

収量予測・情報処理・環境

アズキ種皮色に対する登熟期温度の影響

長岡泰良<sup>1)</sup>・沢田壮兵<sup>\*、2)</sup>・加藤清明<sup>2)</sup>

(<sup>1)</sup> 株式会社 バイオテック・<sup>2)</sup> 帯広畜産大学)

**要旨：**アズキの種皮色は粒大とともに品質に関係する重要な外観形質である。種皮色に対する登熟期の温度の影響を明らかにするために品種エリモシヨウズを用いて2つの実験を行った。種皮色をXYZ表色系で表した。実験1では、成熟度を異にする3種類の莢(未成熟莢, 成熟初期莢, 成熟莢)を、温度4水準(5, 15, 30, 40℃)と日数7水準(2, 4, 6, 8, 10, 12, 14日間)の組み合わせで処理した。温度の影響は未成熟莢で大きく、成熟莢で小さかった。高温になるほど主波長(色相)は長くなり、Y値(明度)は小さくなった。刺激純度(彩度)は、成熟莢では高温とともに小さくなったが、未成熟莢と成熟初期莢では30℃処理まで上昇し、40℃で減少した。実験2では、圃場で白色莢(成熟初期莢)に印を付け、それ以降10日間の平均気温と収穫した種子の種皮色との関係を調べた。10日間の平均気温と、主波長には正の高い相関関係( $r=0.913$ )が、Y値( $r=-0.911$ )と刺激純度( $r=-0.893$ )とは負の高い相関関係があった。これらのことは、登熟期の気温が高いと主波長が長くなり、Y値と刺激純度は小さくなるため、種皮色が濃くなることを示している。白色莢以後10日間の平均気温から収穫時の種皮色を予測する推定式を作成した。主波長 $y_D=0.7947x+591.3$ 、Y値 $y_Y=-0.3452x+12.64$ および刺激純度 $y_E=-0.5507x+44.4$ に、白色莢を観察した日から10日間のその地域における平年値の平均気温を代入することにより、それぞれの値を求めることができる。

**キーワード：**アズキ、種皮色、登熟期、温度、主波長、明度、彩度、XYZ表色系。

アズキの種皮色は粒大とともに外観品質を表す重要な形質である。消費者は食味や栄養価と同じように外観を重視することから、また原料の種皮色は煮熟後の煮豆や餡の色と密接に関係することから、実需者および流通関係者は一定範囲の安定した種皮色を望んでいる。種皮色は品種、気象、地域および栽培条件によって変動することが報告されており、とくに登熟期の気温が高いと種皮色は濃色に、低いと淡色になることが経験的に知られている。しかし、播種日、開花日、成熟期および収穫時期の違いによって、間接的には登熟期の温度の違いによって、種皮色の変動したことは報告されているが、直接登熟期の温度が種皮色に与える影響についての報告は少ない。本研究では、登熟期の温度が種皮色に与える影響を明らかにするために、室内での加温実験と圃場での調査を行った。また、登熟期の気温から収穫時の種皮色を予測する方法についても検討した。

材料と方法

実験1. 温度処理による種皮色の変化

2003年に北海道芽室町の試験圃場で慣行栽培したエリモシヨウズを供試した。9月25日に生育中の莢を成熟度別に未成熟莢、成熟初期莢および成熟莢の3種類に分類して採取した。分類の方法は前報(長岡・沢田2003)と同じである。未成熟莢の外観は緑色、成熟初期莢は白色、成熟期莢は褐色で、それぞれおよそ成熟の7, 4, 0日前に該当する。採取した莢を温度4水準(5℃, 15℃, 30℃および40℃)と日数7水準(2, 4, 6, 8, 10, 12および14日

間)を組み合わせると合計28処理区について3反復で温度処理を行った。温度処理は5℃を冷蔵庫、15℃を低温インキュベーター(ヤマト科学IL72)、30℃をインキュベーター(ヤマト科学IS82)、40℃を定温乾燥機(ヤマト科学DV61)で行った。各処理区とも10莢中の種子(53~76粒)を2反復で測定した。種皮色の測定には分光測色計(ミノルタCM-3500d)を用い、C光源、2度視野、単粒法で測定した。種皮色はXYZ表色系で表示した。XYZ表色系では、主波長が色相を、Y値が明度を、刺激純度が彩度を表し、それぞれの値が大きくなると赤味、明るさおよび鮮やかさの程度が強くなる。

実験2. 圃場で登熟した種子の種皮色と温度との関係

1999年に北海道芽室町(A圃場)と清水町(BおよびC圃場)の試験圃場で、2001年にはA圃場で、慣行栽培したエリモシヨウズを供試した。1999年には9月3日から3日間隔で9月21日まで、A圃場では5回、BおよびC圃場ではそれぞれ7回、成熟3~5日前に当たる白色莢を選んで印をつけた。2001年には9月21日から10月28日まで7回、白色莢に印をつけた。印を付けた莢を1999年10月5日と2001年11月14日に採取し、吹き抜きの網室で乾燥し、子実水分15%で脱穀、調整した種子の種皮色を測定した。測定方法および条件は実験1と同じである。1区20莢中の種子を2反復で測定した。

第1表 成熟度が異なる莢中種子の温度処理による種皮色の分散分析.

要因	自由度	未成熟莢			成熟初期莢			成熟莢		
		主波長	Y値	刺激純度	主波長	Y値	刺激純度	主波長	Y値	刺激純度
無処理-処理	1	1634.57 **	630.90 **	213.24 **	782.21 **	641.03 **	280.14 **	231.28 **	15.97 **	50.43 **
温度(T)	3	9171.31 **	1985.22 **	570.86 **	1885.30 **	727.31 **	112.33 **	1212.82 **	38.96 **	424.93 **
日数(D)	6	332.24 **	175.76 **	162.30 **	181.10 **	136.00 **	116.08 **	26.05 **	0.69 **	11.69 **
T×D	18	57.99 **	45.70 **	91.99 **	14.81 **	24.19 **	68.77 **	5.87 **	0.23	1.84 *
誤差	56	14.31	1.43	2.35	2.34	1.76	3.60	2.57	0.14	0.96

数値は平均平方. \*\*は1%水準, \*は5%水準で有意.

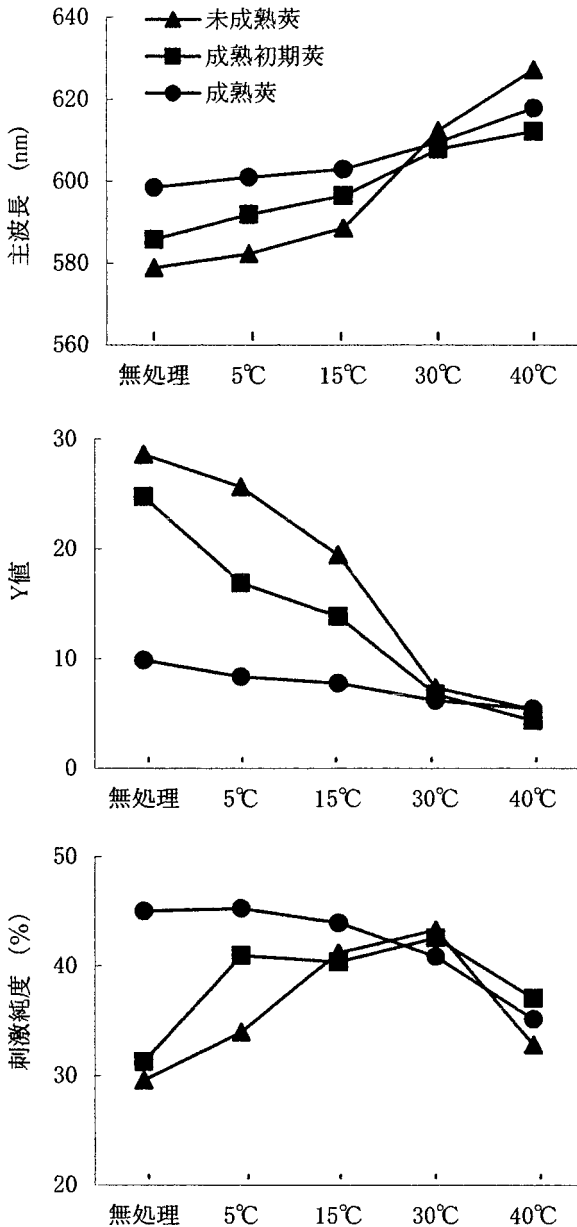
結 果

1. 温度処理による種皮色の変化

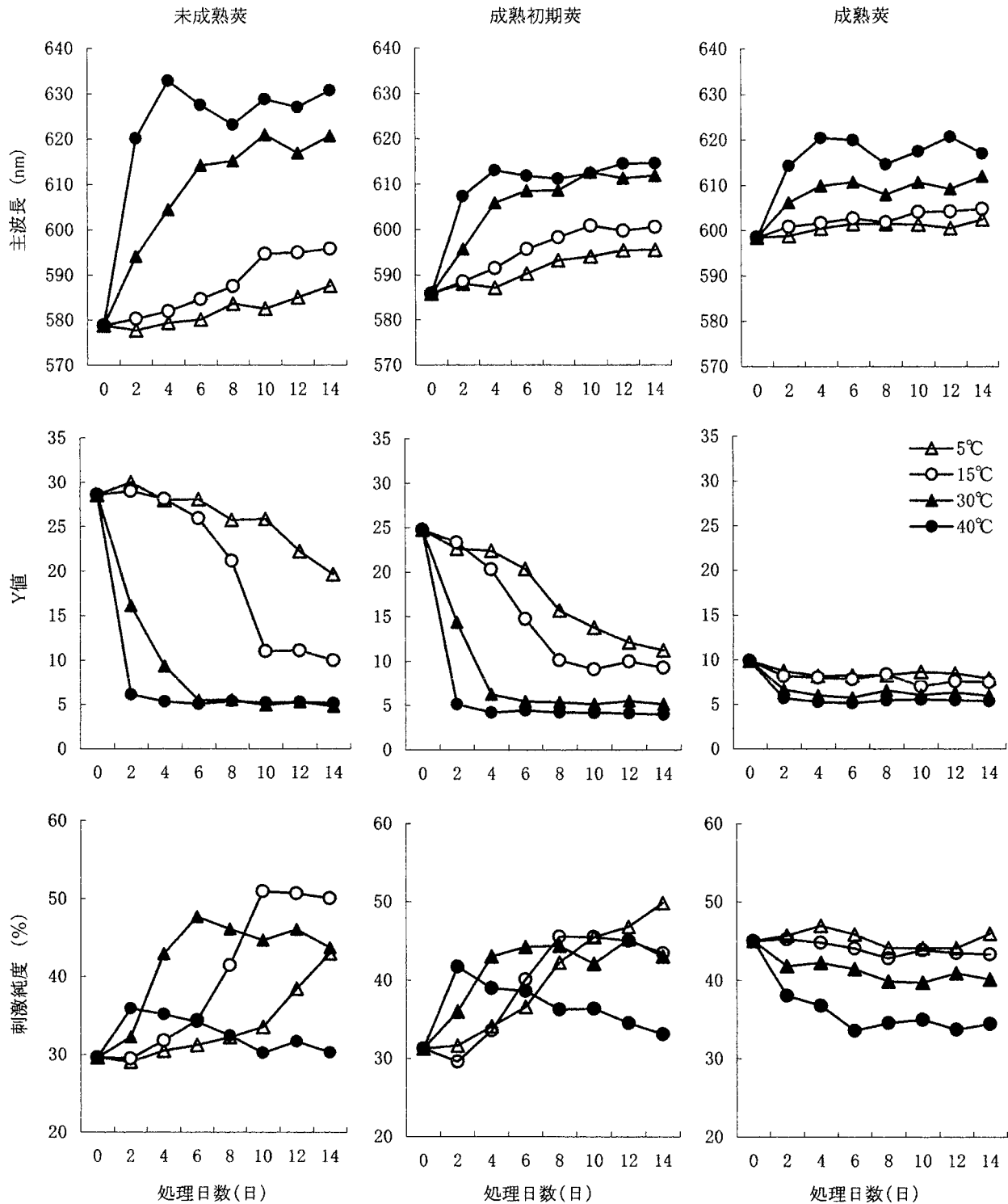
第1図に温度処理による種皮色の変化を、第1表に分散分析の結果を示した。成熟度が異なる3種類の莢中種子の種皮色はいずれも処理温度が高くなるほど、主波長は長くなり、Y値は小さくなった。しかし、刺激純度は莢の成熟度によって異なる傾向を示した。分散分析の結果は、成熟莢のY値の交互作用を除き、すべてのパラメータで温度、日数およびこれらの交互作用において1%あるいは5%水準で有意な差を示した。

無処理区では成熟莢の主波長が598.5nmと最も長く、ついで成熟初期莢と未成熟莢がそれぞれ585.8nmと578.8nmであったが、40℃処理区では未成熟莢の主波長が627.2nmと最も長くなった。Y値は、無処理区では未成熟莢が28.6、成熟初期莢が24.8、成熟莢が9.9と大きな差があったが、処理温度が高くなるにつれて差は小さくなり、40℃では4.34~5.42とほとんど差がなくなった。とくに成熟莢のY値は無処理で9.89と小さく、加温とともに漸減したが40℃でも5.42と温度処理による変化が最も少なかった。刺激純度は、成熟莢が無処理の45.0%から40℃では35.2%と処理温度が高くなるにつれて小さくなったのに対し、未成熟莢と成熟初期莢は30℃までは増大し、40℃で減少した。無処理区では3種類の莢間に主波長、Y値および刺激純度で差があったが、30℃ではいずれの値にも莢間で差がなくなった。

第2図に温度と日数による種皮色の変化を示した。主波長、Y値および刺激純度はいずれも未成熟莢での変化が大きかったが、成熟莢では温度による変化も、日数による変化も著しく小さく、とくに5℃ではいずれのパラメータもほとんど変化しなかった。未成熟莢の主波長は無処理区では上述のとおり578.8nmであったが、40℃2日間処理で620.1nmと著しく長くなり、40℃14日間処理では630.7nmまで上昇した。一方、5℃と15℃では処理日数が長くなるにつれて主波長は長くなり、5℃・14日間では587.5nm、15℃・14日間では595.7nmであった。Y値は未成熟莢と成熟初期莢で30℃と40℃の2日間および4日間処理で急激に減少したのに対し、5℃と15℃では減少が緩慢であった。成熟莢のY値は無処理区では9.9と小さ



第1図 熟度別莢中種子の温度処理による種皮色の変化. 数値は処理日数を込みにした平均値.

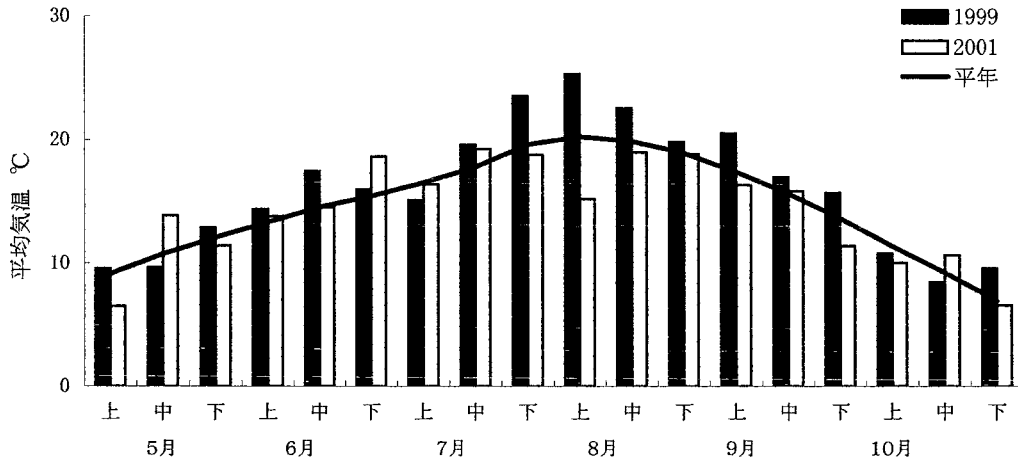


第2図 熟度別莢中種子の温度と日数による種皮色の変化。

く、低温区が高温区よりわずかに大きかったものの、日数によってほとんど変化しなかった。刺激純度は未成熟莢と成熟初期莢で40℃を除き、日数が長くなるにつれて大きくなった。成熟莢の刺激純度は無処理区で45.0%と他の熟度の莢より大きかったが、40℃処理区で減少したのを除き日数による変化は少なかった。

2. 圃場で登熟した種子の種皮色と気温との関係

第3図にA圃場のある芽室町の1999年と2001年の生育期間の平均気温を示した。登熟期間に当たる7月下旬から10月上旬までの平均気温の平年値は20.3~11.9℃である。1999年は高温年で、2001年は低温年であったため、2001年に白色莢に印を付けた最初の日は9月21日で1999年に比べて18日遅かった。



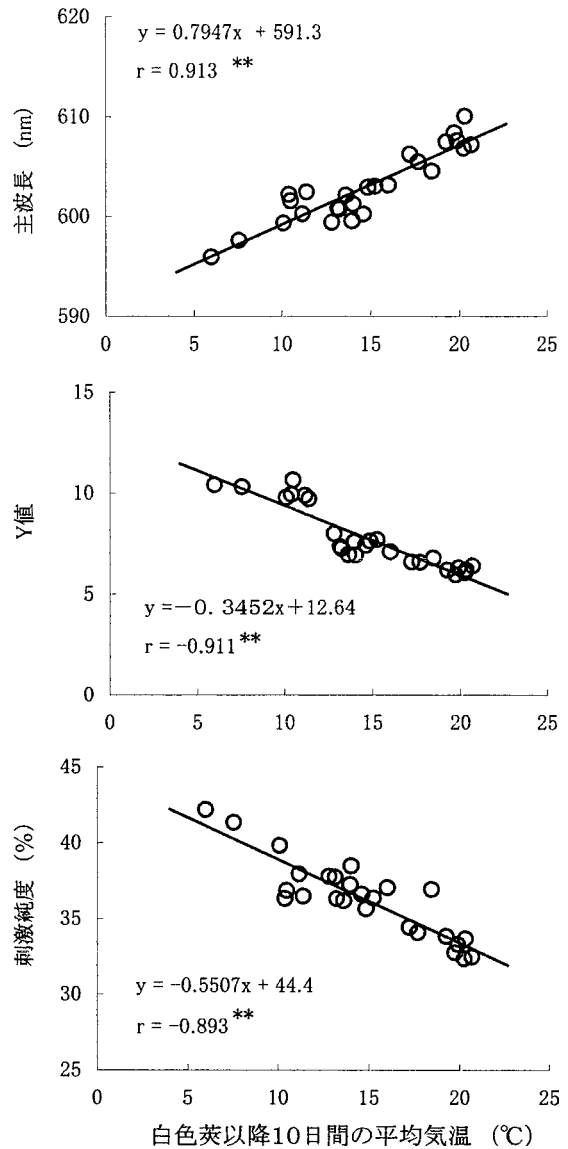
第3図 試験圃場における1999年と2001年の5月～10月の平均気温。  
試験圃場と平年値は茅室町の値。

第2表 白色莢種皮色の平均値と変異および分散分析。

年	区	圃場数	主波長(nm)	Y値	刺激純度(%)
1999	A	5	605.2 <sup>1)</sup>	6.68	35.7
			601.3～610.0 <sup>2)</sup>	6.21～7.10	32.5～38.5
			0.57 <sup>3)</sup>	5.59	7.07
	B	7	603.7	6.91	35.2
			600.3～607.6	6.06～7.70	32.4～37.7
			0.48	8.86	5.63
	C	7	603.5	7.03	35.4
			599.4～608.4	5.96～8.00	32.8～37.8
			0.63	11.19	5.18
2001	A	7	599.9	10.11	38.7
			596.0～602.5	9.72～10.66	36.3～42.2
			0.41	3.56	6.22
全体	26	603.0	7.76	36.3	
		596.0～610.0	5.96～10.66	32.4～42.2	
		0.59	20.02	6.96	
分散分析 (数値は平均平方)					
年次間 <sup>4)</sup>		247.03 **	102.57 **	78.16 **	
圃場間 <sup>5)</sup>		14.30 **	0.54 **	1.06 **	

1) 平均値。2) 最小値～最大値。3) 変動係数(%)。  
4) A圃場の1999年と2000年。5) 1999年の3圃場。  
\*\*は1%水準で有意。

第2表に各圃場の種皮色の主波長、Y値および刺激純度の平均値と変異および分散分析の結果を示した。主波長は596.0～610.0nm、Y値は5.96～10.66、刺激純度は32.4～42.2%に変異した。主波長の変異係数が0.59%と非常



第4図 白色莢以降10日間の平均気温と種皮色の関係。  
\*\*は1%水準で有意。

第3表 種皮色に対する白色莢以降の平均気温の回帰式の決定係数.

白色莢以降の日数	主波長		Y値		刺激純度	
	A	B	A	B	A	B
当日	0.462	0.470	0.545	0.650	0.283	0.259
5日間	0.780	0.798	0.755	0.780	0.638	0.645
10日間	0.833	0.852	0.830	0.847	0.798	0.799
15日間	0.767	0.795	0.852	0.853	0.776	0.776
20日間	0.758	0.796	0.820	0.821	0.737	0.737

A は一次回帰式, B は二次回帰式.

に小さく, Y 値の変異係数は 20.0% と最も大きかった. 1999 年の 3 圃場間には刺激純度に有意差はなかったが, 主波長と Y 値では有意な差が認められた. A 圃場の年次間の差も各パラメータとも有意であった. すなわち, 低温年に比べて高温年では主波長が長く, Y 値と刺激純度は小さかった.

白色莢に印を付けた日から 10 日間の平均気温と収穫後の白色莢中種子の種皮色との関係を第 4 図に示した. いずれのパラメータも平均気温と高い相関関係にあった. 平均気温と主波長, Y 値および刺激純度の相関係数はそれぞれ 0.913, -0.911 および -0.893 であった. 平均気温が高くなると主波長は長くなり, Y 値と刺激純度は小さくなった.

白色莢以降の気温と収穫後の種皮色に密接な関係があったことから, 白色莢以降の気温から種皮色を予測する推定式を導くため, 種皮色に対する平均気温の一次および二次回帰式を求めた. 白色莢に印を付けた当日の気温よりもそれ以降の日数が長くなるほど回帰式の決定係数は大きくなった (第 3 表). しかし, 白色莢後 20 日間の決定係数は 10 日間より低かった. 10 日間の決定係数を一次回帰式と二次回帰式で比較すると, 後者がわずかに前者よりも値が高かったが, 両者に有意な差はなかった. これらのことから, 種皮色を予測する推定式として, 第 4 図中に示した一次回帰式, すなわち主波長  $y_D = 0.7947x + 591.3$ , Y 値  $y_Y = -0.3452x + 12.64$  および刺激純度  $y_E = -0.5507x + 44.4$  が適当と考えた.

## 考 察

アズキの種皮色は開花以後の気象条件の影響を受けると考えられている. 浅間ら (1984) は, 明度 ( $L^*a^*b^*$  表色系の  $L^*$ ) が開花から 10 日間の日射量の影響を強くうけ, この間の日射量が多い場合に種皮色が濃くなると報告した. しかし, 加藤 (2000) は, 種皮色の  $L^*$  は開花から 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あることを認めたものの, 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

意な相関は認めなかった. また,  $a^*$  と  $b^*$  についても気象要因との間に明確な関係を認めなかった.

藤田・島田 (1991) は開花日による種皮色の違いとその品種間差異について検討し, 明度,  $b^*$  および彩度はすべての品種で開花日が遅くなると大きくなったが,  $a^*$  は開花日による変化が品種によって異なると報告した. 由田ら (1991) は, 収穫時期の早晩と  $L^*$  および  $b^*$  とは高い相関があり, 成熟を早める条件は一般に種皮色を濃くすると報告している. また, 佐藤ら (1993) は播種日が遅いほど  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  および  $C^*$  (彩度) が上昇する傾向にあること, 加藤・目黒 (1994) は開花時期が遅くなるに従って  $L^*$  と  $b^*$  が高くなり, 種皮色は明るくなる傾向にあることを報告している. 以上の報告は北海道での結果であるが, 鄭・川越 (1998) は九州北部における夏アズキの春播き栽培で, 播種時期が早いほど種皮色が濃赤色になったことについて, 遅い播種期に比べて登熟期の気温が高かったことがその原因と考えた. 以上に報告されている播種日, 開花期, 成熟期および収穫期は, これらが早まることで間接的に登熟期の温度が高くなることと関係している. 登熟期の温度が直接種皮色に影響していることに言及した長濱 (2003) は, 2000 年と 2001 年に北海道厚沢部町で多発した濃赤粒の原因は, 開花 15 日以降の 2 週間に  $28^{\circ}\text{C}$  以上の日が多かったことによると考えた.

本研究では, 種皮色に対する登熟期温度の直接の影響を人工的な温度処理と圃場における自然状態の温度変化から検討した. 2 つの実験の結果はいずれも登熟期の温度が種皮色に強い影響を与えていることを示した. 影響の程度は莢の成熟度と温度によって異なり, また種皮色の属性, すなわち本研究で用いた XYZ 表色系の 3 つのパラメータ (主波長, Y 値および刺激純度) によっても異なった. 成熟莢では気温の影響は小さく,  $5^{\circ}\text{C}$  と  $15^{\circ}\text{C}$  処理で処理日数を長くしても, Y 値をはじめ主波長, 刺激純度がほとんど変化しなかった. 未成熟な莢では高温になるほど種皮色は大きく変化した. 経験的に知られている「登熟期の気温が高いと種皮色が濃色に, 低いと淡色になる」のは, 本実験の結果から, 高温では主波長が長くなり (赤味が増し), Y 値と刺激純度が小さくなる (明度と彩度が下がる) ために濃色になることが明らかになった. とくに, 白色莢以降の温度は直線的に各パラメータを変化させていた.

実験 2 で供試した白色莢は実験 1 の成熟初期莢に該当し, 褐色莢 (実験 1 の成熟莢) の 3~5 日前の莢である. 肉眼で容易に判別ができることから, 圃場で白色莢を観察した日にそれ以降 10 日間の平年値の平均気温を本研究で得られた推定式に代入することにより成熟時の種皮色を予測することができる. この推定式では白色莢後 10 日間の平均気温を独立変数に用いた. 第 3 表に示したとおり, 決定係数からは二次回帰式でも, 15 日間および 20 日間の平均気温でも大きな違いはなかったが, 簡便性から一次回帰式と 10 日間の平均気温を選んだ. この推定式は, 村田ら

(1996) が提案している気温から子実収量を推定する式と同様に、アズキの生産現場でその年の気象と生育状況から種皮色を予測するのに有効な方法である。しかし、この推定式はエリモシヨウズ1品種について北海道十勝地方の中央部と西部における生育と気象条件から得られたもので、エリモシヨウズの登熟期の平均気温が6~21℃の範囲にはあてはまるが、他の温度範囲や他の品種に適用するためにはさらに実験を重ねる必要がある。また、予測される種皮色は白色と認めた特定の莢の成熟時の種皮色であって、個体および圃場全体の種皮色ではない。しかし、適当な時期を選ぶことにより、たとえば白色莢が多数を占める時期に観測することにより個体および圃場の種皮色を予測することができる。

毎年1800トンの北海道産アズキを購入しているG社は、消費者からの餡色についての嗜好に対応するために、購入する原粒の種皮色について自社基準を設けている。その基準はXYZ表色系で示され、主波長が $607 \pm 3 \text{nm}$ 、Y値が $6.0 \pm 2.0$ および刺激純度が $30 \pm 5\%$ である。このような基準と推定式を用いることによって、希望に近い種皮色の産地を選ぶことが可能となる。実際に、2003年北海道東部地域は6月以降低温で推移したために淡い種皮色が予測された。このため一部の実需者は道東部より温度が高かった道央部や道南部のアズキを購入した。輸入アズキとの価格競争を強いられている国産アズキでは、品質を確保するためにアズキが出荷される前の早い時期に種皮色を予測し、

産地を選ぶことが重要となっている。

## 引用文献

- 浅間和夫・北村 亨・阿部晴紀 1984. 小豆の種皮色に及ぼす登熟期における気象条件の影響. 北農 51: 6—11.
- 藤田正平・島田尚典 1991. 小豆における開花時期と種皮色との関係およびその品種間の差異. 日本育種学会・日本作物学会北海道談話会報 31: 46.
- 加藤 淳・目黒孝司 1994. 小豆種皮色に及ぼす着莢部位および開花時期の影響. 北農 61: 43—49.
- 加藤 淳 2000. アズキおよびインゲンマメの加工特性とその変動要因に関する研究. 北海道立農業試験場報告 95: 21—30.55—77.
- 村田吉平・藤田正平・島田尚典 1996. 1996年の十勝地方は小豆の冷害か?—十勝地方の気温と小豆の収量性—. 日本育種学会・日本作物学会北海道談話会報 37: 158—159.
- 長岡泰良・沢田壮兵 2003. アズキ種皮色のXYZ表色系による表示. 日作紀 72: 471—474.
- 長濱修 2003. 大納言小豆の濃赤粒対策. 豆類時報 30: 15—22.
- 佐藤導謙・伊藤光彦・宮野邦夫・足立大山 1993. アズキ品種「カムイダナゴン」の種皮色に対する播種日及び収穫時期の影響. 日本育種学会・日本作物学会北海道談話会報 34: 30—31.
- 由田宏一・佐藤久泰・上嶋 尚・石井伸朗・佐藤導謙 1991. アズキにおける品質関連形質の変異とその成因. 第2報北海道産にみられる種皮色の変異. 日作紀 60: 234—240.
- 鄭紹輝・川越洋二 1998. 北部九州における夏播きアズキの子実品質について. 日作紀 67: 473—477.

**Effects of Temperature during Ripening Period on Seed Coat Color of Azuki Bean** : Yasuyosi NAGAOKA<sup>1)</sup>, Souhei SAWADA<sup>\*2)</sup> and Kiyooki KATO<sup>2)</sup> (<sup>1)</sup> Biotech Co. Ltd., <sup>2)</sup> Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro 080-8555, Japan)

**Abstract** : Seed coat color is an important character of azuki bean appearance as is seed size. Two experiments were conducted to clarify the effects of temperature during the ripening period on seed coat color of an azuki bean cultivar, Erimoshouzu. Three kinds of pods in different ripening stages were treated with 28 combinations of two treatments; temperature (5, 15, 30, 40℃) and duration (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 days). Seed coat color was expressed by an XYZ color system. The effect of temperature on seed coat color was apparent in immature pods but was small in fully ripened pods. As temperature rose, the dominant wave length of hue increased, but the Y value decreased. Excitation purity of chroma in fully ripened pods decreased as temperature rose, but that in immature and partially ripened pods increased as the temperature rose up to 30℃, then decreased at 40℃. In a field experiment, the mean temperature, 10 days after the young pods became white in appearance, had a high positive correlation with a dominant wave length ( $r = 0.913$ ), and negative relationships with a Y value ( $r = -0.983$ ) and excitation purity ( $r = -0.893$ ). These results indicate that when the temperature during ripening period is high, seed coat color becomes darker since the dominant wave length becomes longer, and Y value and excitation purity become small. Estimation formulas for seed coat color at harvest time were proposed.  $Y_D$  (dominant wave) =  $0.7947x + 591.3$ ,  $Y_V$  (Y value) =  $-0.3452x + 12.64$  and  $Y_E$  (excitation purity) =  $-0.5507x + 44.4$ , where x is the mean temperature (measured by using the average temperature of 30 years) for ten days after the young pods became white in appearance.

**Key words** : Azuki bean, Chroma, Dominant wave, Lightness, Ripening period, Seed coat color, Temperature, XYZ color system.