

第1章 緒 論

第1節 研究動向の概要

アズキ (*Vigna angularis* (willd.) Ohowi and Ohashi) は日本における重要なマメ科作物であり、世界的に見ても、日本、中国、韓国、台湾などの東アジアが栽培の中心地であり、それぞれの地域における伝統的な食文化と密接に結びついている (Lumpkin and McClary, 1994)。1998年に日本において生産されたアズキの85%は北海道で生産されており、北海道産アズキの約7割はアンとして加工され、高級な和菓子の原料として用いられている (北海道; 1999a, b)。現在、日本における主要品種である「エリモショウズ」は、日本のアズキ品種のほとんどを育種している北海道立十勝農業試験場で1981年に育成され (村田ら, 1985)、種皮色や粒大、風味といった品質の良好性から、製菓業者や消費者から高い評価を得ている。

しかしながら、アズキの品質については、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によるところが大きく、その評価が異なる場合も多く認められる。一般に、製アン業者や製菓業者などの実需者がアズキの品質を評価するに当たっては、種皮色や粒大などの外観形質をはじめ、煮えやすさや煮えむらの有無といった煮熟特性や煮熟臭等が重視されている。特に近年、製アン過程の機械化に伴って、従来行われていたアズキの煮熟状態を逐次確認しながらの作業は困難となってきた。そのため、原料を選別する上では、同一条件で作業を行える均質なアズキが大量に望まれると共に、品質の評価指標の確立が要望されている。また、農業生産現場においても品質向上を図るに当たっての具体的な目標値がなく、基準値等の設定の必要性が高まっている。

アズキの品質特性に関する報告としては、品種または栽培地域による成分組成の差異に関するもの (相馬ら, 1989a; 平ら, 1989) や、粒大変異に関するもの (由田ら, 1990) などがある。また、土壌の種類が子実の無機および有機成分組成に影響を及ぼすとの報告もある (畑井ら, 1994a, b)。Tjahjedi ら (1984, 1988) は、アズキからデンプンおよびタンパク質を単離し、その特性が他作物と異なることを報告している。フェノール成分に関しては、数種のプロアントシアニジンが認められており (Ariga and Asao, 1981)、その大部分は種皮に含まれている (畑

井ら, 1996a)。近年、ポリフェノールの持つ機能性が注目されているが、アズキのプロアントシアニジンにも高い抗酸化活性が認められており (Ariga *et al.*, 1998, 1990)、発芽過程においても抗酸化活性が発現されるとの報告もある (小嶋ら, 1997)。

アズキの種皮には数種のアントシアニン色素が認められており (Sasamura *et al.*, 1966; 喜多ら, 1993)、種皮色は品種によって異なるのみならず、同一品種でも年次や栽培地によって大きく異なることが知られている (浅間ら, 1984b; 由田ら, 1991a)。種皮色の変動要因の一つとしては、登熟期における気象条件の影響が指摘されており (浅間ら, 1984a)、播種日が遅いほど種皮色は明るく鮮やかになるとの報告もある (佐藤ら, 1993)。加藤ら (1994) も、着莢部位や開花時期と種皮色の関係について報告している。島田 (1993) は、選抜試験の結果から遺伝率および遺伝子数を推定し、種皮色の遺伝率は粒大よりも低いと報告している。このように、アズキ種皮色の発現には、栽培環境要因の関与が示唆されている。

CIELAB (L^* , a^* , b^*) 色調空間による色の表示は、国際照明委員会 (CIE, 1976) によって規定されており、農産物の色を測定する場合においても客観的手法として広く用いられている (Senter *et al.*, 1997; Gomez *et al.*, 1998)。加藤ら (1998) は、明度 (L^* 値) と彩度 (C^* 値) を用いた2次元色調空間によるアズキ種皮色の表示方法を提案している。一般に、和菓子などのアズキ加工品の色は、原料アズキの種皮色と関係のあることが知られている (平ら, 1989)。アンの嗜好性に関わるアン色については、従来から関西では淡色が好まれ、関東以北では濃色が好まれる傾向にあったが、最近では全国的に淡色嗜好になりつつあると言われている。

アズキの調理特性に関しては、アズキの煮方やアンの調理・加工工程に関する報告 (畑井, 1994c, 1996b) や、煮熟臭に関するもの (時友ら, 1988) などがあり、アン粒子の大きさや加糖量が加糖アンの品質に影響を及ぼしているとの報告もある (Baik and Czuchajowska, 1999)。アン粒子については、煮熟過程におけるアン粒子の形成に関わるもの (谷地田ら, 1961; 渡辺ら, 1982) や、アン粒子の構造に関するもの (畑井, 1987; 平田・釘宮, 1985; 鈴木, 1975) など数多くの研究がなされている。しかし、アズキ子実の形質が、製アン特性にどのような影響を及ぼしているかについての報告は少ない。

加藤らはこれまでに、アズキの品質関連形質と製アン特性との関連について、種皮色とアン色の関係（加藤ら，1992）や百粒重とアン粒径の関係（加藤ら，1992），煮熟増加比とアン収率の関係（加藤ら，1996）などについて報告してきた。

インゲンマメ（*Phaseolus vulgaris* L.）は、北海道における生産量が全国の9割以上（1998年で93.5%）を占めている（北海道；1999a）。北海道では金時類，手亡類，大福類などのインゲンマメが生産されているが，中でも金時類の作付面積が最も多く，その約8割は豆類の主産地である十勝地方で生産されている（日本豆類基金協会，1998）。金時類の主用途は煮豆であるが，「福白金時」は白アンの原料として用いられ，また，「大正金時」を初めとする赤系金時類もその一部は製アン原料として用いられている。金時類に次いで生産量の多い手亡類は，大部分が白アンの原料として用いられている。高級菜豆と総称されるインゲンマメ（大福類および虎豆類）およびベニバナインゲン（*Phaseolus coccineus* L.）に属する花豆類は，甘納豆や煮豆の原料として用いられる他に，アンやきんとんの原料にもなっている。

インゲンマメの製アン特性に関する報告としては，インゲンマメの種類により，アンの物性や食感が異なると言われており（小林ら，1992a），その原因の一つとして，アン粒子表面のペクチンによる保水性の差異が示唆されている（道川ら，1992）。また，マメ類の種類により，細胞内のデンプン粒の大きさや形状が異なり（Saio and Monma, 1993），アン粒子の大きさやその形態にも差異が認められると報告されている（小林ら，1992b；田村ら，1999）。

煮豆の加工特性に関しては，香西ら（1989）は煮豆用途としてのダイズの加工適性を評価する上で，かたさが重要な項目であると述べており，品種により煮豆のかたさは異なることが知られている（矢ヶ崎ら，1989）。インゲンマメにおいても，加藤ら（1996，1998）は先に，金時類の煮豆の嗜好性にはかたさが大きく影響しており，煮熟硬度には品種や栽培環境が影響を及ぼしていることを報告している。

高品質なマメ類を安定的に供給するためには，良好な加工適性を維持し得る条件で保管する必要がある。アズキは高温貯蔵により品質が劣化し，種皮色や生アンの色が暗色化し，吸水率およびアン収率が低下することが知られている（畑井，1982）。インゲンマメに関しても，高温多湿の劣悪な条件下で貯蔵すると，the hard-to-cook phenomenon（HTC）と呼ばれる調理特性の低下が起こることが数多く報告されている（Jones and Boulter,

1983; Moscoso *et al.*, 1984; Aguilera and Rivera, 1992; Liu *et al.*, 1992）。加藤ら（1997）も，アズキやインゲンマメを高温で長期間貯蔵することにより，製アン特性が低下することを報告している。

一方，オーストラリアにおいては，1970年代初頭からアズキの栽培が開始され，1980年にニュー・サウス・ウェルズ州農業試験場で育成された品種「Bloodwood」が，収量性と機械収穫適性の高さから主要品種となっている（Falconer and Desboroug, 1994）。この「Bloodwood」は，北海道立十勝農業試験場で1968年に育成された「光小豆」に由来しており，種皮色や粒形などの外観品質が「エリモショウズ」と酷似している（Kato *et al.*, 1999）ことから，日本の輸入業者や製アン業者からは，品質の低い中国産アズキよりも好まれる傾向にある。しかし，北海道におけるアズキの収穫時期は，9月下旬の冷涼な時期であるのに対し，オーストラリアでは2月～4月にかけての高温多湿な時期であり（Desborough and Redden, 1998），収穫後の保管条件は特に注意を要する。

第2節 本研究の目的と構成

北海道におけるアズキの生産量は，全国の80%以上を占めており，高級なアンや和菓子の原料として用いられている。しかし，北海道のアズキ生産は，国内消費の停滞に加えて輸入品との競合等から，1972年の作付面積66,400haを最高に年々減少傾向にあり，1997年では32,700haとなっている（日本豆類基金協会，1998）。特に，1993年の冷害による供給量の激減と，それに伴う価格の高騰を契機として，中国産をはじめとする価格の安い輸入アズキの使用量が増大している。

一方，インゲンマメに関しては，北海道では金時類，手亡類や大福類などが栽培されており，主用途は煮豆や白アンである。北海道における作付面積は漸減しており，1997年では14,500haとなっている（日本豆類基金協会，1998）。また，生産量は豊作年であった1995年が42,300tであったのに対し，収穫期の長雨と高温の影響により品質低下が著しかった1994年では16,600tと，気象条件の影響により著しい年次変動がみられる。

このような状況下で，価格の安い輸入品に対抗して，北海道産マメ類の需要を確保・拡大するためには，生産コストの低減と品質の向上に努めるとともに，加工適性に優れたマメ類の生産が望まれる。そのためには，現有品種の栽培技術の改善，機械化体系や貯蔵技術の確立，用途に合った新品種の開発などが必要である。マメ類の品質について考える場合，どのような特性が重要であるかを明らかにする必要がある。アズキの品質は一般に，

粒の大きさ、形および色といった外観により評価されており、流通上も整粒歩合により等級が規定されている。また、粒大や種皮色といった外観形質は、品質を判断する上での指標として、多くの実需者に重視されてきた。そこで、これらの形質が加工特性とどのように関わっているかを中心に研究を行った。

本論文の構成は、次のような内容からなっている。第2章では、アズキの製アン特性に関わる品質関連形質のうち、種皮色、アン粒径および煮熟増加比に関しては、品種や栽培地域による変異を検討した。また、種皮色とアン色の関係、百粒重とアン粒径の関係、煮熟増加比とアン収率の関係について重点的に検討した。第3章では、アズキの種皮色に関わる変動要因について述べ、着莢部位や開花時期による影響や、登熟期間における気象条件

の影響について検討し、新たな種皮色の表示方法について提案した。第4章では、インゲンマメの製アン特性に及ぼす子実形質の影響について述べ、種皮色、百粒重および煮熟増加比と製アン特性との関わりについて検討した。第5章では、インゲンマメの煮豆加工特性に関わる変動要因について述べ、加工過程における種皮色の変化や、煮熟硬度の品種および栽培環境による変異について検討した。第6章では、アズキおよびインゲンマメの貯蔵過程における加工特性の変動について述べ、貯蔵温度や包装形態が加工特性に及ぼす影響について検討した。さらに、オーストラリアで栽培されたアズキ2品種について、異なる温度で貯蔵した後の子実品質および食味の変化についても検討した。

第2章 アズキの製アン特性と品質関連形質の関係

一般に、製アン業者や製菓業者などの実需者がアズキの品質を評価するに当たっては、種皮色や粒大などの外觀形質をはじめ、煮えやすさや煮えむらの有無といった煮熟特性や煮熟臭等が重視されている。特に近年、製アン過程の機械化に伴って、従来行われていたアズキの煮熟状態を逐次確認しながらの作業は困難となってきた。そのため、原料を選別する上では、同一条件で作業を行える均質なアズキが大量に望まれると共に、品質の評価指標の確立が要望されている。また、農業生産現場においても品質向上を図るに当たっての具体的な目標がなく、基準値等の設定の必要性が高まっている。

和菓子などのアズキ加工品の色は、原料アズキの種皮色と関係のあることが知られている(平ら, 1989)。アンの嗜好性に関わるアンの色については、従来から関西では淡色が好まれ、関東以北では濃色が好まれる傾向にあったが、最近では全国的に淡色嗜好になりつつあると言われている。また、加糖アンの品質には、アン粒子の大きさや加糖量が影響しているとの報告もある(Baik and Czuchajowska, 1999)。しかし、アズキ子実の品質が、製アン特性にどのような影響を及ぼすかについての報告は少ない。そこで本章では、従来から品質を判断する上での指標として利用されている種皮色および百粒重や、煮熟増加比(煮熟前後での重量比)といった品質関連形質が、製アン特性とどのように関わっているかについて検討した。

第1節 実験方法

1. 供試材料

1989年(110点)、1990年(249点)および1991年(193点)に、十勝、網走、上川、留萌、石狩、空知、後志、胆振、渡島の9支庁から、それぞれの地域での栽培基準により生産された、「エリモショウズ」、「ハヤテショウズ」、「寿小豆」、「ハツネショウズ」、「サホロショウズ」、「宝小豆」、「茶殻早生」、「音更小豆」、「アカネダイナゴン」、「カムイダイナゴン」の10品種、計552点のアズキを生産者単位で収集し、調査・分析に供試した。

また、1988年～1991年の4年間にわたり、北海道立十勝農業試験場(以下、十勝農試と略)において同一栽培条件で生産された、「エリモショウズ」、「ハヤテショウズ」、「ハツネショウズ」、「サホロショウズ」、「アカネダイナゴン」の5品種、計20点のアズキを供試した。

煮熟試験には、1991年～1995年の5年間にわたり、十勝農試において同一栽培条件で生産された、上記5品種および「きたのおとめ」の計6品種、ならびに北海道立中央農業試験場、北海道立北見農業試験場および北海道立植物遺伝資源センター(以下それぞれ、中央農試、北見農試および遺伝資源センターと略)においてそれぞれ同一条件で栽培された「エリモショウズ」、計45点の小豆を供試した。

なお、試料は11月～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

百粒重は、100粒の重量を5回測定し、乾物率を乗じた乾物値で表示した。

子実水分は、105℃で16時間乾燥後の重量の減少量により求めた。

タンパク含有率は、ケルダール法にて全窒素含有率を求め、これにタンパク換算係数6.25を乗じて算出した。

種皮色は、布で磨いて種皮表面の汚れを除去した小豆を、臍が測定面を向かないように30mmφのガラスセルに詰め(複粒法)、色彩色差計(日本電色 ND-1001 DP)を用いて、明度(L*値; 数値が高いと明るい色となる)、赤味度(a*値; 数値が高いと赤味が増す)、黄味度(b*値; 数値が高いと黄味が増す)を1試料につき12回詰替えて測定した。なお、彩度(C*値; 数値が高いと鮮やかな色となる)は(1)式により、色差(ΔE*ab)は(2)式により求めた。

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (1)$$

$$\Delta E^*ab = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2} \quad (2)$$

吸水増加比(WIRI)は、25℃のイオン交換水に18時間浸漬後の重量(Wi)と乾物重量(Wd)の比を、(3)式により算出した。

$$WIRI = Wi/Wd \quad (3)$$

未吸水率は、上記条件で小豆100粒を浸漬した時の、吸水していない粒数の割合で表した。発芽率は、小豆100粒を25℃で72時間吸水後の、発芽粒数の割合で表した。

煮熟増加比(WIRB)は、小豆50gに150mlのイオン交換水を加え、オートクレーブを使用して、98℃で70分(煮熟時間一定の場合)煮熟後の重量(Wb)と乾物重量(Wd)の比を、(4)式により算出した。なお、煮熟条件を一定にするため、添加する水量およびオートクレーブ内

の試料数は毎回同一とした。

$$\text{WIRB} = \text{Wb}/\text{Wd} \quad (4)$$

生アンは、上記条件で煮熟後の小豆を、0.5mmのフルイ上でつぶして種皮および未煮熟粒を分離し、約10倍量の水で自然沈降法による水晒しを行い、さらしを用いて回収することにより調製した。なお、洗切りは行っていない。

加糖アンは、生アン100gに上白糖75gの割合で加え、加熱し練ることにより調製した。

生アンおよび加糖アンの色は、それぞれをガラスセルに詰め、種皮色と同様に色彩色差計を用い、1試料につき6回詰替えて測定した。

アン粒子の粒径組成は、上記の条件で得られた生アンを、レーザー回折式粒度分布測定装置(島津SALD-1100)により分析した。なお、粒径組成区分は500~150 μm (30~100メッシュ)、150~100 μm (100~150メッシュ)、100~75 μm (150~200メッシュ)、75~60 μm (200~250メッシュ)および60 μm 以下(250メッシュ以上)の5段階とした。

アン粒子の光学顕微鏡写真は、1991年十勝農試産の「エリモショウズ」より得られた生アンを水に懸濁し、顕微鏡(オリンパスVANOX-AHBT)を用いて撮影した。

小豆子葉細胞の走査電子顕微鏡写真は、1992年十勝農試産の「エリモショウズ」および「アカネダイナゴン」の種子断面を、低真空型走査電子顕微鏡(日本電子JSM-5200LV)を用いて撮影した。

3. 官能試験

20歳代から50歳代の中央農試の職員35名(男性20名、女性15名)をパネルとして、粒径組成のピークが150~100 μm の範囲にあり、平均粒径が異なるアンを用いて、舌ざわりおよびその好みについて比較検討した。

舌ざわりの評価については、平均アン粒径が100 μm の「エリモショウズ」の評価値を0とし、平均アン粒径が95 μm の「エリモショウズ」および平均アン粒径が111 μm の「カムイダイナゴン」の評価を、-3(非常にざらつく)から3(非常になめらか)までの7段階評価法で行った。また、好みについては、各人の評価基準に基づいて、普通程度の評価値を0とし、-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。

第2節 結果および考察

1. 品質関連形質の品種および産地間差異

(1) 品質関連形質の品種間差異

同一条件で栽培されたアズキ5品種の品質関連形質に

ついて、1988年~1990年の3年間にわたり調査・分析した結果をTable 1に示した。百粒重、タンパク含有率、煮熟増加比、種皮色などの形質には年次間変動がみられ、品種間の順位が年次により異なる場合もあった。また、調査した形質の中では、百粒重の年次間変動が大きかった。アズキの粒大は、栽植密度や施肥量といった栽培面の影響よりも年次による変動が大きいと言われており(佐藤, 1971)、本研究の結果でも、年次により各品種とも百粒重に大きな変動が認められた。

供試したアズキ5品種の間では、「ハヤテショウズ」および「サホロショウズ」のタンパク含有率は比較的高い傾向にあったが、年次により低い場合もあった。煮熟増加比は「エリモショウズ」が比較的高い傾向にあり、百粒重の大きい「アカネダイナゴン」で明らかに小さかった。種皮色については、各値とも「エリモショウズ」が高い傾向にあったが、「寿小豆」および「サホロショウズ」の a^* 値については「エリモショウズ」よりも高い年次が認められた。「エリモショウズ」と他のアズキとの種皮色の色差(3年間の平均)については、「ハツネショウズ」とが2.7、「寿小豆」とが2.8、「サホロショウズ」とが2.8であったが、「アカネダイナゴン」とは5.0あり、「エリモショウズ」と「アカネダイナゴン」の種皮色は著しく異なっていた。

品質関連形質の品種による特徴を整理すると、従来から言われているように(成河ら, 1982; 浅間ら, 1984b; 由田ら, 1991a)、「エリモショウズ」の種皮色が明るく、 b^* 値が高い傾向が認められたが、タンパク含有率では明確な品種間差異は認められなかった。また、「アカネダイナゴン」の種皮色は濃く、 L^* 値と b^* 値が低いと報告されており(浅間ら, 1984b; 由田ら, 1991a)、本結果でも L^* 値、 a^* 値および b^* 値の各値とも低く、「エリモショウズ」との色差は3年間の平均で5.0であった。一般に色差が3.0~6.0あると、その2つの色は著しく異なると言われ(日本色彩学会, 1989)、「アカネダイナゴン」は「エリモショウズ」よりも明らかに暗い色をしていると言える。

(2) 品質関連形質の産地間差異

1990年産「エリモショウズ」(205点)を用いて、品質関連形質の産地間差異について調査した結果をTable 2に示した。産地による特徴は次のとおりであった。

十勝産は、全地域の中で最も百粒重が大きく、タンパク含有率も高い傾向にあったが、煮熟増加比は比較的低かった。種皮色については、各値とも全道平均よりも高い傾向にあった。

網走産は、全道平均よりも百粒重はやや大きい、タ

Table 1. Characteristics related to seed quality of different adzuki varieties.

Variety	Harvest Year	100-seed Weight(g)	Protein Content(%)	WIRB	Seed Coat Colour			
					L*	a*	b*	C*
Erimoshouzu	1989	14.6	22.8	2.67	32.6	24.0	16.7	29.2
	1990	11.7	23.9	2.95	30.4	25.9	15.5	30.2
	1991	12.2	24.4	2.85	30.0	28.9	15.8	33.0
	Mean	12.8 ^a	23.7 ^a	2.82 ^a	31.0 ^a	26.3 ^a	16.0 ^a	30.8 ^a
Hayateshouzu	1989	13.9	24.3	2.73	30.6	23.9	15.5	28.5
	1990	10.3	23.9	2.85	28.7	25.5	14.8	29.4
	1991	11.3	25.3	2.74	30.0	23.7	14.3	27.7
	Mean	11.8 ^a	24.5 ^a	2.77 ^a	29.8 ^{ab}	24.4 ^{ab}	14.9 ^{ab}	28.5 ^{ab}
Kotobukishouzu	1989	13.1	22.0	2.68	28.4	25.4	13.4	28.7
	1990	12.4	23.9	2.90	29.6	27.5	15.0	31.3
	1991	12.7	24.5	2.72	28.8	28.0	14.4	31.5
	Mean	12.7 ^a	23.5 ^a	2.76 ^a	28.9 ^{ab}	27.0 ^a	14.3 ^{bc}	30.5 ^a
Sahoroshouzu	1989	13.1	24.0	2.72	29.3	26.1	14.2	29.7
	1990	12.0	24.2	2.69	27.1	27.0	13.7	30.3
	1991	14.5	26.1	2.63	30.3	28.7	15.4	32.6
	Mean	13.2 ^a	24.8 ^a	2.68 ^a	28.9 ^{ab}	27.3 ^a	14.4 ^{bc}	30.9 ^a
Akanedainagon	1989	19.4	23.6	2.43	28.5	21.1	13.4	25.0
	1990	16.1	23.2	2.35	30.0	21.2	13.9	25.4
	1991	16.0	24.3	2.44	27.9	25.4	13.4	28.8
	Mean	17.2 ^b	23.7 ^a	2.41 ^a	28.8 ^b	22.6 ^b	13.6 ^c	26.4 ^b
Over All	1989	14.8	23.3	2.65	29.9	24.1	14.6	28.2
	1990	12.5	23.8	2.75	29.2	25.4	14.6	29.3
	1991	13.3	24.9	2.68	29.4	26.9	14.7	30.7

Adzuki beans were grown at Tokachi Agricultural Experiment Station.

WIRB; Weight Increase Ratio by Boiling.

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

ンパク含有率はやや低い傾向にあった。煮熟増加比は全地域の中で最も高かった。種皮色については、L* 値が全地域の中で最も高く、a* 値、b* 値および C* 値については十勝産とほぼ等しかった。

上川産は、百粒重、タンパク含有率および種皮色の各値とも、全道平均よりもやや高かったが、煮熟増加比は最も低かった。

空知産は、全道平均よりも百粒重は小さく、タンパク

含有率もやや低い傾向にあったが、煮熟増加比はほぼ平均的な値であった。種皮色については全般に低い傾向にあった。

石狩産は、全道平均よりも百粒重は小さく、タンパク含有率もやや低い傾向にあったが、煮熟増加比はほぼ平均的な値であった。種皮色については、全般にほぼ平均的な値であった。

胆振産は、百粒重、タンパク含有率および煮熟増加比

Table 2. Characteristics related to seed quality of 'Erimoshouzu' harvested at different districts of Hokkaido in 1990.

District (No. of Sample)	100-seed Weight(g)	Protein Content(%)	WIRB	Seed Coat Colour			
				L*	a*	b*	C*
Tokachi(29)	12.0 ^a	24.9 ^a	2.73 ^{ab}	28.7 ^{ab}	24.2 ^a	13.3 ^{ab}	27.6 ^{ab}
Abashiri(17)	11.6 ^{ab}	23.9 ^b	2.84 ^c	29.2 ^b	24.4 ^a	13.3 ^{ab}	27.8 ^{ab}
Kamikawa(30)	11.7 ^{ac}	24.7 ^{ac}	2.73 ^{ab}	28.4 ^a	24.7 ^a	13.4 ^b	28.1 ^{ab}
Sorachi(57)	10.9 ^{de}	24.2 ^{bc}	2.77 ^{ac}	28.2 ^a	23.3 ^b	11.8 ^c	26.2 ^c
Ishikari(12)	10.3 ^e	23.9 ^{bc}	2.77 ^{ac}	28.0 ^a	25.0 ^a	12.6 ^{ad}	28.1 ^{ab}
Iburi(14)	11.0 ^{bde}	24.2 ^{abc}	2.82 ^{ac}	28.2 ^a	25.0 ^a	13.5 ^b	28.5 ^a
Shiribeshi(46)	11.3 ^{bcd}	24.0 ^b	2.67 ^b	28.2 ^a	24.3 ^a	12.5 ^d	27.3 ^b
Over All(205)	11.3	24.3	2.74	28.4	24.2	12.7	27.3

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

はほぼ全道の平均的な値であった。種皮色については、 a^* 値、 b^* 値および C^* 値が全道平均よりもやや高い傾向にあった。

後志産は、百粒重、タンパク含有率および煮熟増加比はほぼ全道の平均的な値で、種皮色についても各値ともほぼ平均値にあった。

以上のように、アズキの品質には地域的な差が認められ、百粒重およびタンパク含有率は十勝産で高く、煮熟増加比は網走産で高い傾向にあった。

アズキの粒揃いは、品種、栽培方法、年次によって異なることが知られており(由田, 1987)、莢内の位置によっても変異が認められている(佐藤, 1979)。このように、百粒重は品種のみならず、気象や土壌条件等の栽培環境に大きく影響を受けることが示唆された。

タンパク含有率については、品種および年次により大きな変動が認められたが、他の形質と比べると産地間の差は比較的小さかった。由田ら(1988)は、「エリモショウズ」のタンパク含有率は十勝で高く、上川、空知で低いと報告している。本結果でも、十勝ではタンパク含有率が高い傾向にあったが、上川および空知では必ずしも低くはなく、収穫年次による影響も考えられた。同一圃場内から同時に収穫されたアズキの中でも、一粒毎ではタンパク含有率に大きな変異が認められており(相馬ら, 1989a)、生産者単位でみた平均値では比較的小さくとも、開花期間に幅のあるアズキは本質的に大きな変異を内在していると言える。また、生産者間のタンパク含有率の変動要因としては、気象条件以外にも、施肥量および施肥法により窒素集積量が変化するとされており(沢口, 1986)、土壌中の窒素含有率や追肥条件の差異が影響している可能性も考えられる。

種皮色については、十勝産および網走産で L^* 値が高く、空知産で a^* 値および b^* 値が低く、胆振産で C^* 値が高い傾向にあった。さらに、種皮色の各測定値の変動幅(Table 3)は、十勝産は L^* 値、 a^* 値、 b^* 値および C^* 値のいずれも比較的小さく、ばらつきが少ない傾向にあった。また、胆振産では L^* 値以外の変動は小さく、網走および後志産でも比較的小さかった。一方、上川産では変動が大きく、石狩産でも L^* 値を除き大きい傾向にあった。種皮色については、開花時期が早いほど濃く、開花から 10 日間の日射量が明度に強い影響を与え、この間の日射量が多いと明度は低下するとの報告がある(浅間ら, 1984a)。また、同じ地域内であっても「エリモショウズ」の種皮色には生産者間で大きな変動がみられ、なかでも b^* 値の変動は L^* 値と a^* 値に比べて相対的に大きいと報告されている(由田ら, 1991a)。このような傾向は本

Table 3. Variation of seed coat colours of 'Erimoshouzu' harvested at different districts of Hokkaido in 1990.

District (No. of Sample)	Seed Coat Colour; Min.-Max.(CV%)			
	L^*	a^*	b^*	C^*
Tokachi(29)	26.6-30.9 (3.6)	21.2-26.4 (5.0)	11.0-15.0 (6.3)	24.5-30.0 (4.7)
Abashiri(17)	27.0-30.7 (3.6)	21.7-27.0 (6.1)	11.9-15.0 (6.1)	24.8-30.1 (5.4)
Kamikawa(30)	26.2-31.8 (5.0)	20.8-28.3 (8.3)	10.7-13.7 (11.2)	23.7-32.8 (8.7)
Sorachi(57)	25.7-31.9 (4.6)	19.6-26.2 (6.4)	9.4-13.8 (7.6)	21.9-29.5 (6.4)
Ishikari(12)	26.3-29.4 (2.9)	22.1-27.2 (6.6)	10.8-13.7 (8.1)	24.9-30.5 (6.5)
Iburi(14)	25.9-30.2 (4.4)	23.0-27.3 (4.5)	12.5-14.4 (4.3)	26.5-30.9 (3.9)
Shiribeshi(46)	25.9-30.3 (3.8)	22.1-26.8 (5.1)	10.6-14.4 (7.1)	24.8-29.9 (5.0)
Over All(205)	25.7-31.9 (4.3)	19.6-28.3 (6.5)	9.4-16.7 (9.3)	21.9-32.8 (6.7)

結果の「エリモショウズ」でも認められ、産地によっては種皮色の測定値全てに幅広い変動が認められた。

浅間ら(1984b)は、明度は成熟期の早晩に関係し、道央中部が道東に比べ種皮色が濃いとし、由田ら(1991a)も、十勝産の「エリモショウズ」が他産地に比べて L^* 値と b^* 値が高いと報告している。本結果でも十勝産の「エリモショウズ」には同様の傾向がみられたが、種皮色の各測定値の変動幅が他の地域より小さいことも特徴としてあげられる。十勝は道央に比べアズキの生殖生長期間が長く、その間の日射量も少ないことから、このような気象条件がアズキの種皮色に影響しているものと考えられた。また、収穫時期については、早刈すると種皮色は赤くなり、遅刈では黄色くなるとの報告もあり(藤田ら, 1990)、種皮色の変異要因としては、気象や土壌条件以外にも、収穫時期の遅れや収穫後の乾燥調製等の人為的な要因が関与している可能性も考えられた。

2. アン色と種皮色の関係

(1) 生アン色の品種および産地間差異

1988 年～1990 年に同一条件で栽培されたアズキ 5 品種を原料とした生アンの色を Table 4 に示した。平均値による比較では、「エリモショウズ」の L^* 値、 a^* 値および C^* 値はいずれも他の品種よりも高く、「アカネダイナゴン」ではこれらの値が低かったのに対し、 b^* 値は高くなっていた。このように、生アンの色は、概ね種皮色の傾向を反映していた。

また、1990 年産「エリモショウズ」(205 点)を用いて、生アン色の産地間差異について比較した結果(Table 5)においても、種皮色でみられた傾向と同様に、 L^* 値は十勝および網走で高かった。また、 a^* 値および b^* 値は空知

Table 4. Non-sugared Ann colour of different adzuki varieties.

Variety	Non-sugared Ann Colour			
	L*	a*	b*	C*
Erimoshouzu	44.3	10.0	7.9	12.7
Hayateshouzu	43.1	9.7	7.7	12.4
Kotobukishouzu	43.0	9.5	7.5	12.1
Sahoroshouzu	44.3	9.4	7.5	12.0
Akanedainagon	41.7	7.9	8.8	11.8

Adzuki beans were grown at Tokachi Agricultural Experiment Station in 1988 to 1990.

Table 5. Non-sugared Ann colour of 'Erimoshouzu' harvested at different districts of Hokkaido in 1990.

District (No. of Sample)	Non-sugared Ann Colour			
	L*	a*	b*	C*
Tokachi(29)	41.4	10.3	6.8	12.4
Abashiri(17)	41.9	10.4	6.9	12.5
Kamikawa(30)	39.9	10.4	6.9	12.4
Sorachi(57)	39.8	10.1	6.6	12.1
Ishikari(12)	38.3	11.2	7.0	13.2
Iburi(14)	41.2	11.0	7.1	13.2
Shiribeshi(46)	40.2	10.3	7.1	12.5
Over All(205)	40.3	10.4	6.9	12.5

で低く、C* 値は石狩および胆振で高い傾向にあり、種皮色を反映していた。

(2) アン色と種皮色の相関関係

1990 年産のアズキ (249 点) で生アンの色と種皮色との関係を見ると、生アンの色は種皮色に比べ、a* 値、b* 値および C* 値は低下するが、L* 値は著しく高まることが確認された (Fig. 1)。

生アン色と種皮色の L* 値、a* 値および C* 値には有意な正の相関関係が認められ (Table 6)、生アンの色は

Table 6. Correlations between non-sugared Ann colour and seed coat colour.

L*	a*	b*	C*
0.391**	0.540**	-0.004	0.354**

n=363, **, P<0.01.

Table 7. Changes in colour for the seed coat and Ann.

	L*	a*	b*	C*
Seed Coat	28.0 ^a	23.1 ^a	12.1 ^a	26.1 ^a
Non-sugared Ann	40.1 ^b	9.9 ^b	7.3 ^b	12.4 ^b
Sugared Ann	20.3 ^c	11.1 ^c	7.3 ^b	13.3 ^c

Means which share no common following letters differ significantly at P=0.05(n=96).

種皮色の影響を受けていることが明らかとなった。しかし、b* 値には有意な相関が認められなかったことから、C* 値にみられた相関は a* 値の影響によるものと考えられた。

次に、加糖した場合の色の変化を見るため、1990 年産のアズキ 96 点を用いて加糖アンを調製した。この場合、生アンに比べ加糖アンは、L* 値が著しく低下し、a* 値および C* 値はわずかに高まる傾向にあった (Table 7)。なお、b* 値には大きな変化は認められなかった。

種皮色、生アン色、加糖アン色の相互関係 (Table 8) についても、L* 値および a* 値は 3 者間で有意な正の相関関係が認められ、種皮色の L* 値および a* 値は加糖アンの色にまで影響していることが判明した。また、生アンと加糖アンの間には、L* 値、a* 値、b* 値および C* 値の全てにおいて有意な正の相関関係が認められた。

アズキの外観的な赤色の濃淡には、明度と黄味の程度が強く関係するとも言われ (由田ら, 1991a), b* 値の高

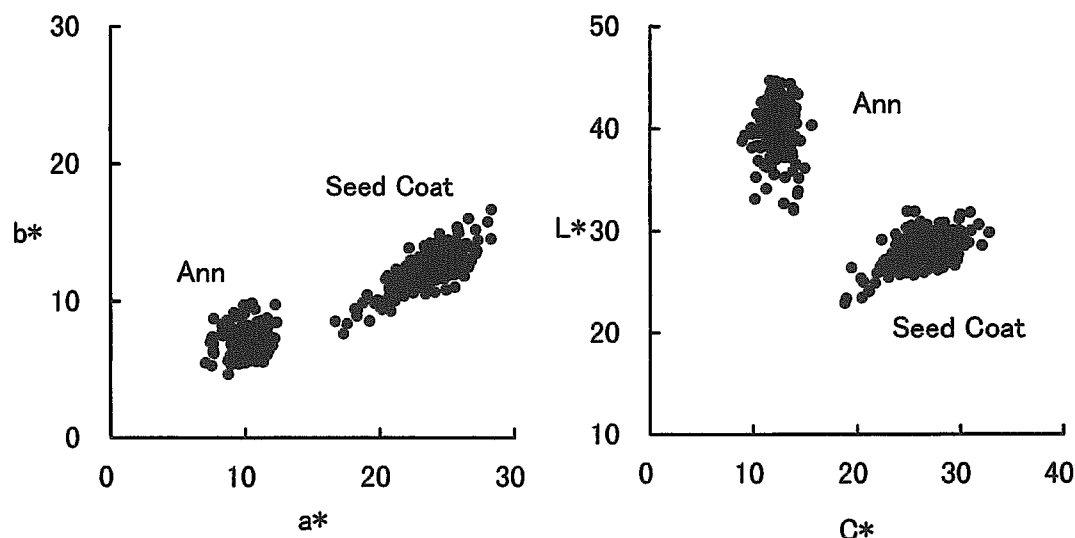


Fig. 1. Relationship between seed coat colour and Ann colour. Adzuki beans were harvested in 1990(n=249).

Table 8. Correlations between sugared Ann colour, non-sugared Ann colour and seed coat colour.

	L*	a*	b*	C*
Seed Coat:				
Non-sugared Ann	0.645**	0.483**	-0.251	0.191
Non-sugared Ann:				
Sugared Ann	0.618**	0.599**	0.462**	0.410**
Sugared Ann:				
Seed Coat	0.490**	0.367**	-0.146	0.151

n=96, **, P<0.01.

いアズキは、L* 値や a* 値が同じでも、視覚的には淡い色に感じられる。しかし、種皮の b* 値にはアン色との関係が認められなかったことから考えると、製アン特性からみたアズキ種皮色の判断基準としては、見かけ上の色の濃淡ではなく、L* 値や a* 値を測定して比較することが必要であると言える。

アズキの赤味を呈する色素はアントシアニン系であると言われており (Sasamura et al., 1966)、アズキの種皮、浸漬液、煮汁および生アンにロイコアントシアニンが認められている (畑井, 1987b)。本結果において、赤味の強さを表す a* 値には、種皮と生アンの間で正の相関が認

められたが、これはアズキ種皮のアントシアニン系色素が煮熟過程でアン粒子に結合したために、種皮の a* 値が生アン色に反映したものと考えられた。一方、アズキの熱水抽出液中にはフラバノール型タンニンが存在するとの報告がある (村上, 1978; 村上ら, 1980)。本結果において、黄味の強さを表す b* 値には、種皮と生アンの間で有意な相関は認められなかった。これは煮熟過程で黄味を呈するフラボン系色素が溶出し、その後生アンを水にさらすことにより、アン粒子には残存しないためと推察した。

以上のように、アズキの種皮色はアン色に影響を及ぼすことが明らかとなり、種皮色の L* 値および a* 値はアン色を考慮する上での指標となり得るものと判断された。

3. アン粒径と百粒重の関係

(1) アン粒径組成の品種間差異

アン粒径および粒径組成の品種間差異について、1989年～1991年の3年間にわたり調査・分析した結果を Table 9 に示した。平均アン粒径は、「エリモショウズ」

Table 9. Ann particle size and the composition of particle size of different adzuki varieties.

Variety	Harvest Year	Ann Particle Size(μm)	Composition of particle size(%)				
			500-150	150-100	100-75	75-60	<60(μm)
Erimoshouzu	1989	100.8	5.6	39.3	30.7	11.2	13.2
	1990	98.9	4.4	37.3	32.6	12.5	13.2
	1991	101.1	6.4	40.2	31.0	11.4	11.0
	Average	100.3 ^{ab}	5.5	38.9	31.4	11.7	12.5
Hayateshouzu	1989	103.0	7.0	41.8	29.3	10.3	11.6
	1990	102.0	6.7	39.9	29.5	11.1	12.8
	1991	99.2	4.0	37.2	32.1	11.8	14.9
	Average	101.4 ^{ab}	5.9	39.6	30.3	11.1	13.1
Kotobukishouzu	1989	100.4	5.3	38.9	31.0	11.7	13.1
	1990	96.9	3.7	35.2	33.6	13.7	13.8
	1991	98.5	4.1	36.5	32.5	12.4	14.5
	Average	98.6 ^a	4.4	36.8	32.4	12.6	13.8
Sahoroshouzu	1989	103.9	7.5	41.6	28.2	10.3	12.4
	1990	104.5	8.1	41.8	28.0	10.3	11.8
	1991	105.5	8.8	42.9	28.0	9.9	10.4
	Average	104.6 ^b	8.1	42.1	28.1	10.2	11.5
Akanedainagon	1989	116.4	12.9	45.2	22.4	7.7	11.8
	1990	111.4	10.8	45.9	25.3	8.4	9.6
	1991	105.3	8.1	42.9	27.5	9.3	12.2
	Average	111.0 ^c	10.6	44.7	25.1	8.5	11.2
Overall	1989	104.9	7.7	41.4	28.3	10.2	12.4
	1990	102.7	6.7	40.0	29.8	11.2	12.3
	1991	101.9	6.3	39.9	30.2	11.0	12.6

Adzuki beans were grown at Tokachi Agricultural Experiment Station.

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

で100 μm 前後,「ハヤテショウズ」および「寿小豆」でも96.9~103.0 μm の範囲と比較的小さかったが,「アカネダイナゴン」では100.5~116.4 μm (平均111 μm)と大きい傾向にあった。

これらのアン粒子の粒径組成をみると,各品種とも150~100 μm の範囲にピークがあった。さらに,平均粒径の比較的小さなアズキ3品種では100 μm 以下の小さな粒径の組成割合が50%以上であったのに対し,平均粒径の大きな大納言銘柄に属する「アカネダイナゴン」では,100 μm 以上の大きな粒径の組成割合が50%以上あった。また,各品種とも平均アン粒径および粒径組成割合には年次間で変動がみられたが,平均アン粒径が大きい場合には粒径組成としても大きいアン粒子の割合が多くなっていた。一般に,アン粒子は250~50 μm の間に分布していると言われていた(谷地田ら,1972),アン粒子の粒径組成としては,各品種とも150~100 μm の範囲にピークがあることが判明した。

アン粒子はアズキの煮熟過程において,75 $^{\circ}\text{C}$ 前後から形成され始めるとの報告がある(谷地田ら,1961)。また,その形成に必要な加熱条件は,90 $^{\circ}\text{C}$ 以上の温度で90分程度の加熱時間を要するとの報告もある(渡辺ら,1982b)。いずれの報告においても,細胞内に存在するタンパク質がデンプンの糊化開始以前に熱凝固しデンプン粒を包むことにより,アン粒子としての物理的強度が高まるものと考えられている。

アン粒子の構造としては,細胞内に数個の糊化・膨潤したデンプン粒が存在しており,デンプン粒の大きさは平均40 $\times$ 34 μm であると報告されている(鈴木,1975)。また,デンプン粒の周りには,熱凝固したタンパク質が存在し,さらにその外側を堅固な細胞膜が覆った状態となっていると説明されている(畑井,1987a)。製アン直後に撮影した,平均粒径98.9 μm の「エリモショウズ」のアン粒子の光学顕微鏡写真(Fig. 2)によると,円から

楕円形をした種々の粒径のものが認められた。また,アン粒子の内部には数個のデンプン粒が鱗状に観察された。

(2) アン粒径組成の産地間差異

1990年産「エリモショウズ」(205点)を用いて,アンの平均粒径および粒径組成の産地間差異について比較した結果をTable 10に示した。平均アン粒径は十勝産および上川産で大きく,ほぼ100 μm であったが,他の地域では98 μm 程度であり,百粒重の比較的大きな上記2産地では平均アン粒径も大きかった。また,粒径組成割合は各地域とも150~100 μm の範囲にピークがあったが,平均粒径の比較的大きな十勝産および上川産では,100 μm 以上の粒径割合が他の地域よりもやや多い傾向にあった。

「エリモショウズ」の百粒重について産地間比較した結果では,十勝産および上川産で大きかったが,アン粒径についてもこれと全く同様の傾向が認められた。このように,アン粒径でみられた産地間の差異は,百粒重に影響されているものと考えられた。

(3) アン粒径と百粒重の相関関係

1990年産の全道各地から集めた試料(249点)を用いて,百粒重との関係を検討した結果,アン粒子の平均粒径と百粒重の間には有意な正の相関が認められた($r=0.918^{**}$, Fig. 3)。また,この傾向は1989年($r=0.924^{**}$)および1991年($r=0.802^{**}$)でも同様であった。

さらに,百粒重と粒径組成との関係をみると,500~150 μm および150~100 μm の粒径割合とは正の相関(それぞれ, $r=0.898^{**}$, $r=0.801^{**}$)が認められ,100~75 μm および75~60 μm の粒径割合とは負の相関(それぞれ, $r=-0.831^{**}$, $r=-0.869^{**}$)が認められた(Fig. 4)。すなわち,百粒重が大きくなるにつれ,100 μm 以上の大きなアン粒子が多くなり,100 μm 以下の小さなアン粒子が少なくなっていた。

Table 10. Ann particle size and the composition of particle size for 'Ermoshouzu' harvested at different districts of Hokkaido in 1990.

District (No. of Sample)	Ann Particle Size(μm)	Composition of particle size(%)				
		500-150	150-100	100-75	75-60	<60(μm)
Tokachi(29)	100.1 ^a	5.7	37.3	30.4	11.8	14.8
Abashiri(17)	98.1 ^b	4.4	36.0	32.2	12.8	14.6
Kamikawa(30)	100.1 ^a	5.6	37.8	30.7	11.9	13.9
Sorachi(57)	98.7 ^b	4.6	36.6	31.6	12.6	14.5
Ishikari(12)	98.1 ^b	4.2	35.9	32.4	13.0	14.5
Iburi(14)	98.4 ^b	4.4	36.4	32.4	12.7	14.2
Shiribeshi(46)	98.4 ^b	4.6	36.8	32.4	12.7	13.5
Average(205)	98.9 $\pm$ 2.3	4.9	36.8	31.7	12.5	14.2

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

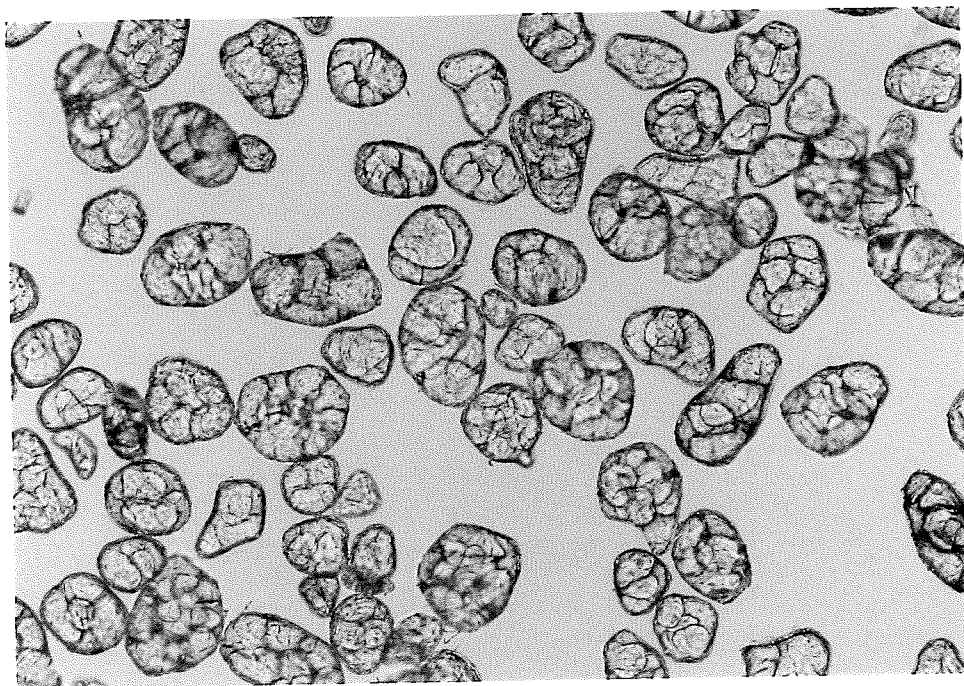


Fig.2. Ann particles prepared from adzuki variety 'Erimoshouzu'.

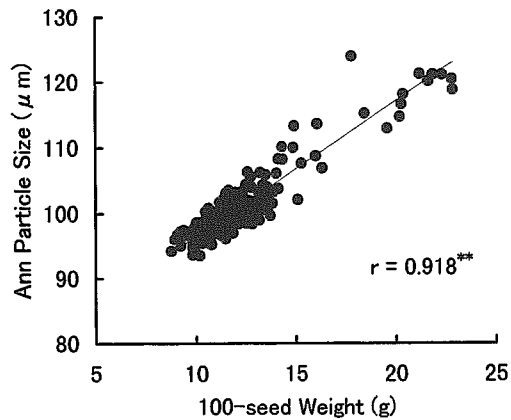


Fig.3. Relationship between Ann particle size and 100-seed weight.
Adzuki beans were harvested in 1990(n=249).

このように、百粒重が大きくなるにつれ、100 μm 以上の大きな粒子が多くなり、100 μm 以下の粒子が少なくなっていたことから、平均粒径の変異は、粒径の異なるアン粒子の存在割合が変動することに起因しているものと判断された。そこで、百粒重が大きく異なる「エリモショウズ」と「アカネダイナゴン」の種子断面を走査電子顕微鏡で観察したところ、Fig. 5に示すように、両者の子葉細胞の大きさは著しく異なっていた。すなわち、百粒重の大きなアズキでは、大きな子葉細胞が多数存在し、このことが形成されるアン粒子に大きなものの割合が高かったことの一因と推定された。

(4) アン粒径とタンパク含有率の関係

1990年産の「エリモショウズ」(205点)を用いて産地別のアン粒子タンパク含有率を比較した結果では、十勝で比較的高い傾向にあり、子実タンパク含有率の傾向と一致していた(Table 11)。製アン過程で分離されたアズ

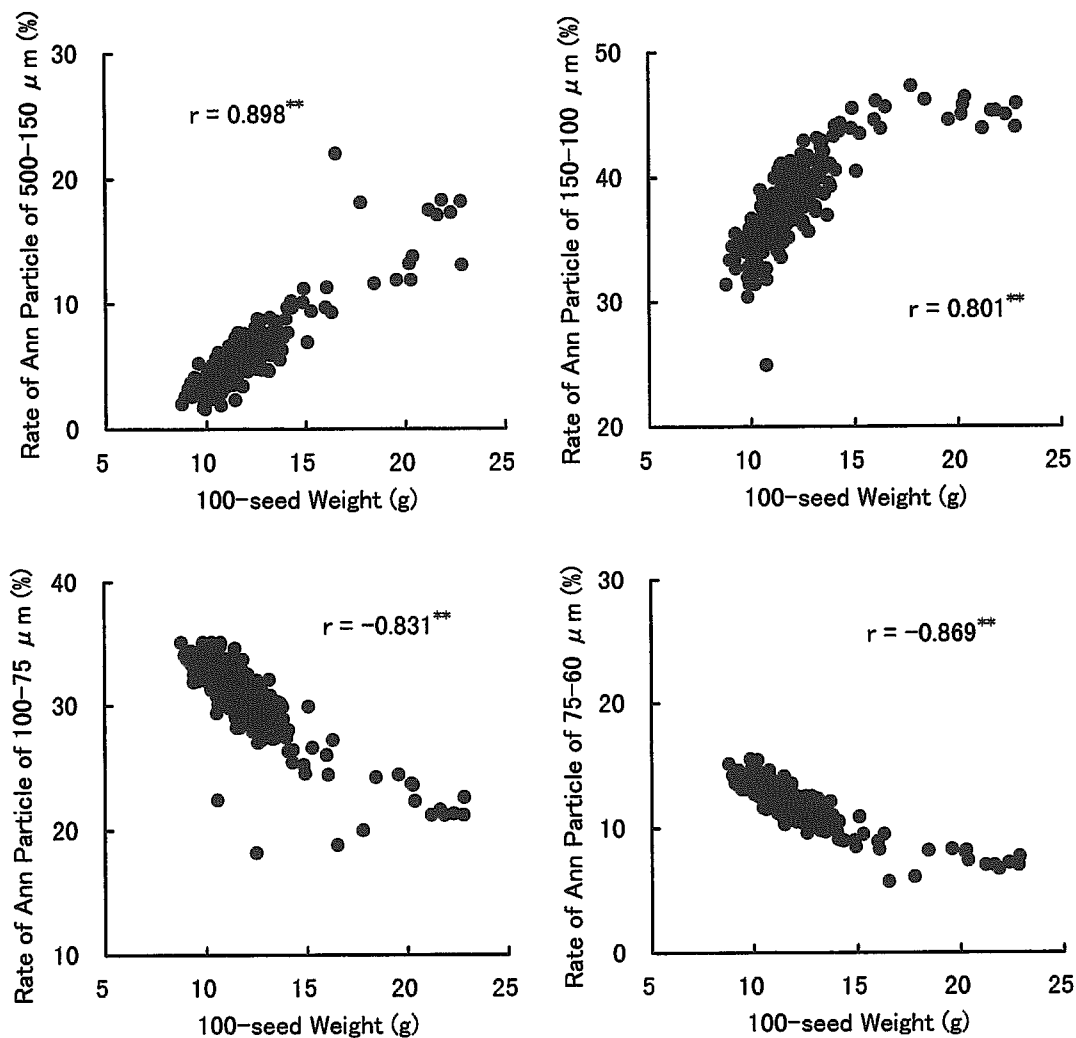
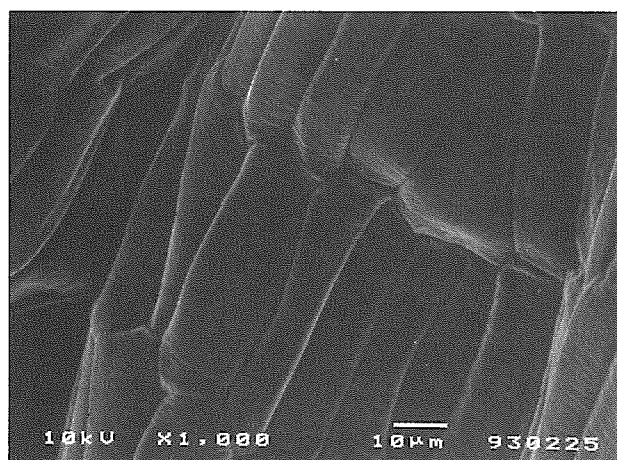
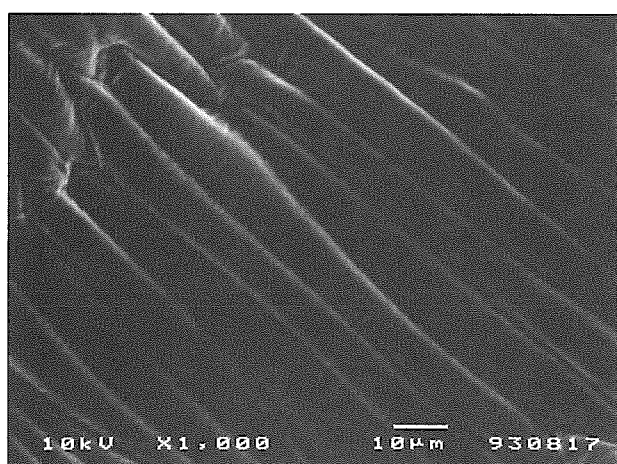


Fig.4. Relationship between Ann particle composition and 100-seed weight.
Adzuki beans were harvested in 1990(n=249).



'Erimoshouzu'



'Akanedainagon'

Fig.5. Adzuki cotyledon cells observed by SEM.

キの種皮部分からなるアンかす中のタンパク含有率は、子実に比べ著しく低くなっており、また、子実タンパク含有率との間に一定の傾向は認められなかった。そこで、アン粒子タンパク含有率と子実タンパク含有率との関係について、全道各地から集めた試料を用いて、両者の相関関係を求めたところ、1990年産(249点)では $r=0.619^{**}$ 、1991年産(193点)では $r=0.830^{**}$ の有意な正の相関が認められた (Fig. 6)。

一方、平均アン粒径とアン粒子タンパク含有率との関係については、1990年産(249点)では $r=0.151^{*}$ 、1991年産(193点)では $r=0.277^{**}$ と有意ながらも相関係数は低かった (Table 12)。しかし、平均アン粒径と子実タンパク含有率との間にはより高い正の相関が認められた (1990年産; $r=0.348^{**}$ 、1991年産; $r=0.341^{**}$)。これは、平均アン粒径と百粒重の間には高い相関があり、かつ、百粒重と子実タンパク含有率の間にも有意な相関が認められる (1990年産; $r=0.347^{**}$ 、1991年産; $r=0.419^{**}$)ことから、タンパク含有率の高いアズキでは百

Table 11. Content of seed and Ann protein for 'Erimoshouzu' harvested at different districts of Hokkaido in 1990.

District (No. of Sample)	Seed Protein (%)	Ann Particle Protein(%)	Ann Residuum Protein(%)
Tokachi(29)	24.9 ^a	25.8 ^a	10.6 ^a
Abashiri(17)	23.9 ^b	24.6 ^b	11.1 ^{ab}
Kamikawa(30)	24.7 ^{abc}	25.4 ^a	12.3 ^c
Sorachi(57)	24.2 ^{bc}	25.0 ^b	11.7 ^{bd}
Ishikari(12)	23.9 ^{bc}	24.9 ^b	12.3 ^{cd}
Iburi(14)	24.2 ^{abc}	25.2 ^{ab}	11.4 ^{bd}
Shiribeshi(46)	24.0 ^b	25.0 ^b	11.5 ^b
Over All(205)	24.3±1.3	25.1±1.1	11.6±1.2

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

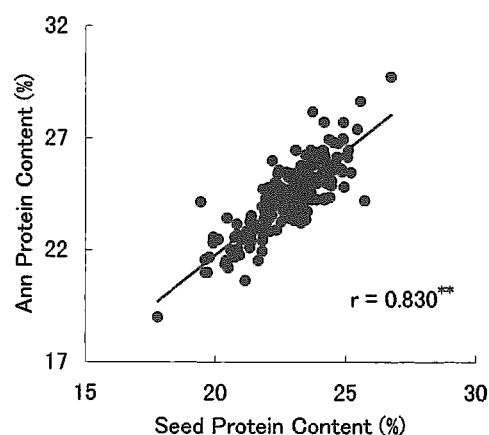


Fig.6. Relationship between Ann protein content and seed protein content.

Adzuki beans were harvested in 1990($n=193$).

Table 12. Relationship between Ann particle size and protein content.

	Regression Coefficients between Ann Particle Size and		
	Ann Protein	Seed Protein	100-seed Weight
1990	0.151 [*]	0.348 ^{**}	0.918 ^{**}
1991	0.277 ^{**}	0.341 ^{**}	0.802 ^{**}

1990; $n=249$, 1991; $n=193$.

^{*}; $P<0.05$, ^{**}; $P<0.01$.

粒重が大きい傾向にあり、そこから得られたアン粒子の粒径が大きいためと考えられた。由田ら (1988) も、タンパク含有率と百粒重との間に正の相関関係を見いだしている。また、粒大と窒素施肥量との間には、弱いながらも正の相関があるとの報告もあり (由田ら, 1990)、子葉部への窒素集積が子実の肥大につながっているものと推察された。

アズキの煮熟過程では、タンパク質やデンプンの不溶化が細胞内で起こると同時に、細胞間物質を構成するペクチンが可溶化して細胞相互が分離すると言われてい

る(渡辺ら, 1982b)。アズキ子実に比べてアン粒子のタンパク含有率が高い値を示した理由としては、このようにペクチンなどの可溶性物質がアン粒子の形成過程において溶出し、さらに、製アン過程でタンパク含有率の低い種皮部分を取り除かれたため、タンパク質の含有率が相対的に上昇したことによるものと考えられた。また、アズキに含まれるタンパク質に関しては、水溶性タンパク質は約20%で、グロブリンを主とする約80%の熱凝固性タンパク質はアン粒子に残留していると報告されている(鈴木, 1975)。このことから、子葉中のタンパク質の大部分は煮熟過程に溶出されずに熱凝固を受け、アン粒子中に存在しているものと考えられた。

4. アンの舌ざわりの官能評価

(1) 粒径の異なるアンの舌ざわりの評価

平均粒径の異なるアンを用いて官能試験を行った結果、舌ざわりについて(Fig. 7)は、平均粒径が100 μm のアンを基準として比較した場合、平均粒径が95 μm のアンを「ややなめらか」「なめらか」および「非常になめらか」と評価した人が合計で69% (平均評価値: 0.57)であった。平均粒径が111 μm のアンを「ややざらつく」「ざらつく」および「非常にざらつく」と評価した人は合計80% (平均評価値: -1.09)で、アン粒子の大きさによりアンの舌ざわりの評価が明確に分かれた($P < 0.01$)。従って、平均粒径で5~10 μm の差異を7~8割の人が識別可能であるものと判断された。

なお、供試したアンの粒径組成についてみると、500~150 μm の粒径の組成割合が、平均粒径95 μm のアンでは3%、平均粒径100 μm のアンでは5%と少な

かったのに対し、平均粒径111 μm のアンでは11%と多くなっていた。さらに、100 μm 以上の粒径の組成割合については、平均粒径95 μm のアンでは36%、平均粒径100 μm のアンでは44%、平均粒径111 μm のアンでは55%と大きく異なっていた。このような粒径組成の違いが、それぞれのアンの舌ざわりの評価につながったものと考えられる。

(2) 粒径の異なるアンの好みの評価

舌ざわりの好みについては、各人の評価基準で判定した結果(Fig. 8)、平均粒径が100 μm のアンを「普通」と評価した人が66% (平均評価値: 0.46)、平均粒径が95 μm のアンを「やや好む」および「好む」と評価した人が合計66% (平均評価値: 0.63)、平均粒径が111 μm のアンを「やや好まない」「好まない」および「非常に好まない」と評価した人が合計69% (平均評価値: -0.80)であった。なお、111 μm のアンの平均評価値と他のアンの平均評価値の間には、それぞれ1%水準で有意差があり、舌ざわりを反映した結果となった。

アンの食味に関与する大きな要因の一つとして物性がある。アンの物性には、アン粒子の大きさ、形、崩壊の程度や水の存在状態などさまざまな影響が考えられ、使用する糖の種類、加熱時間、練り方、加水量など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)。谷地田ら(1972)は、150 μm 以上の粗い粒子は舌ざわりのざらついた練りアンを、75 μm 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り、練りアンの物性からみて150~75 μm の粒子が好ましいと述べている。粒径別に調整したアンによる官能試験の結果においても(相馬ら, 1990)、300~150 μm のアンはざらざら

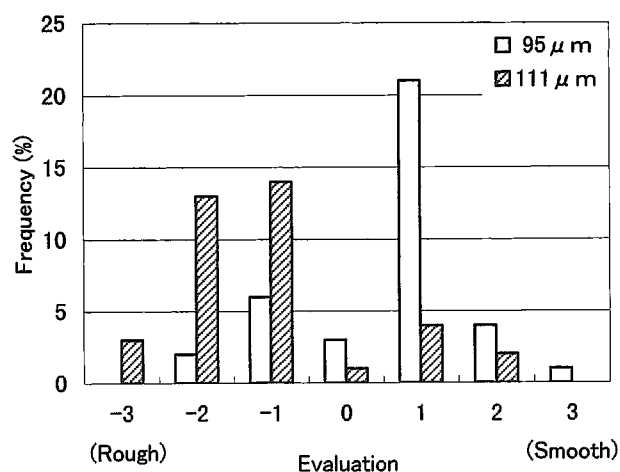


Fig.7. Sensory evaluation for mouthfeel of Ann with different particle size.

Comparison between Ann with particle size of 100 μm (Evaluation value;0)

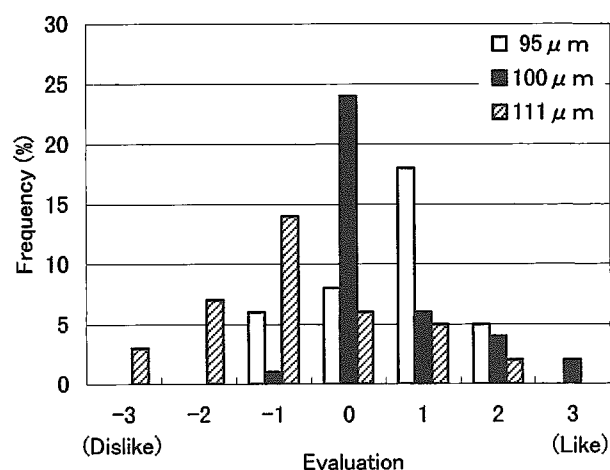


Fig.8. Sensory evaluation for preference of mouthfeel for Ann with different particle size.

Comparison based on individual standard of each panelist.

して舌ざわりが悪く、150~100 μ m および 100~75 μ m のアンはなめらかで舌ざわりが良いと報告されている。本研究の結果でも、平均粒径 111 μ m のアンでは 150 μ m 以上の粒径の組成割合が 11%と高く、基準としたアンの 2 倍以上の割合になっており、舌ざわりがざらつくと評価された要因としてあげられる。このように、アン粒子の大きさおよびその組成割合はアンの舌ざわりに関与しており、150~75 μ m の粒径組成割合の高いアンに対して、舌ざわりが良好であると評価されるものと考えられた。

また、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)。ここでは、練り時間が長くなるにつれ、アン粒子が崩壊して遊離デンプンが増え、粘性が増すと述べられている。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、アン粒子中のタンパク質およびデンプンが不溶性であることもまた、調理特性あるいは食感に寄与するものと考えられている(渡辺ら, 1982a)。

5. アン収率と煮熟増加比の関係

(1) 煮熟増加比およびアン収率の品種間差異

アズキ 6 品種の煮熟増加比およびアン収率について、1991 年~1995 年に調査・分析した結果を Table 13 に示した。なお、煮熟時間は予備試験の結果から、品種間差異が明確に認められた 70 分とした。5 年間の平均値で比較した場合、「エリモシヨウズ」および「ハヤテシヨウズ」では、煮熟増加比は 2.8、アン収率は 60%を越え、ともに高い値であった。一方、百粒重の大きい大納言銘柄に属する「アカネダイナゴン」では、これらの値はいずれの年次でもほぼ供試 6 品種中で最も低く、5 年間の平均

では煮熟増加比は 2.5 程度、アン収率は 50%程度であった。また、「ハツネシヨウズ」、「きたのおとめ」および「サホロシヨウズ」の煮熟増加比およびアン収率はともに、「エリモシヨウズ」と「アカネダイナゴン」の中間的な値を示していた。

これらの値を年次間で比較すると、煮熟増加比は各品種とも、高温と干ばつにより生育の悪かった 1994 年で最も低く、生育が良好であった 1991 年および 1995 年では高い傾向にあった。また、アン収率は低温年の 1992 年および高温年の 1994 年で低く、1991 年および 1995 年では高い傾向にあった。このように、一定の煮熟時間(70 分)における煮熟増加比およびアン収率には品種間差異が認められたが、これらの値には大きな年次間変動がみられ、年次によっては品種間の傾向が異なる場合もあった。

煮熟特性には、原料アズキの性状と調理・加工方法との相乗効果が関与しており、それらの両要因を分けて考える必要性が指摘されている(畑井, 1996b)。原料アズキに関わる要因としては、品種、土壌および気象等の環境条件、栽培条件などがあげられるが、生産物にはこれら相互の複合要因としての結果が反映されるため、厳密な意味での単独要因の影響解析は非常に困難である。また、アズキの吸水性には地域間差異がほとんどみられず、硬実(未吸水粒)の発生は年次による差が大きいとの報告もある(由田ら, 1995)。本結果では、煮熟特性には明確な品種間差異が認められたが、年次間での変動が非常に大きく、生育の良好な年で煮熟増加比やアン収率は高い傾向にあった。

(2) 煮熟増加比およびアン収率の栽培地間差異

1991 年~1995 年に生産された「エリモシヨウズ」の栽培地別の煮熟増加比およびアン収率を Table 14 に示し

Table 13. WIRB and Ann yield of different adzuki varieties.

Variety		1991	1992	1993	1994	1995	Mean
WIRB	Erimoshouzu	2.92	2.83	2.82	2.76	2.93	2.85 ^a
	Hayateshouzu	2.87	2.82	2.75	2.74	2.87	2.81 ^a
	Hatsuneshouzu	2.82	2.75	2.73	2.68	2.84	2.76 ^a
	Kitano-otome	2.82	2.67	2.85	2.60	2.89	2.77 ^a
	Sahoroshouzu	2.85	2.69	2.76	2.61	2.81	2.74 ^a
	Akanedainagon	2.79	2.41	2.62	2.29	2.70	2.56 ^b
Ann Yield (%)	Erimoshouzu	64.2	58.8	60.9	61.0	67.9	62.6 ^a
	Hayateshouzu	64.8	56.8	63.3	62.2	67.2	62.9 ^a
	Hatsuneshouzu	61.7	55.0	58.1	56.6	65.5	59.4 ^{ab}
	Kitano-otome	63.2	51.8	60.5	55.3	66.4	59.4 ^{ab}
	Sahoroshouzu	59.4	53.2	58.1	52.9	64.2	57.6 ^{ab}
	Akanedainagon	60.8	44.5	58.0	32.4	61.7	51.4 ^b

Adzuki beans were grown at Tokachi Agricultural Experiment Station.

WIRB; Weight Increase Ratio by Boiling.

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

Table 14. WIRB and Ann yield of 'Erimoshouzu' harvested at Hokkaido Agricultural Experiment Stations.

	Location	1991	1992	1993	1994	1995	Mean
WIRB	Tokachi	2.92	2.83	2.82	2.76	2.93	2.85 ^a
	Central	2.83	2.80	2.79	2.82	2.92	2.83 ^a
	Kitami	2.71	2.81	2.75	2.67	2.83	2.75 ^a
	PGRC	2.96	2.85	2.85	2.61	2.64	2.78 ^a
Ann Yield (%)	Tokachi	64.2	58.8	60.9	61.0	67.9	62.6 ^a
	Central	59.2	57.6	62.5	63.1	67.6	62.0 ^a
	Kitami	53.6	58.6	56.9	53.2	67.5	58.0 ^a
	PGRC	62.4	56.6	62.1	54.5	56.3	58.4 ^a

WIRB; Weight Increase Ratio by Boiling, PGRC; Plant Genetic Resources Center.
Means which share no common following letters differ significantly at P=0.05.

た。5年間の平均値で比較した場合、十勝農試および中央農試では、煮熟増加比は2.8、アン収率は60%を越え、共に高い値であった。一方、北見農試では1992年を除いたいずれの年次でも、煮熟増加比およびアン収率とも、上記2栽培地よりも低い値であった。また、遺伝資源センターでは、5年間の平均値で比較した場合には、煮熟増加比およびアン収率とも上記2栽培地よりも低い値であったが、年次によっては上回る場合もあり、一定の傾向は認められなかった。このように、いずれの栽培地でも年次によっては煮熟増加比で2.8を、アン収率では60%を越える場合がみられ、栽培地に特徴的な傾向は認められなかった。

一般に、アズキの種皮色は、道東地方のような登熟期間の冷涼な地帯では明るく鮮やかな色で、比較的気温の高い道央地帯では暗色化しやすい傾向にあると言われている(浅間ら, 1984a; 由田ら, 1991a)。しかし、煮熟特性については、十勝農試および中央農試の煮熟増加比およびアン収率が、北見農試をほぼ上回っており、遺伝資源センターでは年次により傾向が異なっていた。アズキの無機および有機成分や煮熟性の生産地間差異には、土壌の種類も関与しているとの報告もある(畑井ら, 1994a, 1994b)。本研究の結果では、登熟期間の気温が高く、土壌的には沖積土および洪積土に位置する道央地帯の2

場所(中央農試および遺伝資源センター)に対し、比較的冷涼で、火山性土壌に位置する道東地帯の2場所(十勝農試および北見農試)での煮熟増加比やアン収率が必ずしも同じ傾向ではなく、アズキの煮熟特性に対する、土壌および気象条件の直接的な影響は認められなかった。

(3) アン収率と煮熟増加比の相関関係

1990年産の全道各地から集めた試料(247点)を用いて、アン収率に影響を及ぼすと考えられる、吸水および煮熟特性関連形質との関係を検討した結果、アン収率と煮熟増加比との間には $r=0.926^{**}$ の高い正の相関が認められた(Table 15, Fig. 9)。また、1991年産のアズキ($r=0.921^{**}$, $n=193$)においても同様の傾向が認められた。

他の形質とアン収率との関係をみると、百粒重とは有意な負の相関($r=-0.424^{**}$)が認められ、水分とは有意な正の相関($r=0.425^{**}$)が認められた。また、発芽率や吸水増加比とアン収率の間にも、有意な正の相関(それぞれ $r=0.250^{**}$, $r=0.234^{**}$)が認められた。

このように、煮熟増加比が大きいほどアン収率は高くなるが、一定の煮熟時間(70分)においては、百粒重が大きく、水分が低いほど煮えづらく、アン収率が低くなる傾向にあった。なお、品種比較の結果(Table 13)で

Table 15. Correlations between characteristics related to imbibition and boiling of adzuki beans harvested in 1990.

	100-seed Weight	Moisture Content	Germination Percentage	WIRI	WIRB
Moisture Content	0.142*				
Germination Percentage	0.064	0.389**			
WIRI	-0.074**	0.224**	0.595**		
WIRB	-0.473**	0.445**	0.186**	0.245**	
Ann Yield	-0.424**	0.425**	0.250**	0.234**	0.926**

WIRI; Weight Increase Ratio by Imbibition, WIRB; Weight Increase Ratio by Boiling.
*; $P<0.05$, **; $P<0.01$, $n=247$.

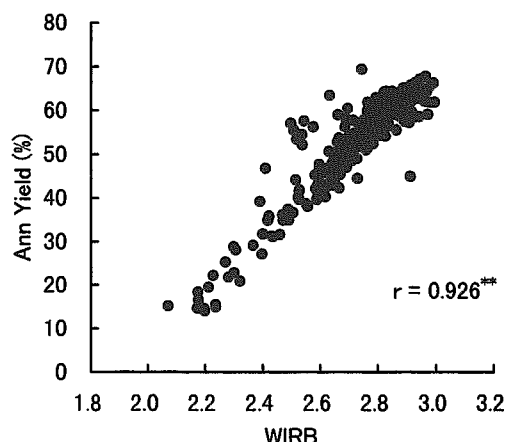


Fig.9. Relationship between Ann yield and Weigh Increase Ratio by Boiling (WIRB).

Adzuki beans were grown in 1990(n=247).

も、百粒重の大きい「アカネダイナゴン」の煮熟増加比およびアン収率は、いずれの年次でも低い傾向にあったものの、百粒重の両者に対する寄与率は20%程度で、必ずしも決定的要因とは考えられなかった。

そこで、アン収率 (Y) を目的変数に、水分 (X_1)、発芽率 (X_2)、吸水増加比 (X_3) および煮熟増加比 (X_4) を説明変数として重回帰分析を行った。その結果、(5)式に示したように、 $R^2=0.847$ の回帰式が求められたが、煮熟増加比の寄与率は他の形質に比べ圧倒的に高かった。

$$Y = -0.11X_1 + 0.07X_2 - 3.16X_3 + 56.44X_4 - 100.02 \quad (5)$$

調理・加工方法による煮熟特性への影響としては、浸漬処理、加熱方法、添加物などがあげられており、浸漬による吸水率と水煮アズキの腹切れ率とは正の相関が、煮熟後の吸水率と水煮アズキの硬さには高い負の相関があることが報告されている (畑井, 1996b)。また、平ら (1989) は道内3地域で生産されたアズキ4品種を用いて、煮熟増加比と生アンの収量の間には高い正の相関を認めているが、これは吸水量の多少によるもので、乾物換算したアン収率とは関係がなかったと報告している。本結果では、煮熟増加比とアン収率 (乾物) の間に高い正の相関関係が認められており (Table 15, Fig. 9)、この傾向は調査した6年間にわたり同様であった。すなわち、煮熟増加比2.9程度までは、種皮や子葉細胞の軟化およびデンプン粒の膨潤・糊化が進行し、回収されるアンの収率が高くなるものと考えられた。しかし、浸漬時の吸水特性に関連する形質と煮熟増加比やアン収率といった煮熟特性との間には、明確な相関関係は認められなかった。ただし、本実験条件では浸漬を行わず、加水後直ちに煮熟しているため、浸漬を行った場合には吸水

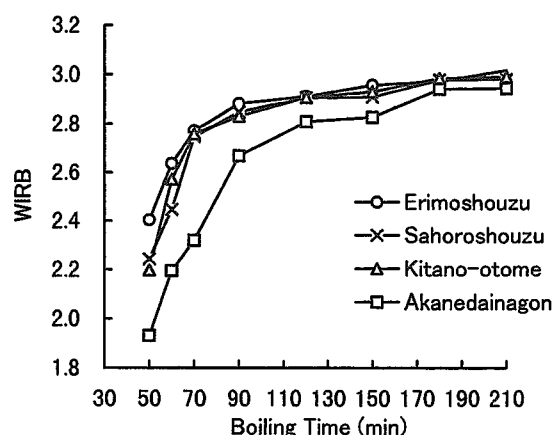


Fig.10. Changes in Weight Increase Ratio by Boiling (WIRB) with boiling time.

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

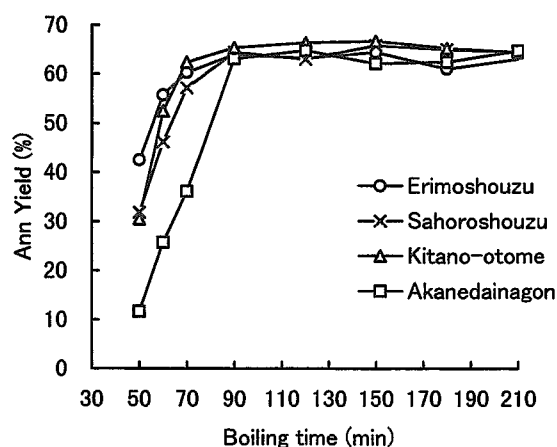


Fig.11. Changes in Ann Yield with boiling time.

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

特性との関連がみられる可能性も考えられる。

(4) 煮熟時間による煮熟増加比およびアン収率の推移

1994年に同一条件で栽培されたアズキ4品種を用いて、煮熟時間を50分から210分まで変化させた場合の、煮熟増加比およびアン収率の推移について検討した結果を Fig. 10 に示した。煮熟増加比は、各品種とも煮熟時間の増加とともに大きくなる傾向にあったが、煮熟時間90分以降では変化の割合が小さかった。また、品種別にみると、大納言銘柄の「アカネダイナゴン」では、いずれの煮熟時間においても、他のアズキ3品種に比べ煮熟増加比は小さかった。

アン収率に関しては Fig. 11 に示すように、煮熟時間70分までは品種による差異が認められ、時間の増加と共に高くなる傾向にあったが、90分以降ではほとんど変化

が認められず、品種間の煮熟特性の差異も判別できなかった。すなわち、煮熟時間 90 分以降ではどの品種もアン収率は 60% を越え、120 分前後に最大アン収率（約 65%）を示した。煮熟時間 70 分における比較では、「エリモショウズ」や「きたのおとめ」のアン収率は 60% を上回っていたのに対し、「サホロショウズ」では 57%、「アカネダイナゴン」では 36% と大きな差異が認められた。また、どの品種でも煮熟増加比がほぼ 2.9 に到達した時点で、アン収率は 65% 程度と最大値を示していた。

試料間の煮熟特性の比較を目的とした場合には、試料個々により煮熟時間を変化させることは、実験条件として非常に煩雑であることから、一定の煮熟時間における比較が望ましい。煮熟時間 70 分までは、いずれの品種でも煮熟増加比およびアン収率は直線的に上昇し、品種による差異も大きかったが、90 分以降では品種間差異が認められなくなった。従って、主要品種の「エリモショウズ」のアン収率が 60% を越え、かつ、品種間差異が明瞭な煮熟時間 70 分が、煮熟特性を比較する上では適するものと考えられた。

煮熟過程における煮熟増加比とアン収率の推移を比較するため、上記 4 品種の平均値を Fig. 12 にまとめた。煮熟増加比は煮熟時間 90 分以降で変化の割合が小さくなるものの、210 分までわずかながらも増加する傾向にあったが、アン収率は煮熟時間 90 分以降ほとんど変化が認められなかった。これは、アズキ内部でアン粒子が形成された以降の煮熟では、細胞内で飽和的に膨潤したデンプン粒には水の取り込みが進行しないため、アンの収量には変化がないが、細胞間または種皮と子葉部との間隙における自由水の進入が、煮熟増加比の増大をもたらしているものと考えられた。藤村ら（1995）は、アズキ

の子葉細胞と単離デンプンの DSC（示差走査熱量計）曲線の解析結果から、細胞内デンプンが糊化する際の細胞内水分は約 56% と低水分であると推定しており、細胞の周囲に十分量的の水が存在しても、糊化したデンプン粒子が細胞壁により膨潤が抑制されることにより生じる膨潤圧のために、細胞壁を通した水の進入ができないものと推察している。

また、過度の煮熟は、アン粒子の崩壊によるデンプン粒の流亡も想定されることから、最大収量の得られる 90 分から 120 分程度が、アン収率の面からは最適な煮熟時間と判断された。なお、この時の煮熟増加比はどの品種でも 2.9 前後であったことから、煮熟増加比を指標とした場合には 2.9 程度となる煮熟条件が最適であると考えられた。釘宮（1992）は、アズキ煮熟時のアン粒子の崩壊および損傷をもたらす要因として、加熱時間や加熱温度の影響を指摘しており、100°C では 95 分以上加熱すると崩壊および損傷粒子の割合が増加したと報告している。

(5) 煮熟増加比によるアン収率の推定

一定の煮熟時間（70 分）において、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たことから、煮熟時間を変化させた場合にもこの関係が成立するかどうかについて、1994 年に同一条件で栽培されたアズキ 4 品種（Fig. 10, Fig. 11 に同じ）を用いて検討した。煮熟時間を 50 分から 210 分までの 8 段階に設定して検討したところ、Fig. 13 に示すように、煮熟増加比とアン収率の関係は直線ではなく、2 次関数で表すことができることが判明した。そこで、アン収率（Ya）を目的変数に、煮熟増加比（WIRB）を説明変数とした回帰式の作成を試

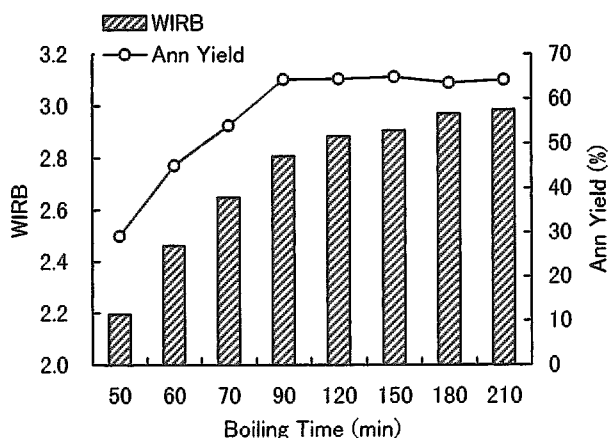


Fig. 12. Changes in WIRB and Ann yield with boiling time. Mean data of 4 adzuki varieties grown at Tokachi Agricultural Experiment Station in 1994.

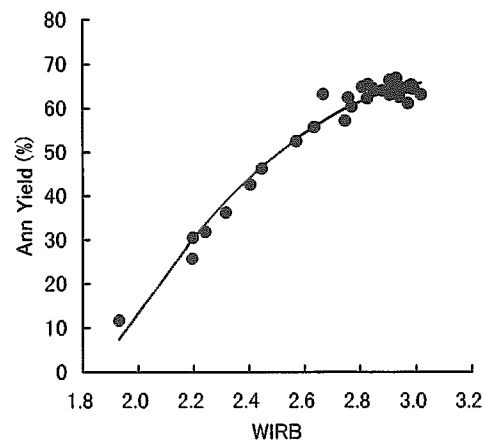


Fig. 13. Regression of Ann yield by Weight Increase Ratio by Boiling (WIRB).

Adzuki beans were harvested at Tokachi Agricultural Experiment Station in 1994.

$R^2 = 0.973$, $SEE = 2.3$, $n = 32$.

みた。その結果、(6)式により、決定係数 $R^2=0.973$ 、標準誤差 2.3 の非常に高い精度での推定が可能であった。

$$Y_a = 247.3 \text{ WIRB} - 39.1 (\text{WIRB})^2 - 324.3 \quad (6)$$

次に、今回帰式の生産年次の異なるアズキ試料への当てはめを試みた。1993 年に同一条件で栽培されたアズキ 4 品種を用いて、帰式の作成時と同様に、煮熟時間を 50 分から 210 分まで 8 段階に変化させ検討した。その結果、Fig. 14 に示すように、重相関係数 $R=0.971$ 、推定誤差 2.3 といった、帰式作成時と同様の高い精度での推定が可能であった。

今回帰式より求めたアン収率の標準誤差 (2.3%) は、1991 年～1995 年に道立各農業試験場で生産されたアズキのアン収率分析時における反復間での誤差平均 2.5% を下回るものであった。製アン試験を行うに当たって、アンをこす時点で手作業が入ることが、人為的誤差を大きくする要因となっており、5% を越える誤差を生ずる場合もある。煮熟増加比には、このような誤差要因を含まず、煮熟特性を判断する指標としては有効なものと考えられる。さらに、生産年次の異なる試料へ今回帰式を当てはめた場合にも、同様の精度が確認されたことから、非常に煩雑な製アン試験を行わなくとも、実用上問題とならない程度の誤差で、煮熟増加比からアン収率が推定できることが示唆された。

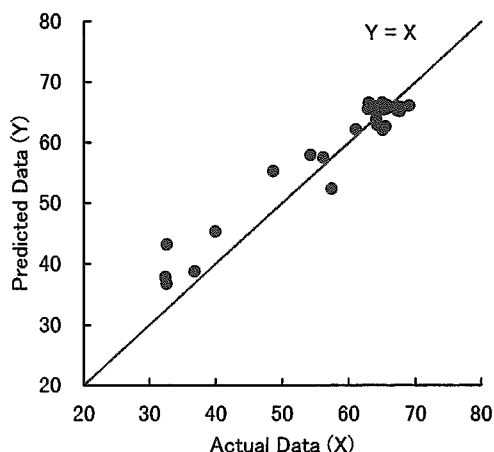


Fig. 14. Relationship between actual data and predicted data for Ann yield.

Adzuki beans harvested at Tokachi Agricultural Experiment Station in 1993 were used for the calculation. $R=0.971$, $SEE=2.3$, $n=32$.

第3節 要約

アズキの種皮色や百粒重、煮熟増加比（煮熟前後での重量比）などの形質が、製アン特性とどのように関わっているかについて検討し、以下の結果を得た。

(1)供試したアズキ 5 品種の中では、「エリモショウズ」の種皮色の L^* 値（明度）と b^* 値（黄味度）が高かった。十勝産の「エリモショウズ」は、百粒重が大きく、タンパク含有率および種皮色の L^* 値と b^* 値が高く、かつ種皮色の変動幅が小さかった。

(2)生アンの色は種皮色に比べ、 L^* 値は著しく上昇し、 a^* 値（赤味度）および b^* 値は低下した。加糖した場合には、 L^* 値は著しく低下し、 a^* 値はわずかに上昇した。種皮、生アン、加糖アンの L^* 値および a^* 値には、それぞれお互いに有意な正の相関関係が認められ、種皮の L^* 値および a^* 値は加糖アンの色にまで影響していることが明かとなった。

(3)平均アン粒径には品種、年次および産地間で差異が認められ、これらの中では品種の影響が大きかった。平均アン粒径は、「エリモショウズ」では約 $100\mu\text{m}$ と小さかったが、「アカネダイナゴン」では約 $111\mu\text{m}$ と大きかった。百粒重と平均アン粒径の間には有意な正の相関関係が認められ、百粒重の大きなアズキでは、大きな粒径のアン粒子の割合が多く、百粒重はアンの粒径組成に影響を及ぼしていた。

(4)官能試験の結果から、粒径組成のピークが $150\sim 100\mu\text{m}$ の範囲にある一般的なアンでは、粒径の小さなアンは舌ざわりがなめらかで好まれ、粒径の大きなアンは舌ざわりがざらつき好まれないことが確認された。

(5)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、煮熟増加比の大きなアズキでは、アン収率が高かった。煮熟時間の延長に伴い煮熟増加比は大きくなったが、90 分以降では変化が小さくなり、アン収率の増加は認められなかった。アン収率は、煮熟増加比を説明変数とした帰式により、非常に高い精度での推定が可能であった。

第3章 アズキ種皮色の変動要因と2次元座標表示

アズキの種皮色は、一般に明るく鮮やかなものが好まれる傾向にあるが、品種により異なり、同一品種でも年次や栽培地域によって大きく異なることが知られている(浅間ら, 1984b; 由田ら, 1991a; 加藤ら, 1992)。種皮色の変動要因としては、気象条件の影響(浅間ら, 1984a)や、播種時期(佐藤ら, 1993)や収穫時期(藤田ら, 1990)の影響も指摘されている。野村ら(1970)は、アズキの開花が、下位節位から上位節位に向かって規則正しく進むことを報告しているが、着莢部位または開花時期と種皮色の関係については明確にされていない。そこで、本章では、着莢部位および開花時期がアズキの種皮色にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

一方、従来より種皮色の表示に用いている $L^* a^* b^*$ 表色系(CIELAB)は、1976年に国際照明委員会(CIE)で規定され(International Commission on Illumination, 1976)、国際標準化機構(ISO)により推奨されているものである(International Organization for Standardization, 1991a, 1991b)。日本工業規格(JIS)においても、物体色の表示方法(JIS Z 8729)として規定されている(日本色彩学会, 1989)。本表示法は色を数値化して絶対評価する上では有効である。しかし、3つの変数による表示からは、種皮色を表現する際に、実際の色調としてのイメージを描きづらく、数値の差がどれほどの色調の差異となるのかを把握することが困難であった。そこで、本章では、明度と彩度を用いた2次元色調空間によるアズキ種皮色の表示方法を考案し、その変動について検討した。

第1節 実験方法

1. 栽培試験

(1) 栽培条件

1992年および1993年の2カ年にわたり、未熟火山性土を客土した中央農試の褐色低地土圃場において、「エリモショウズ」を畦幅60cm×株間20cmの2本立て

(166,666本 ha^{-1})で栽培した。施肥量は、 $\text{N}30\text{kg ha}^{-1}$ 、 P_2O_5 120kg ha^{-1} 、 K_2O 70kg ha^{-1} とした。試験圃場における土壌の理化学性は、Table 16に示した。なお、土壌の塩基交換容量(CEC)はセミマイクロ・ショールンベルガー法により、交換性塩基(Ca, Mg, K)は1N酢酸アンモニウム抽出後に原子吸光光度法により、有効態リン酸はトルオーグ法により測定した(土壌養分測定法委員会, 1986)。

栽培概要としては、1992年は播種期が5月21日、開花期が7月27日、収穫期が9月24日であった。1993年は播種期が5月20日、開花期が7月28日、収穫期が9月28日であった。

(2) 調査方法

着莢部位と種皮色の関係については、1992年に栽培された、平均的なアズキ5個体の健全な全莢を用いて、着莢部位別に全子実の種皮色を単粒法で測定した。

開花時期と種皮色の関係については、1992年には、試験圃場における開花期の2日後の7月29日より開花日のマーキングを開始し、8月19日まで4回のマーキングを行った。しかし、その後の激しい降雨による落花のため、調査可能な開花日は8月14日までであった。また、1993年には、試験圃場における開花期の翌日の7月29日より開花日のマーキングを開始し、調査可能な開花が認められた8月25日まで4～5日おきに7回のマーキングを行った。なお、両年とも、マーキングは1株につき1莢とし、1回に120莢ずつ行い、いずれの開花日のものも同一収穫日に収穫し、種皮色を複粒法で測定した。

(3) 種皮色の測定方法

種皮表面の汚れを除去したアズキを、臍が測定面を向かないように30mmφガラスセルに詰める(複粒法、1試料につき12反復)か、1粒ずつ3mmφの反射試料台上に置き(単粒法、1粒につき5反復)、色彩色差計(日本電色 ND-1001 DP)を用いて、第2章と同様に L^* 値、 a^* 値、 b^* 値を測定し、 C^* 値および色差を算出した。

Table 16. Physicochemical properties of soil (0-15 cm) in the experimental plots.

Soil	Bulk Density	pH	Truog P_2O_5	CEC	Ca	Mg	K
Texture*	g		mg kg^{-1}	cmol(+) kg^{-1}	cmol(+) kg^{-1}		
SL	112.8	5.75	210	11.8	22.5	8.7	2.5

Brown Lowland Soil dressing with 25cm of Immature Volcanogenous Soil.

*Based on Japan Agricultural Society System.

2. 種皮色の2次元座標表示

(1) 供試材料

1992年～1997年に、十勝農試、中央農試、北見農試、遺伝資源センターおよび北海道立上川農業試験場(以下、上川農試と略)で栽培されたアズキ11品種・8系統(169点)、その他の国産アズキ(15点)、中国産5銘柄(23点)、アメリカ産(7点)、アルゼンチン産(4点)、オーストラリア産(2点)、カナダ産(1点)、および台湾産(1点)の合計222点を供試した。

これら供試アズキの品種または銘柄は、「エリモショウズ」「きたのおとめ」「アケノワセ」「サホロショウズ」「ハツネショウズ」「ハヤテショウズ」「寿小豆」「宝小豆」「アカネダイナゴン」「カムイダイナゴン」「ほくと大納言」「丹波大納言」「新備中大納言」「美方白英大納言」(以上、国産品種)、「天津小豆」「宝清小豆」「東北小豆」「唐山小豆」「崇明小豆」(以上、中国産銘柄)、および「Bloodwood」(オーストラリア品種)であった。なお、供試したアズキの種皮色は赤系で単色のもののみで、白アズキや斑紋のあるものは含まれていない。

これらの試料は、収穫もしくは輸入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) 種皮色の測定方法

種皮表面の汚れを除去したアズキを、臍が測定面に向かないように調整して、30mmφのガラスセルに詰め(複粒法)、色彩色差計(東京電色 TC-1800 MK II)を用いて、C光源・2度視野の測定条件で、1試料につき12回詰替えて測定し、L* a* b*表色系により平均値を表示した。C*値および色差は第2章と同様にして算出し、色相(H°)は(7)式により求めた。

$$H^{\circ} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \cdot (180^{\circ}/\pi) \quad (7)$$

第2節 結果および考察

1. 種皮色に及ぼす着莢部位および開花時期の影響

(1) 着莢部位の影響

着莢節位によって種皮色がどのように異なっているかについて、1992年に栽培されたアズキを用いて検討した。なお、調査した5個体の平均主茎節数は10.4節、分枝数は1.6本、着莢数は32.4莢であった。

標準的なアズキ1個体の種皮色を、子実1粒毎に単粒法で測定し、主茎の節位別に平均した結果をFig. 15に示した。L*値は第4節位では14.2であったが、最上位の第11節位では22.6となっており、上位の節位ほど高い傾向にあった。a*値は節位による変化が小さかったが、第4節位の16.7に対し、第8節位では18.1となってお

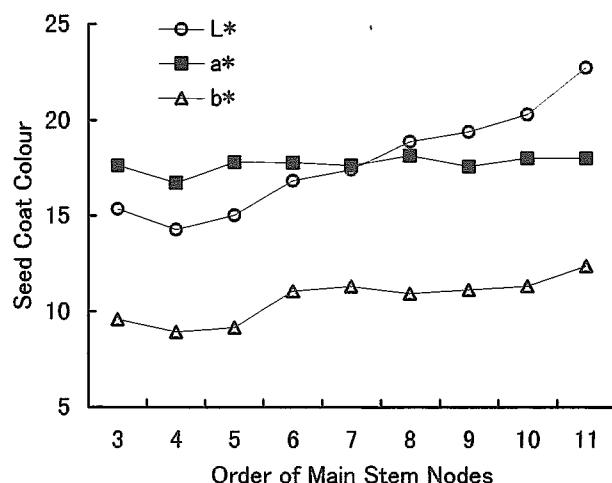


Fig.15. Seed coat colours of adzuki beans at different nodes of main stem.

Table 17. Seed coat colours of adzuki beans at different position of main stem nodes.

Position of Nodes	L*	a*	b*
Low	14.9 ^a	17.4 ^a	9.2 ^a
Middle	17.7 ^b	17.9 ^a	11.1 ^b
High	20.8 ^c	17.9 ^a	11.6 ^b

Low; 3rd-5th nodes, Middle; 6th-8th nodes, High; 9th-11th nodes.

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

り、中位の節位でやや高い傾向にあった。また、他の個体ではこの傾向がより顕著に認められるものもあった。b*値は第4節位では8.9であったが、第11節位では12.4となっており、L*値とほぼ同様に、中位から上位の節位で高い傾向を示した。

ここで、第3節位～第5節位までを下位、第6節位～第8節位までを中位、第9節位～第11節位までを上位として、それぞれの種皮色の平均値を比較してみると(Table 17)、L*値では下位から上位へ行くに従って値は高くなり、各部位間の値に有意差が認められた。しかし、a*値では部位間に差は認められず、b*値では中位と上位の値では差はなかったが、いずれも下位の値よりは高かった。このように、上位の節位ほどL*値およびb*値は高くなる傾向にあったが、a*値では節位による大きな差はなく、他の測定値と傾向は異なっていた。

次に、調査した5個体の全着莢部位における調査粒数と、1粒毎に測定した種皮色の平均値をTable 18に示した。個体間の変動係数(CV)は、L*値が4.2%、a*値が3.8%、b*値が2.7%、C*値が3.3%であり、各測定値とも個体間の変異は小さかった。以後、このCVを用

Table 18. Variation in the seed coat colour between adzuki plants.

Plant	No. of Seeds	Seed Coat Colour			
		L*	a*	b*	C*
A	245	17.2	17.9	10.6	20.9
B	210	15.5	19.6	11.3	22.7
C	232	17.2	18.2	10.5	21.0
D	168	16.2	18.4	11.0	21.5
E	168	16.1	17.7	10.9	20.8
Mean		16.4	18.4	10.9	21.4
SD		0.68	0.69	0.29	0.71
CV(%)		4.2	3.8	2.7	3.3

Seed coat colours were determined by single seed measurement.

Table 19. Variation in the seed coat colour between pods within adzuki plants.

Plant	No. of Pods	CV(%) of Seed Coat Colour			
		L*	a*	b*	C*
A	37	13.0	5.8	14.2	6.5
B	36	18.2	9.8	10.2	8.7
C	36	14.5	5.4	14.9	6.7
D	25	15.7	9.2	14.4	9.4
E	28	13.0	4.8	13.3	6.2
CV(%) between Plants		4.2	3.8	2.7	3.3

Coefficients of Variance(CV) were calculated from mean colour values of each pod within plants.

Table 20. Variation in the seed coat colour between nodes within adzuki plants.

Plant	No. of Nodes	CV(%) of Seed Coat Colour			
		L*	a*	b*	C*
A	9	12.7	4.6	12.8	5.2
B	10	17.7	8.6	7.8	6.7
C	9	14.1	4.5	12.8	6.1
D	9	17.6	8.3	15.1	8.6
E	9	13.2	3.7	13.3	5.1
CV(%) between Plants		4.2	3.8	2.7	3.3

Coefficients of Variance(CV) were calculated from mean colour values of each node within plants.

いて着莢部位による種皮色の変異を比較した。

各個体内の全着莢部位における調査莢数と、1粒毎に測定した種皮色の莢間でのCVをTable 19に示した。いずれの測定値とも、莢間での変異は個体間で認められた変異よりも大きかった。特に、L*値では13.0%~18.2%、b*値でも10.2%~14.9%と大きな変動が認められた。このように、同一個体内であっても莢により種皮色が大きく異なることが示された。

各個体内の主茎における調査節数と、1粒毎に測定した種皮色の節位間でのCVをTable 20に示した。各測定値のCVは莢間のCVと同様の傾向を示しており、L*

Table 21. Variation in the seed coat colour between pods within nodes of main stem.

Order of Node	No. of Pods	CV(%) of Seed Coat Colour			
		L*	a*	b*	C*
2	3	11.4	1.3	4.4	0.9
3	6	10.2	7.3	6.4	6.9
4	4	3.0	3.6	5.9	3.8
5	3	8.4	0.8	4.5	1.6
6	3	16.1	8.8	6.4	8.2
7	3	7.7	5.3	6.3	5.2
8	3	1.6	6.7	5.0	6.2
CV(%) between Nodes		17.7	8.6	7.8	6.7

Coefficients of Variance (CV) were calculated from mean colour values of each pod within nodes of plant B. Order of node was numbered from lower to upper nodes of main stem.

Table 22. Variation in the seed coat colour between seeds within pods at the same nodes of main stem.

Order of Node	Mean No. of Seeds in a Pod	CV(%) of Seed Coat Colour			
		L*	a*	b*	C*
2	7.3	11.8	6.1	5.9	5.6
3	4.8	8.7	6.6	6.8	6.5
4	5.0	6.4	4.1	5.6	4.3
5	7.0	10.7	3.5	3.2	3.1
6	7.3	10.9	5.0	6.8	5.1
7	7.0	6.4	3.0	5.6	3.3
8	5.5	5.0	3.8	4.2	3.4
9	7.3	12.6	7.3	5.8	4.9
10	7.0	6.3	3.4	5.9	3.4
11	5.5	2.4	4.4	3.4	2.4
CV(%) between Pods		18.2	9.8	10.2	8.7

Coefficients of Variance(CV) were calculated from mean colour values of each seed within pods at the same nodes of plant B. Order of node was numbered from lower to upper nodes of main stem.

値では12.7%~17.7%、b*値では7.8%~15.1%と大きな変動が認められた。このように、節位が異なることにより種皮色は大きく変動することが示された。

次に、個体Cを用いて、主茎の節位別に1粒毎に測定した種皮色について、同一節位内の莢間でのCVをTable 21に示した。なお、ここでは3莢以上の着莢のあった節位についてのみCVを求めた。同一節位内の莢間においては、L*値ではCVが1.6%~16.1%と、節位によってはやや大きな変異が認められたが、各測定値とも節位間で認められた変異よりも小さかった。このように、同一節位内では種皮色の変異が比較的小さいことが示された。

同様に個体Cを用いて、主茎の各節位における1莢当たりの平均粒数と、節位別に1粒毎に測定した種皮色について、同一莢内の粒間でのCVをTable 22に示した。同一莢内においても、L*値で2.4%~12.6%と節位に

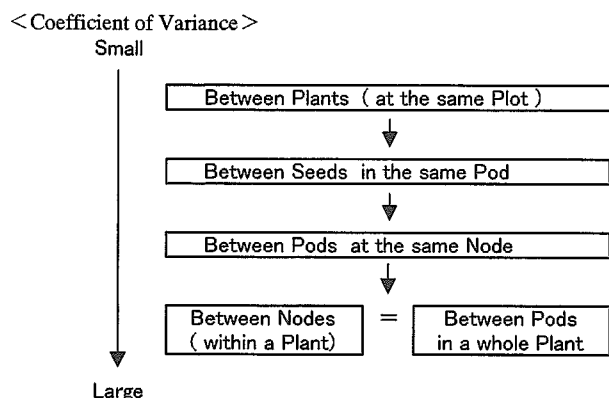


Fig.16. Variation of the seed coat colour in adzuki plant.

よってはやや大きな変異が認められたが、各測定値とも莢間または節位間で認められた変異よりも小さかった。このように、同一莢内では種皮色の変異は比較的小さいことが示された。

以上の結果を、Fig. 16 にまとめた。同一圃場内におけるアズキの種皮色を、1 個体全体の平均値をもって比較すると、個体間の変異は非常に小さかった。しかし、アズキ 1 個体内においては、同一莢内での変異は小さいが、節位が異なることにより種皮色は大きく変異することが示された。

本試験で供試した「エリモショウズ」は、現在、北海道のアズキ栽培面積の約 8 割を占める主要品種であり(北海道, 1999a)、種皮色はやや淡赤で粒揃いがよく、外観品質の評価が高い品種である(村田ら, 1982)。しかし、開花期間が 1 カ月以上あるため、収量を確保できる反面、これらを同時に収穫するため、同一圃場から得られた収穫物であっても、いろいろな種皮色のものが混在している。本結果から、「エリモショウズ」の個体内における種皮色については、 L^* 値および b^* 値は上位の節位ほど高くなるが、 a^* 値は節位による変化が小さいことが判明した。このことから、着莢節位が上位のものほど明度および彩度は高く、明るく鮮やかな色となる傾向にあると言えることができる。

また、種皮色は莢によって大きく異なっていたが、同じ莢内の子実間での変異は小さく、莢が異なる場合でも、同一節位内の莢間での変異は比較的小さかった。しかし、節位が異なることにより、大きな変異が認められたことから、アズキ 1 個体内の莢間でみられた種皮色の変異は、着莢節位の違いによるものと判断された。つまり、莢により開花日が異なるため、早く開花した下位の節位と、開花日の遅い上位の節位とでは種皮色が大きく異なっていたものと考えられた。

(2) 開花時期の影響

アズキの開花時期の違いが、種皮色にどのような影響を及ぼすかについて、同一圃場内のアズキを用いて検討した。

1992 年の 5 月から 9 月にかけての中央農試の気象は、気温は積算平均気温が $2,478^{\circ}\text{C}$ で平年より 116°C 低く、7 月を除いて全般に平均気温は低く推移した。降水量は 629mm で平年より 232mm 多く、日照時間は 665 時間と平年より 285 時間少なかった。この年の中央農試におけるアズキの作況は、低温・寡照による生育停滞のため、「やや不良」であった。成熟期における主莖節数は 10 節程度であり、分枝数は 0.8 本、着莢数は約 34 莢といずれも平年を下回っていた。試験圃場における、節別後の加重平均した百粒重は 11.3g (水分 14.1%) とやや小さかった。

1992 年の 7 月下旬の開花期から、8 月中旬までの種皮色の変化を Fig. 17 に示した。開花時期が遅くなるに従って L^* 値は高くなる傾向にあった。 a^* 値は 8 月 5 日開花のもので最も高かったが、8 月 14 日開花のものとの差は小さかった。 b^* 値は L^* 値と同様に、開花時期が遅くなるに従って高くなる傾向にあった。また、7 月 29 日開花のものを基準に色差 (ΔE^*ab) を計算すると、8 月 5 日開花のものでは 3.0、8 月 14 日開花のものでは 5.1 であった。

より詳細に開花時期の影響をみるため、1993 年についても同様に検討した。5 月から 9 月にかけての中央農試の気象としては、積算平均気温が $2,509^{\circ}\text{C}$ で平年より 63°C 低く、特に 6 月下旬および 7 月下旬～8 月上旬にかけて低かった。降水量は 341mm で平年より 81mm 少なく、日照時間も 682 時間と平年より 261 時間少なかった。この年は全道的に冷害年であったが、中央農試では成熟期が平年より 9 日遅く、登熟期間が長くなったため、百

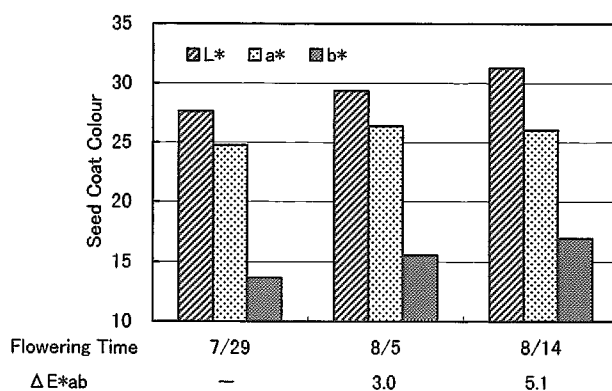


Fig.17. Relationship between seed coat colours and flowering time in 1992.

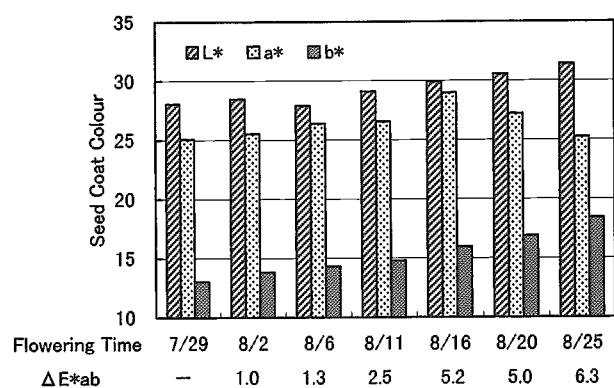


Fig.18. Relationship between seed coat colours and flowering time in 1993.

粒重が大きくなり、作況は「良」であった。試験圃場における、篩別後の加重平均した百粒重は13.8g（水分14.3%）であり、中央農試の平年値である12.2gを大きく上回っていた。

1993年の7月下旬の開花期から、8月下旬の開花終期まで、種皮色の変化を調査した結果をFig. 18に示した。L*値は7月29日の28.1から8月25日の31.4まで、開花時期が遅くなるに従って高くなる傾向にあった。a*値は7月29日が25.1で最も低く、8月16日が29.0で最も高かった。b*値は7月29日の13.0から8月25日の18.4まで、L*値と同様に開花時期が遅くなるに従って高くなる傾向にあった。また、7月29日開花のものを基準に色差（ ΔE^*ab ）を計算すると、8月6日以前に開花したものでは1.5未満と小さく、8月16日以降に開花したものでは5.0以上と大きくなっていった。

以上のように、1992年および1993年の両年とも、L*値およびb*値は開花時期が遅くなるほど高くなる傾向にあったが、a*値は8月上旬から中旬にかけての開花2～3週間後の時期に最大値を示した。このように、開花時期が種皮色に及ぼす影響については、測定値（L*値・a*値・b*値）により異なることが示唆された。また、8月下旬ではa*値が低くなっており、L*値およびb*値が高いことから、視覚的には黄色味の強い、淡く明るい種皮色となっていた。

一方、7月29日の開花期直後のものを基準とした色差（ ΔE^*ab ）は、両年とも8月中旬以降5.0以上と大きくなる傾向にあった。色差は、1.5～3.0異なると「感知し得るほどに異なる」、3.0～6.0異なると「著しく異なる」と評価されることから（日本色彩学会, 1989）、8月中旬以降に開花したものの種皮色は、開花期直後のものとは明らかに異なっていることが確認された。

各節位における第一番花の開花日は、下位の節位ほど

早いことから考えると、開花時期に伴う種皮色の変化は、着莢節位間でみられた傾向と一致していた。これらのことより、着莢節位間でみられた種皮色の変異は、それぞれの節位における開花時期の違いを反映したものと判断された。

収穫時期と種皮色の関係については、早刈すると赤味が強くなり、遅刈では黄色味が強くなるとの報告もある（藤田ら, 1990）。これは、収穫時期が遅くなることにより、開花終期に開花した莢が熟莢に達するため、b*値の高い黄橙色の子実の割合が相対的に高まったことによるものと推定される。収穫日から脱粒日までの乾燥調整期間の長さについても、種皮色とは関係がないとの報告がある（由田ら, 1991a）。

アズキ種皮色の測定値間の相互関係については、栽培地域の異なる試料については、L*値とb*値の間よりもa*値とb*値の間に高い相関が認められることが報告されている（相馬ら, 1989b; 加藤ら, 1992）。しかし、アズキ1個体内においては、開花時期に伴ってL*値とb*値は連動して変化し、a*値とは異なる傾向を示すことが確認された。

なお、開花終期では、a*値がやや低くなる傾向にあるため、色相（H°）の値は大きくなり、アズキの種皮色としては赤紫色よりも黄橙色の度合いが強くなる。このため、視覚的には赤味の低い淡い色となり、流通上では未熟粒と判定される場合もある。しかし、a*値が同じであってもb*値が高い場合には黄橙色の度合いが強くなり、淡い色と感ぜられる。つまり、視覚的にはa*値よりもむしろb*値の影響を強く受けるため、淡い色が必ずしも未熟粒を意味するものではない。由田ら（1991a）もアズキの外観的な赤色の濃淡には、L*値およびb*値が強く関係していると指摘している。

2. 種皮色の2次元座標表示

(1) 種皮色の変異

供試したアズキ222点の種皮色は、Table 23に示すように、L*値、a*値、b*値の各測定値とも最大値と最小

Table 23. Variation in the seed coat colour of adzuki beans harvested in 1992-1997.

	L*	a*	b*
Average	26.6	18.6	10.8
Minimum	21.9	13.6	5.2
Maximum	32.0	24.0	15.4
SD	1.9	2.2	2.3
CV(%)	7.3	11.7	20.9

n=222.

値の間には10程度の差があり、 b^* 値では変動係数(CV) 20.9%の大きな変異が認められた。また、単年度における種皮色の比較においても、1995年の北見農試産「アケノワセ」とアルゼンチン産アズキとの間には、非常に大きな色差($\Delta E^*ab=12.9$)が認められた。一般に、色差は3.0~6.0で「著しく異なる」、6.0~12.0で「きわめて著しく異なる」と表現されることから(日本色彩学会, 1989)、供試したアズキの種皮色には、きわめて大きな変異幅があったといえる。

b^* 値の変異に関しては、同一地域内であっても生産者間で幅広い変異がみられ、 L^* 値や a^* 値に比べて相対的に大きいと報告されている(平ら, 1989)。この種皮色の変動要因の一つとしては、登熟期における気象条件の影響が指摘されており(浅間ら, 1984a)、播種時期が遅いほど(佐藤ら, 1989)、もしくは収穫時期が遅いほど(藤田ら, 1990)種皮色は明るい色調になるとの報告もある。 L^* a^* b^* 表色系による測定値を、明度(L^* 値)および彩度(C^* 値)を座標軸とした2次元平面上にプロットし、両者により表現される色調空間において、その変異をみた。供試アズキ 222 点の種皮色の分布は、Fig. 19 に示すように広範となっており、 C^* 値 (15.0~27.3) については L^* 値 (21.9~32.0) よりもやや大きい変異が認められ

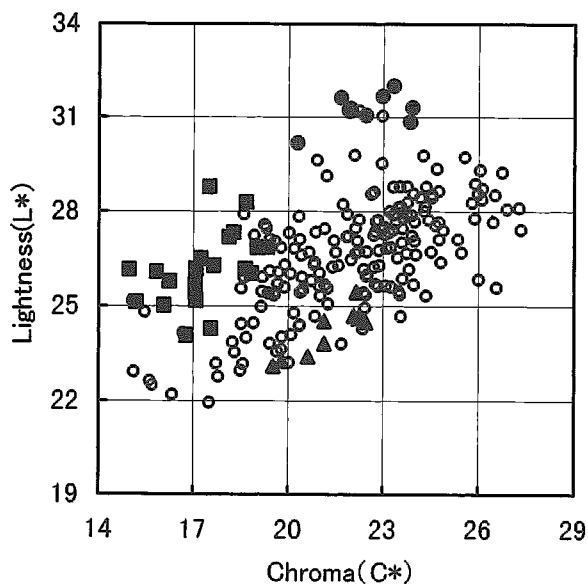


Fig.19. Variation in the seed coat colour of adzuki beans in a two-dimensional space with lightness (L^*) and chroma (C^*) axes. The samples were harvested in Japan and six other countries from 1992 to 1997. ●; harvested at Tokachi Agricultural Experiment Station in 1993 (the year with cold maturing period), ▲; harvested at Tokachi Agricultural Experiment Station in 1994 (the year with hot maturing period), ■; harvested in China, ○; others.

た。このように、種皮色の変異が非常に大きかった理由としては、ここで供試した北海道産アズキには、平年とは気象状況が大きく異なる、著しい低温年(1993年)や高温年(1994年)に生産されたものが含まれていることがあげられる。さらに、中国産をはじめとする輸入アズキのように、気象や土壌または施肥条件が道産アズキとは大きく異なるものが含まれていることも影響しているものと推察される。

なお、本座標上の色調は、「無彩色の明度並びに有彩色の明度及び彩度の相互関係」に示された用語(日本色彩学会, 1989; International Commission on Illumination, 1987)に従うと、 L^* 値および C^* 値がともに高い方向では「明るい」、 L^* 値が低く C^* 値が高い方向では「濃い」、 L^* 値が高く C^* 値が低い方向では「うすい」、 L^* 値および C^* 値ともに低い方向では「暗い」と表現される。

(2) 品種間および年次間差異

種皮色の品種間差異について、1995年十勝農試産アズキ 11 品種を用いて、本2次元座標上で比較を行った(Fig. 20)。普通アズキの大部分および「ほくと大納言」は L^* 値が 23~25、 C^* 値が 27~29 の範囲に位置していた。しかし、種苗特性分類の「種皮の地色」が「赤」に分類される普通アズキのうちでも、特に赤味の強い「アケノワセ」では C^* 値が高く、「濃赤」に分類されるアズキの中でも暗い色調をしている「アカネダイナゴン」および「カムイダイナゴン」の大納言銘柄に属する2品種は C^* 値が低かった。このように、品種による種皮色の差異は、 L^* 値よりも C^* 値の座標軸方向に大きく認められた。また、従来から言われている品種の特性(浅間ら, 1984b; 村田ら, 1985; 由田ら, 1991a; 加藤ら, 1992)と一致した傾向が、2次元座標上においても表現されることが確認された。

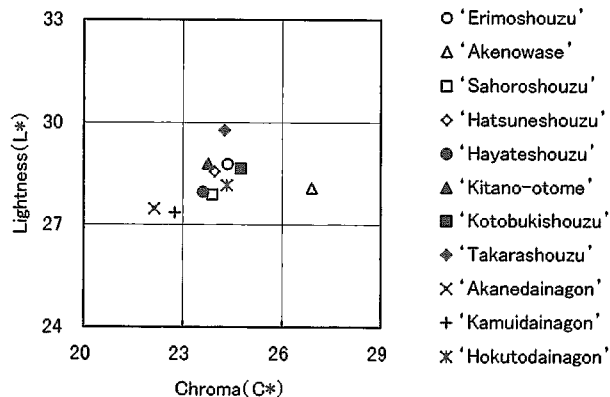


Fig.20. Seed coat colour of eleven adzuki varieties grown at Tokachi Agricultural Experiment Station in 1995.

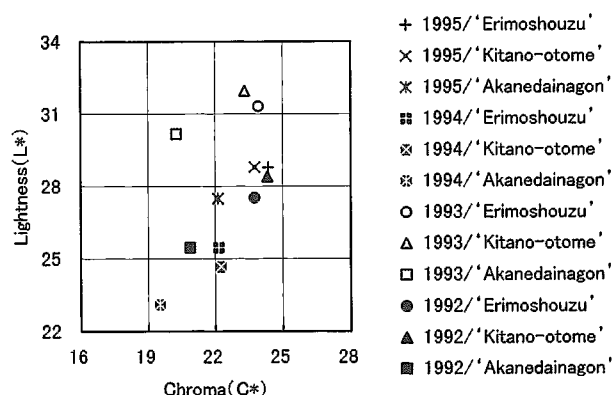


Fig.21. Seed coat colour of three adzuki varieties grown at Tokachi Agricultural Experiment Station in different harvest years.

種皮色の年次間差異について、1992年～1995年に十勝農試で同一条件で栽培されたアズキ3品種を用いて、本2次元座標上で比較を行った (Fig. 21)。種皮色の類似した「エリモショウズ」および「きたのおとめ」は、いずれの年次でも C^* 値が22～24と近接した位置にプロットされた。「アカネダイナゴン」の C^* 値は、いずれの年次でも19～22と両者よりも低く、 L^* 値もやや低い値となっており、色調としては「暗い」方向にプロットされた。このように、収穫年次が異なる場合でも、同一品種の C^* 値の変動は小さかった。

一方、収穫年次による種皮色の変動は、 L^* 値の座標軸方向で大きく認められた。すなわち、いずれの品種でも1993年の低温年（7月下旬～9月中旬までの2カ月間の平均気温 17.0°C ）では L^* 値が30～32と高く、1994年の高温年（同 21.7°C ）では L^* 値が23～25と低くなっていた。しかし、このような特異的な2カ年の間でも、同一品種の C^* 値の差異はわずかであった。また、登熟期間の気象条件が比較的類似した1992年（同 18.2°C ）と1995年（同 18.3°C ）の比較では、同一品種の L^* 値および C^* 値の差はともに小さかった。なお、日照時間については、低温年の1993年の7月下旬～9月中旬までの2カ月間で224時間であり、高温年の1994年の243時間よりも少なかった。しかし、これらの日照時間は、1992年（217時間）および1995年（216時間）よりも長くなっており、 L^* 値の傾向とは一致しなかった。また、低温年ほどアズキの成熟期が遅くなり、登熟期間に受ける日照の合計時間は多くなることから、 L^* 値は日照時間に直接的な影響は受けていないものと推察された。

(3) 栽培地間差異

栽培地による種皮色の差異について、1995年に十勝農試と中央農試でそれぞれ同一条件で栽培された共通の7

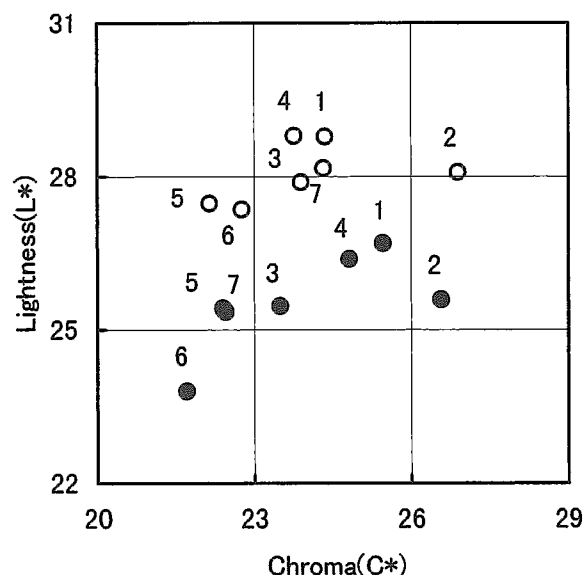


Fig.22. Seed coat colour of the seven adzuki bean varieties grown at Tokachi Agricultural Experiment Station (○) and Hokkaido Central Agricultural Experiment Station (●) in 1995, 1; 'Erimoshouzu', 2; 'Akenowase', 3; 'Sahoroshouzu', 4; 'Kitano-otome', 5; 'Hokutodainagon', 6; 'Akanedainagon', 7; 'Kamuidainagon'.

品種を用いて検討した (Fig. 22)。その結果、 L^* 値の座標軸方向において明らかな差異が認められたが、 C^* 値については同一品種ではほぼ一定の範囲内に位置しており、栽培地による違いは小さかった。すなわち、十勝農試産は中央農試産に比べて各品種とも L^* 値が高く、明るい種皮色をしていた。従来より、十勝産アズキの L^* 値は道央産のものよりも高いことが報告されており（浅間ら、1984b；由田ら、1991a；加藤ら、1992）、その要因としては気象条件や収穫時期の影響が指摘されている。

1995年の7月下旬～9月中旬までの2カ月間の平均気温は、十勝農試では 18.3°C であったのに対し、中央農試では 19.0°C とやや高くなっていた。また、この年の「エリモショウズ」の成熟期は、十勝農試では9月26日であったのに対し、中央農試では9月8日と大きく異なっていた。よって、両栽培地間でみられた L^* 値の差異は、年次間差異と同様にアズキ登熟期間中の気象条件の影響が大きいと推察され、低温で成熟期が遅い地域ほど L^* 値が高くなる傾向にあるものと考えられた。このように、栽培地間での種皮色の差異は、年次間で認められた傾向と一致しており、 C^* 値よりも L^* 値において大きな差異がみられることが判明した。

次に、北海道の気象条件が調査した6年間の平年値に近かった、1997年の北海道産アズキ（十勝農試産）と中国産アズキ（東部および東北部産）について比較した

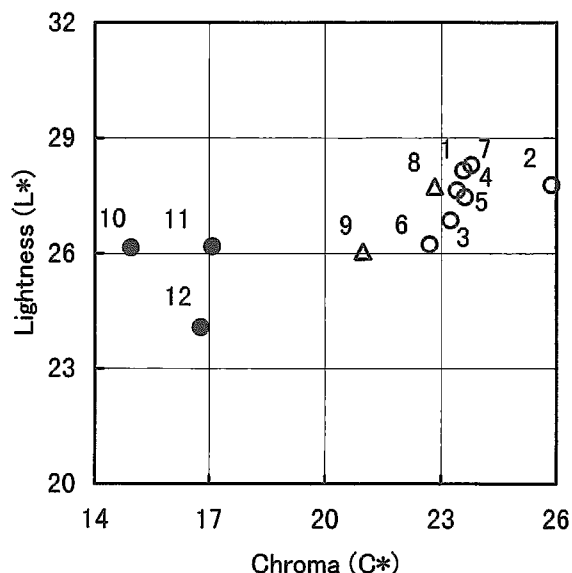


Fig.23. Seed coat colour of the adzuki beans grown in Hokkaido (○;small seed varieties and △;large seed varieties) and China (●)in 1997. 1;‘Erimoshouzu’, 2; ‘Akenowase’, 3;‘Sahoroshouzu’, 4;‘Hatsuneshouzu’, 5;‘Kitano-otome’, 6;‘Kotobukishouzu’,7;‘Takarashouzu’,8;‘Hokutodainagon’, 9;‘Akanedainagon’,10; ‘Tianjin’,11;‘Dongbei’, 12;‘Songming’.

(Fig. 23). その結果、両者の C^* 値には明確な差異が認められた。すなわち、北海道産の普通アズキおよび「ほくと大納言」の C^* 値は 23~26 と高かったのに対し、中国産アズキの C^* 値は 15~17 と低かった。また、「アカネダイナゴン」の C^* 値は 21 と、北海道産アズキの中では最も低かったが、中国産アズキよりも明らかに高かった。

なお、北海道産アズキの L^* 値は年次による変動が 23~32 と大きかったが、中国産アズキでは 24~28 と小さかった。しかし、いずれの年次においても C^* 値については、北海道産アズキ (19~27) と中国産アズキ (15~19) で大きく異なっていた。北海道では年次により気象条件が大きく変動したが、本 2 次元座標上で北海道産と中国産のアズキは明確に区分することが可能であった。これは、北海道産と中国産アズキとでは、品種が遺伝的に異なっており、そのため C^* 値に大きな差異がみられたものと考えられた。

(4) 2 次元座標による種皮色の識別

色調のみによる種皮色評価では、赤味が強いのか黄味が強いのかといった色相 (H^* ; 0 で赤, 90 で黄) を考慮できない恐れがある。本試験で用いたアズキ種皮色の H^* には、赤味が強い 20 から黄味が強い 40 程度までの変異が認められた。しかし、 L^* 値と H^* を座標軸とした 2 次元座標空間においては、供試したアズキの種皮色には直線

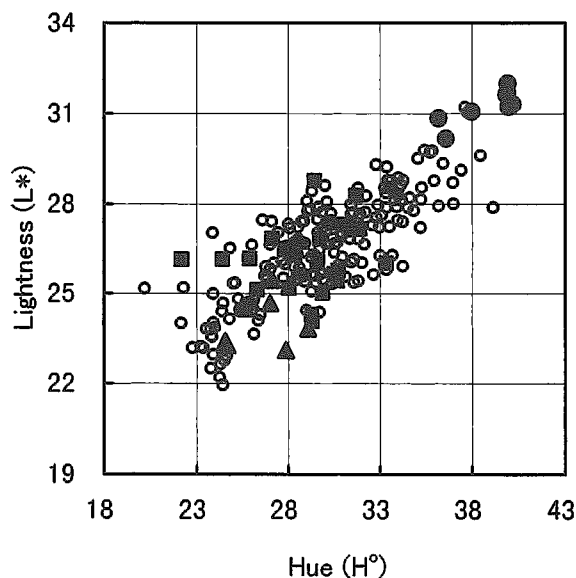


Fig.24. Variation in the seed coat colour of adzuki beans in a two-dimensional space with lightness (L^*) and hue angle (H°) axes. The samples are the same as those shown in Fig.19. The H° values are positively correlated ($r=0.822$, $p<0.01$, $n=222$) with the L^* values.

的關係が認められた (Fig. 24)。これは、品種や収穫年次、栽培地の異なるアズキであっても、種皮色の L^* 値と H° との間には、有意水準 1% の高い正の相関 ($r=0.822^{**}$, $n=222$) が認められるためである。なお、品種を「エリモシヨウズ」に限った場合にも、極めて高い正の相関関係 ($r=0.909^{**}$, $n=24$) が認められた。

L^* 値の高いアズキは b^* 値も高い傾向にあり、視覚的には黄味の強い色調となることが報告されている (由田ら, 1991a; 加藤ら, 1992)。また、加藤ら (1994) は、開花時期が遅くなるに従って L^* 値および b^* 値は高くなり、 L^* 値の上昇に伴い黄味が強くなることを報告している。このように、アズキの生理的特性として、 L^* 値が高くなるような生育環境では b^* 値も上昇し、その結果として H° が大きくなる (黄味が強くなる) といった一定の傾向にある。さらに、北海道立各農業試験場で栽培された「エリモシヨウズ」を用いた調査結果では、 H° と登熟期の平均気温との間には、負の相関関係 ($r=-0.757^{**}$, $n=20$) が認められた。従って、 H° もまた L^* 値と同様に登熟期間中の気象条件の影響を受けているものと考えられた。よって、通常、年次間や栽培地間の比較を行う場合には、あえて H° を用いなくとも、 L^* 値と C^* 値を基にした色調による評価のみで、種皮色の識別が可能であると判断された。

このように、従来より用いている L^* a^* b^* 表色系に

よる測定値を、 L^* 値および C^* 値を座標軸に用いた 2 次元の色調図で示すことにより、3 つの変数による表示からは捕らえづらかった種皮色の差異を、より明確にすることができた。すなわち、品種によるアズキ種皮色の特徴は主に C^* 値の座標軸方向に認められ、気象要因に基づく収穫年次または栽培地による変動は L^* 値の座標軸方向に大きく認められ、これらを 2 次元の平面上で表現することは、種皮色の差異を把握する上で有効なものと考えられた。

3. 種皮色に及ぼす気象条件の影響

(1) 開花日を異にするアズキの明度と気象要因の関係

1993 年の開花時期別に調査した種皮色の明度 (L^* 値) を基に、各種気象要因との関係について検討した。その結果、Table 24 に示すように、開花日から 10 日間の平均気温とは有意な正の相関関係が、開花 21 日目から 10 日間の平均気温とは有意な負の相関関係が認められた。気温較差、日照時間、日射量および降水量とは、開花後 30 日目までのいずれの期間においても、有意な相関は認められなかった。また、 L^* 値以外の測定値についても検討を行ったが、気象要因との間には明確な関係は認められなかった。

登熟期における気象条件の影響について、明度は開花後 10 日間の日射量に強い影響を受け、この間の日射量が多くなると種皮色が濃くなると報告されている(浅間ら、

Table 24. Correlations between seed coat colour(L^*) of adzuki beans differing flowering time and weather factors.

	1-10 DAF	11-20 DAF	21-30 DAF
Mean Temp.	0.868*	-0.584	-0.853*
Temp. Difference	0.535	0.441	0.278
Sunshine Hours	0.241	0.184	0.004
Solar Radiation	-0.321	-0.530	-0.613
Rainfall	-0.370	-0.494	0.422

DAF; Day(s) after Flowering,*; $P < 0.05$, $n = 7$.

Mean Temp.; Average of daily mean temperature, Temp. Difference; Average of daily difference between maximum and minimum temperature,

Sunshine Hours; hrs/10 days, Solar Radiation; MJ/10 days, Rainfall; mm/10 days.

1984a)。本試験における種皮色の調査は、同一圃場で栽培されたアズキを対象に行ったものであるため、開花後のどの期間を対象とするかで、旬別の平均気温は変化し、明確な影響解析はできなかった。ただし、開花直後の 10 日間では幼莢の伸長は認められるものの、子実は未形成であること、開花後 11 日目からの 10 日間および開花後 21 日目からの 10 日間では、平均気温と L^* 値の間には負の相関関係が認められたことを考え合わせると、開花後 11 日目以降の子実肥大期では、平均気温が高いほど L^* 値は低くなる傾向にあるものと推察された。

(2) 登熟期間の気温および日照と種皮色の関係

1992 年～1997 年に北海道立各農業試験場で栽培され

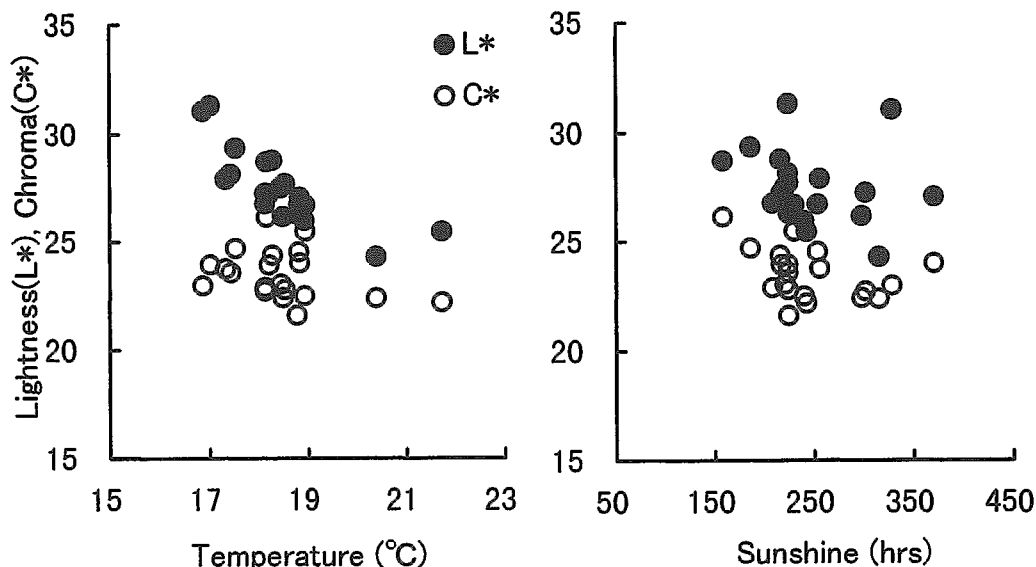


Fig.25. Relationships between seed coat colour(●; L^* and ○; C^*)and wether conditions (average temperature and duration of sunshine) in the maturing period from late July to mid September with the adzuki variety 'Erimoshouzu' grown at Hokkaido Agricultural Experiment Stations from 1992 to 1997. The L^* values are negatively correlated ($r = -0.798$, $P < 0.01$, $n = 20$) with the average temperature in the maturing period.

た「エリモショウズ」を用いて、種皮色 (L^* 値および C^* 値) と 7 月下旬から 9 月中旬までの登熟期間における気象条件 (平均気温および日照時間) との関係について検討した。その結果、Fig. 25 に示すように、 L^* 値と平均気温の間には、有意な負の相関関係 ($r = -0.798^{**}$) が認められた。しかし、 L^* 値と日照時間の間には、有意な相関関係は認められなかった。また、 C^* 値と平均気温または日照時間との間にも、有意な相関関係は認められなかった。これらの結果から、 L^* 値にみられる年次間や栽培地間における変動は、登熟期間の平均気温に影響を受けていることが示唆された。登熟期間の気温が低い場合には、成熟期が遅くなる傾向にあるため、この間に受ける日照の総量は多くなる。こうした点からも、アズキの種皮色には、登熟期間の気温が日照よりもより強い影響を及ぼしているものと考察された。すなわち、この間の気温が低い場合には L^* 値が高くなり、気温が高い場合には L^* 値が低くなるものと考えられた。

穫時期の早晚と L^* 値の間にも有意な相関関係が認められ、一般に成熟を早める条件により L^* 値が低くなり、種皮色は濃くなることが指摘されている (由田ら, 1991 a)。本研究における 1992 年および 1993 年の栽培試験の結果でも、同一年次内においては、収穫時期が同じ場合には開花時期が遅いほど L^* 値は高くなることが確認されている。このように、 L^* 値は登熟期間中の気象条件に大きく影響を受けるために、年次や栽培地が異なることにより、アズキの種皮色としては、 C^* 値よりも L^* 値で大きく変動するものと考えられた。

第 3 節 要 約

アズキの着莢部位および開花時期が種皮色に及ぼす影響を検討すると共に、明度と彩度を座標軸に用いた 2 次元色調空間によるアズキ種皮色の表示方法を考案し、その変動要因について検討を行い、以下の結果を得た。

(1) アズキ 1 個体内における種皮色の変異については、 L^* 値および b^* 値は上位の節位ほど高かったが、 a^* 値は節位による変化が小さかった。また、 L^* 値と b^* 値には開花時期が遅くなるほど高くなる傾向が認められたが、 a^* 値にはこのような傾向は認められず、開花 2～3 週間後の時期に最大値を示した。着莢節位間でみられた種皮色の変異は、それぞれの節位における開花時期の違いを反映したものと判断された。

(2) 従来より用いている L^* a^* b^* 表色系による測定値を、 L^* 値および C^* 値を座標軸に用いた 2 次元の色調図で示すことにより、3 つの変数による表示からは捕らえづらかったアズキ種皮色の差異を、簡略に表現することが可能であった。品種による特徴は主として C^* 値の座標軸方向に認められ、収穫年次または栽培地による変動は L^* 値の座標軸方向に大きく認められた。

(3) アズキ種皮色と気象要因の関係については、 L^* 値と登熟期間の平均気温との間に、有意な負の相関関係が認められた。 L^* 値で認められた収穫年次および栽培地による変動は、登熟期間の気象条件により生ずるものと推察され、この間の気温が低い場合には L^* 値が高くなり、気温が高い場合には L^* 値が低くなることが判明した。