

京都府の早生丹波黒大豆系エダマメ商品『京 夏ずきん』における 外観品質と食味成分からみた収穫適期の解明

杉本充¹⁾・上野義栄²⁾・植村亮太²⁾

(¹⁾ 京都府農林水産技術センター農林センター, (²⁾ 京都府中小企業技術センター)

要旨: 京都府の新たなエダマメ商品『京 夏ずきん』として生産される丹波黒大豆系の早生エダマメ品種「夏どり丹波黒1号」と「夏どり丹波黒2号」の収穫適期を解明するために、莢の肥大や外観の変化を経時的に調査するとともに、子実の発達と食味成分の変化を調査した。供試した両品種について株内の莢厚平均値の経過をみると、高温年の2010年では莢厚が約11 mmとなった開花後51~52日頃に、ほぼ平年気温並みの2011年では約12 mmとなった開花後56~57日頃に、肥大停止点が存在した。出荷規格の一つである莢厚10 mmより薄い莢が全体の30%未満となった時期を収穫期の早限とすると、両品種とも開花期からの平均気温積算値が1400℃を超えた直後となる。また、両品種ともに収穫適期と考えられた期間中に、黒大豆の特性である子実種皮の着色が進行したが、子実における遊離糖や遊離アミノ酸の含有率は、子実のへそ全体がピンク色を呈する時期までが最も多い傾向にあった。この時期の子実を内包する莢は、厚さが10~11 mm程度と出荷規格をやや上回る程度であるため、食味からみた収穫適期は、莢の外観から検討した収穫期間の早い時期に存在するものと考えられた。

キーワード: エダマメ, 外観品質, 莢厚, 遊離アミノ酸, 遊離糖。

京都府では2009年に、8月出荷可能で大粒、良食味といった丹波黒大豆が持つ性質を受け継ぐ2品種「夏どり丹波黒1号」(以下、品種名はカギ括弧を、商品名は二重カギ括弧をつけて示す)と「夏どり丹波黒2号」を育成した(杉本・河合2011)。これら2品種は『京 夏ずきん』という新たな商品名で、2010年から流通、販売されている(杉本ら2011)。新しい京都府の特産物として、さらなる増産が求められているが、品質や食味が良い商品が出荷されないことには、市場での需要も高まることにはならない。

エダマメの販売には外観品質が重視される(星野2001)。外観品質の一項目として豆の大きさや莢の見栄えは重要な形質であり、生産出荷する県や入荷加工する食品会社では、品種や用途に応じて、例えば莢厚8 mm以上や莢厚10 mm以上などと莢厚の規格を定めている(星野2001, 小野2003, 安藤ら2013, 水野ら2015)。特に、丹波黒大豆系のエダマメは子実が大きいことが特徴である(河合2000)。そのため、京都府の『紫ずきん』(商品を構成する品種:「新丹波黒」,「紫ずきん」および「紫ずきん2号」)の秀品、優品規格は莢厚11 mm以上とされている。このことを背景に、丹波黒大豆に由来する『京 夏ずきん』も莢の厚さは商品の重要な要素となった。品種特性上、親品種の「紫ずきん」よりやや莢厚は薄いため(杉本・河合2011)、出荷規格では莢厚10 mm以上と設定された。

収穫適期の判断基準についても莢厚を指標とする場合がみられ、多くの場合8ないし9.5 mmを下限とするものである(前嶋ら2007, 本庄ら2008, 廣田ら2010)。「紫ずきん」では、莢厚が5日間で約1 mmずつ増加することと収穫適

期が莢厚12~13 mm程度であることが明らかにされ(岩本1998)、営農指導の資料として活用されているが、『京 夏ずきん』の品種については明確ではなく、収穫適期を明らかにする必要がある。

また、エダマメの外観品質では、莢色も重要な形質である(星野2001)。ダイズの成熟過程で莢色は緑から黄へと変化する。星野(2002)はコンジョイント分析により、消費者は濃緑色のエダマメを望み、黄緑色を好まないことを明らかにしている。消費者が好まない黄化莢の出荷物への混入を避ける必要があるため、収穫適期を検討した報告では、莢色の黄化について考慮し、収穫晩限について一定の色調を限度として示しているものが多い(廣田ら2003, 鈴木・中川2003, 廣田ら2004, 前嶋ら2007, 高野ら2012, 水野ら2015)。「紫ずきん」は出荷規格に基づき、黄化莢の選別が生産現場で遵守されており、『京 夏ずきん』も、黄化した莢は出荷物に混入させないように求められている。したがって、エダマメにおいて収穫期から黄化莢発生までの日数を明確にすることは、収穫と出荷作業を計画的に行うために極めて重要となる。特に、夏場のエダマメは成熟が早いことが指摘されている(小野2000)。「京 夏ずきん」も盛夏期である8月に収穫できるエダマメであることから(杉本・河合2011, 杉本ら2011)、黄化莢の発生が早い可能性が予想され、より計画的な収穫・調製作業が必要となることが考えられる。

さらに、エダマメの有利販売にはおいしさも重要とされる(星野2001)。このおいしさを支える呈味成分は遊離糖や遊離アミノ酸などによることから、エダマメに含まれる



第1図 『京 夏ずきん』 莢色の推移。

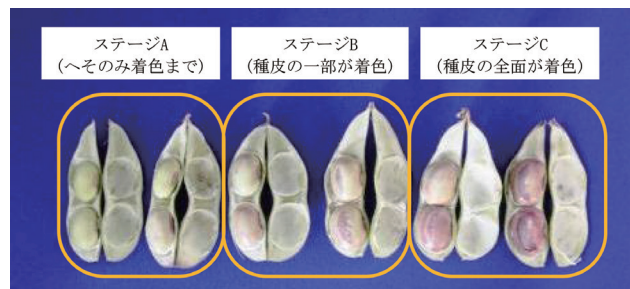
黄枠内の色調の莢を黄化莢とした。品種「夏どり丹波黒2号」, 2013年撮影。

糖やアミノ酸の種類や含有率について分析した事例は多い。その結果、主要な糖としてはショ糖、麦芽糖および果糖などが、アミノ酸はグルタミン酸、アスパラギンおよびアラニンなどが報告されている（増田ら1988, 大海ら2000, 廣田ら2010, 阿部2011, 水野ら2015）。特に、『京 夏ずきん』の育成系譜上にある、『紫ずきん』の品種の糖類やアミノ酸含有率については、李ら（2000）や李ら（2002）、河合（2004）、古谷ら（2012）が詳細に報告をしている。さらに、丹波黒大豆系のエダマメは、成熟が進むにつれて種皮が赤から紫色に着色するため、種皮の着色程度が異なる子実を区別し、それぞれの食味官能や成分含有率の違いを比較して、収穫適期を検討する研究も多い（岩本1998, 廣田ら2003, 高野ら2012）。『紫ずきん』では、ショ糖は種皮が色づいた頃が最も多く、遊離アミノ酸は熟成初期段階が最も多いとされる（李ら2000, 李ら2002）。『京 夏ずきん』の品種も、食味評価に基づく収穫技術を組み立てることが求められるが、詳細な研究はなされていない。

そこで本研究では、京都府の新たなエダマメ商品『京 夏ずきん』として生産される丹波黒大豆系の早生エダマメ品種「夏どり丹波黒1号」と「夏どり丹波黒2号」について、莢の肥大や外観の変化を経時的に調査するとともに、子実の発達と食味成分の変化についてその経過を把握し、収穫適期を解明することを目的とした。

材料と方法

調査は、亀岡市に立地する京都府農林水産技術センター農林センターの水田転換畑（中粒質灰色化低地水田土、前作はダイズ、エダマメ）において行った。供試品種には、『京 夏ずきん』として販売される「夏どり丹波黒1号」、「夏どり丹波黒2号」を用いた。種子は『ナプラ養土Sタイプ』を充填した128穴セルトレイ（いずれもヤンマー社製）に播種し、同センターの無加温ガラスハウス内で初生葉展開期まで育苗した。苗は畝立て時に黒ポリマルチ（厚さ0.03 mm）を敷設した畝に移植した。栽植密度は4.4株 m^{-2} （条間90 cm×株間25 cm）、施肥は基肥のみとし、一部有機質資材を配合した化成肥料（商品名『豆有機322』）を使い、N:



第2図 『京 夏ずきん』の子実色の推移。

品種「夏どり丹波黒2号」, 2013年撮影。

$\text{P}_2\text{O}_5 : \text{K}_2\text{O} = 1.2 : 4.8 : 4.8 \text{ g m}^{-2}$ を畝立て時に全層施用した。

1. 莢の肥大と子実の発達過程（試験Ⅰ）

調査は2010年および2011年に行った。いずれの年においても5月24日に播種し、2010年は6月4日、2011年は6月6日に移植した。開花期は、2010年では「夏どり丹波黒1号」が7月2日、「夏どり丹波黒2号」が7月3日で、2011年ではそれぞれ6月29日と7月1日であった。

子実肥大盛期にあたる開花後38～67日の間、3～6日おきに各品種3株ずつ採取し、エダマメ商品の中心となる2粒莢を全莢調査対象とし、計数した。収穫時には、莢の最大厚をデジタルノギス（ミットヨ株式会社製）で計測した。

商品価値が無くなるとされる黄化莢については、生産者団体や集荷業者、行政等との協議を踏まえた上で、第1図の枠内に示した莢色を呈したものを黄化莢として、目視で確認した。

莢内の子実の生育は、①着色がみられない時期からへそのみが紫色に着色する段階から、②種皮の一部が紫色に着色する段階を経て、③種皮の全面が着色する段階に至る。そこで、種皮の着色程度を3段階に区分して、それぞれ、ステージA、ステージBおよびステージCと名付けた。各段階の種皮色については第2図に示した。

2. 食味成分の変化（試験Ⅱ）

2013年の5月4日および5月24日に播種し、それぞれ5月17日および6月3日に移植した両品種について、収穫期間中の遊離糖と遊離アミノ酸の含有率を把握するため、第2図の区分にしたがって、それぞれ約60～100粒、採取した。その際、サンプルとした子実を内包する莢部位の厚さをデジタルノギスで測定した。なお、「夏どり丹波黒1号」では、5月4日播種区は8月5日、5月24日播種区は8月21日に子実を採取し、「夏どり丹波黒2号」では、5月4日播種区は8月8日、5月24日播種区は8月22日に子実を採取した。

採取日にはステージごとに分けた子実をそれぞれ真空パックに封入し、その状態のまま -80°C のストッカーに保管を開始し、全サンプルが採取できるまで -80°C 条件で保

第1表 栽培期間における平均気温の推移.

年次	6月			7月			8月		
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
2010年	20.1	23.0	24.6	25.1	26.5	28.2	28.6	28.5	28.7
2011年	21.0	20.9	27.4	26.7	27.5	25.9	27.8	27.6	26.1
2013年	21.7	24.7	22.4	26.5	26.1	26.7	27.3	28.6	25.6
平年値	20.6	22.2	23.6	25.0	25.7	27.0	27.6	27.1	25.8

平年値は1993～2010年の平均値.

存した. 全サンプル採取後に真空パックごと沸騰水に投入し, 再沸騰後10分間加熱し, 再び -80°C のストッカーで分析時まで保存した.

試料調製は, 試料を前日より冷蔵庫で解凍し, 4～5粒 (約5g) を均等に採取してホモジナイザーカップに入れ, 80%エタノール40mlを加えてホモジナイズ (株式会社大日本精機製作所製エクセルオートホモジナイザー, 10000 rpm, 5分) した. その試料を, 50mlポリプロピレン製コンカルチューブ (以下, コンカルチューブ) Aに移し, 遠心分離 (5000 rpm, 5分) し, 上清を新しい50mlコンカルチューブBに移した. その後, 残渣の入ったホモジナイザーカップに80%エタノールを5ml程度入れて洗浄し, コンカルチューブAに洗い入れ, 軽く攪拌後, 再び遠心分離 (5000 rpm, 5分) し, 上清をコンカルチューブBに加え, 50mlにメスアップした.

この抽出試料を遠心分離 (14000 rpm, 5分) し, 上清を糖分析用試料とした. また, 抽出試料100 μl にアミノ酸分析用希釈緩衝液として0.2Nクエン酸三ナトリウム緩衝液 (pH 2.2) を900 μl を加え, 5分間ボイル後, 遠心分離 (14000 rpm, 5分) し, 上清をアミノ酸分析用試料とした.

糖分析には, RI検出器を装着したHPLC (株式会社島津製作所製LC-10) を使用した. カラムにはShodex Asahipak NH2P-50 4F (4.6 \times 250mm) を用い, 移動相は75%アセトニトリルとし, 流量は1ml min⁻¹, カラムオーブンは35 $^{\circ}\text{C}$ に設定し, ショ糖, 麦芽糖, ブドウ糖および果糖の4種の糖を定量した. アミノ酸分析には, 蛍光検出器 (Ex = 348 nm, Em = 450 nm) を装着したHPLC (株式会社島津製作所製Prominence) を使用した. カラムにはShim-pack Amino-Na, 移動相はクエン酸三ナトリウム溶液とし, 流量は0.6 ml min⁻¹に設定した. 標準試料には和光純薬製Type-Hおよび γ -アミノ酪酸 (GABA) を用い, *o*-フタルアルデヒドを反応試薬として遊離アミノ酸を定量した. なお, 糖およびアミノ酸の分析回数は各サンプル1回とした.

結 果

1. 気象条件

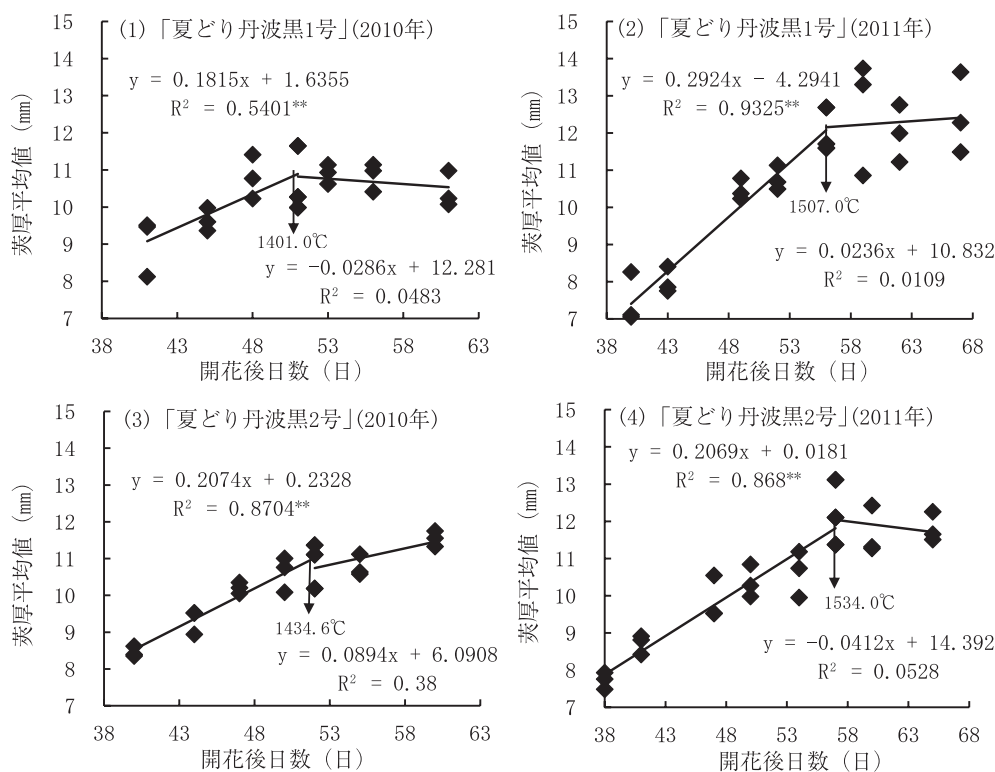
供試年の平均気温を第1表に示した. 2010年は7月下旬から8月までの間は高温で経過した. 一方, 2011年の同時期は平年に近い気温経過をたどった. 2013年は2011年とほぼ変わらなかったが, 8月中旬は平年より高温条件となった.

2. 試験 I

開花後日数からみた株内の全2粒莢の平均莢厚の推移を第3図に示した. 「夏どり丹波黒1号」, 「夏どり丹波黒2号」とも, 高温年の2010年では開花後51～52日頃まで莢厚増加が顕著であった. 2011年では両品種とも, 開花後56～57日頃まで莢厚増加が早く進んだ. その時期を過ぎた後は, 莢厚は停止ないしはやや減じる傾向がみられ, 両品種とも, 莢厚の肥大停止点が存在することが認められた. 開花期から莢厚の肥大停止点までの平均気温積算値 (以下, 積算気温) は「夏どり丹波黒1号」で約1400 $^{\circ}\text{C}$ (2010年)～1500 $^{\circ}\text{C}$ (2011年), 「夏どり丹波黒2号」で約1430 $^{\circ}\text{C}$ (2010年)～1530 $^{\circ}\text{C}$ (2011年)であった. なお, 肥大停止点を迎えた時期には莢厚平均値は出荷規格の10mmを超えて, 出荷可能な莢が1株内に多数を占めていたが (第3図), 肥大停止点を早く迎えた2010年は両品種とも, 2011年と比較して莢厚が薄い傾向がみられた. なお, 調査対象とした2粒莢の株当たり平均着莢数は, 2010年では「夏どり丹波黒1号」が41.9莢株⁻¹, 「夏どり丹波黒2号」が42.9莢株⁻¹であったのに対し, 2011年はそれぞれ23.0莢株⁻¹, 33.0莢株⁻¹と, 両品種とも1%水準で有意に2010年の着莢が多かった.

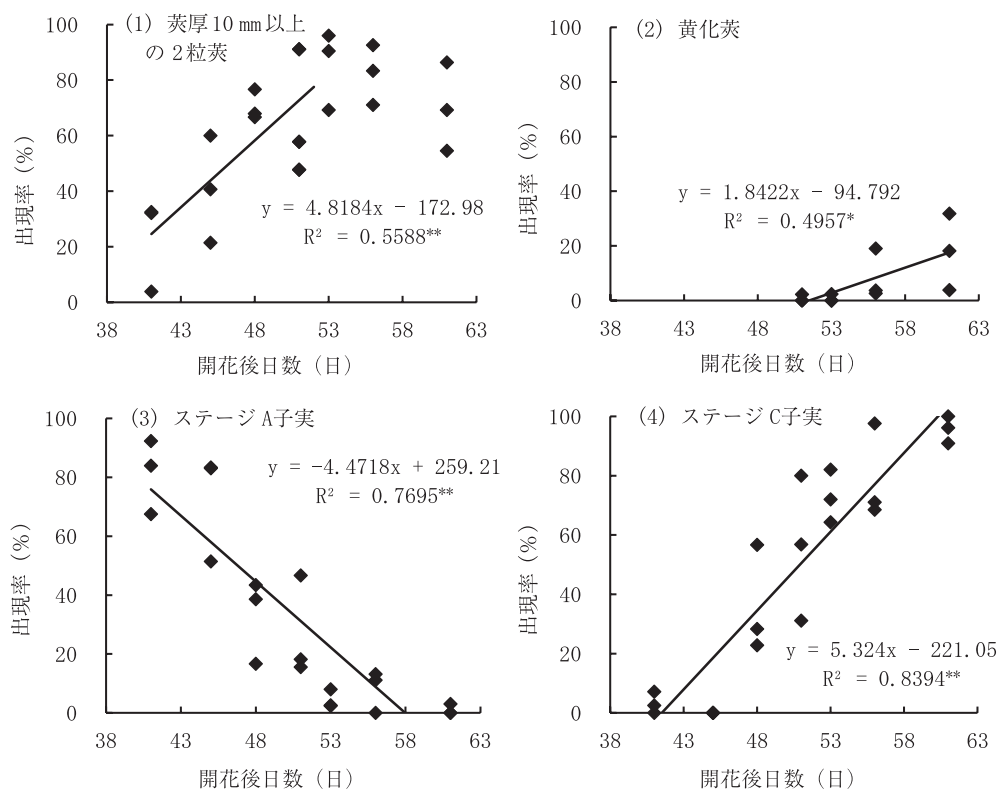
2010年産「夏どり丹波黒1号」の調査で得られた, 莢厚10mm以上の莢および黄化莢の出現率, 莢内の子実の着色段階のうちステージAおよびステージCの出現率の経過について第4図に示した. 各項目で確認できた増加傾向または減少傾向を示す回帰直線は, 黄化莢の出現率が5%水準で有意となったほか, その他の項目は1%水準で有意となった. 同様に各品種や年次ごとの調査結果から得られた回帰式について第2表に示した. 各品種, 2年の供試年次いずれも黄化莢が5%水準で有意, その他の項目は1%水準で有意となった. 莢厚10mm以上の莢やステージAの出現率については年次変動が大きく, 回帰直線の傾き (x項の係数) を品種間で比較してもその違いは明瞭ではなかった.

第2表の回帰式に基づき, 莢厚, 莢色という莢の外観からみた収穫時期の早限, 晩限を試算した結果を第3表に示した. 収穫物の歩留まりと選別の手間とを考慮して, 莢厚10mm以上の莢が収穫物の70%以上得られる時期を早限, 商品への混入は許容されない黄化莢が出現し始めた時期 (出現率5%未満を目安) を晩限とした. その結果, 「夏ど



第3図 『京 夏ずきん』品種の収穫期における莢厚の変化.

図中の値は矢印時点における開花期からの平均気温積算値, ** は1%水準で有意.



第4図 収穫期における「夏どり丹波黒1号」の莢厚・黄化莢および子実の着色段階ステージA・ステージCの出現率の推移(2010年).

(1) の莢厚 10 mm 以上莢の近似式は調査開始から肥大停止点までのデータによる. * は5%水準, ** は1%水準で有意.

第2表 『京 夏ずきん』品種の莢厚・黄化莢および子実の着色段階ステージA・ステージCの出現率と開花後日数との回帰式。

品種	発育段階 ^{a)}	2010 年		2011 年	
「夏どり丹波黒1号」	莢厚 10 mm 以上莢	$y = 4.8184x - 172.98$	($R^2=0.5588^{**}$)	$y = 5.0386x - 190.76$	($R^2=0.8985^{**}$)
	黄化莢	$y = 1.8422x - 94.792$	($R^2=0.4957^{*}$)	$y = 1.9718x - 109.24$	($R^2=0.6067^{*}$)
	ステージA子実	$y = -4.4718x + 259.21$	($R^2=0.7695^{**}$)	$y = -4.0201x + 259.81$	($R^2=0.8812^{**}$)
	ステージC子実	$y = 5.324x - 221.05$	($R^2=0.8394^{**}$)	$y = 3.6984x - 161.25$	($R^2=0.737^{**}$)
「夏どり丹波黒2号」	莢厚 10 mm 以上莢	$y = 6.2742x - 244.12$	($R^2=0.851^{**}$)	$y = 3.9601x - 138.44$	($R^2=0.894^{**}$)
	黄化莢	$y = 1.5842x - 80.045$	($R^2=0.6142^{*}$)	$y = 1.0255x - 54.768$	($R^2=0.4244^{*}$)
	ステージA子実	$y = -5.0639x + 290.23$	($R^2=0.8429^{**}$)	$y = -3.4632x + 240.81$	($R^2=0.8293^{**}$)
	ステージC子実	$y = 6.4546x - 285.51$	($R^2=0.8411^{**}$)	$y = 3.7128x - 178.15$	($R^2=0.7006^{**}$)

aの莢厚 10 mm 以上莢の近似式は調査開始から肥大停止点までのデータによる。* は5%水準, ** は1%水準で有意。

第3表 第2表の回帰式から得られた各発育段階に達する開花後日数と平均気温積算値。

発育段階	条件	「夏どり丹波黒1号」				「夏どり丹波黒2号」			
		2010 年		2011 年		2010 年		2011 年	
		日数	積算気温	日数	積算気温	日数	積算気温	日数	積算気温
		日	℃	日	℃	日	℃	日	℃
莢厚 10 mm 以上莢	70%以上	50.4	1401.0	51.8	1407.7	50.1	1405.5	52.6	1427.5
黄化莢	5%未満	54.2	1515.8	57.9	1559.4	53.7	1491.5	58.3	1588.9
ステージA子実	50%未満	46.8	1285.2	52.2	1430.1	47.4	1320.3	55.1	1507.4
ステージC子実	50%以上	50.9	1401.0	57.1	1559.4	52.0	1434.6	61.4	1669.2

積算気温は、開花翌日から本表に示す日数を経過した暦日までの平均気温の総和。

り丹波黒1号」では、収穫期間は開花後50～54日(2010年)、開花後52～58日(2011年)となり、収穫日数は5～7日間であった。一方、「夏どり丹波黒2号」では、収穫期間は開花後50～54日(2010年)、開花後53～58日(2011年)となり、収穫日数は5～6日間で、両品種ほぼ同等であった(第3表)。開花期から莢厚10 mm以上の莢70%となる時期の積算気温は、「夏どり丹波黒1号」では約1400℃、「夏どり丹波黒2号」で1400～1430℃と見積もられた。第3図で認めた莢厚の肥大停止点は、「夏どり丹波黒2号」や2011年の「夏どり丹波黒1号」では莢厚10 mm以上の莢70%となる時期よりも遅かったが、2010年の「夏どり丹波黒1号」ではほぼ同時期となった。

サンプル採取を行った開花後38～67日の間においては、子実種皮の着色が進み、ステージAの子実が減少するとともにステージCの子実が増加した(第4図、第3表)。

3. 試験Ⅱ

食味成分分析に供試した子実の採取日および、その子実を内包する莢厚の計測結果を第4表に示した。採取日における開花期からの平均気温積算値は約1400～1450℃であった。両品種とも子実の着色程度が少ないほど莢厚が薄く、ステージAでは10～11 mm程度、ステージBでは11～12 mm程度、ステージCでは12～13 mm程度であった(第4表)。

遊離糖の分析結果を第5図に、遊離アミノ酸の分析結果を第6図に示した。「夏どり丹波黒1号」、「夏どり丹波黒2

号」とも、ショ糖、果糖、ブドウ糖、麦芽糖の含有率の合計値は品種や播種期の違いに関わらず、最も若いステージAの子実ほど多く(3500～2920 mg 100 g⁻¹)、生育が進むにしたがって減少し、ステージCでは2830～1760 mg 100 g⁻¹となった。また、最も多い遊離糖成分はショ糖であったが、その含有率は糖の合計値と同様、最も若いステージAは2640～2360 mg 100 g⁻¹と多く、ステージCでは2300～1210 mg 100 g⁻¹と少なくなった。特に、「夏どり丹波黒1号」の5月4日播種区では、ステージAに比べステージBおよびCは半減した。しかし、麦芽糖については、ステージの進展や播種期、品種の違いによる明確な傾向は見られなかった(第5図)。

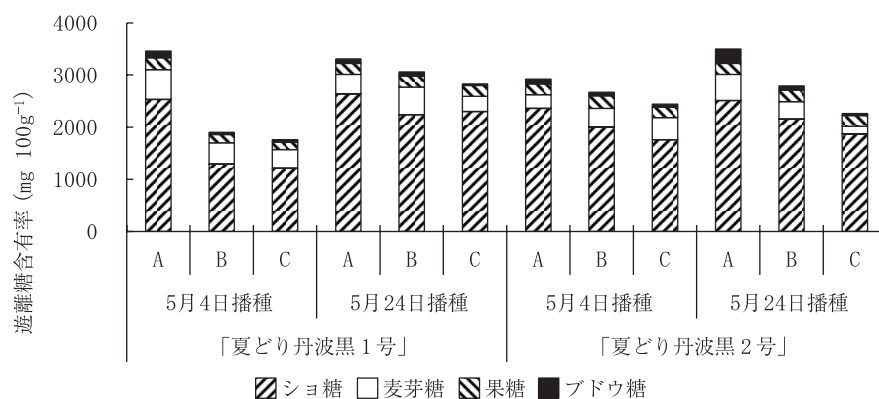
各遊離アミノ酸の合計値(1058～427 mg 100 g⁻¹)も糖と同様、品種や播種期に関わらずステージが若いほど多かった。種類別にみると、グルタミン酸はステージが若いほど多く(ステージA:231～170 mg 100 g⁻¹, ステージC:188～93 mg 100 g⁻¹)、アスパラギンは「夏どり丹波黒1号」の5月24日播種区でステージBの子実で257 mg 100 g⁻¹と最も多かったものの、概ねステージが進むにしたがって減少した。アラニン、「夏どり丹波黒1号」では、5月4日播種区でステージBの子実が最も少なく(62 mg 100 g⁻¹)、5月24日播種区でステージBの子実が最も多くなった(314 mg 100 g⁻¹)。ステージAの子実に多く含まれる傾向があった(第6図)。

遊離糖および遊離アミノ酸含有率の合計値と主要成分の含有率について、繰り返しのない三元配置分散分析を行っ

第4表 『京 夏ずきん』品種における粒の着色段階別に成分分析に供したエダマメの採取子実数と莢厚(2013年)。

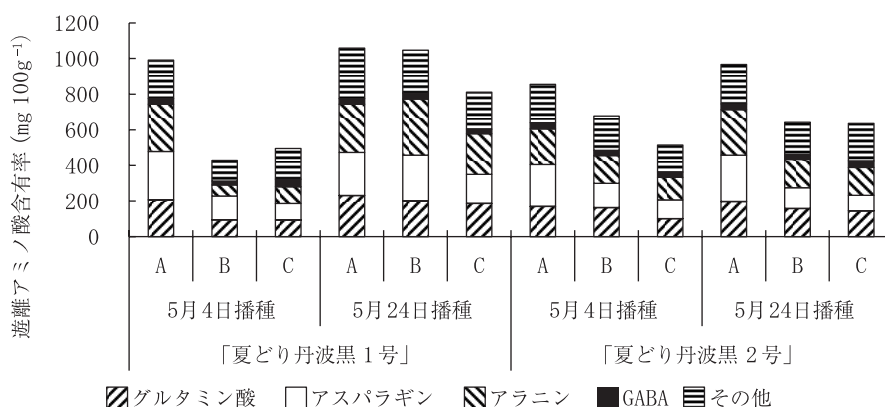
品種	播種期	開花期	サンプリング日	積算気温 ℃	子実の着色段階	サンプリング数	莢厚データ (mm)	
							平均値	標準偏差
「夏どり丹波黒1号」	5月4日	6月11日	8月5日	1397.3	ステージA	88	11.1	0.72
					ステージB	75	11.8	0.78
					ステージC	71	13.0	1.03
	5月24日	6月30日	8月21日	1406.1	ステージA	72	10.6	0.68
					ステージB	68	11.6	0.75
					ステージC	94	12.3	0.83
「夏どり丹波黒2号」	5月4日	6月12日	8月8日	1454.5	ステージA	77	11.1	0.79
					ステージB	100	11.9	0.72
					ステージC	57	12.3	0.92
	5月24日	7月1日	8月22日	1410.3	ステージA	80	11.1	0.70
					ステージB	84	12.2	0.77
					ステージC	70	12.7	0.97

5月4日播種期の育苗は15℃設定の温床を用いた。5月24日播種期では温床は不使用である。積算気温は、開花翌日からサンプリング日までの日平均気温の総和。莢厚は、採取した子実を内包していた莢部位の厚さである。



第5図 『京 夏ずきん』の品種における子実の着色段階別に見た遊離糖含有率(2013年)。

育苗条件は第4表と同じ。横軸のA・B・Cは、それぞれステージA・ステージB・ステージCを示す。



第6図 『京 夏ずきん』の品種における子実の着色段階別に見た遊離アミノ酸含有率(2013年)。

育苗条件は第4表と同じ。横軸の表示は第5図と同じ。

第5表 子実に含まれる糖含有率とアミノ酸含有率の合計値および主要成分についての分散分析結果。

要因	糖合計値	ショ糖	麦芽糖	アミノ酸合計値	グルタミン酸	アスパラギン	アラニン
ステージ (A)	0.234 (0.026)	0.128 (0.037)	0.621 (0.324)	0.196 (0.028)	0.159 (0.042)	0.106 (0.005)	0.350 (0.129)
品種 (B)	0.292 (0.088)	0.118 (0.050)	0.478 (0.242)	0.189 (0.046)	0.105 (0.026)	0.484 (0.328)	0.197 (0.052)
播種期 (C)	0.842 (0.760)	0.590 (0.587)	0.728 (0.574)	0.554 (0.413)	0.659 (0.627)	0.319 (0.149)	0.707 (0.612)
A × B	0.855	0.596	0.980	0.977	0.599	0.728	0.960
B × C	0.448	0.204	0.944	0.318	0.267	0.362	0.338
C × A	0.845	0.508	0.632	0.716	0.577	0.802	0.664

第5図・第6図のデータの分散分析結果。数値は有意差判定確率であり、括弧内の数値は交互作用をプーリング処理して得られた有意差判定確率。

た結果を第5表に示した。交互作用の有意差判定確率は総じて大きかったため、プーリングして再度、分散分析したところ、ステージについて、全遊離糖と全遊離アミノ酸、ショ糖、グルタミン酸、アスパラギンで5%または1%水準で有意となった。品種については全アミノ酸合計値、グルタミン酸で5%水準で有意となった。播種期の違いには有意差が認められなかった(第5表)。

考 察

1. 莢の外観からみた収穫期間

「夏どり丹波黒1号」と「夏どり丹波黒2号」では、莢厚の肥大停止点が収穫期前後に観察された(第3図、第4図)。ダイズをエダマメとして利用する場合、収穫期が登熟期半ばとなるため子実用ダイズに比べ短い期間で肥大経過を調査しており、丹波黒大豆系品種では、収穫適期の期間中は莢厚が増加傾向にあるとする報告が多い(廣田ら2003, 杉本ら2010, 高野ら2012)。しかし、早生性のエダマメ品種では収穫期直前で最大莢厚となった後、減少する経過が観察されている(前嶋ら2007, 水野ら2015)。後者の報告と同様、丹波黒大豆系エダマメであっても早生性の品種「夏どり丹波黒1号」と「夏どり丹波黒2号」は、収穫期間中に最大莢厚に達する可能性があることが示唆された。水野ら(2015)によると、最大莢厚を過ぎると66%あった子実の水分含有率が急速に低下する。水分含有率70%前後の時期がエダマメの収穫適期とする報告もあることから(増田2004)、「夏どり丹波黒1号」と「夏どり丹波黒2号」においても、この最大莢厚に達する時期に収穫し、出荷する必要があると考えられる。

調査年次間では、2010年が2011年より肥大停止点が早まるとともに莢厚も比較的薄くなった。前嶋ら(2007)は、着莢数が多い場合に最大莢厚が薄くなる傾向があることを指摘し、かつ最大莢厚に達した積算温度も低いとしている。本研究で調査対象とした2粒莢の株当たり平均着莢数は、「夏どり丹波黒1号」、「夏どり丹波黒2号」とともに2011年より2010年の着莢が有意に多く、前嶋ら(2007)の報告と同様の傾向であった。肥大が十分な莢を得るためには、

過剰な着莢を回避する技術開発が必要と考えられる。

本研究では、収穫期間について、『京 夏ずきん』の出荷規格(莢厚10 mm以上であること、黄化莢が混入していないこと)に基づいて検討を進めた。収穫時期が早すぎる場合は、厚みの少ない莢が多くなり出荷量が減り、逆に収穫時期が遅すぎる場合は、黄化莢が増え廃棄量が増えることになる。出荷物の歩留まりを最大化させるために、収穫の早限としては厚さが10 mmに満たない莢が30%未満となる時期を想定した。晩限については、黄化莢は商品への混入が認められないため、その出現が確認できる時期として黄化莢出現率5%時までとした。以上の想定での早限と晩限との間の日数について、本研究の調査結果から得られた回帰式(第2表)から試算すると、莢の外観からみた収穫期間は、「夏どり丹波黒1号」、「夏どり丹波黒2号」とも積算気温1400℃を超えた時期から5~7日間以内にあると考えられた(第3表)。

2. 食味成分からみた収穫適期

本研究で得られた「夏どり丹波黒1号」、「夏どり丹波黒2号」の糖含有率は3500~1760 mg 100 g⁻¹(第5図)、アミノ酸含有率は1058~427 mg 100 g⁻¹(第6図)であった。既に商品化されている『紫ずきん』の品種の「新丹波黒」、「紫ずきん」および「紫ずきん2号」では、ショ糖、麦芽糖、ブドウ糖および果糖の合計の含有率および総アミノ酸含有率はともに「新丹波黒」>「紫ずきん」>「紫ずきん2号」の順となり、糖は4146~1482 mg 100 g⁻¹、アミノ酸は373~145 mg 100 g⁻¹(いずれもゆでエダマメの分析値)と報告されている(古谷ら2012)。この報告と「夏どり丹波黒1号」、「夏どり丹波黒2号」の分析結果を比較すると、糖含有率では「新丹波黒」には及ばなかったものの、「紫ずきん2号」を上回り、「紫ずきん」に匹敵した。また、アミノ酸含有率では「新丹波黒」を上回った。この比較から、「夏どり丹波黒1号」や「夏どり丹波黒2号」は『紫ずきん』と遜色のない食味成分含有率を有する可能性が示唆された。

糖の種類別にみると、「夏どり丹波黒1号」と「夏どり丹波黒2号」に最も多く含有されているものはショ糖で

あった。普通大豆のエダマメはもとより、黒大豆エダマメやダダチャマメ品種、他の在来系品種もショ糖が特に多く含まれることが報告されており（大海 2002, 三宅ら 2007, 阿部 2011, 古谷ら 2012）、エダマメ品種に共通する特徴と考えられる。

なお、「夏どり丹波黒 1 号」や「夏どり丹波黒 2 号」には、ショ糖の 10~30%ほどの麦芽糖が含まれていた（第 5 図）。増田（2004）は、麦芽糖は、ゆでるなどの加熱工程の中でデンプンが β -アミラーゼにより加水分解されて生成され、エダマメの甘味を支える重要な糖であることを指摘している。ただし、登熟過程ではなく、調理中の加熱工程で生成されるため、ショ糖でみられたステージの違いによる傾向が、麦芽糖では認められなかった可能性が考えられる。

また、「夏どり丹波黒 1 号」と「夏どり丹波黒 2 号」に多く含まれていたアミノ酸は、アスパラギン、アラニンおよびグルタミン酸であった。アミノ酸合計値とグルタミン酸の含有率に有意差がみられたが（第 5 表）、これらのアミノ酸は他のエダマメ品種にも多く含まれる（大海 2002, 三宅ら 2007, 水野ら 2015）。

これらのことから、「夏どり丹波黒 1 号」と「夏どり丹波黒 2 号」が持つ糖やアミノ酸成分の基本的な種類は、多くのエダマメ品種とほぼ同様と考えられる。

次に、「夏どり丹波黒 1 号」と「夏どり丹波黒 2 号」の子実の着色を 3 段階に分けて、それぞれの食味成分含有率を定量したところ、主要な糖であるショ糖は、品種や播種期に関わらず、へそのみが着色するまでの時期のステージ A が最も多く、糖の合計量もこの時期が多かった（第 5 図）。また、アミノ酸については、グルタミン酸がステージ A からステージ C の順に減少しており、他の成分では一部隣接するステージ間の逆転はあったものの、ステージ A ではステージ C より含有率が多かった（第 6 図）。

「紫ずきん」より早生の「紫ずきん 2 号」や早生系黒大豆「たんくろう」では、へそが色づいた頃が食味のピークとされる（大海ら 2000, 杉本ら 2010）。これらの品種と同様、早生性の「夏どり丹波黒 1 号」や「夏どり丹波黒 2 号」は、種皮の呈色が進むにしたがい食味成分が減少したため、食味の良い商品を消費者に届けるためには、適期に達すると速やかに収穫を行う必要があると考えられた。

以上のことから、「夏どり丹波黒 1 号」や「夏どり丹波黒 2 号」の糖やアミノ酸は、ダイズ子実のへそ全体がピンク色を呈する時期まで（ステージ A）が最も多い傾向がみられた（第 5 図、第 6 図）。このステージ A の子実の出現率は、子実肥大盛期の早い時期で減少するとともに（第 4 図、第 3 表）、ステージ A の子実を内包する莢は、厚さが 10~11 mm 程度と出荷規格をやや上回った程度であるため（第 4 表）、食味からみた収穫適期は、莢の外観から検討した収穫期間の早い段階（積算気温で約 1400℃からその直後の時期）に存在するものと考えられた。特に、「夏どり丹波黒 1 号」では、5 月上旬播種栽培で子実種皮に着色がみ

られると急激に糖の減少が生じたことから、速やかに収穫、出荷する必要があるものと示唆された。

謝辞：本論文を作成するにあたり、岡山大学大学院環境生命科学研究科教授 齊藤邦行博士に懇切な御高聞を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

引用文献

- 阿部利徳 2011. エダマメにおけるダダチャマメ系品種の生育および成分特性. 育種学研究 13: 1-10.
- 安藤利夫・雲内浩平・種谷光泰・雨宮昭彦・津金胤昭・家壽多正樹・日坂弘行 2013. 極晩生エダマメ「安房在来 15A2」における莢色と食味関連要素及び食味官能評価との関係. 千葉農林総研研報 5: 1-9.
- 古谷規行・野村知未・大谷貴美子・松井元子 2012. 丹波黒大豆エダマメにおける食味評価法の開発. 園学研 11: 309-314.
- 廣田智子・田畑広之進・福嶋昭・井上喜正 2003. 丹波黒大豆エダマメの収穫時期が品質におよぼす影響. 兵庫農技総セ研報（農業）51: 19-24.
- 廣田智子・田畑広之進・福嶋昭・井上喜正 2004. 丹波黒大豆エダマメの収穫適期判定スケールの開発とその利用方法. 兵庫農技総セ研報（農業）52: 23-28.
- 廣田智子・福嶋昭・岩井正志・曳野亥三夫 2010. エダマメ新品種「黒っこ姫」「茶っこ姫」の特性. 兵庫農技総セ研報（農業）58: 24-30.
- 本庄求・篠田光江・佐藤菜々子・武田悟・田口多喜子 2008. エダマメ品種「あきた香り五葉」の収穫判断基準と収穫判定スケール. 東北農業研究 61: 179-180.
- 星野康人 2001. 野菜の品質評価による有利販売方法—エダマメを事例として—. 新潟農総研研報 3: 35-48.
- 星野康人 2002. 消費者ニーズに応えるエダマメの商品開発. 新潟農総研研報 5: 1-10.
- 岩本孝幸 1998. エダマメ用黒大豆「紫ずきん」の収穫時期の判定基準. 平成 10 年度近畿中国農業研究成果情報. https://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/research_results/h10/yasai/cgk98109.html (2016/10/23 閲覧).
- 河合哉 2000. 丹波黒大豆. 「農業技術体系野菜編 10 マメ類・イモ類・レンコン 基礎編」農文協, 東京. 89-93.
- 河合哉 2004. 丹波黒エダマメ「紫ずきん」の早生化とその呈味成分. エダマメ研究 2: 9-13.
- 前嶋敦夫・古川尊仁・鎌田直人・菊池昌彦 2007. エダマメ「あおり福丸」の 6 月中旬直播作型における収穫適期. 東北農業研究 60: 187-188.
- 増田亮一・橋詰和宗・金子勝芳 1988. 冷凍枝豆の食味に及ぼす収穫後の貯蔵時間の影響. 日食工誌 35: 763-770.
- 増田亮一 2004. エダマメの食味向上に関わるマルトース生成反応の解明. 農及園 79: 1085-1093.
- 三宅紀子・酒井清子・五十嵐歩・鈴木恵美子・倉田忠男 2007. ゆで加熱条件下におけるエダマメ中の呈味成分およびビタミン C 含量の変動. 調科誌 40: 189-192.
- 水野寛士・橋本早紀・田中仁奈・山本達也・中野龍平・牛島幸一郎・久保康隆 2015. エダマメ「ふくら」と「湯あがり娘」における生育中の品質関連因子解析に基づく収穫適期の評価. 園学研 14: 61-67.
- 小野長昭 2000. 地域特産品種の栽培—茶豆—. 「農業技術体系野菜編 10 マメ類・イモ類・レンコン 基礎編」農文協, 東京. 81-87.

- 小野長昭 2003. 新潟県の栽培事例 新潟県におけるもぎエダマメ栽培の現状と課題. エダマメ研究 1: 56-61.
- 大海さつき・藤井敏弘・小泉丈晴・本間素子・大沢良一 2000. エダマメ用早生系黒ダイズの食味成分と収穫適期. 群馬園試研報 5: 39-52.
- 大海さつき 2002. エダマメ用早生系黒ダイズの栽培時期が収量および食味成分に及ぼす影響. 群馬園試研報 7: 1-10.
- 李温九・南出隆久・大谷貴美子 2000. 熟度の異なる「紫ずきん」, 黒大豆エダマメの水可溶性オリゴ糖含量とゆで操作に伴うオリゴ糖含量の変化. 農化 74: 501-504.
- 李温九・河合哉・坪井秀樹・和田正夫・佐藤健司・南出隆久・大谷貴美子 2002. 黒大豆エダマメ, 「紫ずきん」の熟成と遊離アミノ酸及びミネラル含有量の変化. 微量栄養素研究. 19: 71-75.
- 杉本充・溝添孝陽・岡井仁志 2010. エダマメ新品種「紫ずきん 2 号」の莢肥大特性から見た収穫適期の解明と予測. エダマメ研究 7: 54-55.
- 杉本充・河合哉 2011. 夏季収穫可能な丹波黒大豆系エダマメ新品種「夏どり丹波黒 1 号」および「夏どり丹波黒 2 号」の育成. 京都農技セ農林セ研報「農業部門」34: 1-8.
- 杉本充・坂本泰子・岩井恒治・長谷川裕司・松本次郎・吉浪彰洋 2011. タスクチームによるエダマメ新商品『京 夏ずきん』生産の支援. 京都農技セ農林セ研報「農業部門」34: 22-26.
- 鈴木泉・中川隆彰 2003. エダマメ「越後ハニー」の生育特性と収穫適期. 東北農業研究 56: 177-178.
- 高野和夫・赤澤昌弘・田村尚之・新見直子・新見敦 2012. 黒大豆「岡山系統 1 号」エダマメの成熟に伴う食味成分の変化と収穫適期. 岡山県農試研報 3: 17-22.

Optimum Harvesting Time of the Early Black-seeded Soybean “Tambaguro” for Edamame (Green Soybean) “Kyo Natsuzukin” in Kyoto Prefecture, Judged from the Pods Appearance and Chemical Properties of Boiled Seeds : Mitsuru SUGIMOTO¹⁾, Yoshie UENO²⁾ and Ryota UEMURA²⁾ (¹⁾ *Agriculture and Forestry Technology Department, Kyoto Prefectural Agriculture Forestry and Fisheries Technology Center, Wakunari, Kameoka, Kyoto, 621-0806 Japan;* ²⁾ *Kyoto Prefectural Technology Center for Small and Medium Enterprises*)

Abstract : In order to elucidate the optimum harvesting time of the early black seeded soybean “Tambaguro” for new edamame (green soybean) “Kyo Natsuzukin” (commercial name), we examined the thickness and appearance of pods, and the chemical components of boiled seeds during the seed growth using two cultivars, “Natsudoritambaguro 1” and “Natsudoritambaguro 2”, in Kyoto prefecture in 2010–2013. The average pod thickness in both cultivars reached 11 mm at 51–52 days after flowering in 2010, a high-temperature year, and reached 12 mm at 56–57 days after flowering in 2011, an average-temperature year, but did not increase thereafter. Assuming that the early limit of the harvesting period is the time when the percentage of thinner pods less than 10 mm thick, which is the standard thickness for shipment in Kyoto, reached less than 30% of total pods. This time corresponds to the time when the accumulated temperature after flowering reached 1400 degrees Celsius in both cultivars. Throughout the harvesting period in both cultivars, the color of seed coat changed from light to deep purple, but the content of free sugars and amino acids reached the maximum before the time when the color of whole hilum became pinkish. At this time, the pod thickness reached 10–11 mm, which is slightly thicker than the shipment standard in Kyoto. Therefore the optimum harvesting time judged from the chemical property is earlier than that judged from the pods appearance.

Key words : Appearance quality, Edamame, Free amino acids, Free sugars, Pod thickness.