟硬度に影響を及ぼす要因の一つと考えられた。

(2) 煮熟硬度に及ぼす栽培環境の影響

1992年～1994年産の「大正金時」を用いて、施肥条件および土壌条件の異なる栽培地における煮熟硬度の比較を行った。なお、上川農試では土別市と比布町で栽培を行ったが、両市町とも土壌の種類は褐色低地土で、上川中部の類似した気象条件の地域に位置するため、同一地域として扱った。Fig. 52に示すように、3年間の平均値で比較すると、4試験地の中では、淡色黒ボク土の十勝農試で栽培された金時の煮熟硬度が子葉部および種皮部共に低い傾向にあり、灰色台地土の遺伝資源センターでも十勝農試と同程度であった。しかし、表層多腐植質黒ボク土の北見農試では子葉部硬度が高く、褐色低地土の

上川農試では種皮部硬度が高い傾向にあった。そこで、土壌の種類と子葉部および種皮部硬度の関係について分散分析を行った結果、土壌の種類による有意差は認められなかった。

各試験地における窒素施肥量は大きく異なり、上川農試では50kg ha⁻¹と遺伝資源センター（36kg ha⁻¹）よりも4割ほど多かったが、煮熟硬度には有意差が認められなかった。リン酸肥沃度は、Table 31に示したように、十勝農試と上川農試（比布）ではトルオーグリン酸で10倍以上の差異があり、また、他の試験地においても土壌の理化学性には著しい差異が認められたが、煮熟硬度にはこれらの影響は認められなかった。一方、それぞれの試験地における施肥および土壌条件は毎年同一であるにも関わらず、栽培地間の煮熟硬度の順位は年次により異なった。よって、施肥量や土壌の理化学性は、煮熟硬度に直接的な影響を及ぼしていないものと考えられた。

なお、煮熟硬度の栽培地間の変動係数（3年間の平均値）は、子葉部硬度で19.1%、種皮部硬度で15.9%であったのに対し、年次間での変動係数（十勝農試）は、子葉部硬度で19.6%、種皮部硬度で21.0%となっており、種皮部硬度の変動は年次間で特に大きい傾向にあった。よって、栽培地間で認められた煮熟硬度の差異には、施肥や土壌条件よりも気象条件の関与が大きいものと考えられた。従来より、金時類では栽培期間中の気象条件により百粒重が大きく変動することが知られているが、外觀形質のみならず煮熟硬度といった加工適性に関わる特性値までもが気象要因の影響を受けていることが推察された。

(3) 煮熟硬度に関与する各種要因

金時類の煮熟硬度は年次間で大きく変動することが確認されたことから、気象要因との関係について検討した。金時類は開花後約2週目から子実の肥大が開始し、約6週目で最大肥大期を迎え、その後子実水分の低下と共に約8週目で成熟期となる。「大正金時」の作況データがある十勝農試および北見農試における調査した3年の平均登熟日数は53日であったが、子実肥大期間に相当する開花後約2週目～6週目までの30日間について、気象要因と煮熟硬度との関係について解析した。Table 34に示すように、子葉部硬度および種皮部硬度は共に、平均気温または気温日較差とは有意な相関は認められなかったが、降水量とは負の、日照時間とは正の高い相関関係が認められた。すなわち、子実肥大期の降水量が少なく、日照時間が長いほど煮熟硬度は高くなる傾向にあった。前述した1994年産の煮熟硬度が高かった理由としては、このような気象条件の影響が考えられる。

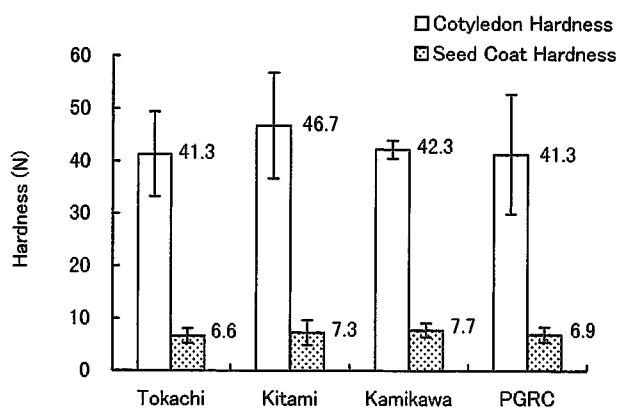


Fig. 52. Differences in hardness of boiled beans of 'Taishoukintoki' between different growing locations. Kintoki beans were harvested at Hokkaido Agricultural Experiment Stations in 1992. PGRC; Plant Genetic Resources Center.

Table 34. Correlations between hardness of boiled beans and weather factors.

Factors	Cotyledon Hardness	Seed Coat Hardness
Mean Temp.	0.398	0.471
Temp. Difference	-0.100	0.134
Rainfall	-0.945**	-0.832*
Sunshine Hours	0.833*	0.864*

*, $P < 0.05$, **, $P < 0.01$, Beans were harvested at Tokachi and Kitami Agricultural Experiment Stations in 1992 to 1994. Data for weather factors from 2 weeks to 6 weeks after flowering (30 days) were used for the calculation. Mean Temp.; Average of daily mean temperature, Temp. Difference; Average of daily difference between maximum and minimum temperature.

煮熟硬度に関与する要因として、ダイズでは原料豆の水分が浸漬時や蒸煮時の重量増加比や蒸煮ダイズの硬度に影響を及ぼすことが報告されている（平，1983；西原，1989）。一方、インゲンマメの中でも大福類では、原料豆の水分が10%以下で吸水増加比および煮熟増加比の低下が認められている（著者・未発表）。金時類の煮熟硬度には降水量と有意の相関が認められたことから、収穫後の乾燥調整段階における子実水分の差異が影響を及ぼすことも考えられたため、水分と煮熟硬度の関係について検討した。しかし、子実水分6.6%から15.7%の範囲では、子葉部、種皮部共に煮熟硬度に大きな差は認められず、未煮熟粒等の煮えむらも見られなかった。インゲンマメでは浸漬後約8時間で、重量および体積が飽和値に達することが知られており（黒田ら，1993）、本試験条件では、浸漬過程（25°C，18時間）において膨潤が十分に進行するために、通常用いる原料豆の水分の範囲内（10%～16%程度）では、煮熟硬度にほとんど影響が認められないものと考えられた。従って、降水量と煮熟硬度の間に認められた高い相関関係は、成熟期における子実の構成成分に生育環境の水分条件が影響を及ぼすためと推察されるが、その詳細については確認できなかった。

1992年～1994年産の「大正金時」81点を用いて、煮熟硬度と品質関連形質の関係について検討した。Table 35に示すように、種皮部硬度と百粒重との間には有意な負

の相関関係（ $r = -0.613^{**}$ ）が、種皮率との間には有意な正の相関関係（ $r = 0.597^{**}$ ）が認められた。また、子実成分との関係についてみると、子葉部硬度および種皮部硬度はタンパク含有率とは正の（それぞれ $r = 0.593^{**}$, $r = 0.549^{**}$ ）、デンプン含有率とは負の（それぞれ $r = -0.579^{**}$, $r = -0.604^{**}$ ）相関関係が認められた。すなわち、百粒重の小さな年次ほど種皮率が高い（ $r = -0.918^{**}$ ）ため、種皮部硬度は高くなる傾向にあるものと考えられた。また、タンパク含有率が低い年次ではデンプン含有率が高く（ $r = -0.673^{**}$ ）、子葉細胞内のデンプン粒の糊化に伴う膨潤の程度が大きいために、子葉部硬度が低くなる傾向にあるものと考えられた。しかし、単年度毎に見た場合には、これらの形質の変異が小さいために、煮熟硬度との間には有意な相関関係は認められなかった。

一方、ダイズでは浸漬時の金属イオンの作用により軟化効果が認められ（中村ら，1992）、金時類についても塩化鉄（II）および塩化ナトリウム溶液に2段階浸漬して蒸煮した場合の硬度には官能的に有意差が認められている（中村ら，1993）。本試験では、浸漬および煮熟はイオン交換水で行っているため、原料豆の無機成分含量や煮汁 pH にはほとんど差異が認められず、無機成分含量の煮熟硬度に対する直接的な関与は確認されなかった。

第3節 要 約

インゲンマメ（金時類）の、煮豆加工過程における種皮色の変化について検討すると共に、煮豆の加工特性に大きな影響を及ぼすかたさの評価方法、およびその変動要因について検討し、以下の結果を得た。

(1)煮豆加工過程における種皮色の変化としては、 L^* 値は吸水により高くなり、煮熟および調味により徐々に低下した。 a^* 値は吸水、煮熟、調味の過程で低下を続けたが、調味による変化は小さかった。 b^* 値は吸水後は高くなり、煮熟により低くなったが、調味後はわずかながら高くなった。しかし、種皮色と煮熟粒色との間には一定の関係は認められず、種皮色から煮熟粒の色を推定する

Table 35. Correlations between characteristics related to hardness of boiled beans of 'Taishoukintoki'.

	Seed Coat Hardness	100-seed Weight	Percentage of Seed Coat	Protein Content	Starch Content
Cotyledon Hardness	0.835**	-0.421**	0.387**	0.593**	-0.579**
Seed Coat Hardness		-0.613**	0.597**	0.549**	-0.604**
100-seed Weight			-0.918**	-0.467**	0.444**
Rate of Seed Coat Weighth				0.372**	-0.346**
Protein Content					-0.673**

**; $P < 0.01$, Kintoki beans were harvested in 1992 to 1994 ($n = 81$).

ことは困難であった。色流れ粒を用いて煮豆を調製した場合、調味後の煮豆色の平均値には正常粒と大きな差は認められなかったが、種皮色の色むらが煮豆色のばらつきとして現れた。

(2)煮熟硬度を評価するための測定条件を検討し、単軸圧縮・引張型レオメータ（テンシプレッサー）を用い、煮熟時間 20 分における、直径 11.25mm のプランジャーによる圧縮抵抗および直径 2.50mm のプランジャーによる貫入抵抗の最大荷重を、それぞれ子葉部硬度および種皮部硬度として評価した。また、煮熟増加比と煮熟硬度の間には高い負の相関関係が認められ、煮熟増加比の大きなインゲンマメでは、子葉部および種皮部の煮熟硬度が低く、これらは煮熟増加比を説明変数とした回帰式により推定が可能であった。

(3)煮豆の嗜好性を評価する上では、かたさの影響が大

きかった。煮豆のかたさの官能評価値には、機器測定値との間に関連性が認められたが、異なる品種間での比較では、同一品種間の比較よりも識別率が劣った。

(4)煮熟硬度の品種による特徴としては、主要品種である「大正金時」に比べ「福勝」の子葉部硬度は低く、「北海金時」および「丹頂金時」では高い傾向にあった。「福勝」の種皮部硬度はいずれの年次でも他品種よりも低かった。煮熟硬度には収穫年次および栽培地により変動が認められたが、施肥および土壌条件による差は認められなかった。百粒重が小さく種皮率が高い年次では種皮部硬度が高く、タンパク含有率が低くデンプン含有率が高い年次では子葉部および種皮部硬度が低い傾向にあった。煮熟硬度の年次間の変動要因としては、降水量や日照時間といった気象要因の関与が示唆された。