

博士論文

収穫時期，貯蔵条件および凍結時の糊化度が
エダマメの品質に及ぼす影響の評価

2015年3月

水野寛士

岡山大学大学院
環境生命科学研究科

目次

第 1 章	研究の背景と目的	
第 1 節	はじめに	5
第 2 節	エダマメ	6
第 3 節	収穫適期	7
第 4 節	収穫後の流通, 貯蔵技術	8
第 5 節	食品の冷凍	9
第 6 節	本研究の目的	10
第 7 節	引用文献	12
第 2 章	エダマメ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	
第 1 節	緒言	14
第 2 節	材料および方法	
2-1.	材料	16
2-2.	試料の調製	17
2-3.	莢の厚さ	17
2-4.	色差	17
2-5.	水分率	17
2-6.	全糖含量と遊離アミノ酸含量	17
第 3 節	結果	
3-1.	莢の厚さ	19
3-2.	水分率	19
3-3.	糖含量	20
3-4.	遊離アミノ酸含量	21
3-5.	色差	23
3-6.	外観と食味成分の関係	25
第 4 節	考察	
4-1.	品質評価項目	29
4-2.	莢と子実の生育	29
4-3.	食味成分	30
4-4.	莢の色	32
4-5.	収穫適期の判定	32
第 5 節	引用文献	34

第 3 章	収穫後の貯蔵温度，形態がエダマメの品質に及ぼす影響	
第 1 節	緒言	36
第 2 節	材料および方法	
2-1.	材料	37
2-2.	貯蔵温度	37
2-3.	貯蔵形態	38
2-4.	試料の調製	39
2-5.	色差	39
2-6.	全糖含量と遊離アミノ酸含量	39
第 3 節	結果	
3-1.	貯蔵温度と色差	39
3-2.	貯蔵温度と糖含量	41
3-3.	貯蔵温度と遊離アミノ酸含量	44
3-4.	貯蔵形態と色差	46
3-5.	貯蔵形態と糖含量	47
3-6.	貯蔵形態と遊離アミノ酸含量	49
第 4 節	考察	
4-1.	貯蔵温度が品質に及ぼす影響	52
4-2.	貯蔵形態が品質に及ぼす影響	54
第 5 節	引用文献	56
第 4 章	凍結時の糊化度がエダマメの物性に及ぼす影響	
第 1 節	緒言	58
第 2 節	材料および方法	
2-1.	材料	60
2-2.	加工方法	60
2-3.	水分率	61
2-4.	物性	61
2-5.	糊化度	62
2-6.	組織の SEM 観察	62
第 3 節	結果	
3-1.	糊化度の変化	63
3-2.	水分率の変化	64
3-3.	最大荷重の変化	65
3-4.	付着性の変化	66

3-5.	Crispness Index の変化	67
3-6.	子実の微細構造	68
第 4 節	考察	69
第 5 節	引用文献	72
第 5 章 総括		
第 1 節	研究成果と今後の展望	74
第 2 節	引用文献	77
第 6 章 謝辞		78

第 1 章 序章

第 1 節 はじめに

園芸学では、野菜、果樹および花きにおいて、品種、栽培および利用に関する研究が行われてきた（熊澤，1965）。生理・生態学、遺伝学などを基盤として各農作物の特性を解明し、栽培技術や鮮度保持技術の確立、新品種の育成などの成果に結びついている。これらの成果に基づいて、高品質な農作物を安定的に供給する取り組みが進んでいる。

農林水産省の報告によると、2000年に日本国民が最終消費した飲食料費の8割程度が加工度を高めた形態で消費されている。つまり高品質な原料を収穫出来たとしても、それを活かす加工技術が伴わないと、消費者の満足に十分応えることは難しいといえる。農作物は洗浄、加熱、冷凍などの処理により成分や組織が変化し、栄養面や嗜好面において価値を損なうことがある。食品工学では、食品の製造過程において生じる現象を定量化して捉え、高品質な食品を安定供給するために多様な研究が行われている（日本食品工学会，2012）。食品工学の手法を用い、食品加工技術の向上に取り組むことが有効である。

女性の社会進出の進展や高齢化の進行など社会構造の変化により、今後、加工食品のニーズはさらに高まることが推測される。つまり、これからの食品の研究においては栽培～加工までを一貫したシステムとして捉えることが望ましいと思われる。栽培、収穫、貯蔵方法などを研究し、良品質の原料を安定的に供給できるようにした上で、その加工方法についても確立することが最も有効である。

本論文の中心となるエダマメは、元々はアジア圏数か国で喫食されていた野菜ではあるが、栽培面において十分研究が進んでいない状況にある。また、日本での栽培においては端境期が存在し、冷凍品が必要となる期間があるため、加工面についての知見も必要である。さらに、近年では海外での需要が拡大しており、得られた成果の応用範囲は広い。これらのことから、エダマメは栽培～加工までの研究を行うべきであり、その成果が望まれている農作物である。

第 2 節 エダマメ

エダマメはダイズ (*Glycine max*) を未成熟な状態で収穫したものであり、両者は植物としては同じものである。原産地は中国と考えられ、華北から朝鮮を経て北日本に至る経路と、華中から九州に至る経路、華中、華南から台湾に至る経路で日本に渡来したと考えられている (川城, 2001)。

エダマメはダイズと異なり、鮮やかな緑の外観を有し、栄養では、ダイズと同様に、エネルギー、脂質、たんぱく質に富む。一方で、ダイズには少ないビタミン A や C の含量が高く、豆類と野菜類の両方の栄養的特徴を持つ良点がある (香川, 2011)。利用形態においても、ダイズは乾燥させて乾物として用いられることが多いが、エダマメは生のまま生鮮食品として取り扱われる。このようなことから、五訂増補日本食品標準成分表では、ダイズは豆類に、エダマメは野菜類に分類されている。

エダマメとダイズでは求められる品質特性が異なる。エダマメには鮮やかな緑色の莢、甘味や旨味の強い良食味の子実が好まれる (星野, 2001)。そこで、現在ではエダマメ用品種とダイズ用品種が使い分けられている。エダマメ用品種は種皮の色の違いから、青豆、茶豆、黒豆の 3 つに分類される。青豆は子実がダイズ色又は緑色を呈し、癖のない味で多くの人に支持され、全国的に栽培されており、国内で最も大量に流通している。代表的な品種として‘ふくら’や‘湯あがり娘’などがある。茶豆はその名のとおり種皮が茶色を帯びており、強い甘みと独特の風味を持つ。東北地方で主に栽培され、代表的な品種として‘だだちゃ豆’‘黒崎茶豆’などがある。黒豆は黒大豆が成熟する前に収穫したものであり、子実が薄い黒色の皮を被っている。深い甘味と黒豆特有のコクを有している。関西地方で主に栽培され、代表的な品種として‘紫ずきん’‘丹波黒’などがある。

エダマメを食べていたのは日本を始め、中国、台湾、タイなどアジア圏の数か国に限られていた。しかしながら、健康志向の高まりから日本食が注目され、それに伴い 2000 年頃には欧州や北米を始めとする海外でもエダマメが食べられるようになった。調理の簡便さ、食味、健康面から人気となり edamame 又は green soy bean と呼ばれ、定番の食品になりつつある。

エダマメは一定地域で消費されていた野菜のため、研究が十分に進んでいるとは言えない。しかし、現在は日本だけでなく、世界的に消費されるようになった重要な野菜である。よって、エダマメの高品質化について研究することは、人々の食生活の向上に役立つと考えられる。

第3節 収穫適期

高品質な農作物を栽培するためには、多くのことに注意する必要がある。例えば、施肥により地力のある土壌を作ること、適する品種を選択すること、生育時の気温を考え時期を選んで播種することなどがある（大久保，1979）。エダマメ品質向上の基礎として、収穫適期の判別は重要である。適切な時期に収穫することにより食味、外観などの品質に優れ、収量や良品率が高く、貯蔵性にも優れるものとなる。しかし、収穫が早すぎると、糖度が低い、青臭い、硬いなどの問題を生じる。逆に収穫が遅すぎると、褐変、軟化、腐敗などが発生し、商品価値が失われる。

一般的に収穫適期は農作物の色や大きさなどを参考に判別することになる。エダマメでも、収穫適期は土壌や気候条件により変動するため（北田・岸，2007），栽培年度や栽培地が変わるたびに、臨機応変にこれを判断する必要性が生じる。産地での栽培経験が豊かな生産者であれば問題は少ないが、経験が乏しい生産者の場合、精度良く収穫適期を判断することは難しい。また、エダマメは海外や食品加工用の栽培の場合、複数農場で大規模に栽培されることが多い。このような場合、農場間で収穫適期の判断が異なると、同一商品にもかかわらず大きな品質差が生まれ、消費者期待に応えることが出来なくなる。

そこで、収穫適期を客観的に判断する様々な方法が研究されている。例えば、積算気温を用いる方法（前嶋ら，2007；鈴木・中川，2003），有効積算気温を用いる方法（岡ら，2005），農作物の大きさや色を基に作成された収穫適期判定スケールを用いる方法（廣田ら，2004；本庄ら，2008）などが検討されてきた。先行研究では、生育と品質の関係調査を株全体または株の指定部位の単位で行われている。しかし、エダマメの開花日は莢ごとに異なっているので、正確な意味での開花後日数に伴う品質の変化は未だ調査されていないことになる。エダマメは成熟すると株全体を一括収穫する特徴があるため、莢単位の精緻な品質推移を評価し、それを基に収穫適期判別法を考察する必要がある。

第4節 収穫後の流通，貯蔵技術

近年，農作物の主要産地が形成され，産地は大型化，遠隔化する傾向が見られる．一方，消費者側では，市場の統合整備，産直体系の導入，大量仕入れなどに見られるように，消費の規模が拡大している（岩本・梅田，1980）．多くの農作物の産地は大都市圏から遠距離にあるため，生産と消費の規模拡大により，これまで以上に流通過程に時間と手間を要することになっている．

収穫～消費までの時間が長い場合，農作物を新鮮な状態で消費者に届けることが重要になる．農作物は同じ生鮮食品である肉や魚などと異なり，収穫後も生体として機能しており，生態を維持するための様々な生理的反応を示す（加藤ら，1987）．収穫後の農作物の生理としては，呼吸作用と蒸散作用が根本となり，それ以外に発芽，抽苔，追熟，老化などが挙げられる．収穫後の生理作用を理解し，得られた知見を基に適正な取り扱いをすることで，収穫してから消費者の口に入るまでの品質を保証できるようになる．

収穫後の農作物の生理活性を抑制する方法としては，低温貯蔵が最も効果的である（茶珍，1991）．ただし，バナナやトマトなど熱帯，亜熱帯原産の農作物においては低温下で保持すると，生体膜の機能や物質代謝の変化によって生理的にアンバランスな状態になり，褐変，軟化，しなびなどの品質低下を引き起こす，いわゆる低温障害が発生する（野中・小泉，1982）．温度以外では，高い二酸化炭素濃度，および低酸素環境下で農作物を貯蔵する CA 貯蔵や MA 貯蔵（秋元・黒田，1981；佐藤・有坂，2001），外部からの振動や損傷などの物理的作用を抑制する方法（岩本・梅田，1980）などが報告されている．

エダマメは未成熟なダイズであり呼吸が活発であること，主に夏季に栽培され気温が高いことから，収穫後の品質低下が急速であることが知られている（前沢・秋元，1996）．そのため，収穫後の貯蔵方法について様々な研究が行われている．しかしながら，既報では1日単位以上での品質評価がほとんどである．実際の現場では，収穫後数時間で，生鮮として販売される場合や加工食品にされる場合も多く，より詳細な品質推移の情報，それを基にした最適貯蔵方法が求められている．

第5節 食品の冷凍

収穫された農作物やそれを加工した食品を保存するためには、微生物による腐敗や化学反応による栄養素、食感などの変化を抑制する必要がある。温度、水分活性、および酸素のいずれかを調整することで、微生物の増殖や化学反応の進行を制御している（日本冷凍空調学会，2000）。食品の保存方法として乾燥、塩蔵、缶詰などがあるが、常温で保存できるという利点がある一方で、食味や食感を始めとする品質が食品本来のものから変化してしまう問題がある。食品保存方法の一つである冷凍は、保存中に高エネルギーを必要とするが、味、香り、食感などを食品本来の姿のまま長期保存できるという他にはない魅力がある。

家庭への冷蔵庫や電子レンジの普及、コールドチェーンの確立により、冷凍食品の利用は広まり始めた。女性の社会進出が本格化、お弁当ニーズの拡大などにより、手軽に美味しく健康的な食品が求められるようになった。これに呼応して冷凍食品の消費は拡大し続け、2013年の国内消費量は約275万tにも達し、生活に欠かせない食品になっている。

多くの利点が存在する冷凍食品であるが課題もある。最大氷結晶生成温度帯（ $-1\sim-5^{\circ}\text{C}$ ）に食品が置かれると氷結晶の成長により組織を損傷する。野菜は動物性食品に比べて水分率が高く、凍結により多くの氷結晶が生成するため、細胞の損傷が大きい。

緩慢凍結した場合、まず細胞外に結晶核が生成し、氷結晶が成長する。細胞外の氷は細胞内の水を結晶の原料として成長するため、細胞を押しつぶし物理的な損傷を与える。急速凍結の場合、温度が急速に下がるため、細胞内外ともに氷結晶点以下になり、氷結晶が細胞の内部と外部で同時にできるため、細胞膜などが受ける物理的損傷は緩慢凍結より小さい。しかし、損傷を完全に抑制することは出来ない（日本冷凍空調学会，2000）。

凍結により組織が損傷すると、解凍後にドリップが流出し、呈味成分が失われたり、軟化して食感不良となる問題がある。これを解決するために様々な研究が行われており、糖含溶液浸漬で氷結晶の成長を抑制する方法（中川ら，1998）や、冷凍前に浸透圧などで一部水分を脱水して野菜を半乾燥し、組織中の自由水を少なくして氷結晶を減少させる方法（安藤ら，2008）などが報告されている。

エダマメは農産物の中では凍結による品質の変化は小さい方である。しかし、未凍結の生鮮と比較すると、その品質は十分であるとは言えず、さらに美味しい枝豆の冷凍技術の開発が求められている。

第 6 節 本研究の目的

すでに述べたようにエダマメはダイズを未成熟な状態で収穫した野菜である。栄養成分を見ても、エダマメは重量 100g あたり炭水化物を 8.8g 含み、これは一般的な野菜に比べて多い（香川，2011）。このようにエダマメは一般的な野菜とは異なる特徴を持つため、様々な問題を抱えている。成長途中で収穫されるため、収穫適期が短い（本庄ら，2008）。未成熟な子実であり代謝が活発であるため、収穫後の品質低下が発生しやすい（前沢・秋元，1996）。デンプンを多く含むため、一般的な野菜とは最適加工条件が異なる可能性がある。そこでエダマメについて収穫～加工まで一貫した研究を行うことにした。

本研究を行うにあたり、次に示す観点から主に取り組みを進めることにした。一つ目は収穫適期についての研究である。エダマメは大きさ、色、呈味成分が急速に変化している未熟種子を食用に供するので、収穫適期が短い。収穫適期を客観的に判断する方法として積算気温（前嶋ら，2007；鈴木・中川，2003）や莢の厚さ、色（廣田ら，2004；本庄ら，2008）の利用が研究されている。ただし、これまでの研究では、生育と品質の関係調査が株全体または株の指定部位の単位で行われている。エダマメの開花日は莢ごとに異なるため、正確な意味での開花後日数に伴う品質の変化は未だ調査されていないことになる。エダマメは成熟すると株全体を一括収穫するため、莢単位の精緻な品質推移と株内の開花のばらつきが調査されると、収穫適期評価法についてこれまでにない知見を得ることが期待できる。

二つ目は収穫後貯蔵条件についてである。主に夏季に栽培され気温が高いこと、エダマメが成育中の未成熟な子実であり代謝が活発であることから収穫後の品質低下が急速である。品質保持方法として低温貯蔵（千葉・八重樫，1988；岩田・白幡，1979）、枝葉付きの状態での貯蔵（廣田ら，2003）について研究され、その有効性が報告されている。ただし、これまでの研究の多くは、温度は室温（20～30℃）と冷蔵（0～5℃）のみの比較に限られている。また既報では 1 日単位以上での品質評価がほとんどである。そのため、品質保持に必要な温度、時間についての詳細な知見が得られていない。貯蔵温度と評価間隔を細かくして、収穫後の貯蔵に伴う品質の推移を調査することで、コストと効果のバランスを考慮した貯蔵温度の設定や加工までの許容時間の規定などに有用な情報が得られることが期待できる。

三つ目はエダマメの冷凍加工についてである。生鮮野菜組織は凍結すると損傷し、品質、特に食感が低下しやすい（安藤ら，2008）。野菜は動物性食品に比べて水分率が高く、凍結により多くの氷結晶が生成するため、細胞の損傷が大きい。

食感改善法として糖含溶液浸漬で、氷結晶の成長を抑制する方法（中川ら，1998）、カルシウム塩溶液浸漬で、細胞壁を強化してから冷凍する方法（田村ら，1993）などが報告されている。これらの技術は野菜の硬さの改善には一定の効果を示すが、硬さ以外の食感特性，エダマメの場合，歯切れ向上については報告されていない。エダマメはデンプンを多く含む野菜であるので，食感に影響する要素として糊化度に注目し，凍結時の糊化度が物性に及ぼす影響を調べることで，添加物の使用なしに様々な食感の冷凍野菜を設計できるようになる。

以上から本論文では，エダマメの収穫適期，貯蔵条件および凍結時の糊化度が及ぼす影響の評価を行った。第2章では，エダマメ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を行った。第3章では収穫後の貯蔵温度，形態がエダマメの品質に及ぼす影響の評価を行った。第4章では凍結時の糊化度がエダマメの物性に及ぼす影響の評価を行った。最後に第5章では本論文の総括と今後の展望について述べた。

第7節 引用文献

- 秋元浩一・黒田佐俊. 1981. 生鮮エダマメのフィルム包装と品質. 園学雑. 50: 100-107.
- 安藤寛子・渡辺学・大下誠一・鈴木 徹. 2008. 生鮮野菜に対する浸透圧脱水凍結法の効果の検討. 日食保蔵誌. 34: 261-266.
- 茶珍和雄. 1991. 青果物の低温貯蔵に伴う生理的問題. 凍結及び乾燥研究会会誌. 37: 86-93.
- 千葉泰弘・八重樫誠次. 1988. エダマメ収穫後の品質変化. 東北農研. 41: 287-288.
- 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. 兵庫農林水技総セ研報(農). 52: 23-28.
- 廣田智子・田畑広之進・福嶋 昭・井上喜正・中川勝也. 2003. 丹波黒大豆冷凍エダマメの品質に及ぼす収穫後の保存条件. 日食保蔵誌. 29: 11-16.
- 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. 東北農研. 61: 179-180.
- 星野康人. 2001. 野菜の品質評価による有利販売方法. 新潟農総研報. 3: 35-48.
- 岩元睦夫・梅田圭司. 1980. 物流の科学と技術(1). 化学と生物. 18: 762-767
- 岩田 隆・白幡啓一. 1979. エダマメ収穫後の品質変化とその防止 I 品質変化に関係する要因とガス組成及び葉付き包装の効果. 園学雑. 48: 106-113.
- 香川芳子. 2011. 五訂増補食品成分表. p. 34-35. 女子栄養大学出版部. 東京.
- 加藤博通・檜作 進・内海 成・鬼頭 誠・山内文男・小倉長雄・中林敏郎. 1987. 新農作物利用学. p. 169-174. 朝倉書店. 東京.
- 川城英夫. 2001. 新 野菜づくりの実際 果菜 I. p. 182. 農山漁村文化協会. 東京.
- 北田修三・岸 浩文. 2007. 岡山県北部における春播きと短日処理がダイズ品種‘丹波黒’のエダマメとしての収穫期および収量に及ぼす影響(発育制御). 園学研. 6: 465-469.
- 熊澤三郎. 1965. 蔬菜園芸各論. p. 1-17. 養賢堂. 東京.
- 前沢重礼・秋元浩一. 1996. 水処理がエダマメの呼吸作用に及ぼす影響. 岐阜大農研報. 61: 87-91.
- 前嶋敦夫・古川尊仁・鎌田直人・菊池昌彦. 2007. エダマメ「あおもり福丸」の6月中旬直播作型における収穫適期. 東北農研. 60: 187-188.

- 中川良二・北川直揮・八十川大輔・池田隆幸・長島浩二. 1998. 野菜の冷凍保存技術の開発. 北海道食加研セ報. 3: 59-63.
- 日本冷凍空調学会. 2000. 食品関係者のための食品冷凍技術. p. 1-5. 日本冷凍空調学会. 東京.
- 日本食品工学会. 2012. 食品工学. p. 1. 朝倉書店. 東京.
- 野中順三九・小泉千秋. 1982. 食品保蔵学. p. 162-163. 恒星社厚生閣. 東京.
- 岡 正明・大山優美子・小川貴史. 2005. 有効積算温度を用いたエダマメ品種の収穫適期予測法. 宮城教育大紀要. 40: 201-208.
- 大久保隆弘. 1979. 畑作物栽培の基礎 .p. 9-12. 農山漁村文化協会. 東京
- 佐藤嘉一・有坂将美. 2001. 枝豆の鮮度保持法. 新潟農総研報. 35: 7-12.
- 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. 東北農研. 56: 177-178.
- 田村咲江・河村知恵・千田隆夫・湊上倫子. 1993. ダイコンの煮熟軟化と柔細胞壁の微細構造変化に及ぼす各種塩類の影響. 日本家政学会誌. 44: 633-641.

第2章 エダマメ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

第1節 緒言

エダマメは大きさ、色、呈味に重要な糖、遊離アミノ酸含量が急速に変化している未熟種子を食用に供するので、収穫適期は短い。エダマメ品種‘あおもり福丸’では、設定された収穫適期から5日収穫が遅れると糖や遊離アミノ酸含量が大きく低下し、10日以上遅れると黄化度が急激に上昇して大豆の外観となり、商品価値が失われるとされている（前嶋ら，2007）。同様に‘あきた香り五葉’でも収穫適期は開花後48～52日の5日間であり、収穫が早いと莢色が品種本来の鮮やかさに欠け、子実が小さく、遅いと食感は粉質で、香りが弱く、莢色が薄くなる（本庄ら，2008）。品種によって若干の差異はあるが、エダマメの収穫期間は短く、適期を逃すと品質が大きく低下する。生鮮流通でも冷凍加工用でも、計画的に高品質のエダマメを出荷するには収穫適期の判断が重要である。特に、冷凍加工用では複数の農場で大規模栽培される場合が多く、農場間で収穫期の判断が異なると、同一商品であるにも関わらず大きな品質差が生まれ、消費者の要望に応えることができない。

収穫時期は、播種時期や施肥、気候などの栽培条件の影響も受けて変動するため、その判断は生産者の資質や経験に頼る部分が多いのが実状である（北田・岸，2007；元木ら，2002；露崎・吉田，2012）。複数の農場で複数の生産者が収穫する場合、個人差により品質差が生じる危険性が高いので、収穫適期の客観的判断法が必要である。

作物の生育は気温と大きな関係があるので、収穫適期を客観的に判断する方法として積算温度が用いられている。エダマメでも‘越後ハニー’や‘あおもり福丸’で、開花始期後の日平均気温の積算温度で収穫適期の範囲が設定できることが示されている（前嶋ら，2007；鈴木・中川，2003）。さらに、エダマメの複数品種について生育下限温度が見出され、栽培期間の気温履歴が異なっても一定の有効積算温度になれば収穫適期に達することから、有効積算温度法がエダマメの収穫適期予測に適用できることが示された（岡ら，2005）。また、生育に伴い変化する莢の厚さや色を生産者が現場で測定することで、生育程度を直接判定し収穫適期を見極める取り組みが行われている。‘丹波黒大豆’や‘あきた香り五葉’では、莢の厚さと莢色カラーチャートを組合せて構成した収穫適期判定スケールが作成されている（廣田ら，2004；本庄ら，2008）。

ただし、これまでの研究では、生育と品質の関係調査を株全体または株の指定

部位の単位で行っているため、株または指定部位で最初に開花した日を開花日とし、以降その部位はすべて一括りにして評価されてきた。しかし、エダマメの開花日は莢ごとに異なっているため、正確な意味での開花後日数に伴う品質の変化は未だ調査されていないことになる。エダマメは成熟すると株全体を一括収穫する特徴がある。莢単位の精緻な品質推移と株内の開花のばらつきを調査することで、初めて正確に収穫適期とその幅を評価できると思われる。

これまでの調査では、食味品質は含有成分を合計した全糖や遊離アミノ酸含量で評価しているものが多い。そこで、本研究では成分ごとの品質変化を調査した。特に遊離アミノ酸は各々呈味が異なるため、成分ごとの評価を行うことで、味の変化についての知見が得られる。先行研究（本庄ら、2008；鈴木・中川、2003）では品質評価の期間が莢の厚さが最大となる前後 1 週間程度の範囲で行っているものが多い。しかし、本研究ではそれよりも長期間、つまり着莢してから数日後から開始し、最大莢厚まで肥大した 10 日後までの品質を評価した。広い範囲で評価することで品質の変動を捉え、収穫が遅れた際のリスクについても見積もることが可能になる。

本研究では、群馬県太田市で栽培されている‘ふくら’と‘湯あがり娘’を用い、莢ごとに開花日を記録し、莢単位で開花後の生育と品質の関係を調査し、精緻な品質評価結果を基に収穫適期判定法としての莢厚を再評価した。両品種は、栽培日数が約 85 日の中早生種であるが、収穫期間を広げるために、太田市において‘ふくら’の播種時期は 3 月下旬～4 月上旬、‘湯あがり娘’は 5 月中旬～下旬という違いがある。

第 2 節 材料および方法

2-1. 材料

2012年に群馬県太田市のほ場で栽培したエダマメ‘ふくら’（播種日：3月28日）と‘湯あがり娘’（播種日：5月16日）を供試した。各品種の播種期間から、太田市の生産者の栽培実績により播種量の多い日を選定し、試験に用いた。エダマメの開花日に日付を記入したタグを取り付けた。なお、株中の部位による影響を考慮し、試料は株中央部（下から第2～4節まで）に限定した。‘ふくら’の開花期間は11日、‘湯あがり娘’は9日であった。開花後20～50日まで5日間隔で莢を10莢ずつサンプリングした。



第 2-1 図 太田市のほ場

‘ふくら’



‘湯あがり娘’



第 2-2 図 エダマメの花

2-2. 試料の調製

収穫したエダマメは氷冷して持ち帰り、莢の色差を測定し、種皮を含む子実を取り出し、一部を分取して水分率を測定した。残りの子実に8倍重量の蒸留水を加え、電子レンジで沸騰するまで加熱して喫食時の状態まで加工するとともに、酵素を失活させた。ここまでの作業を収穫から2時間以内に完了させた。加熱中に糖、遊離アミノ酸が蒸留水に流出している可能性が考えられるため、蒸留水も回収し分析に用いた。子実と蒸留水をポリプロピレン製コニカルチューブに厳密封し、 -25°C 以下で全糖、および遊離アミノ酸含量分析時まで（4か月間）保存した。

2-3. 莢の厚さ

莢の厚さの測定にはデジタルノギス（ミットヨ（株）製）を用いた。2粒莢は茎に近い側の上部豆部分、3粒莢は中央豆部分を測定し、その莢の厚さとした。サンプリングした10莢それぞれについて測定を行い、1試験区10反復で行った。

2-4. 色差

莢の色差測定には色彩色差計（CR-200,コニカミノルタ（株）製）を用い、 L^* 、 a^* 、 b^* で評価した。平らな台の上に測定対象を置き、2粒莢は茎に近い上部豆部分、3粒莢は中央豆部分を表裏測定した。サンプリングした10莢それぞれについて測定を行い、1試験区10反復で行った。

2-5. 水分率

貯蔵終了後の莢から種皮を含む子実を取り出して細断し、乾燥前と 105°C で12時間後の重量を測定し、減少量を水分として算出した。生育のばらつきが水分率に与える影響を確認するために、サンプリングした10莢を莢の厚さが小さいものから順に2莢ずつ同一検体として測定を行い、1試験区5反復で行った。

2-6. 全糖含量と遊離アミノ酸含量

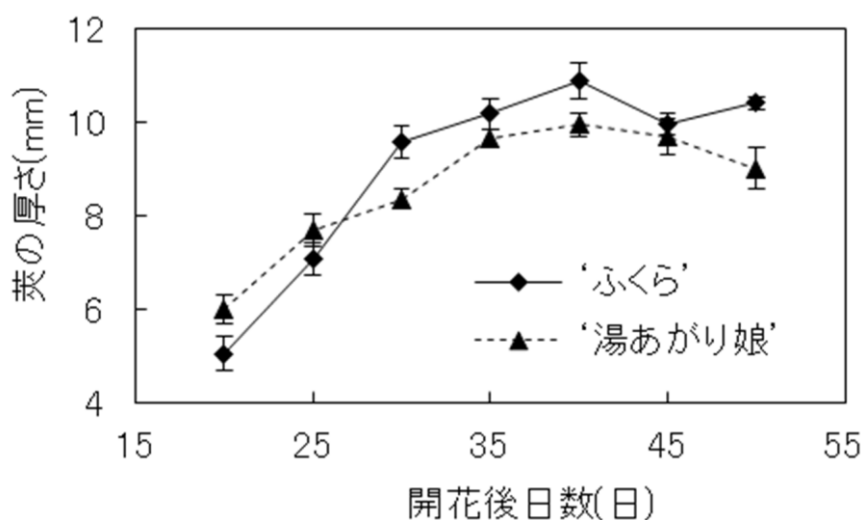
凍結保存した子実を室温で解凍後、蒸留水で10倍希釈し、ホモジナイザーで破碎し、遠心分離により上清を分取し、 $0.45\ \mu\text{m}$ 孔のメンブレンフィルターに通して試料液とした。キャピラリー電気泳動装置（CAPI-3300,大塚電子（株）製）を用いて全糖（フルクトース、マルトースおよびスクロース）と遊離アミノ酸含量（グルタミン酸、アスパラギンおよびアラニン）をメーカーの推奨分析条件に従って定量した。糖分析の泳動液には $5\ \text{mM}$ ピコリン酸、 $10\ \text{mM}$ リン酸三ナトリウム、 $0.25\ \text{mM}$ ヘキサデシルトリメチルアンモニウムヒドロキシドにな

るように蒸留水に溶解し，4 N 水酸化リチウムを用いて pH12.5 に調製したものを
用いた．キャピラリー管は内径 75 μ m，長さ 50 cm を用い，サンプル注入は
落差法で 25 mm，60 秒，泳動は 25 $^{\circ}$ C，定電圧-7 kV，20 分，検出は間接吸光法
で，波長 260 nm で行った．遊離アミノ酸分析の泳動液には 30 mM キノリン酸，
0.5 mM ヘキサデシルトリメチルアンモニウムヒドロキシドになるように蒸留水
に溶解し，2 M 2-アミノ-2-ヒドロキシメチル-1, 3-プロパンジオールを用いて
pH9.0 に調製したものをを用いた．キャピラリー管は内径 75 μ m，長さ 80 cm を
用い，サンプル注入は落差法で 25 mm，90 秒，泳動は 25 $^{\circ}$ C，定電圧-25 kV，
20 分，検出は間接吸光法で，波長 265 nm で行った．どちらの分析も 5 検体泳
動するごとに蒸留水 10 分，1 N 水酸化ナトリウム 10 分，蒸留水 10 分のキャピ
ラリーコンディショニングを行った．生育のばらつきが糖と遊離アミノ酸含量に
与える影響を確認するために，サンプリングした 10 莢を莢の厚さが小さいもの
から順に 2 莢ずつ同一検体として測定を行い，1 試験区 5 反復で行った．

第 3 節 結果

3-1. 莢の厚さ

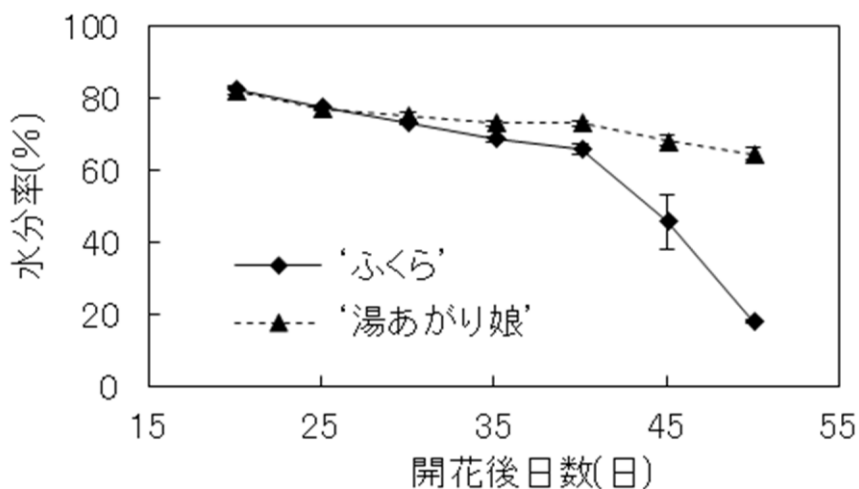
‘ふくら’と‘湯あがり娘’の開花後日数と莢厚の関係を第 2-3 図に示した。両品種とも開花後 30 日までは莢の肥大が速く、それを過ぎると緩慢になった。開花後 40 日で‘ふくら’は約 11 mm, ‘湯あがり娘’は約 10 mm の最大莢厚に達した。開花後 40 日を過ぎると、莢の厚さは薄くなった。



第 2-3 図 開花後日数と莢の厚さの関係
図中の縦線は標準誤差を示す (n=10)

3-2. 水分率

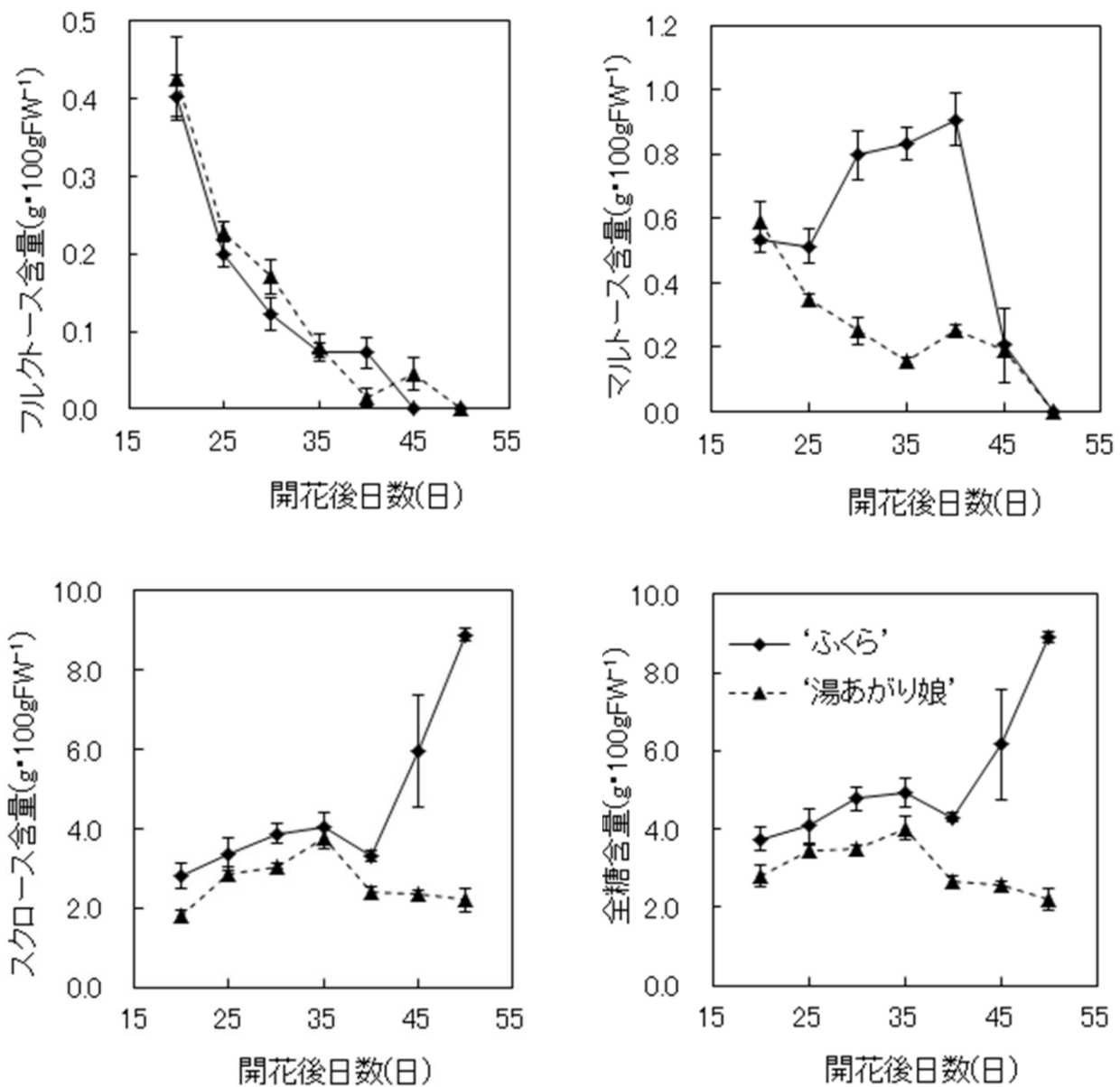
開花後日数と子実の水分率の関係を第 2-4 図に示した。水分率は‘ふくら’では開花後 40 日までは緩やかに、その後、急激に低下した。一方、‘湯あがり娘’の水分率は開花後 20~50 日まで緩やかに低下した。各子実間の水分率のばらつきはいずれ開花日でも小さかった。



第 2-4 図 開花後日数と子実の水分率の関係
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=5)

3-3. 糖含量

開花後日数と子実の糖含量の関係を第 2-5 図に示した。主要な糖は両品種に共通しており、フルクトース、マルトースおよびスクロースの 3 つであった。フルクトースは生育に伴い減少し、'ふくら'では開花後 45 日、'湯あがり娘'は開花後 50 日に検出限界以下になり、成熟していく過程で失われた。マルトースは'ふくら'では開花後 40 日までは増加したが、以降は減少し、'湯あがり娘'では生育に伴い一貫して減少し、いずれの品種でも開花後 50 日には検出限界以下になった。'ふくら'のスクロース含量は開花後 35 日までは増加し、その後一旦減少した後、開花後 45 日以降で急激に含量が増加した。これは第 2-2 図に示したように開花後 40 日を過ぎると水分率が急速に低下し、スクロースが濃縮されたことから、新鮮重当たりでは見かけの含量が高くなったためであり、水分率の影響を除去すると生育に伴い糖含量は減少していた。'湯あがり娘'のスクロース含量は開花後 35 日まで増加し、以降減少した。エダマメはスクロースの比率が高いため、全糖含量の変化はスクロースと同様の傾向を示した。

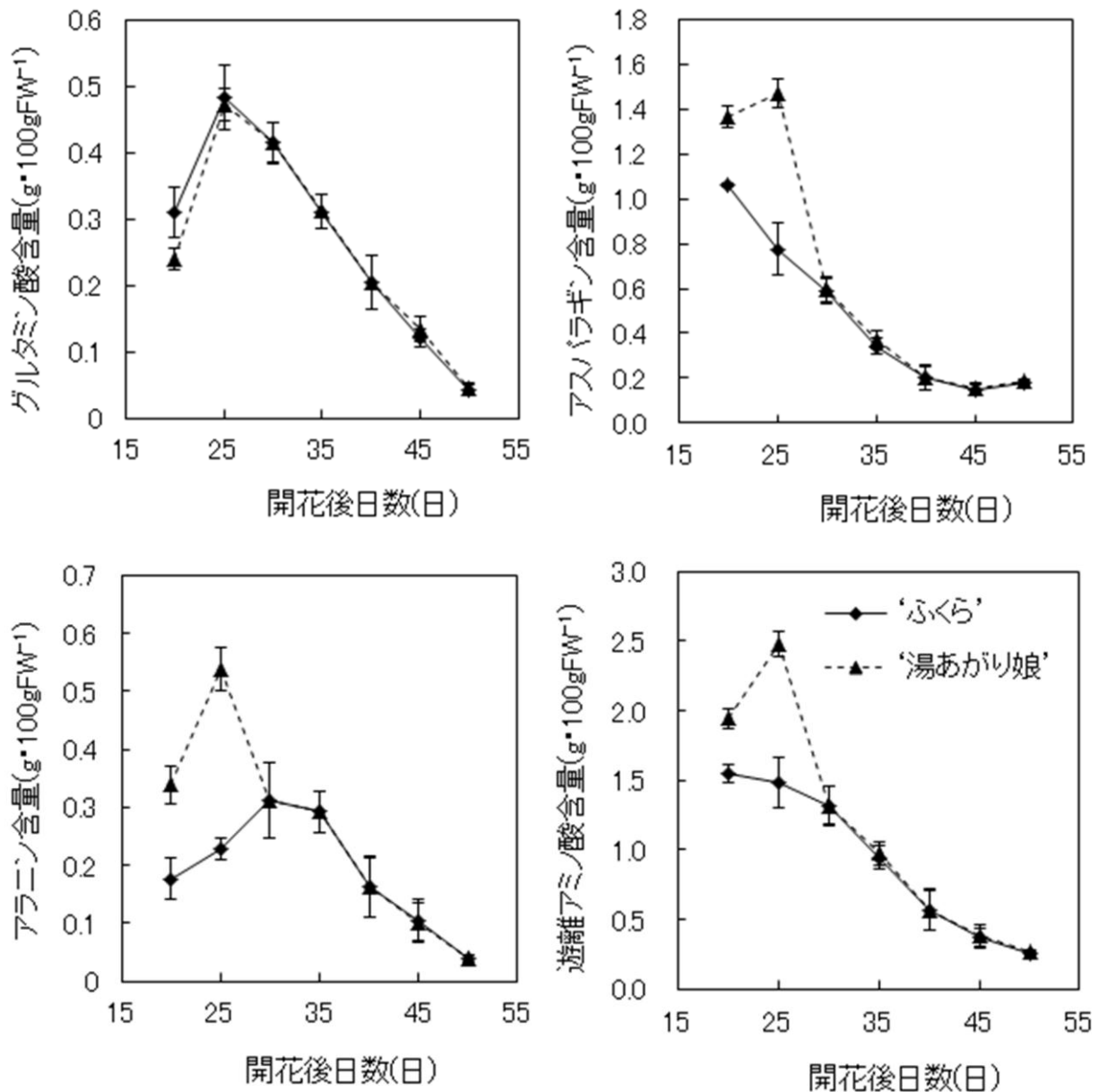


第 2-5 図 開花後日数と子実の糖含量の関係
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=5)

3-4. 遊離アミノ酸含量

開花後日数と子実の遊離アミノ酸含量の関係を第 2-6 図に示した. 主要な遊離アミノ酸は両品種に共通しており, グルタミン酸, アスパラギンおよびアラニンの 3 つであった. 'ふくら' のグルタミン酸は開花後 25 日をピークに減少し,

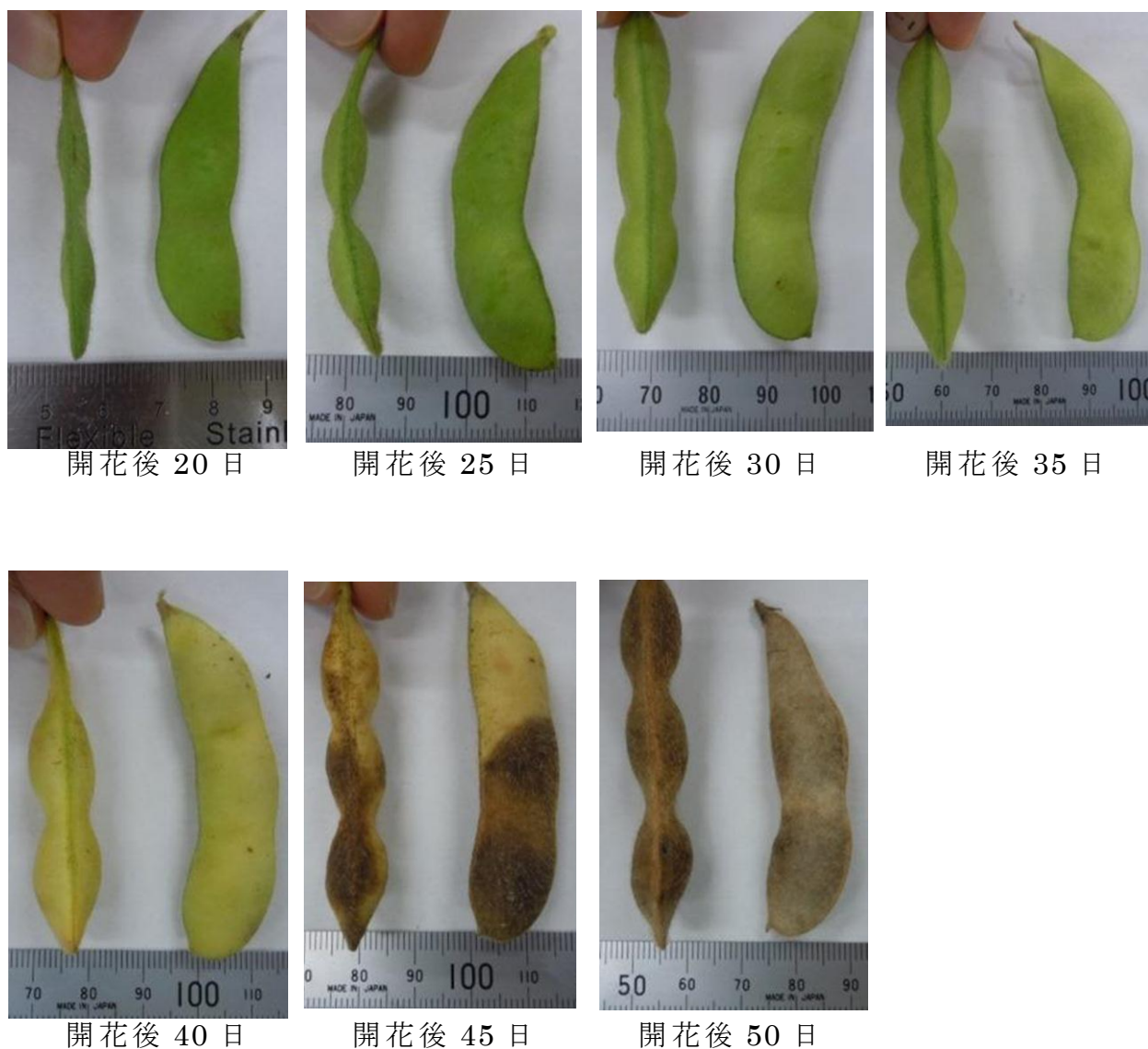
アスパラギンは開花後 20 日から生育に伴い減少した。アラニンは開花後 30 日まで増加し、35 日を過ぎると急速に減少した。3つのアミノ酸を合計した全遊離アミノ酸は開花後 30 日目までは緩やかに、以後は急速に低下した。‘湯あがり娘’のグルタミン酸は開花後 25 日をピークに緩やかに減少した。アスパラギンは開花後 25 日目までは減少が見られないが、25～30 日にかけて急激に減少した。アラニンは開花後 25 日まで上昇し、25～30 日にかけて急激に減少した。



第 2-6 図 開花後日数と子実の遊離アミノ酸含量の関係
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=5)

3-5. 色差

‘ふくら’と‘湯あがり娘’の莢の外観写真を第 2-7 図，2-8 図に示した。開花後日数と莢の色差 (L^* ， a^* ， b^*) の関係を第 2-9 図に示した。‘ふくら’の L^* 値は開花後 45 日を過ぎると若干低下した。 a^* 値は，開花後 40 日を過ぎると急激に上昇した。 b^* 値は開花後 40 日を過ぎると大きく低下した。 ‘湯あがり娘’では L^* と b^* は生育に伴う変化が見られず一定であった。しかし， a^* は開花後 40 日までは大きな変化が見られないが，それを過ぎると急激に上昇し，緑色の退色が進行することが確認された。



第 2-7 図 ‘ふくら’ の莢の外観の変化



開花後 20 日



開花後 25 日



開花後 30 日



開花後 35 日



開花後 40 日

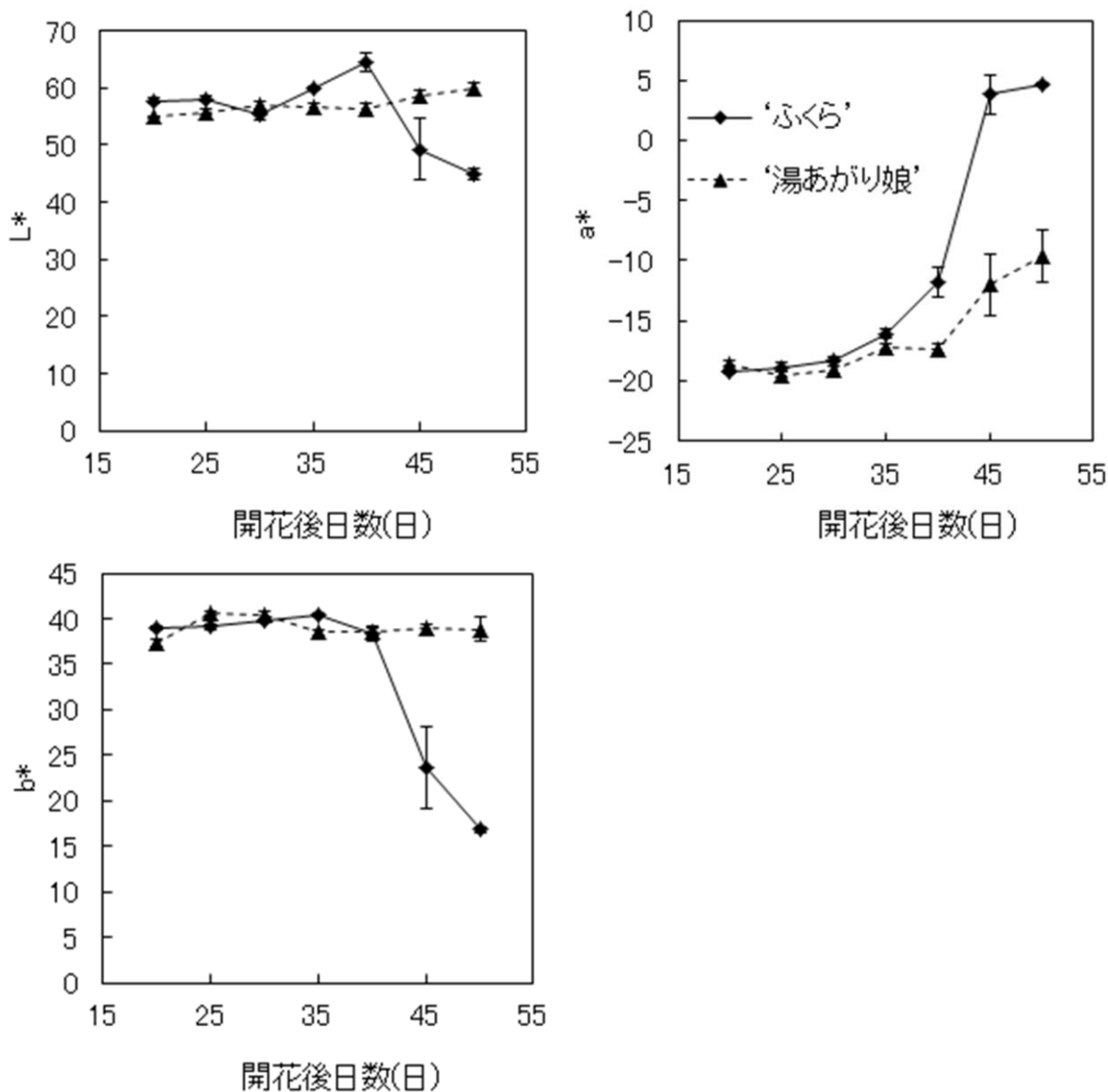


開花後 45 日



開花後 50 日

第 2-8 図 ‘湯あがり娘’ の莢の外観の変化

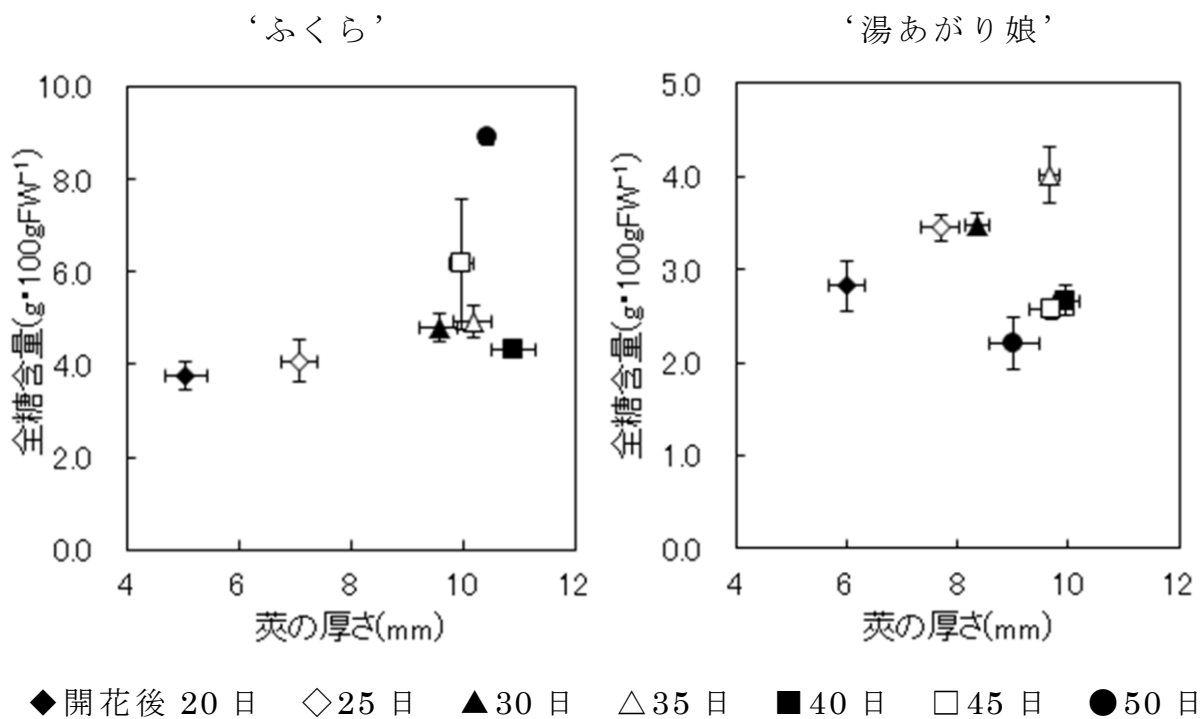


第 2-9 図 開花後日数と莢の色の関係
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=10)

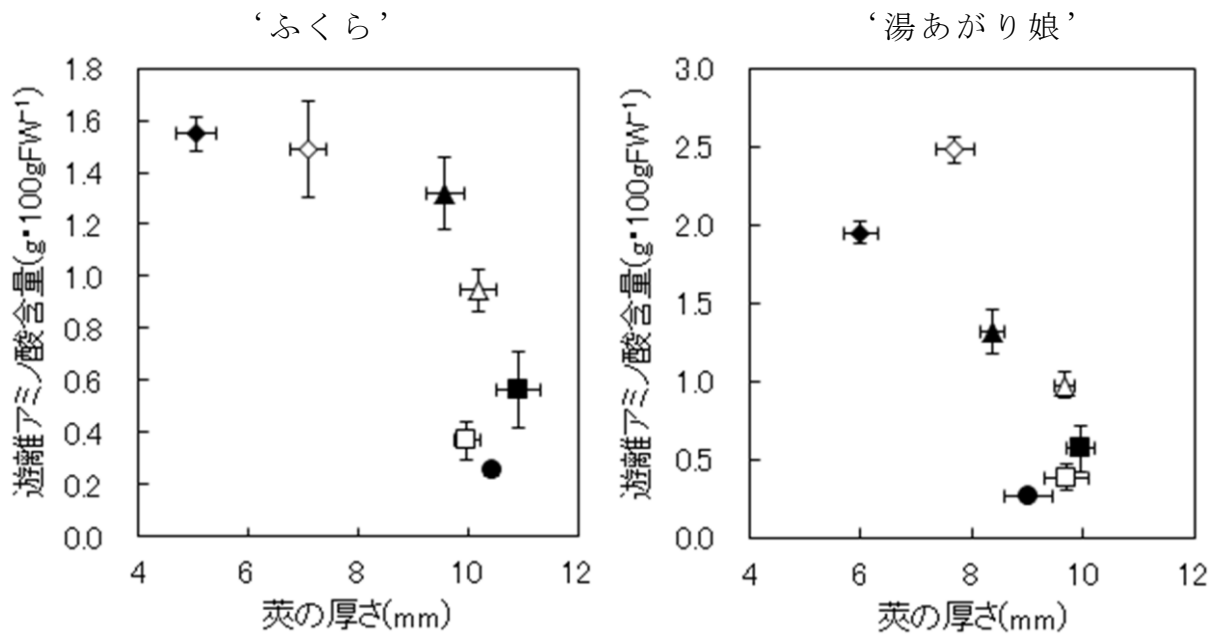
3-6. 外観と食味成分の関係

‘ふくら’と‘湯あがり娘’における莢の厚さと子実の全糖含量の関係を第 2-10 図に示した. ‘ふくら’は莢の厚さ約 10.2 mm までは大きくなるに伴い糖含量が増加し, それよりも肥大すると含量は低下した. ‘湯あがり娘’についても同様の変化が見られ, 莢の厚さ約 9.7 mm までは肥大に伴い糖含量が増加し,

それ以降減少した。ただし、両品種とも開花後 45 日以降は乾燥により莢が薄くなるため、それ以前の開花日と同じ莢の厚さでも含量が異なった。両品種の莢の厚さと子実の遊離アミノ酸含量の関係を第 2-11 図に示した。‘ふくら’は莢が厚くなるに伴い、遊離アミノ酸が減少した。‘湯あがり娘’は厚さ約 7.7 mm までは生育に伴い遊離アミノ酸が増加し、以降は大きくなる従って減少した。両品種のの莢の色 (a^*) と子実の全糖含量の関係を第 2-12 図に示した。‘ふくら’は乾燥により糖が濃縮される開花後 45 日および 50 日を除くと a^* が -16.1 の時(開花後 35 日)に糖含量が最大となった。‘湯あがり娘’は a^* が -17.3 で最大含量となった。両品種の莢の色 (a^*) と子実の遊離アミノ酸含量の関係を第 2-13 図に示した。両品種とも a^* の上昇に伴い、遊離アミノ酸含量は低下した。

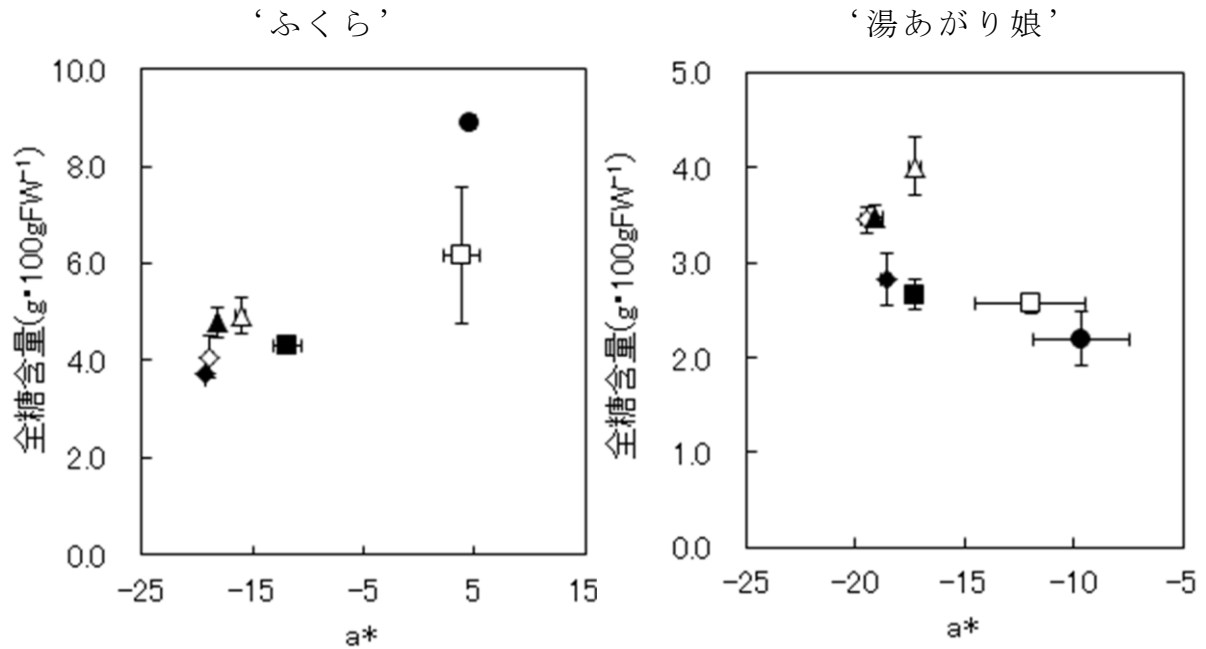


第 2-10 図 莢の厚さと子実の全糖含量の関係
 図中の縦線、横線は標準誤差を示す (n=5)



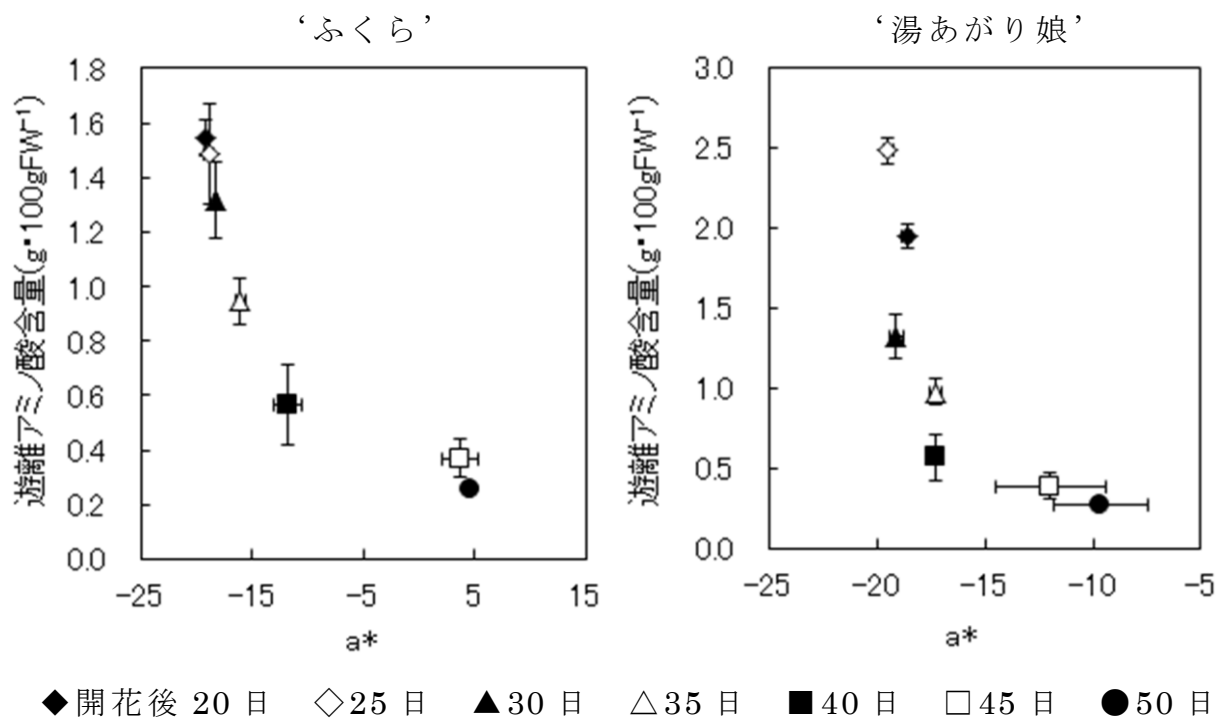
◆ 開花後 20 日 ◇ 25 日 ▲ 30 日 △ 35 日 ■ 40 日 □ 45 日 ● 50 日

第 2-11 図 莢の厚さと子実の遊離アミノ酸含量の関係
 図中の縦線，横線は標準誤差を示す (n=5)



◆ 開花後 20 日 ◇ 25 日 ▲ 30 日 △ 35 日 ■ 40 日 □ 45 日 ● 50 日

第 2-12 図 莢の色 (a*) と子実の全糖含量の関係
 図中の縦線，横線は標準誤差を示す (n=5)



第 2-13 図 莢の色 (a*) と子実の遊離アミノ酸含量の関係
 図中の縦線、横線は標準誤差を示す (n=5)

第 4 節 考察

4-1. 品質評価項目

消費者からエダマメに求められる品質要因としては外観と食味が重要である（星野，2001）．外観品質では莢が鮮やかな緑色であること，実が詰まっているものが求められており，特に莢の色は購買時の判断基準となる重要な品質である（星野，2002）．購買後に重要となる品質が食味であり，エダマメには甘味とうま味が求められている．食味には糖や遊離アミノ酸の組成と含量が大きな影響を与えると報告されている（増田ら，1988）．これらを踏まえ，品質評価項目として莢の厚さ，水分率，糖含量，遊離アミノ酸含量および莢の色を選定し，生育に伴う推移を調査した．

4-2. 莢と子実の生育

莢は生育の初期に急速に肥大するが，次第に成長は鈍化し，開花後 40 日で最大莢厚になり，様々な品種でのこれまでの報告と一致した（廣田ら，2010；前嶋ら，2007；鈴木・中川，2003）．以前の研究ではエダマメとして成立する範囲，すなわち莢が十分肥大してから数日間で品質評価を終えているものが多い．しかし，本研究ではそれよりも長期間，つまり最大莢厚まで肥大化した 10 日後までの品質を評価した．その結果，収穫が遅れるに伴い莢が収縮することが示され，見栄えが悪くなると同時に収量も低下することが確認された．収縮は，生育による肥大が止まり，乾燥が進行したことが原因と考えられた．収縮速度は品種によって異なり，‘ふくら’は‘湯あがり娘’に比べて収穫が遅れることによるリスクが大きいことが明らかになった．豆の大きさ，莢の見栄えはエダマメの重要な品質の 1 つである．味の素冷凍食品株式会社の基準では，莢の厚さ 8 mm を下回るものは目標品質を満たさないと評価されるため，開花後 30 日以降の収穫が望ましいと考えられた．

水分率は野菜のシャキッとした張りのある食感，みずみずしさ，喫食した際の味の濃さなどに影響する作物の基本品質である．しかし，エダマメにおいて生育と水分率の関係を調査した事例は少なく，黒大豆系エダマメのみで報告例がある（廣田ら，2003；大海ら，2000）．今回は一般的なエダマメ品種で調査を行った．‘ふくら’では，水分率は生育初期には緩やかに低下するが，最大莢厚となる開花後 40 日を過ぎると約 66% から急速に低下し，開花後 50 日には約 18% にまで下がった．食品成分表（香川，2011）によるとダイズの水分率は 12.5% とされており，わずか 10 日間でほとんどダイズの水分率になってしまうことが確認された．つまり，‘ふくら’の場合，開花後 40 日以降の子実が商品に混入するこ

とは品質的に大きな問題となると考えられた。開花後 45 日の‘ふくら’を 10 莢サンプリングすると、その品質にはばらつきが見られた。開花後 40 日を過ぎた後の乾燥が急速であるため、進行程度のわずかな差が大きな品質差になったと推察された。そのため、各分析において開花後 45 日のみ標準誤差が大きくなった。一方、‘湯あがり娘’は生育初期から最大莢厚となる開花後 40 日を超えても水分率の低下速度は緩やかで、開花後 50 日でも約 65%と高い水分率を保った。つまり、収穫が遅れても極端に乾燥したものは混在せず、開花後 50 日まで許容される扱いやすい品種といえる。

4-3. 食味成分

エダマメの味に第一に求められるのは甘味であり、糖は最も重要な品質要因の 1 つである (星野, 2002)。これまでに、各エダマメ品種に含まれる糖の組成や含量 (阿部, 2011; 古谷ら, 2012; 廣田ら, 2010; 大海, 2002)、栽培条件や収穫時期が与える影響 (廣田ら, 2003; 大海ら, 2000)、加工に伴う変化 (阿部ら, 2004; 三宅ら, 2007) など様々な研究が行われている。‘ふくら’と‘湯あがり娘’に最も多く含まれる糖はスクロースであった。前述した各エダマメ品種に含まれる糖の組成や含量についての先行文献にもスクロースが圧倒的に多く含まれると報告されており (阿部, 2011; 古谷ら, 2012; 廣田ら, 2010; 大海, 2002)、今回の結果と一致した。他にマルトース、フルクトース、グルコースおよびイノシトールの含有が報告されており、組成や含量は品種によって異なる。本研究で評価した 2 品種からはマルトースとフルクトースが検出され、グルコースとイノシトールは検出されなかった。マルトースは子実中のデンプンが耐熱性 β -アミラーゼにより分解され、生成するとされており (増田, 2004)、今回の実験でも電子レンジ加熱中に酵素反応が進行した可能性が推測された。グルコースは先行文献においても検出の有無が分かれ、検出されたとしても含量は少ない。イノシトールは茶豆系エダマメに含有が報告されている糖であり (阿部, 2011)、本研究の普通エダマメ品種からは検出されなかった。

生育と糖含量の関係は‘ふくら’と‘湯あがり娘’でやや異なっていた。フルクトースは生育に伴い減少し、‘ふくら’では開花後 45 日、‘湯あがり娘’では開花後 50 日に検出限界以下に低下した。マルトースは‘ふくら’では開花後 40 日をピークに減少、‘湯あがり娘’は生育に伴い減少し続け、どちらの品種も開花後 50 日で検出限界以下に低下した。生育に伴う子実中のデンプンの減少または β -アミラーゼ活性低下の可能性が推測された。スクロースは‘ふくら’と‘湯あがり娘’のいずれでも開花後 35 日まで増加し、その後減少した。ただし、‘ふくら’は開花後 40 日を過ぎると急速に水分率が低下するため、スクロース

が濃縮され、開花後 45 日以降に生鮮重量当たりの含量が増加した。甘味の強いエダマメの方が食味良好と評価されるため、糖含量は高い方が望ましい（星野，2002）。乾燥による濃縮を除くと両品種とも開花後 35 日で最大糖含量となるので、この頃が糖含量から見た収穫適期と考えられた。

遊離アミノ酸は甘味およびうま味に寄与する重要な品質要因であるため、糖と同様に様々なエダマメ品種の遊離アミノ酸組成や含量が研究されている（阿部，2011；阿部ら，2004；古谷ら，2012）。各品種に共通して多く含まれている遊離アミノ酸はグルタミン酸、アスパラギンおよびアラニンの 3 種である。‘ふくら’と‘湯あがり娘’の今回の調査でもこれら 3 種の遊離アミノ酸が検出された。

生育と遊離アミノ酸の関係については、これまでにいくつかの研究がされているのみで事例はまだ少ない（大海ら，2000）。研究の多くは遊離アミノ酸が品質に与える影響が大きい黒大豆系エダマメについてであり、黄大豆系の普通エダマメ品種についての知見は不足している。また、評価間隔も広く詳細な推移が確認できていない。最も大きな問題は、各遊離アミノ酸の合計含量で評価や考察を行っている点である。アミノ酸は成分ごとに呈味が異なるため、個別に評価する必要がある。そこで本研究では、5 日間隔で開花後 20～50 日まで 3 種の遊離アミノ酸の推移を測定した。‘ふくら’は 3 つの遊離アミノ酸の変化がすべて異なり、グルタミン酸は開花後 25 日をピークに、アスパラギンは開花後 20 日から、アラニンは開花後 30 日をピークに減少した。グルタミン酸はうま味、アスパラギンは酸味、アラニンは甘味を呈する（二宮，1968）。生育に伴いアミノ酸のバランスが変わる、つまり味が変わるということが示された。食味に影響する遊離アミノ酸はグルタミン酸とアラニンであり（増田ら，1998）、閾値はグルタミン酸が 0.03%（小俣，1986）、アラニンが 0.06%と報告されている（二宮，1968）。‘ふくら’では、両遊離アミノ酸は開花後 25～35 日において、閾値を大きく上回り、官能で十分食味を感じる高含量となった。甘味、うま味が強いエダマメが好まれるため、収穫適期は開花後 25～35 日と考えられた。一方、‘湯あがり娘’は 3 つのアミノ酸の変化が類似しており、いずれも開花後 25 日をピークに減少した。ただし、減少速度に差異が見られ、アスパラギン、アラニン、グルタミン酸の順に速く、‘湯あがり娘’でも生育に伴いアミノ酸のバランスが変わる、つまり、味が変わるということが示された。開花後 25～35 日でグルタミン酸とアラニンの含量が多く、甘味とうま味が強いこの期間が収穫適期と考えられた。

本研究では精緻な官能評価を実施していない。しかし、食味に対する糖および遊離アミノ酸含量の寄与については研究がされており、スクロース、グルタミン酸およびアラニン含量が食味評価と有意に相関があること、評価に与える影響はスクロースが最も大きく、次いでグルタミン酸であることが報告されている（増

田ら, 1998). 前述した収穫適期は, このいずれも多く含有することから良食味であると考えられる. ただし, 本研究で評価していない有機酸や硝酸態窒素含量なども食味に影響するため, 食味については官能評価により最終確認するのが望ましいと考えられた.

4-4. 莢の色

莢の色は, 購買の判断基準であり, 商品としての重要な品質要因であるので, 生育との関係についても様々な品種で研究されている(廣田ら, 2003; 前島ら, 2007; 鈴木・中川, 2003). 今回の調査では‘ふくら’は開花後 40 日を過ぎると a*値が急激に上昇し, b*値が急激に低下した. ‘湯あがり娘’は b*値は変化しないが, a*値は開花後 40 日を過ぎると急激に上昇した. 既報と同様に, 収穫が遅れると急速に緑色が失われることが示された. 莢の緑色はエダマメに必須の品質であるため, どちらの品種でも開花後 40 日以降の莢が混在することは許されないと考えられた.

4-5. 収穫適期の判定

3 月 28 日に播種した‘ふくら’, 5 月 16 日に播種した‘湯あがり娘’の開花時期の分散を観察したところ, ‘ふくら’は 5 月 29 日~6 月 8 日までの 11 日間, ‘湯あがり娘’は 7 月 8 日~16 日までの 9 日間に渡っていた. エダマメの収穫は株ごと行われるため, 収穫時の 1 樹の中には約 10 日幅の生育度合いの異なる莢が混在することになる. 過度に未熟または過熟なエダマメは, 大きさや色の面から商品にはならず廃棄となるため, 収益に大きな影響を与える. 今回の解析では, 莢の厚さからは開花後 30 日以降, 水分率からは開花後 40 日まで, 糖組成と含量からは開花後 25~40 日, 遊離アミノ酸組成と含量からは 25~40 日, 色指標からは 40 日までが良好な品質を保っている期間と評価された. 従って, ‘ふくら’も‘湯あがり娘’も中位の花の開花後 35 日を目標にすることで, 外観と食味ともに良好であり, かつ未熟や過熟莢の混在によるロスも少なく収穫ができると考えられた.

ただし, エダマメの生育速度は気温や降雨量などの影響を受けるため, 年によっては開花後日数で同じ生育度合いになるとは限らない. そこで, 簡便に測定できる莢の厚さと色を基準とした収穫適期の評価法を考案した. 水分率, 糖および遊離アミノ酸含量と莢の厚さの関係を確認したところ, ‘ふくら’と‘湯あがり娘’のいずれでも, 莢の肥大に伴う品質の推移は開花後日数と品質の関係と極めて類似しており, 各莢の厚さにおける品質のばらつきも非常に小さかった. 従って, 株中位の莢の厚さが‘ふくら’は 10 mm, ‘湯あがり娘’は 9.5mm に達し

た時点および最下位の莢の a^* が ‘ふくら’ は-15, ‘湯あがり娘’ は-16 に達した時点を基準に収穫することが妥当であると考えられる. さらに, 収穫後の選別時に, 莢の厚さ 8 mm 以下の未熟なものおよび a^* が-15 以上のものを除外すれば, 経験が浅い生産者であっても時期を誤ることなく外観も食味も良好な品質のエダマメを効率的かつ安定的に得られることが示された. 品種ごとに生育と品質要因の関係を調査し, 品質最良となる莢の厚さ, 未熟および過熟莢を除くための莢の厚さと最高 a^* 値を設定し, 収穫・選別する方法は多くのエダマメ品種でも利用できると思われる.

第5節 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. 育学研. 13: 1-10.
- 阿部利徳・氏家隆光・笹原健夫. 2004. 生およびゆでエダマメの遊離アミノ酸および糖含量の品種間差異. 食科工誌. 51: 64-58.
- 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・福嶋 昭・岩井正志・曳野亥三夫. 2010. エダマメ新品種「黒っこ姫」「茶っころ姫」の特性. 兵庫農林水技総セ研報（農）. 58: 24-30.
- 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及ぼす影響. 兵庫農林水技総セ研報（農）. 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. 兵庫農林水技総セ研報（農）. 52: 23-28.
- 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. 東北農研. 61: 179-180.
- 星野康人. 2001. 野菜の品質評価による有利販売方法. 新潟農総研報. 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. 新潟農総研報. 5: 1-10.
- 香川芳子. 2011. 五訂増補食品成分表. p. 34-35. 女子栄養大学出版部. 東京.
- 北田修三・岸 浩文. 2007. 岡山県北部における春播きと短日処理がダイズ品種‘丹波黒’のエダマメとしての収穫期および収量に及ぼす影響（発育制御）. 園学研. 6: 465-469.
- 小俣 靖. 1986. 美味しさと味覚の科学. p. 165. 日本工業新聞社. 東京
- 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. 東北農研. 60: 187-188.
- 増田亮一. 2004. エダマメ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.
- 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.
- 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.

- 元木 悟・青木 恵・小澤智美・小松和彦・塚田元尚. 2002. エダマメの安定生産に関する研究. 第3報 エダマメの播種期及び収穫期と生育, 収量. 北作. 37: 85-87.
- 二宮恒彦. 1968. アミノ酸の呈味に関する研究. 調理科学. 1: 185-197.
- 岡 正明・大山優美子・小川貴史. 2005. 有効積算温度を用いたエダマメ品種の収穫適期予測法. 宮城教育大紀要. 40: 201-208.
- 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. 群馬園試報. 7: 1-10.
- 大海さつき・藤井俊弘・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. 群馬園試報. 5: 39-52.
- 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. 東北農研. 56: 177-178.
- 露崎 浩・吉田康徳. 2012. 圃場条件・播種時期および液肥葉面散布がエダマメ品種の収穫期ならびに子実肥大に及ぼす影響. 日作東北支部報. 55: 13-16.

第3章 収穫後の貯蔵温度，形態がエダマメの品質に及ぼす影響

第1節 緒言

未熟段階で収穫するスイートコーンやエンドウ，ソラマメは収穫後の品質低下が急速である（伊東ら，1972；岩田・緒方，1971）．エダマメもこれら作物と同様に収穫後の貯蔵・流通条件によっては食味および外観品質が急激に低下する（岩田・白幡，1979）．エダマメの呈味成分としては糖と遊離アミノ酸が重要であり，これまでの研究報告の多くで重要な品質指標として用いられている（岩田・白幡，1979；岩田ら，1982；増田ら，1988；水野ら，2014）．エダマメは，生育中の未成熟な子実であり代謝活性が高い上に，夏季に栽培され収穫期の気温が高いことから品質低下が発生し易い（前沢・秋元，1996）．エダマメの収穫・調整作業には多くの手間と時間がかかるため，早朝収穫されても，脱莢，選別，包装され，冷蔵されるのは翌朝となる場合もある（千葉・八重樫，1988）．収穫後の品質保持は生鮮流通だけでなく，冷凍加工においても重要な事項となる．収穫から冷凍までの温度が高く，時間が長いと生鮮と同様に品質は大きく低下し，不良製品が広く市場に流通されることになってしまう（増田ら，1988）．また，冷凍エダマメは複数農場で大規模栽培されることが多く，収穫や搬送時間が長くなること，繁忙期に収穫が重なり工場の処理能力の関係で加工待ちになるなど様々なリスクが存在する．よって，収穫後の適正な管理基準を設定しなければ，品質を維持し消費者に応えることができない．

青果物は収穫後も生理活性を持つため，低温障害が発生しない限り，品質保持には，低温による生理活性の抑制が最も効果的とされている（茶珍，1991）．エダマメでも低温の効果については様々な検討がなされており，‘三保白鳥’では，20℃貯蔵では収穫後1日で糖は収穫時の40%以下，遊離アミノ酸は50%以下に減少するのに対し，1℃貯蔵では，8日後でも糖，遊離アミノ酸は収穫時の約70%も保持されることが示されている（生野，1987）．同様の調査が‘白山ダダチャマメ’などの様々な品種で行われており，いずれでも0℃付近の低温貯蔵の有効性が示されている（千葉・八重樫，1988；岩田・白幡，1979）．このように低温は品質保持に効果的であるが，0℃付近の温度保持には大きなコストがかかる．

枝葉付き貯蔵・流通がエダマメの鮮度保持に効果があるとの報告もある．‘丹波黒’エダマメでは，常温下において枝付き状態で貯蔵した場合，もぎ莢での貯蔵に比べてショ糖の低下が抑えられる（廣田ら，2003）．また，‘白山ダダチャマメ’では，株全体をポリエチレン袋に密封する葉付き包装が糖や遊離アミノ酸の減少を抑え，緑色保持にも有効である（岩田ら，1982）．ただし，枝葉付き貯

蔵は、広い貯蔵・流通スペースが必要で、貯蔵・搬送コストが上昇する。

‘奥原早生’ではフィルム包装の開孔率を調整することで蒸散抑制効果と CA 効果が得られ、30℃貯蔵で最大 6 日商品価値を維持できるとの報告もある（秋元・黒田，1981）。また、微細孔フィルムを用いた試験では、10℃以下で 5 日間の鮮度保持効果が報告されている（佐藤・有坂，2001）。フィルム包装は包材費用の問題に加えて、ガス濃度と温度、保持期間によってはガス障害が発生する危険があるので、低温と組み合わせて使用するのが原則である。

このように貯蔵温度、形態および包装のエダマメ品質への影響については様々な報告がされているが、これまでの研究の大半では温度は室温（20～30℃）と冷蔵（0～5℃）のみの比較に限られている。貯蔵・流通温度を下げるほど実施コストは急上昇するため、温度と品質保持効果の関係を詳細に把握する必要があるが、細かい温度幅での調査事例は見あたらない。また、これまでの収穫後のエダマメ品質に関わる調査報告では収穫後 1 日単位以上での評価がほとんどで、時間単位の詳細な調査事例はほとんど見当たらない。温度、時間、品質の関係が明確化されると、効果とコストのバランスを考慮した収穫 - 出荷システムの確立が可能になる。そこで本研究では、収穫直後から時間単位の調査を実施し、食味成分については含有成分ごとの解析を行い、貯蔵温度（5℃刻み）や貯蔵形態がエダマメの品質に及ぼす影響を調査した。

第 2 節 材料および方法

2-1. 材料

2012 年に群馬県太田市で栽培された中早生種エダマメ ‘ふくら’（播種日：3 月 28 日，収穫日：7 月 2 日）と ‘湯あがり娘’（播種日：5 月 16 日，収穫日 8 月 5 日）を供試した。‘ふくら’は ‘湯あがり娘’より成育中の品質成分の変化もより急速であるものの、いずれも収穫適期が開花後 35 日付近にある（第 2 章）。本研究では、収穫適期とされる時期のエダマメのみを用いた。

2-2. 貯蔵温度

茎に莢と葉、根がついた状態で収穫し、氷冷して持ち帰った。収穫から 30 分後に莢をもぎ、選別し、0～30℃まで 5℃間隔に設定したインキュベーターで貯蔵した。収穫時および 3，6，10，24，48 時間後に莢の色、全糖および遊離アミノ酸含量を調査した。

2-3. 貯蔵形態

茎に莢と葉を付けたまま根のみを取り除いた“枝葉付き”，茎に莢を付けたまま葉と根を取り除いた“枝付き”，株から莢をもいだ“もぎ莢”の3形態で25℃貯蔵した．1試験区につき300gのもぎ莢，または3株を供試した．収穫時および3, 6, 10, 24, 48時間後に莢の色，全糖および遊離アミノ酸含量を調査した．

“枝葉付き”



“枝付き”



“もぎ莢”



第 3-1 図 各貯蔵形態の外観

2-4. 試料の調製

第2章と同様に、貯蔵後に莢の色差を測定し、種皮を含む子実を取り出した。1分析あたり約8g(10粒)を用いた。分析までの冷凍保存中に酵素的品質変化が起こることを防止するため、子実に8倍重量の蒸留水を加え、電子レンジで100℃、1分加熱して酵素を失活させた。温度と時間は同じ豆類であるグリーンピースの条件を参考にした(茶珍, 2000)。加熱中に糖、遊離アミノ酸が蒸留水に流出している可能性が考えられるため、蒸留水も回収し分析に用いた。子実と蒸留水をポリプロピレン製コニカルチューブに厳封し、-25℃以下で分析時まで(4か月間)保存した。

2-5. 色差

莢の色差測定には色彩色差計(コニカミノルタ製 CR-200)を用い L^* , a^* , b^* で評価した。平らな台の上に測定対象を置き、2粒莢は莖に近い上部豆部分、3粒莢は中央豆部分を表裏測定した。測定は10反復した。

2-6. 全糖含量と遊離アミノ酸含量

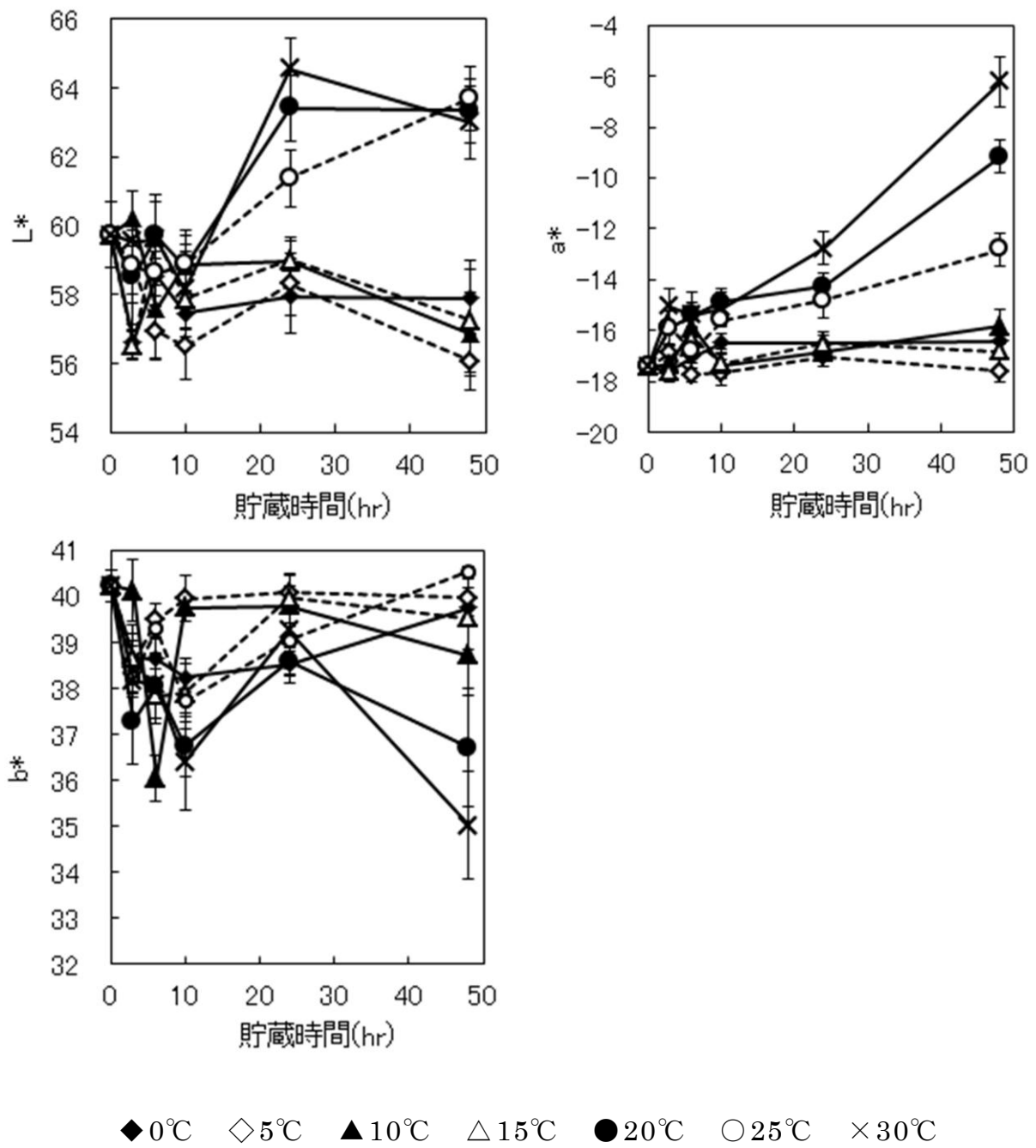
凍結保存した子実と加熱に用いた蒸留水を室温で解凍後、子実が10倍希釈になるように蒸留水を追加し、ホモジナイザーで破碎し、遠心分離により上清を分取し、0.45 μm 孔のメンブレンフィルターで濾過して、試料液とした。第2章と同様に、キャピラリー電気泳動装置(大塚電子製 CAPI-3300)を用いて全糖(フルクトース, マルトースおよびスクロース)と遊離アミノ酸含量(グルタミン酸, アスパラギンおよびアラニン)を定量した。測定は5反復で行った。

第3節 結果

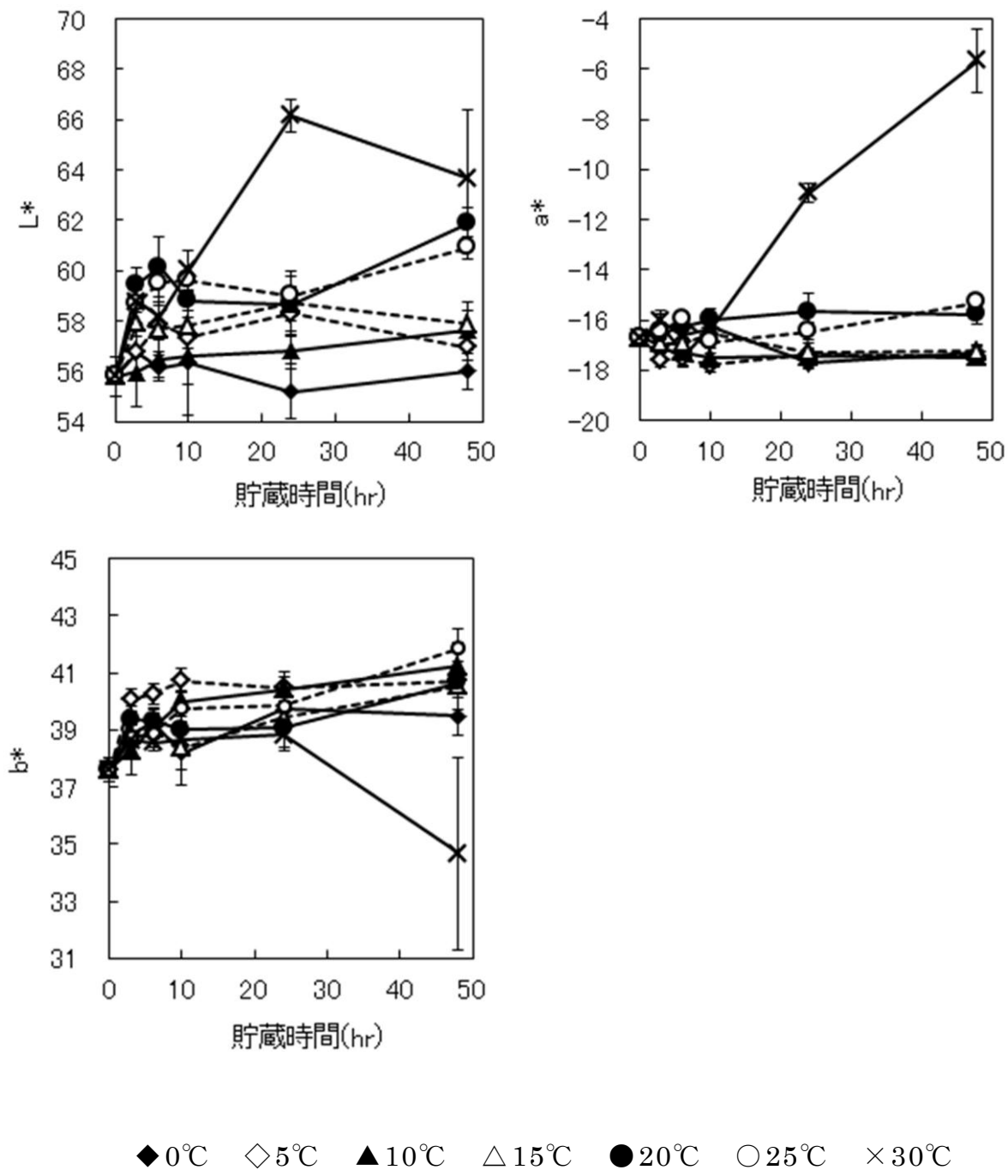
3-1. 貯蔵温度と色差

‘ふくら’を各温度で貯蔵した際の莢の色差(L^* , a^* , b^*)の変化を第3-2図, ‘湯あがり娘’の結果を第3-3図に示した。‘ふくら’は、いずれの温度下でも保存10時間後までは、大きな変化を示さなかったが、貯蔵温度20℃以上では、24時間後には L^* , a^* が上昇, b^* が減少した。緑色が薄くなり、黄化、褐変化した。ただし、貯蔵温度15℃以下では、48時間保存後でも L^* , a^* , b^* はほとんど変化しなかった。‘湯あがり娘’も、いずれの温度下でも、保存10時間後まではほとんど変化を示さなかったものの、貯蔵温度30℃下では、その後、 L^* ,

a*は大きく上昇, b*は減少した. 貯蔵温度 20℃, 25℃下では 24 時間後以降に L*, a*はやや上昇したが, ‘ふくら’に比べるとその程度は小さかった.



第 3-2 図 貯蔵温度が ‘ふくら’ の莢の色に及ぼす影響
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=10)

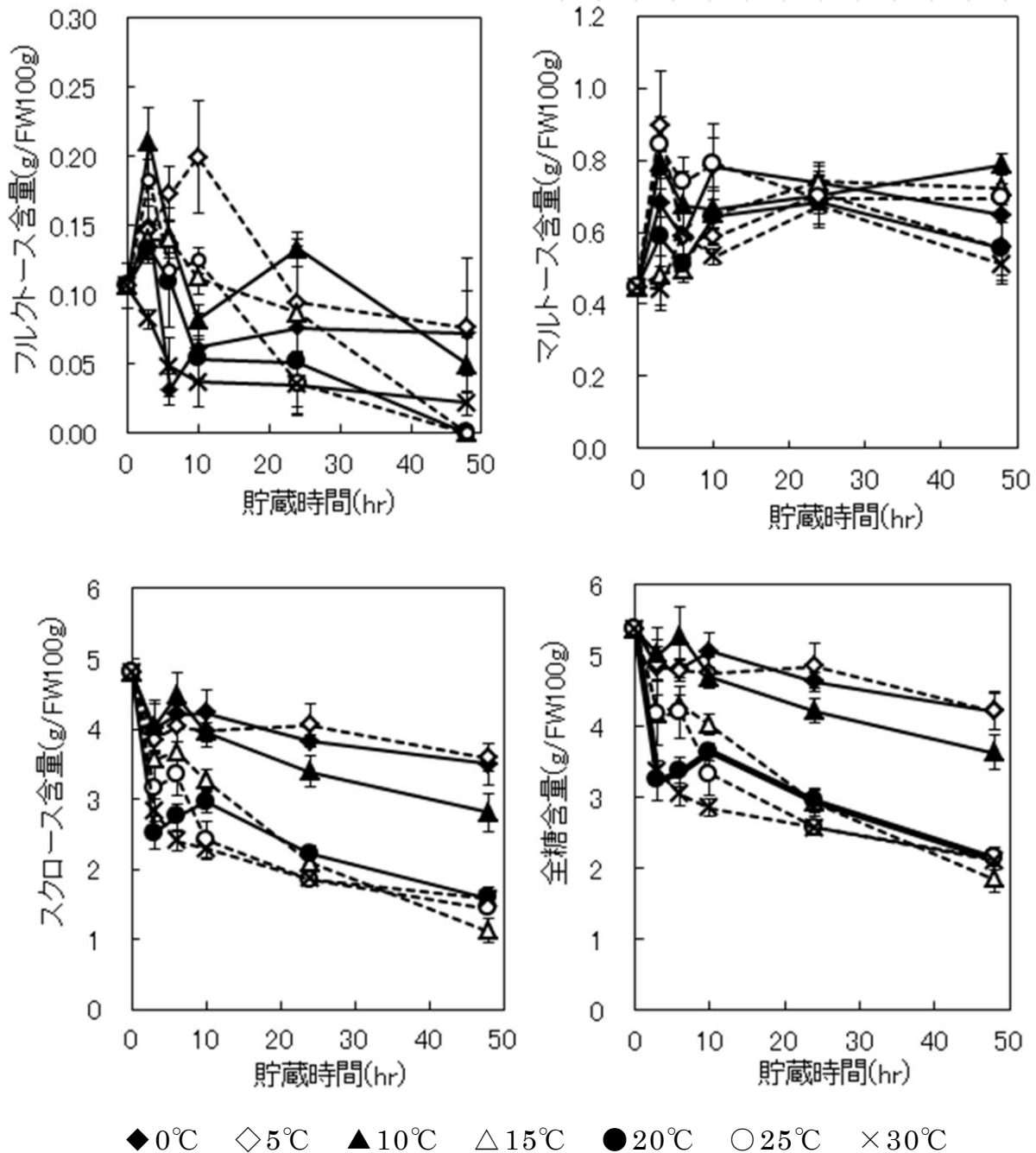


第 3-3 図 貯蔵温度が‘湯あがり娘’の莢の色に及ぼす影響
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=10)

3-2. 貯蔵温度と糖含量

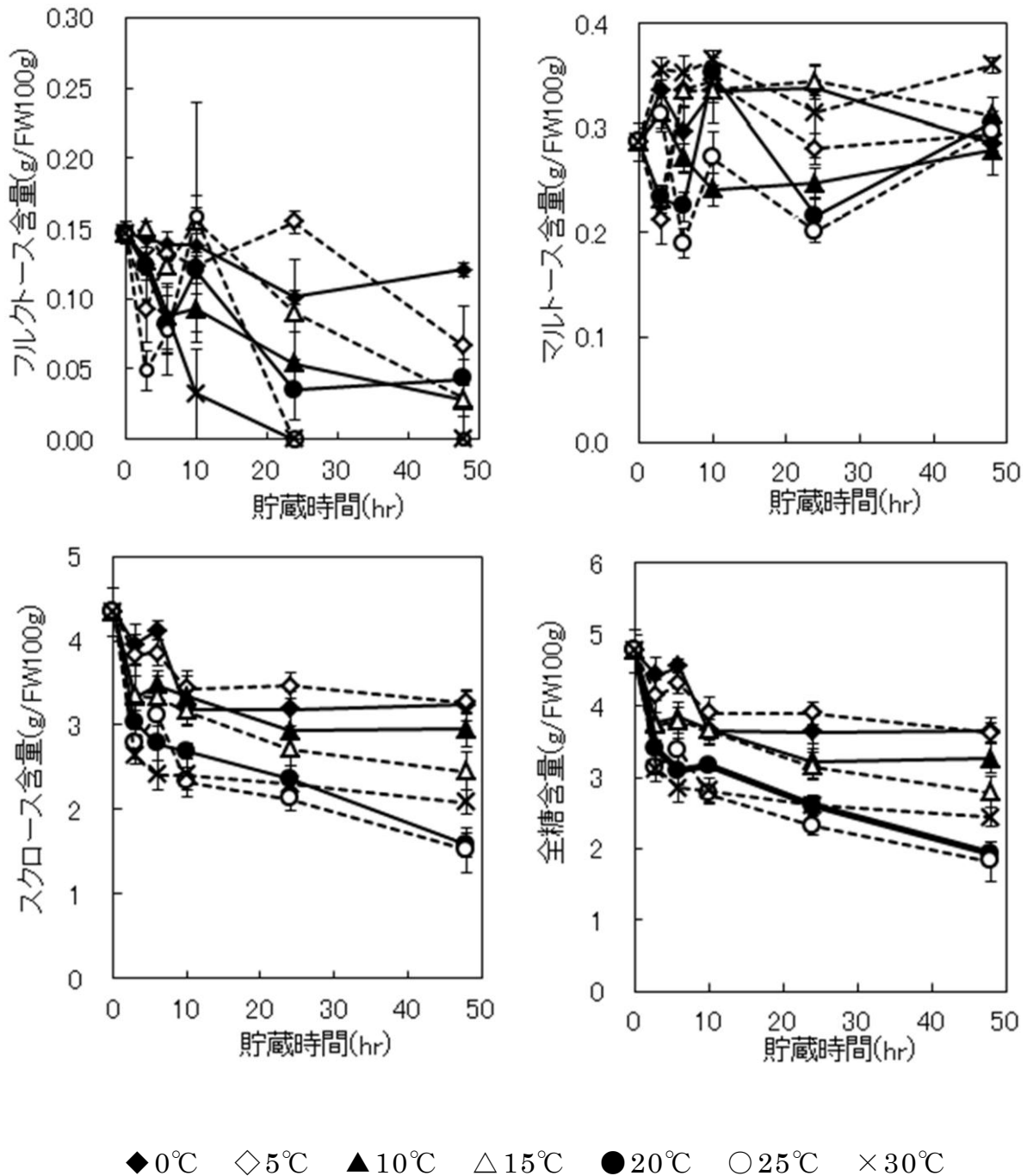
‘ふくら’の子実の糖含量の変化を第 3-4 図に示した。フルクトース，スクロースは貯蔵に伴い減少した。特にスクロースは減少が速く，減少量も多かった。

どちらの糖も貯蔵温度が低い方が減少し難いことが確認された。マルトースは貯蔵に伴う減少が見られなかった。3つの糖含量を合計した全糖含量は、15℃以上で貯蔵した場合、全糖含量が、わずか3時間後には収穫時の約80%以下に、24時間後では60%程度まで減少していた。10℃以下の低温で貯蔵すると24時間後でも、全糖含量は収穫時の約80%以上を維持した。



第 3-4 図 貯蔵温度が‘ふくら’の子実の糖含量に及ぼす影響
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=5)

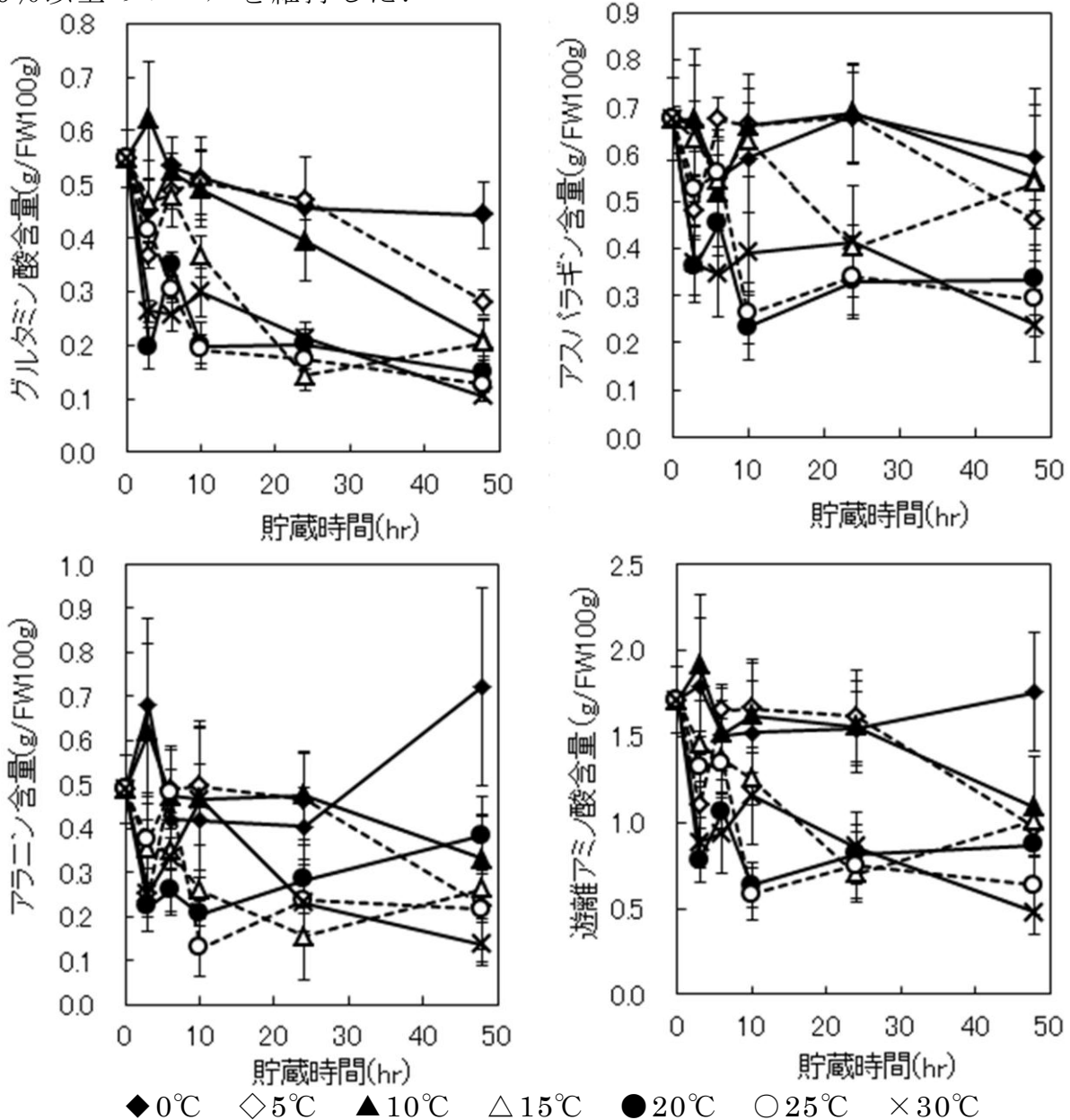
‘湯あがり娘’での結果を第3-5図に示した。‘ふくら’と同様にフルクトース、スクロースは貯蔵に伴い減少し、マルトースは減少が見られなかった。全糖含量は、10℃以下の低温では、24時間後でも収穫時の約70%以上を維持した。20℃以上で貯蔵した場合、全糖含量は3時間後には、収穫時の約70%以下に減少した。



第3-5図 貯蔵温度が‘湯あがり娘’の子実の糖含量に及ぼす影響
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=5)

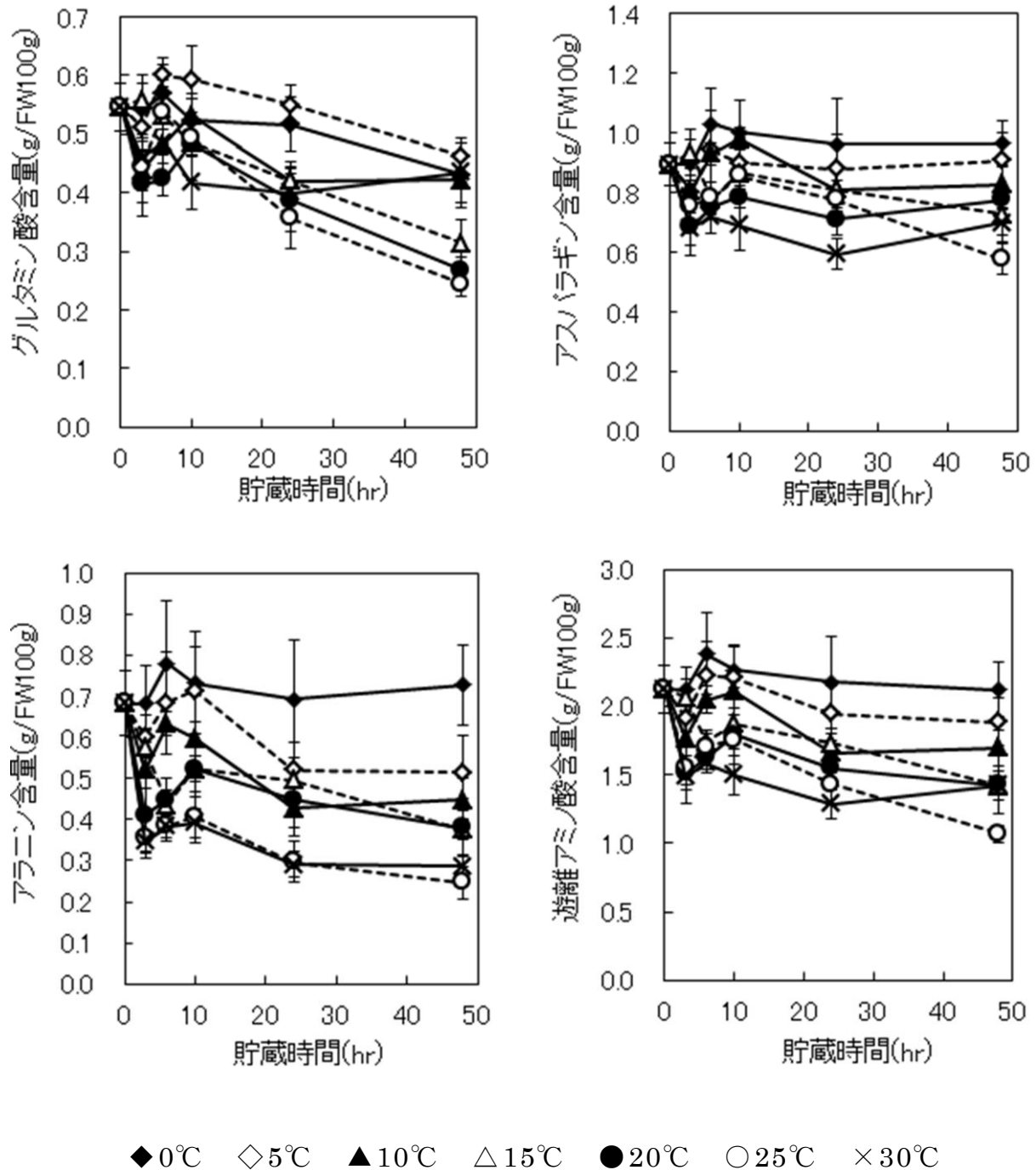
3-3. 貯蔵温度と遊離アミノ酸含量

‘ふくら’の子実の遊離アミノ酸含量の変化を第3-6図に示した。‘ふくら’に含まれるグルタミン酸、アスパラギンおよびアラニンが貯蔵に伴い減少した。減少速度や減少量はアミノ酸の種類間で大きな差はなかった。いずれの遊離アミノ酸も貯蔵温度が低温であるほど減少し難い傾向であった。3つのアミノ酸を合計した遊離アミノ酸含量は、15℃以上で貯蔵した場合、6時間後には収穫時の約80%以下に減少したが、10℃以下の低温で貯蔵すると24時間後でも収穫時の約90%以上のレベルを維持した。



第3-6図 貯蔵温度が‘ふくら’の子実の遊離アミノ酸含量に及ぼす影響
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=5)

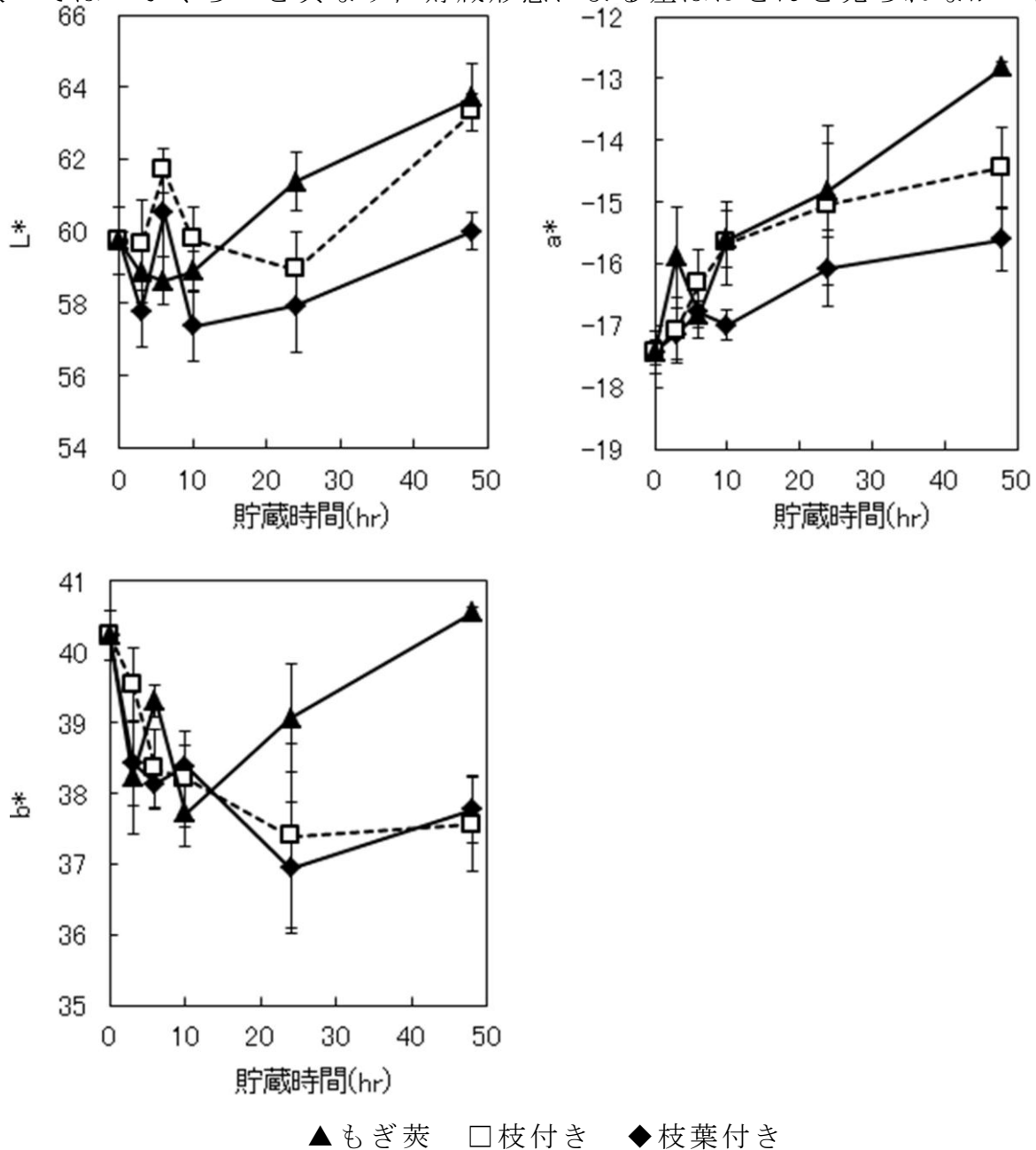
‘湯あがり娘’の結果を第3-7図に示した。‘ふくら’と同様にグルタミン酸、アスパラギンおよびアラニンが貯蔵に伴い減少した。遊離アミノ酸含量は、10℃以下の低温で貯蔵した場合、24時間後でも収穫時の約80%以上を維持した。‘ふくら’に比べ10℃以下の低温で貯蔵した場合の残存率は低かった。15℃以上で貯蔵した場合、6時間後には収穫時の約80%以下に減少した。



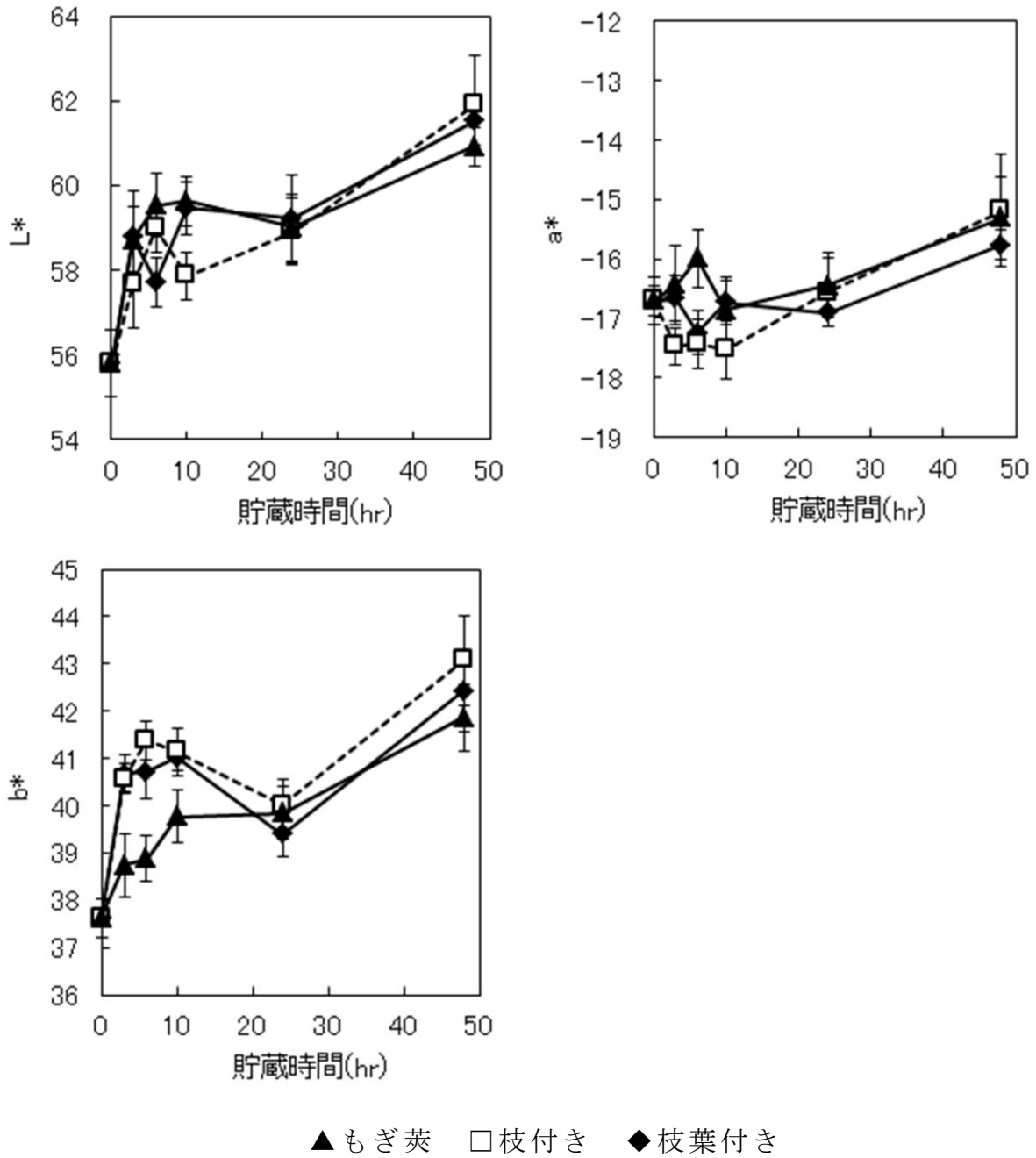
第3-7図 貯蔵温度が‘湯あがり娘’の子実の遊離アミノ酸含量に及ぼす影響
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=5)

3-4. 貯蔵形態と色差

‘ふくら’をもぎ莢，枝付き，枝葉付きの3つの貯蔵形態で，25℃下で貯蔵した際の色差 (L^* ， a^* ， b^*) の変化を第3-8図，‘湯あがり娘’での結果を第3-9図に示した．‘ふくら’では貯蔵6時間までは貯蔵形態による違いはほとんど見られなかった．しかし，10時間以上になると，枝葉付き，枝付き，もぎ莢の順に L^* ， a^* が上昇し難かった． a^* の低い方が，緑色が保持されていた．‘湯あがり娘’では‘ふくら’と異なり，貯蔵形態による差はほとんど見られなかった．



第3-8図 貯蔵形態が‘ふくら’の莢の色に及ぼす影響
図中の縦線は標準誤差を示す (n=10)

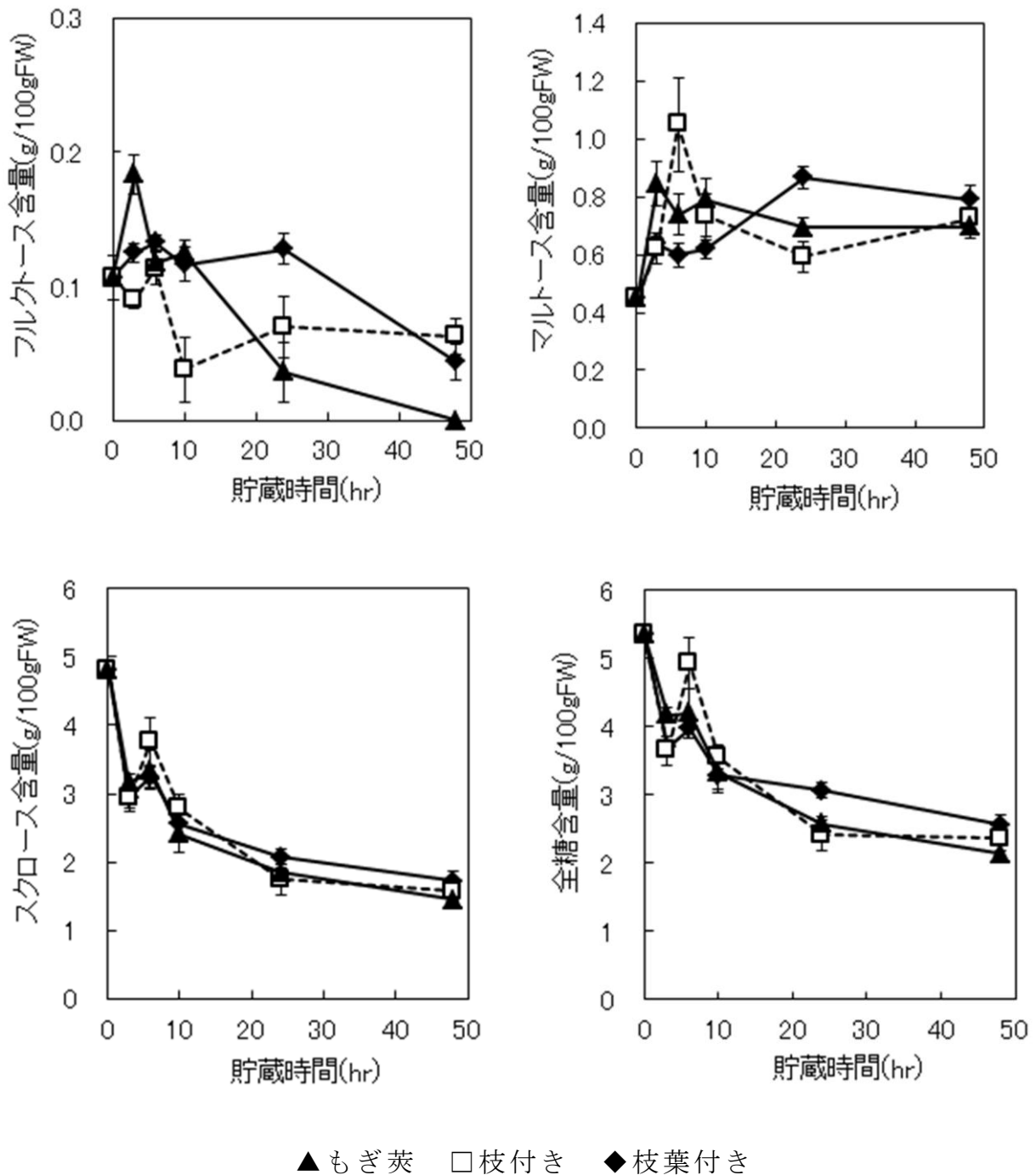


第 3-9 図 貯蔵形態が‘湯あがり娘’の莢の色に及ぼす影響
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=10)

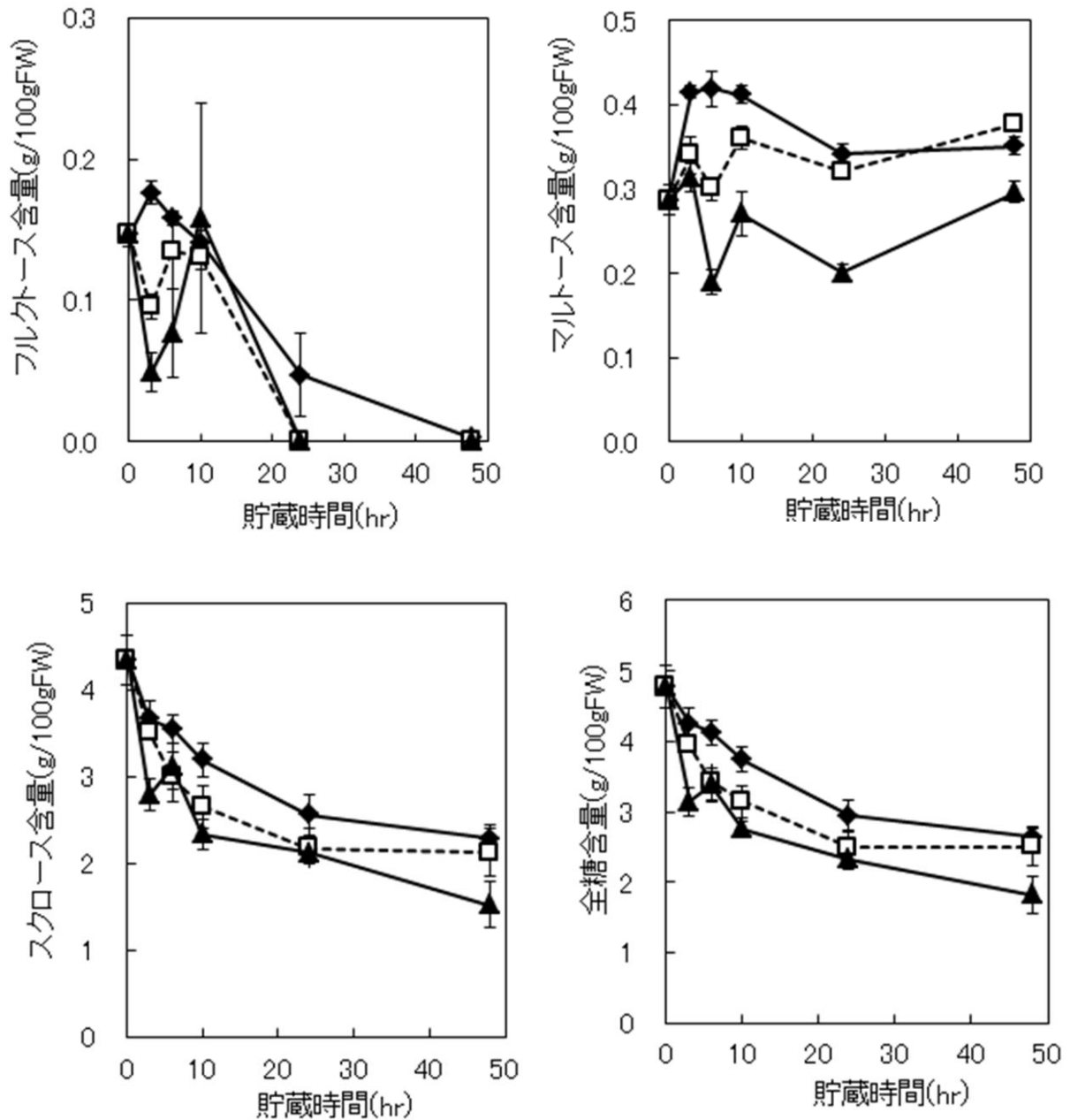
3-5. 貯蔵形態と糖含量

‘ふくら’の子実の全糖含量の変化を第 3-10 図, ‘湯あがり娘’での結果を第 3-11 図に示した. ‘ふくら’では貯蔵 10 時間までは貯蔵形態による大きな差はなかった. しかし, 貯蔵が 24 時間以上になると, 枝葉付きで若干, 糖が残存し

易かった．‘湯あがり娘’では貯蔵3時間以降では，全糖含量は枝葉付き，枝付き，もぎ莢の順で残存し易いことが確認された．‘ふくら’よりも形態変更の効果が大きかった．ただし，枝葉付きでも，24時間後には全糖含量は収穫時の70%以下に低下し，もぎ莢との差は $0.5 \text{ g} \cdot 100\text{gFW}^{-1}$ 程度であった．



第3-10図 貯蔵形態が‘ふくら’の子実の糖含量に及ぼす影響
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=5)



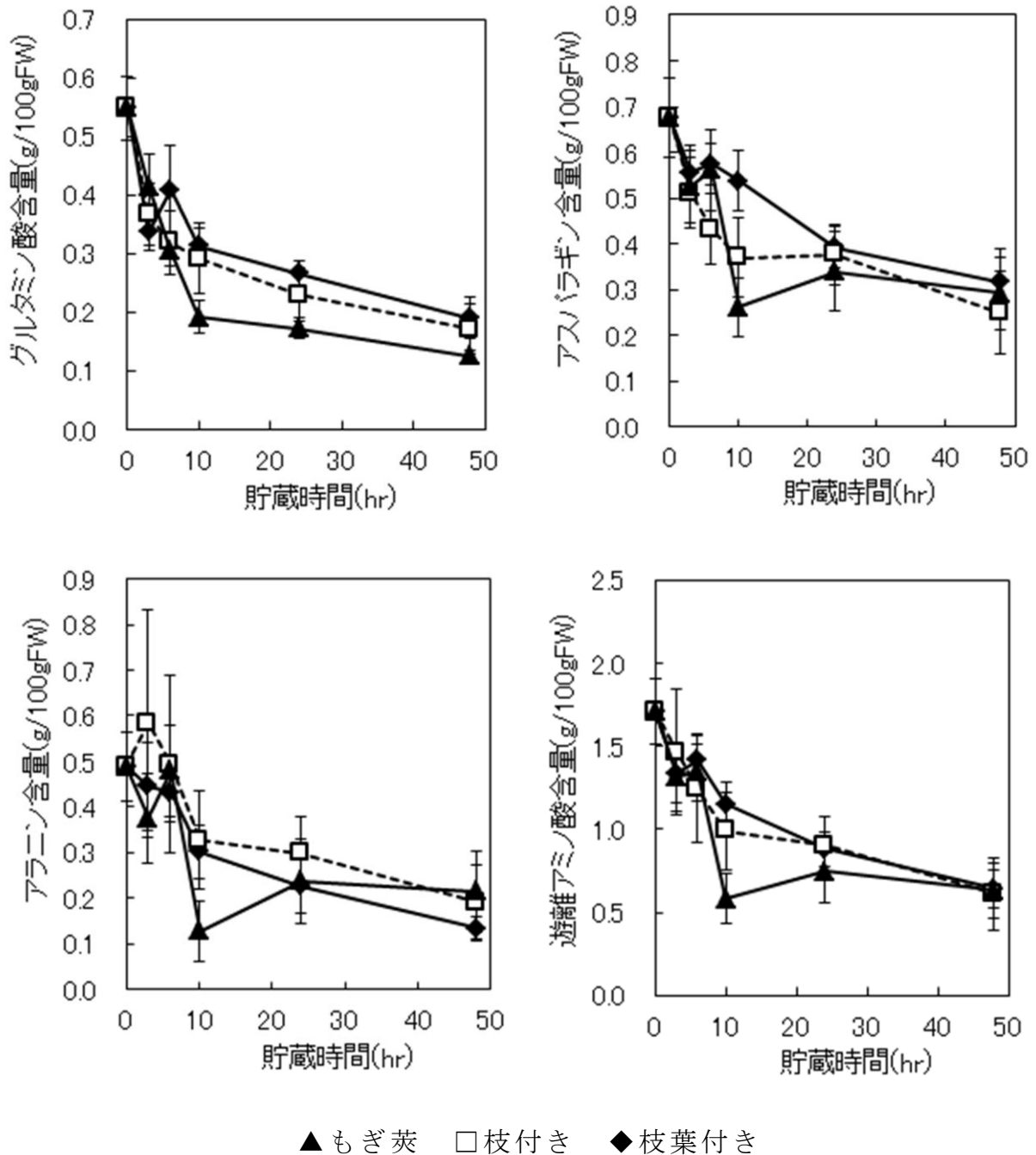
▲もぎ莢 □枝付き ◆枝葉付き

第 3-11 図 貯蔵形態が‘湯あがり娘’の子実の糖含量に及ぼす影響
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=5)

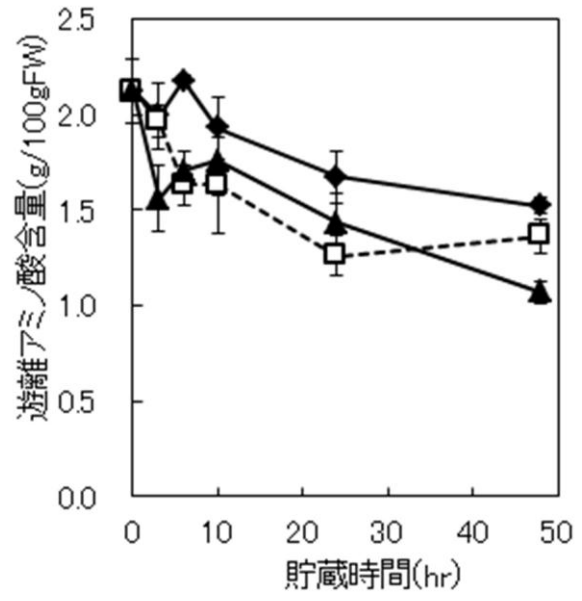
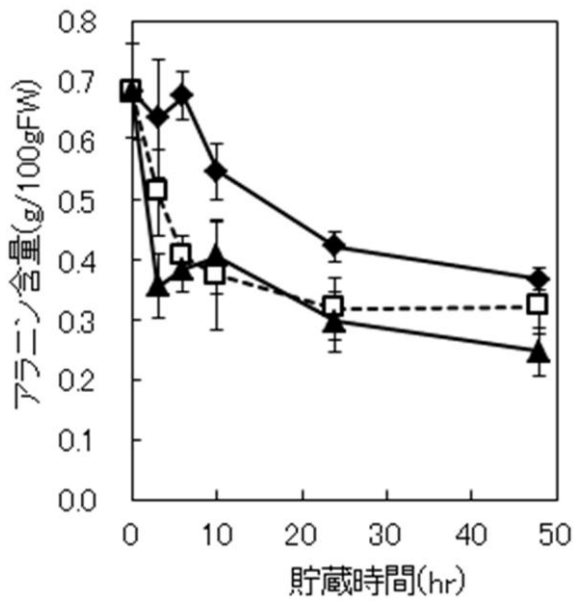
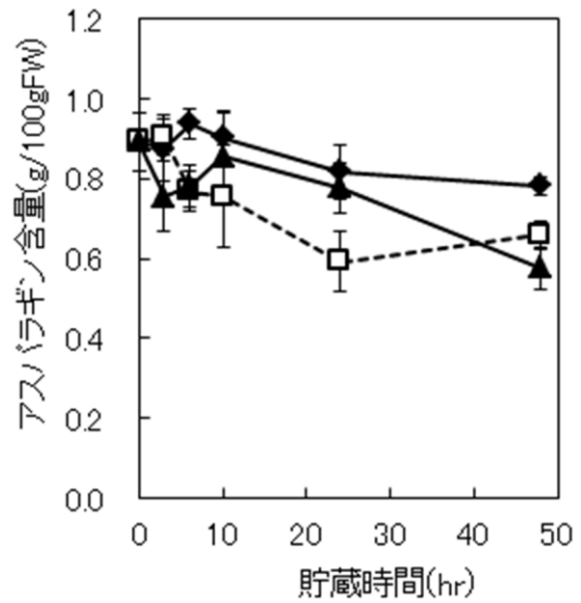
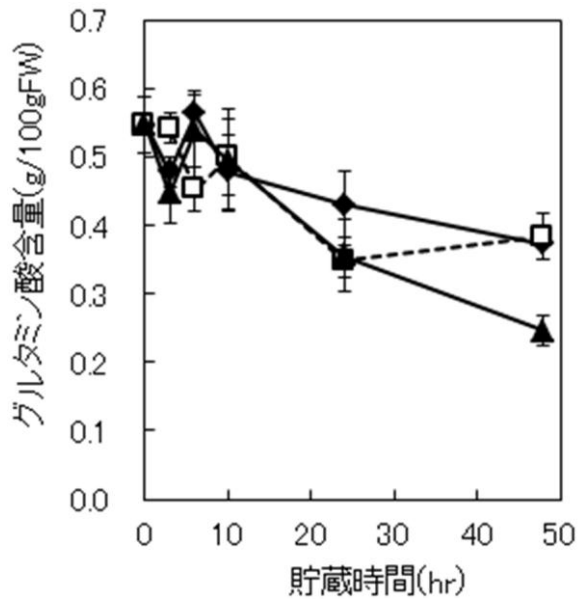
3-6. 貯蔵形態と遊離アミノ酸含量

‘ふくら’の子実の遊離アミノ酸含量の変化を第 3-12 図, ‘湯あがり娘’での結果を第 3-13 図に示した. ‘ふくら’では貯蔵 6 時間までは貯蔵形態による大き

な違いはなかった．‘湯あがり娘’では貯蔵 3～48 時間後まで，枝葉付き貯蔵は他の形態に比べ，遊離アミノ酸が残存し易かった．‘ふくら’よりも形態変更の効果が大きかった．



第 3-12 図 貯蔵形態が‘ふくら’の子実の遊離アミノ酸含量に及ぼす影響
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=5)



▲もぎ莢 □枝付き ◆枝葉付き

第 3-13 図 貯蔵形態が‘湯あがり娘’の子実の遊離アミノ酸含量に及ぼす影響
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=10)

第4節 考察

4-1. 貯蔵温度が品質に及ぼす影響

莢の鮮やかな緑は、購買時の判断基準となるため（星野，2002），様々なエダマメ品種において貯蔵に伴う莢色の変化が調査されている．‘小平方茶豆’，‘白山ダダチャマメ’をそれぞれ 20℃，30℃で 48 時間，72 時間貯蔵すると莢色が黄化，褐変し， a^* が上昇する（岩田・白幡，1979；佐藤・有坂，2001）．本研究において‘ふくら’，‘湯あがり娘’のいずれでも，貯蔵温度 20℃以上の場合，24 時間後には黄化，褐変し， a^* が上昇し，既報と類似した様相が見られた．これまでのエダマメの収穫後の品質保持に関するほとんどの研究事例では，評価間隔が 1 日単位以上と大まかであり，貯蔵温度も冷蔵と常温に限られていた．そこで，品質評価を最短で収穫後 3 時間から開始し，貯蔵温度も 0～30℃まで 5℃間隔で設定した．30～15℃までは低温にするほど a^* の上昇が小さくなり，黄化，褐変の抑制効果が確認された．佐藤と有坂の報告（2001）では a^* が-10 を超えると黄化，褐変が確認され，市場限界という．本研究では，15℃貯蔵において，48 時間貯蔵後でも莢の a^* を-10 以下に維持できた．0～15℃では，貯蔵に伴う a^* の上昇程度に差が見られず，外観品質保持には，15℃貯蔵で十分と考えられた．供試した 2 品種を比較すると，‘湯あがり娘’に比べて，‘ふくら’の方がより低温期に栽培・収穫されたにもかかわらず，莢色の変化が速かった．すなわち，‘ふくら’は，貯蔵時間が長くなることによるリスクが大きく，外観の管理に注意が必要な品種である．樹上での生育に伴う莢色の変化も‘ふくら’の方が‘湯あがり娘’より急速であることを認めている（第 2 章）．

エダマメの食味には甘みと旨みが求められ（星野，2001），その呈味と密接に関わる糖，遊離アミノ酸含量は，品質評価の上で，非常に重要である（増田ら，1988）．‘三保白鳥’を 20℃で 24 時間貯蔵すると，収穫時と比較して，全糖含量が約 40%，遊離アミノ酸含量が約 50%以下に減少した（生野，1987）．‘白山ダダチャマメ’では 20℃で 48 時間貯蔵すると全糖含量が収穫時の約 60%，遊離アミノ酸含量は約 50%に低下した（岩田・白幡，1979）．‘丹波黒’では 25℃で 24 時間貯蔵すると全糖含量は約 60%以下，遊離アミノ酸含量は約 70%に低下した（廣田ら，2003）．‘あきた香り五葉’では 27℃で 22 時間貯蔵すると全糖含量は約 50%に低下するが，遊離アミノ酸含量は低下しなかったという（篠田・田村，2007）．本研究においても，‘ふくら’や‘湯あがり娘’は 20℃で 24 時間貯蔵後には全糖含量，遊離アミノ酸含量のいずれも収穫時の約 50%に減少し，前述の既報と類似した結果が得られた．ただし，これまでの研究では，収穫後，低温から常温まで細かく貯蔵温度を設定し，数時間単位の短い間隔で，糖，

遊離アミノ酸含量を評価舌報告は見当たらない．‘ふくら’も‘湯あがり娘’も15℃以上で貯蔵した場合，3時間後にはすでに全糖含量が収穫時の約80%以下に減少し，6時間後には遊離アミノ酸含量が収穫時の約80%以下になり，常温下では，短時間で顕著な食味成分の低下が起こることが示された．エダマメの生育温度は20～25℃であることから，気温に近い温度帯では非常に速い速度で収穫後に糖，遊離アミノ酸含量が低下することになる．

これまでのエダマメ品種に含まれる糖組成調査（阿部，2011；古谷ら，2012；廣田ら，2010；大海ら，2000）と同様に‘ふくら’と‘湯あがり娘’でも主要糖としてはスクロースが，少量糖としては，マルトースとフルクトースが検出された．同じ重量であっても糖成分によって人が感じる甘さは異なり，スクロースを1とすると，マルトース0.35，フルクトース1.25と報告されている（宮城ら，2011；高畑ら，1993）．スクロースは含量が多く，甘味に与える効果が高いことから食味にとって特に重要と考えられる．今回の調査でも，フルクトースとスクロースは15℃以上の貯蔵で，顕著に含量が低下した．これは，呼吸で消費されると推定される糖減少量よりもはるかに多いので，収穫後の種子におけるデンプン合成に使われたと推察される（岩田・白幡，1979）．今回の調査でも，スクロースは他の糖に比べて減少速度が速く，減少量も多かった．10℃以下の貯蔵では，顕著なスクロース，フルクトースの保持効果が得られた．一方，マルトースは貯蔵に伴う減少が見られなかった．マルトースはエダマメが加熱された際，耐熱性βアミラーゼがデンプンを分解して生成する糖であるため（増田，2004），今回の実験でも電子レンジ加熱中に酵素反応が進行し生成したのかもしれない．

‘ふくら’と‘湯あがり娘’に含まれる主要な遊離アミノ酸はグルタミン酸，アスパラギンおよびアラニンであり，各エダマメ品種での調査と同様である（阿部，2011；阿部ら，2004；古谷ら，2012）．含まれる3つの遊離アミノ酸は15℃以上で貯蔵した際に顕著に含量が低下した．これは，収穫後の種子におけるタンパク質合成に使われたためと推測される（岩田・白幡，1979）．減少速度や減少量は各遊離アミノ酸の間で大きな差は見られなかった．アミノ酸は物質により呈味が異なり，主としてグルタミン酸は旨味，アスパラギンは酸味，アラニンは甘味を呈する（二宮，1968）．貯蔵してもアミノ酸組成の比率は大きく変化しないことから，遊離アミノ酸由来の豆の味のバランスは大きく変わらず，総含量の維持が食味の保持に直結すると考えられる．貯蔵温度はいずれの遊離アミノにも大きな影響を与え，10℃以下の貯蔵条件で，特にその保持効果が得られた．

貯蔵温度と全糖，遊離アミノ酸含量の関係に着目すると，低温貯蔵は初期の減衰抑制に大きな効果を示し，30～5℃までは低温にするほど全糖，遊離アミノ酸は残存した．5℃と0℃には大きな差は見られなかった．10℃以下の低温で貯蔵

すると全糖含量は 10 時間後でも収穫時の約 80%以上，遊離アミノ酸含量は 24 時間後でも約 80%以上を維持し，低温による大きな品質保持効果が見られた．貯蔵温度が与える影響は遊離アミノ酸と全糖で類似した結果となった．

増田らの研究（1998）では，貯蔵によりスクロース，グルタミン酸が半減すると，官能評価の甘味，旨味において有意な差が認められると報告されている．生野の研究（1987）では，生育期間の異なるエダマメの品質が比較されており，糖，遊離アミノ酸含量が 50～70%に減少したエダマメは明確に食味が劣ると報告されている．スクロースの識別感度について研究されており，原液からスクロースが 20～30%低下させた溶液で，有意に識別されると報告されている（三浦・寺岡，1968）．一部の遊離アミノ酸は弁別閾が報告されており，グルタミン酸では 20%という（二宮，1968）．エダマメの食味品質には糖，遊離アミノ酸いずれも保持率がより高い方が望ましいが，実際の収穫・貯蔵・流通工程を考えると，スクロース，グルタミン酸が収穫時の 80%以上に保持される品質管理が一つの目安となろう．本研究においてスクロース，グルタミン酸含量を 80%以上に保持するためには，収穫後 3 時間以内に 10℃以下に冷却，管理することが重要と考えられた．すなわち，エダマメでは，収穫を気温の低い早朝に行い，収穫・集荷直後の予冷などの低温管理が食味品質保持の重要なポイントであることが明らかになった．

次に，品種比較を行ってみると‘湯あがり娘’に比べて‘ふくら’の方が収穫後の全糖，遊離アミノ酸の減少が速いことが分析において確認された．‘湯あがり娘’の方が，貯蔵温度が上昇しても品質低下が緩慢であった．‘湯あがり娘’では 15℃，24 時間貯蔵した場合，糖は約 65%，遊離アミノ酸は約 80%保持でき，エダマメの生育温度である 20～30℃貯蔵よりも高い残存率であった．‘ふくら’では 15℃，24 時間貯蔵した場合，糖は約 55%，遊離アミノ酸は約 40%に減少し，20～30℃貯蔵と同等の残存率であった．外観変化と同様に，収穫後の糖，遊離アミノ酸含量の変化から見ても，‘ふくら’は貯蔵時間が長くなることによるリスクが大きい品種であることがわかった．樹上での生育に伴う食味成分の変化も，比較的気温が低い時期に栽培される‘ふくら’の方が‘湯あがり娘’より急速であることを示した（第 2 章）．太田市において‘ふくら’は気温がやや低い初夏に，‘湯あがり娘’は真夏日が続く盛夏に収穫するように栽培されるのは，このような温度感受性を考慮していると推測される．

4-2. 貯蔵形態が品質に及ぼす影響

貯蔵形態が外観品質に与える影響についての調査では，枝葉付き貯蔵で，‘白山ダダチャマメ’では一定の外観品質保持効果を示したとする報告（岩田ら，

1982)がある一方で,‘丹波黒’では,莢の黄化抑制効果はみられないという(廣田ら,2003).本研究においても,‘湯あがり娘’をもぎ莢,枝付き,枝葉付きの3つの形態で25℃貯蔵した場合,もぎ莢,枝付き,枝葉付きでの違いは,ほとんど見られなかった.一方,‘ふくら’では,10~24時間以上の長時間貯蔵になると,枝葉付き,枝付き,もぎ莢の順にL*,a*が上昇し難いことが確認された.貯蔵形態が莢の色に与える効果は,品種により差があると考えられた.ただし,貯蔵形態が莢の色に与える影響は,貯蔵温度や時間と比べると明らかに小さかった.

貯蔵形態が糖,遊離アミノ酸含量に与える影響について‘丹波黒’で調査されており,常温下で枝付き貯蔵した際に,スクロースの低下は抑制されるが,遊離アミノ酸への効果は見られないと報告されている(廣田ら,2003).‘ふくら’を3つの形態で25℃貯蔵した際の子実の糖含量の変化は,収穫後10時間以内の場合,いずれの貯蔵形態でも大きな違いは見られなかった.しかし,24時間以上の長時間になると,特に枝葉付きにおいていずれの糖も残存しやすいことが確認された.遊離アミノ酸含量については,糖含量よりも貯蔵形態による差は小さく,収穫後10~24時間を経過すると,わずかに枝葉付きで残存しやすいだけであった.‘湯あがり娘’では,収穫3~48時間後まで,枝葉付き貯蔵は他の形態に比べて全糖,遊離アミノ酸含量をより保持した.枝葉付きで品質保持効果が得られるのは,枝葉に成熟阻害物質が存在し老化を遅延すること(岩田・白幡,1979),莢を切り離すことによる老化促進がないこと(廣田ら,2003)によると推測されている.枝葉付き貯蔵による全糖,遊離アミノ酸含量の保持効果は‘ふくら’より‘湯あがり娘’の方が大きく,莢の色とは異なる結果となった.廣田らの報告(2003)とはやや異なり,今回の調査では‘湯あがり娘’においては遊離アミノ酸含量保持にも効果が見られた.貯蔵形態は糖,遊離アミノ酸含量に若干の影響を与えることが分析において確認され,その効果の程度は品種により差がみられた.ただし,貯蔵形態が糖,遊離アミノ酸含量に与える影響は,温度や時間と比べると明らかに小さく,実用レベルで貯蔵初期の急速な減衰を抑制するには不十分であると考えられる.

枝葉付き形態は,消費者に採れたて,高級感などをイメージさせる外観価値を提供できる出荷法である.しかし,枝葉付き貯蔵が,莢の色や糖,遊離アミノ酸含量に与える影響は,温度や時間と比べると明らかに小さく,これら品質の保持には貯蔵形態よりも温度管理と処理時間の短縮に取り組む方が有効と考えられた.

第5節 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. 育学研. 13: 1-10.
- 阿部利徳・氏家隆光・笹原健夫. 2004. 生およびゆでエダマメの遊離アミノ酸および糖含量の品種間差異. 食科工誌. 51: 64-58.
- 秋元浩一・黒田佐俊. 1981. 生鮮エダマメのフィルム包装と品質. 園学雑. 50: 100-107.
- 茶珍和雄. 1991. 青果物の低温貯蔵に伴う生理的問題. 凍結及び乾燥研究会会誌. 37: 86-93.
- 茶珍和雄. 2000. 食品関係者のための食品冷凍技術. p. 104-105. 社団法人日本冷凍空調学会. 東京.
- 千葉泰弘・八重樫誠次. 1988. エダマメ収穫後の品質変化. 東北農研. 41: 287-288.
- 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・福嶋 昭・岩井正志・曳野亥三夫. 2010. エダマメ新品種「黒っこ姫」「茶っころ姫」の特性. 兵庫農技セ研報(農). 58: 24-30.
- 廣田智子・田畑広之進・福嶋 昭・井上喜正・中川勝也. 2003. 丹波黒大豆冷凍エダマメの品質に及ぼす収穫後の保存条件. 日食保蔵誌. 29: 11-16.
- 星野康人. 2001. 野菜の品質評価による有利販売方法. 新潟農総研報. 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. 新潟農総研報. 5: 1-10.
- 伊東卓爾・岩田 隆・緒方邦安. 1972. コールド・チェーンにおける青果物の品質保持と温度許容度に関する研究(第2報). 園学雑. 41: 223-230.
- 岩田 隆・緒方邦安. 1971. コールド・チェーンにおける青果物の品質保持と温度許容度に関する研究(第1報). 園学雑. 40: 437-443.
- 岩田 隆・白幡啓一. 1979. エダマメ収穫後の品質変化とその防止 I 品質変化に関係する要因とガス組成及び葉付き包装の効果. 園学雑. 48: 106-113.
- 岩田 隆・杉浦弘隆・白幡啓一. 1982. 葉付き包装によるエダマメの品質保持. 園学雑. 51: 224-230.
- 前沢重礼・秋元浩一. 1996. 水処理がエダマメの呼吸作用に及ぼす影響. 岐阜大農研報. 61: 87-91.
- 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. 農業および園芸. 79: 1085-1093.

- 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.
- 三浦春恵・寺岡宏. 1968. 蔗糖水溶液の嗜好濃度について そのⅧ 蔗糖水溶液に対する識別感度について. 北星学園大紀要. 14: 13-16
- 宮城 淳・家壽多正樹・日坂弘行・本居聡子・若生忠幸. 2011. ネギの官能評価と成分, 物性測定値との関係. 園学研. 10: 101-107
- 二宮恒彦. 1968. アミノ酸の呈味に関する研究. 調理科学. 1: 185-197.
- 大海さつき・藤井俊弘・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.
- 佐藤嘉一・有坂将美. 2001. 枝豆の鮮度保持法. 新潟農総研報. 35: 7-12.
- 篠田光江・田村 晃. 2007. エダマメ収穫後の内部品質の変化. 東北農研. 60: 191-192.
- 生野世方子. 1987. エダマメの品質保持に関する研究. 日本家政学会誌. 38: 1057-1062.
- 高畑康浩・野田高弘・永田忠博. 1993. カンショ塊根遊離糖類組成の地域間比較及び遊離糖類組成と食味との関連. 九州農研. 55: 43.

第 4 章 凍結時の糊化度がエダマメの物性に及ぼす影響

第 1 節 緒言

冷凍食品の国内消費量は年々増加しており（伊藤，2010），2013 年には約 275 万 t にも達する．これに伴って，冷凍野菜の輸入量は増加し，2013 年では国内消費量の約 34% に達しており，2013 年の冷凍野菜の品目別輸入比率では，エダマメはバレイショに次ぎ，取扱量が 2 番目に多い．

キャベツ，タマネギ，ニンジンなどをはじめとする多くの野菜が年間を通じて生鮮品として購入できるようになってきたが，エダマメには端境期が存在するため，2013 年の東京中央卸売市場でのエダマメの取扱量をみると，11～3 月のエダマメの取扱量は極めて少ない．しかしながら，エダマメはお酒のおつまみなどとして年間を通じて需要があり，冷凍エダマメは私たちの食生活に欠かせない食品であるので，端境期には冷凍品に頼ることになる．

第 3 章で述べたように，生鮮エダマメは収穫後，急速に糖や遊離アミノ酸が減少し，品質が低下する．高い品質を保って消費者へ供給するためには，低温貯蔵（生野，1987）やフィルム包材（秋元・黒田，1981；佐藤・有坂，2001）などの工夫が必要である．その点で，収穫後に短時間で加熱，凍結した冷凍エダマメの場合，加工後の流通や貯蔵中の品質低下のリスクが低く，安定的に収穫直後の高品質を提供できる利点がある．また，冷凍エダマメは，加熱済みで簡単に喫食できるという利点もあることから，市場に広く流通している．しかし，生鮮野菜組織は凍結すると損傷し，品質が低下しやすい（安藤ら，2008）．野菜は動物性食品に比べて水分率が高く，凍結により多くの氷結晶が生成するため，細胞の損傷が大きい．また，野菜組織の細胞膜は凍結，解凍により水透過性が変化し，物性に影響を与えるため（安藤ら，2008），特に問題となるのが食感であり，凍結解凍後の組織軟化により，生鮮独特の良食感が失われる場合も多い．冷凍エダマメについても例外ではなく，一般に生鮮エダマメに比べて食感が劣り，特に噛んだ際の歯切れで劣る．このようにエダマメを始めとする野菜の食感には，噛んだ際にかかる力の大きさ，つまり硬さだけでなく，噛んでいる間の力の変化，例えば脆さや粘性なども重要である（五十嵐・坂田，2007）．

冷凍野菜の食感改善法として，いくつかの軟化防止技術が知られている．例えば，糖含溶液浸漬で，氷結晶の成長を抑制する方法（中川ら，1998），カルシウム塩溶液浸漬で，細胞壁を強化してから冷凍する方法（田村ら，1993）が挙げられる．これ以外にも，60℃で 30 分程度の予備加熱で，ペクチンメチルエステラーゼを活性化させ，細胞壁からのペクチン質の流出を抑制する方法（田村，

1994), ならびに, 冷凍前に浸透圧などで一部水分を脱水して野菜を半乾燥し, 組織中の自由水を少なくして氷結晶を減少させる方法 (安藤ら, 2008) などがある. これらの技術は野菜の硬さの改善には一定の効果を示すとされているが, 硬さ以外の食感特性, エダマメの場合, 歯切れ向上については研究が行われていない.

食品成分表によるとエダマメは重量 100g あたり炭水化物を 8.8g 含み, これの含量は一般的な野菜に比べて多い (香川, 2011). エダマメはデンプンを多く含む野菜であるので, 食感に影響する要素として糊化度に注目した. そこで本研究では, 冷凍時の糊化度がエダマメの物性に及ぼす影響を, 市販されている一般的な品種である '味緑' と '湯あがり娘' を用いて調査し, 冷凍エダマメの食感品質の向上について検討した.

第 2 節 材料および方法

2-1. 材料

2011 年に群馬県沼田市で栽培したエダマメ ‘味緑’ と前橋市で栽培したエダマメ ‘湯あがり娘’ を供試した。

2-2. 加工方法

エダマメをもぎ莢の状態、30 倍重量の 98℃ の湯で 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 秒加熱した (1 次加熱)。10℃ の冷水で 2 分 50 秒間冷却した後、エダマメをアルミ製のトレーに乗せて、-30℃ に設定した冷凍庫 (HC-120, エスペック株) に入れ、凍結した。このようにして、冷凍する前の加熱時間の異なる検体 7 種類を作成した。加熱時間の短いものから順に番号をつけ検体 1~7 とした。1 時間後、冷凍エダマメを冷凍庫から取り出し、20℃ の流水で 10 分間解凍した後、一部を分取し水分率、糊化度、物性の測定、および組織観察を行った (評価 1)。次に、検体 1~6 を 98℃ の湯でそれぞれ 180, 150, 120, 90, 60, 30 秒加熱した (2 次加熱)。すなわち、加熱時間はいずれの検体も合計 210 秒である。10℃ の冷水で 2 分 50 秒間冷却した後、評価 1 と同様の分析を行った (評価 2)。比較対象としてもぎ莢の状態、30 倍重量の 98℃ の湯で 210 秒加熱した未凍結エダマメも作成し、評価 1, 2 と同様の分析を行った。

第 4-1 表 検体加工方法

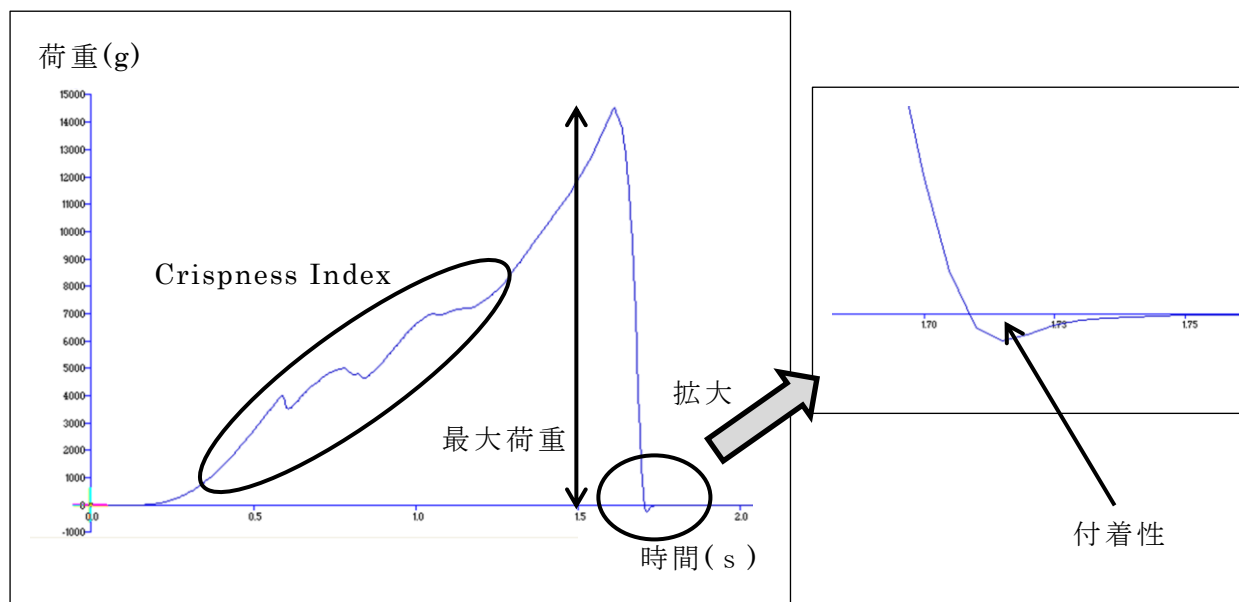
	検体番号						
	1	2	3	4	5	6	7
1 次加熱	30s	60s	90s	120s	150s	180s	210s
冷却	10℃ の水で 2 分 50 秒						
凍結	-30℃ 冷凍庫						
解凍	20℃ の水で 10 分						
評価 1							
2 次加熱	180s	150s	120s	90s	60s	30s	
冷却	10℃ の水で 2 分 50 秒						
評価 2							

2-3. 水分率

莢から種皮を含む子実を取り出して細断し，乾燥前と 105℃で 12 時間後の重量を測定し，減少量を水分として算出した．測定は 5 反復で行った．

2-4. 物性

テクスチャアナライザー(TA-XT plus, 英弘精機株式会社)を用いて，エダマメを喫食した際に感じる物性として硬さ，粘り，歯切れの測定を行った．莢から種皮を含む子実を取り出し，薄皮を剥き半割にし，直径 35mm 円柱プランジャーで Test speed 2.0mm/s, Strain 100% , Post test speed 10.0mm/s で圧縮した．圧縮時の最大荷重を硬さとした．x 軸に時間，y 軸に荷重（圧縮方向を正とする）をとった時，圧縮後プランジャーを引き上げる際に荷重 - 時間曲線に観測される負の面積を算出し，これを粘りを反映した付着性の指標とした（岡留ら，1998）．また，圧縮中の荷重を 1 秒間 200 点の速度で取りこみ，各データポイントにおける荷重を 2 次微分し，得られた絶対値の総和 Crispness Index (CI) を歯切れの測定値とした（堀江ら，2004）．任意の時間 t における 2 次微分値 D_{2t} の計算は，時間 t での力を F_t とし，その 0.005 秒前および 0.005 秒後の力をそれぞれ F_{t-1} ， F_{t+1} とすれば， $D_{2t}=2F_t-(F_{t-1}+F_{t+1})$ とした．2 次微分値 D_{2t} の絶対値を，1 秒間分合計したものを CI とした．測定は 15 反復で行った．



第 4-1 図 テクスチャアナライザーを用いた物性測定法

2-5. 糊化度

莢から種皮を含む子実を取り出し、薄皮を剥き、10倍重量の99%エタノールを加えホモゲナイズした後、濾過により固形分を回収した。これを再度繰り返した後、固形分にあセトンを加え攪拌、濾過し、固形分を減圧乾燥させ脱水粉末試料を得た（松永・貝沼，1981）。これを β -アミラーゼ-プルラーナーゼ法（BAP法）（松永・貝沼，1981）を用いて、デンプンの糊化度を測定した。デンプンを分解する酵素は、 β -アミラーゼ（シグマケミカル社）、プルラーナーゼ（株林原生物化学研究所）を使用し、還元糖を定量する試薬としてソモギ銅液およびネルソン液（和光純薬工業株）を使用した。吸光度測定は、UV-VIS 分光光度計（U-3900，株日立ハイテクノロジーズ）を用いて行った。測定は5反復で行った。

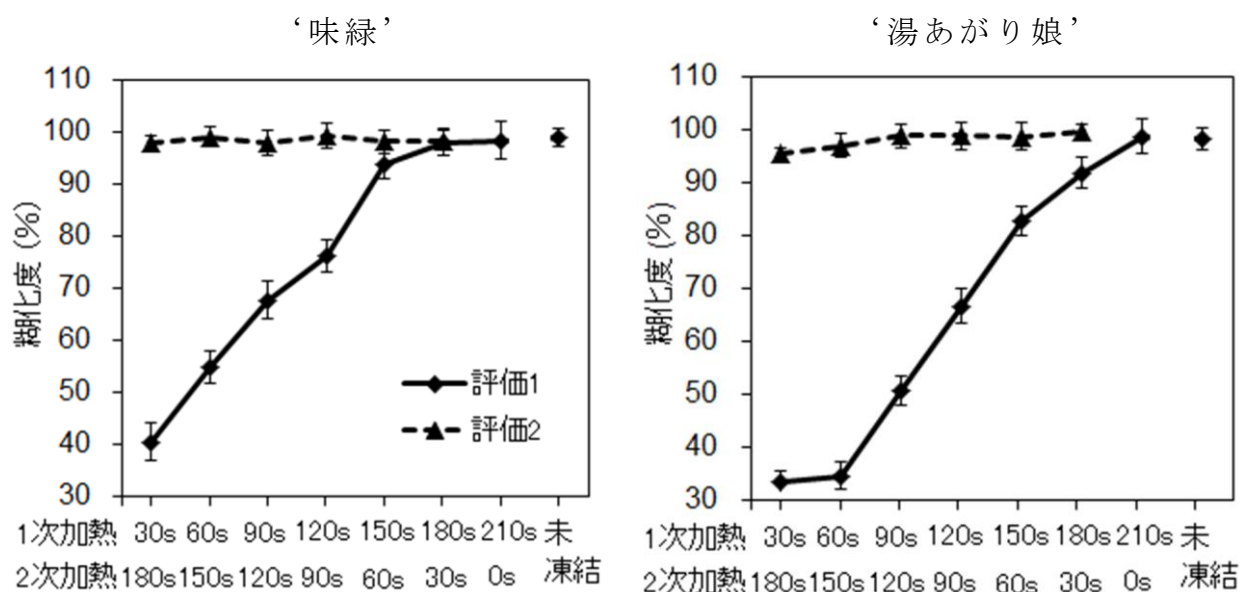
2-6. 組織の SEM 観察

莢から種皮を含む子実を取り出し、カッターナイフで切断した。低真空分析走査電子顕微鏡（JSM-6060LA，日本電子株）を用い、加速電圧 15kV，低真空モード，倍率 300 倍の条件で断面の微細構造を観察した。

第3節 結果

3-1. 糊化度の変化

‘味緑’と‘湯あがり娘’を各条件で加熱，凍結，解凍した際の子実の糊化度の変化を第4-2図に示した。両品種とも，1次加熱30秒後，凍結，解凍した際の糊化度は30～40%の低い値を示した。加熱時間が長くなるに伴い糊化度は上昇し，1次加熱210秒で98%以上の高い糊化度となった。同一加熱時間では‘味緑’に比べて‘湯あがり娘’の方が，糊化度が低かった。また，1次加熱30～180秒の完全糊化していない子実は，加熱時間が合計210秒になるように2次加熱することで95%以上の高い糊化度になることが確認された。合計210秒加熱された検体は，凍結，未凍結に関わらず同等の糊化度を示し，凍結は糊化度に大きな影響を与えないことが確認された。



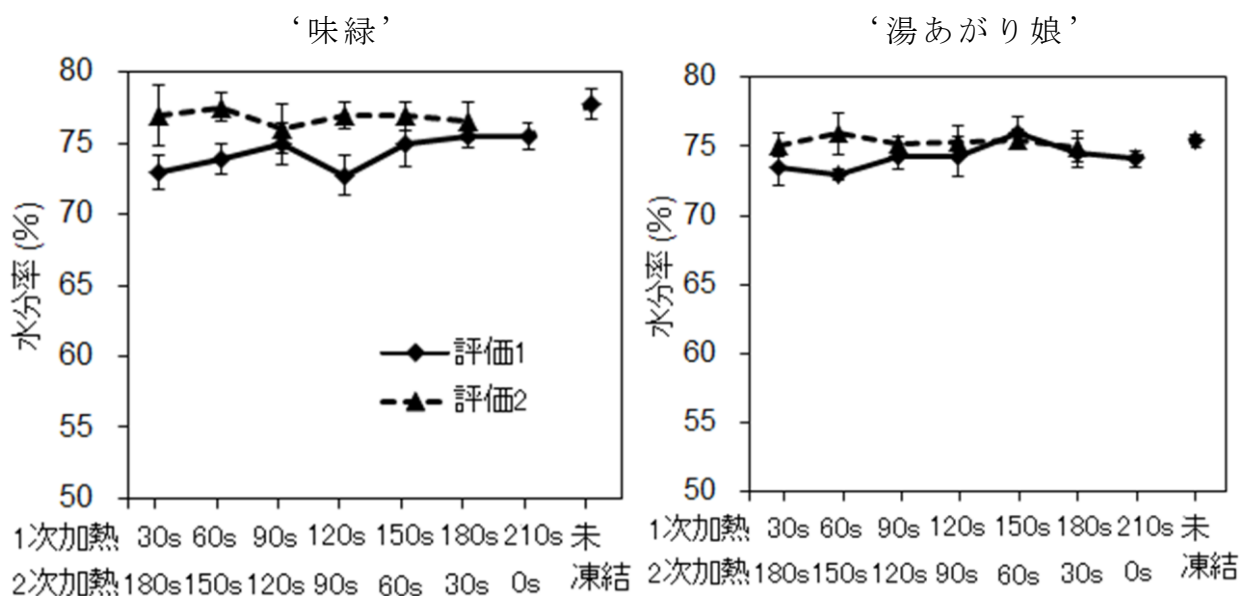
評価1；1次加熱，凍結，流水解凍後の品質。

評価2；評価1の後，2次加熱した際の品質。

第4-2図 子実デンプンの糊化度
図中の縦線は標準誤差を示す (n=5)

3-2. 水分率の変化

‘味緑’と‘湯あがり娘’を各条件で加熱，凍結，解凍した際の子実の水分率の変化を第4-3図に示した。両品種とも，1次加熱時間によって，若干水分率に違いが見られた。ただし，平均値の差が大きい検体1と7についてt検定を行ったが，‘味緑’でも ($t=2.68$, $df=4$, ns)，‘湯あがり娘’でも ($t=0.84$, $df=4$, ns) 有意な差はなかった。1次加熱時間30~180秒の子実を加熱時間が合計210秒になるように2次加熱すると，低水分率の検体ほど吸水が進行し，‘味緑’の水分率はいずれの検体も76~78%，‘湯あがり娘’の水分率はいずれの検体でも75~76%となり，検体間での水分率の差は小さくなった。合計210秒加熱された検体は，凍結，未凍結に関わらず同等の水分率を示し，凍結は水分率に大きな影響を与えないことが確認された。



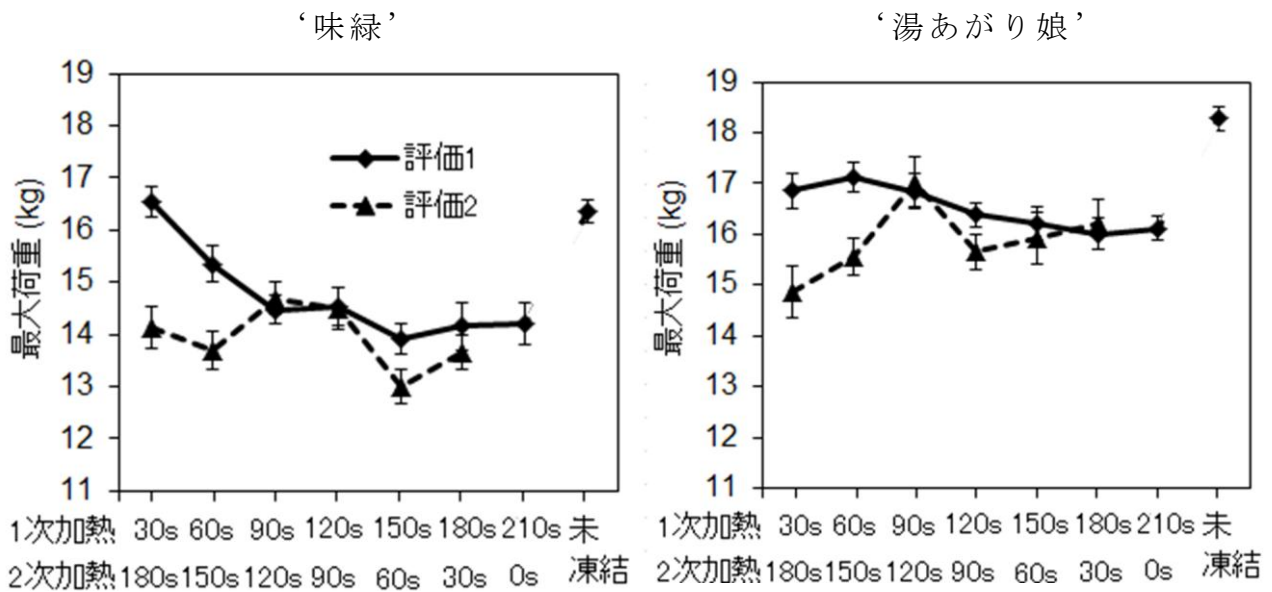
評価1；1次加熱，凍結，流水解凍後の品質。

評価2；評価1の後，2次加熱した際の品質。

第4-3図 子実の水分率
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=5)

3-3. 最大荷重の変化

‘味緑’と‘湯あがり娘’を各条件で加熱，凍結，解凍した際の子実の最大荷重の変化を第 4-4 図に示した．両品種とも，1 次加熱時間が長くなるに伴い，凍結，解凍後の最大荷重が低下する傾向が見られた．これら子実を，加熱時間が合計 210 秒になるように 2 次加熱すると，‘味緑’の検体 3，4，‘湯あがり娘’の検体 3 は最大荷重があまり低下せず，他検体に比べてやや高い値となった．検体 1，2 は 1 次加熱後の最大荷重は高いが，2 次加熱により大きく低下した．‘味緑’の検体 5，6，‘湯あがり娘’の検体 4～6 は，1 次加熱後の荷重は低いですが，2 次加熱による低下率は小さかった．合計 210 秒加熱された検体を比べると，凍結検体は未凍結検体に比べて最大荷重が低く，凍結により最大荷重が低下することが確認された．



評価 1 ; 1 次加熱，凍結，流水解凍後の品質．

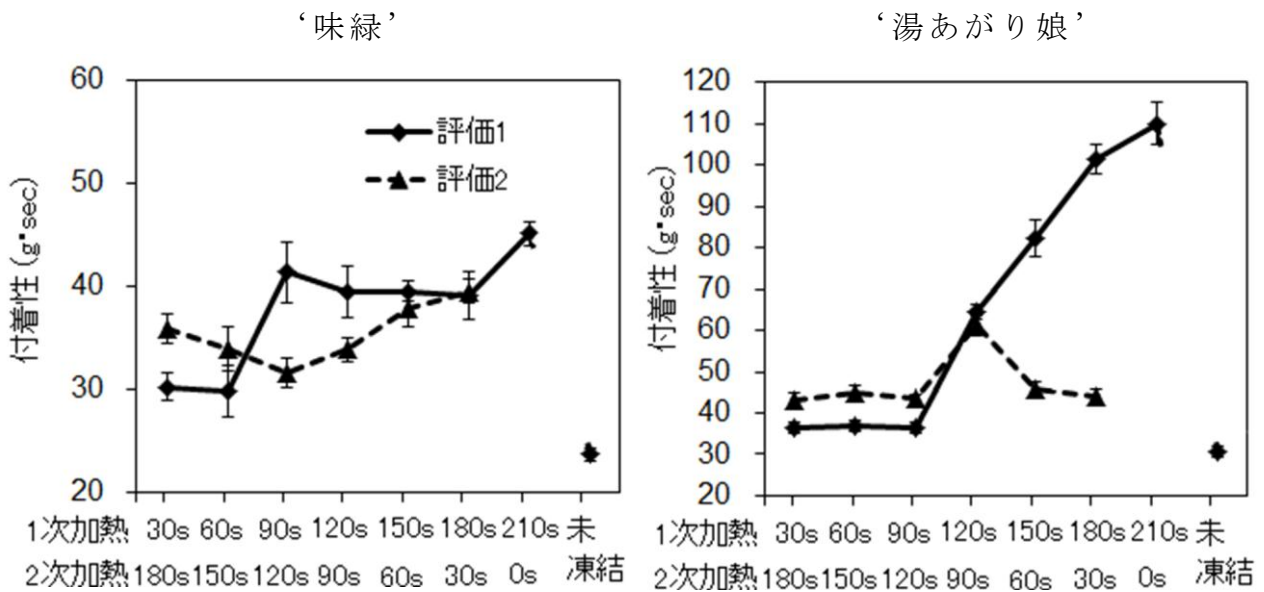
評価 2 ; 評価 1 の後，2 次加熱した際の品質．

第 4-4 図 子実の最大荷重

図中の縦線は標準誤差を示す (n=15)

3-4. 付着性の変化

両品種を各条件で加熱，凍結，解凍した際の子実の付着性の変化を第 4-5 図に示した．両品種とも，1 次加熱時間が長くなるに伴い，凍結，解凍後の付着性が上昇する傾向が見られた．‘味緑’は 1 次加熱 90 秒，‘湯あがり娘’は 1 次加熱 120 秒から大きく上昇した．ただし，‘味緑’の検体 3 と 6 の間で t 検定を行ったが，有意な差は見られず ($t=0.55$, $df=14$, ns)，1 次加熱 90~180 秒の間では付着性の変化が見られなくなった．これら子実を，加熱時間が合計 210 秒になるように 2 次加熱すると，両品種の検体 1, 2 と‘湯あがり娘’の検体 3 で付着性が上昇した．しかし，それ以外の検体は，2 次加熱により付着性は維持，または減少した．合計 210 秒加熱された検体を比べると，凍結検体は未凍結検体に比べて付着性が高く，凍結により付着性が上昇することが確認された．



評価 1 ; 1 次加熱，凍結，流水解凍後の品質．

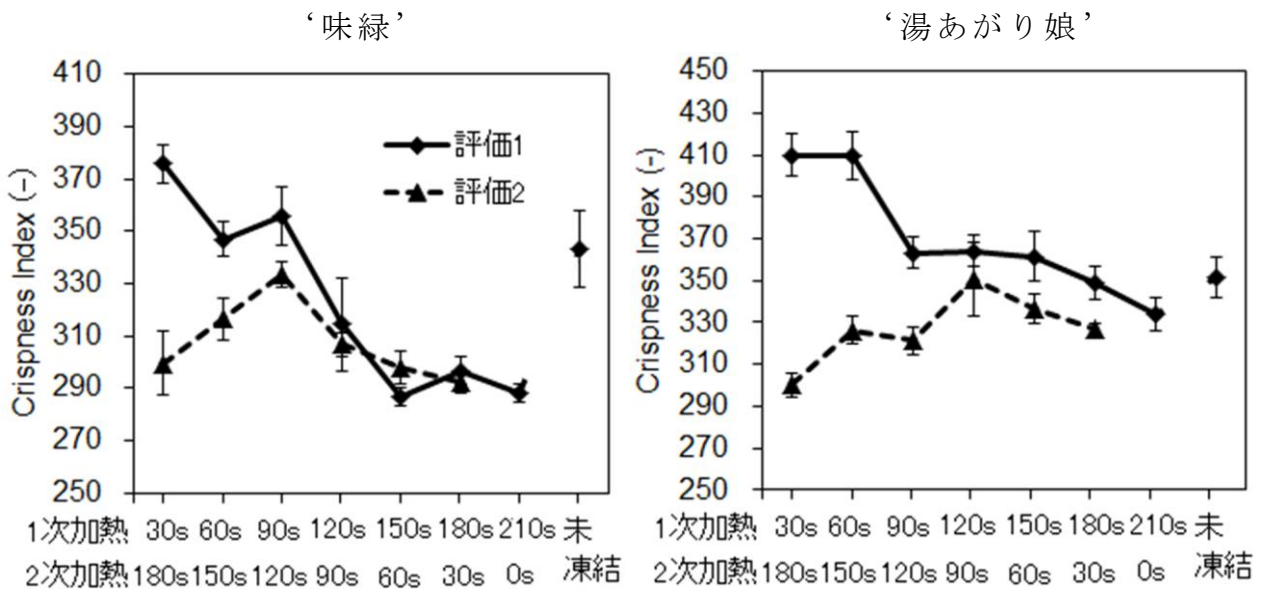
評価 2 ; 評価 1 の後，2 次加熱した際の品質．

第 4-5 図 子実の付着性

図中の縦線は標準誤差を示す (n=15)

3-5. Crispness Index の変化

両品種を各条件で加熱，凍結，解凍した際の子実の CI の変化を第 4-6 図に示した．両品種とも，1 次加熱時間が短い方が，凍結，解凍後の CI が高い傾向が確認された．‘味緑’は 1 次加熱 120 秒，‘湯あがり娘’は 1 次加熱 90 秒で大きく低下した．これら子実を，加熱時間が合計 210 秒になるように 2 次加熱すると，‘味緑’の検体 3 と 4，‘湯あがり娘’の検体 4 は CI がほとんど低下せず，他検体に比べて高くなった．検体 1，2 は 1 次加熱後の CI が高いが，2 次加熱により大きく低下した．‘味緑’の検体 5，6 は，1 次加熱後の CI は低いですが，2 次加熱による低下はほとんど見られなかった．‘湯あがり娘’の検体 3，5，6 は検体 1，2 と検体 4 の中間の減少率であった．合計 210 秒加熱された検体を比べると，凍結検体は未凍結検体に比べて CI が低く，凍結により CI が低下することが確認された．



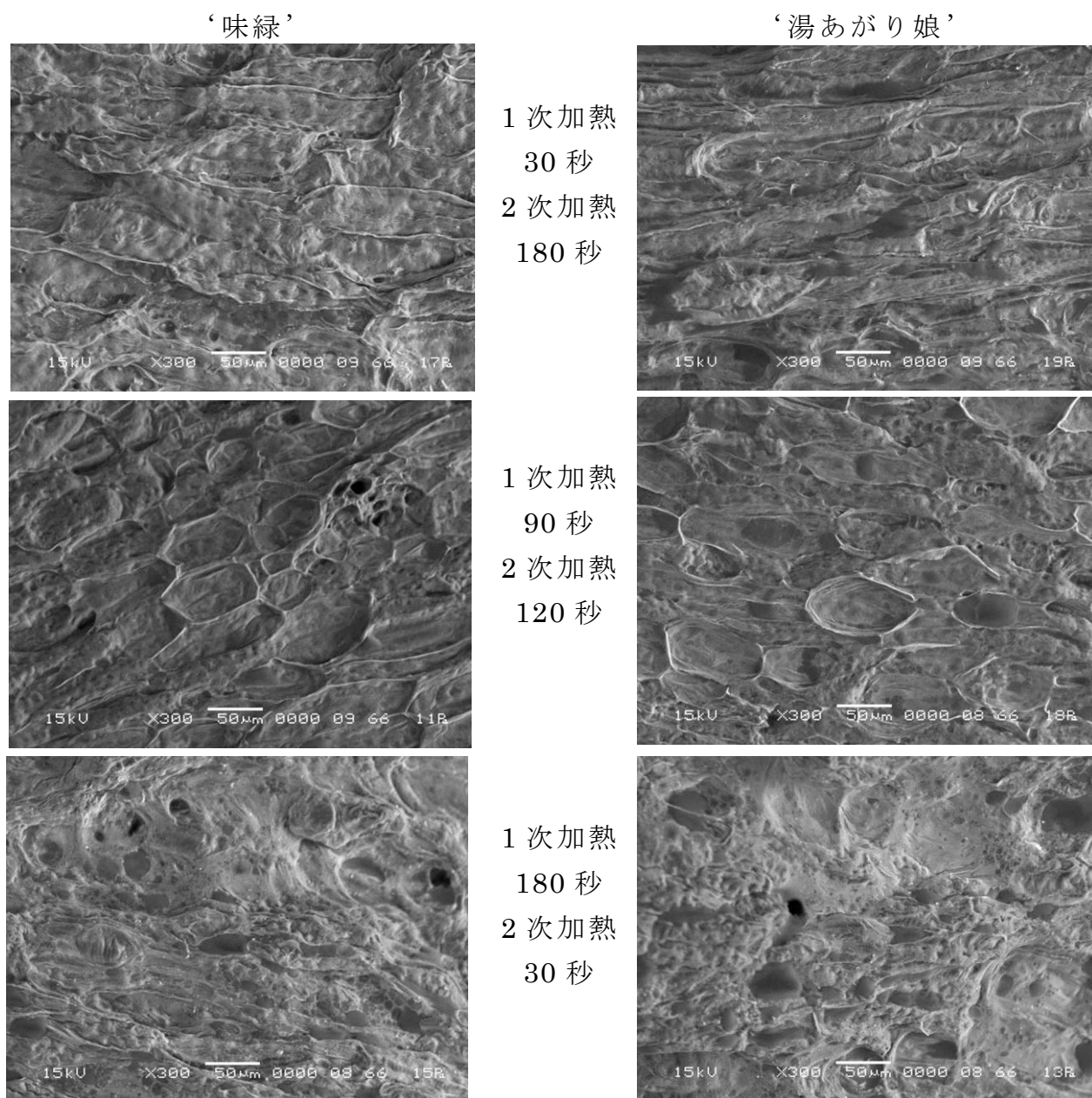
評価 1 ; 1 次加熱，凍結，流水解凍後の品質．

評価 2 ; 評価 1 の後，2 次加熱した際の品質．

第 4-6 図 子実の Crispness Index
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=15)

3-6. 子実の微細構造

両品種を各条件で加熱，凍結，解凍した際の子実の微細構造を第 4-7 図に示した．両品種とも検体 3（1 次加熱 90 秒後，凍結，解凍し，2 次加熱を 120 秒行ったエダマメ）において，細胞壁に囲まれた細胞が整列している構造が観察された．検体 1（1 次加熱 30 秒後，凍結，解凍し，2 次加熱を 180 秒行ったエダマメ）では，細胞が楕円形に変形している様子が認められた．検体 6（1 次加熱 180 秒後，凍結，解凍し，2 次加熱を 30 秒行ったエダマメ）では，細胞構造が観察できなかった．



第 4-7 図 子実の微細構造

第4節 考察

‘味緑’と‘湯あがり娘’の子実を98℃の湯で30秒1次加熱し、凍結・解凍した際の糊化度を確認すると、30～40%であったが、1次加熱時間が長くなるに伴い、糊化度は上昇した。食用の限界とされる糊化度についてはコメにおいて研究されており、概ね70%以上と報告されている(綾部, 2008)。エダマメにおいて、糊化度70%を超えるためには120～150秒の加熱が必要であった。両品種とも、加熱が一度中断され、その後に凍結されても、合計210秒になるように解凍後に2次加熱することで、未凍結検体と同等の糊化度98%前後まで上昇した。エダマメのゆで時間は短い場合では180秒程度と報告されている(三宅ら, 2007)。本研究において、180秒加熱したエダマメの糊化度は90%以上の高い値を示し、食用限界の糊化度を十分上回るため、喫食可能であると考えられ、先行研究の結果を糊化度で確認することができた。品種を比較すると、同一加熱時間でも‘味緑’に比べて‘湯あがり娘’の方が糊化度が低く、調理に長い時間が必要であることが確認された。また、‘味緑’より‘湯あがり娘’の方が凍結解凍後の最大荷重が高い結果となったことから、‘湯あがり娘’は組織構造が強固であると考えられた。コメにおいて強固な構造を持つタンパク質が細胞周辺に存在すると、デンプンを必要以上に膨潤させないことが示されている(葉田ら, 2011)。エダマメについてもコメと同様に、細胞組織が強固であるほどデンプンが自由に膨潤し難く、同じ加熱時間でも糊化度が低くなったと推測された。

1次加熱時間が長くなるに伴い、水分率が上昇する傾向が見られた。デンプンが糊化、膨潤する際に、水分を必要として吸水が発生したことが原因と推測された。コメは糊化する際に水分率が約45%増加するが(香西, 2011)、これに比べるとエダマメの水分率上昇は小さかった。食品成分表によると、コメの水分率が15%であるのに対し、エダマメの水分率は71%と高い(香川, 2011)。両品種とも、加熱を一度中断しても、合計210秒になるように2次加熱すると、1次加熱時間に関わらず、いずれの検体も‘味緑’は約77%、‘湯あがり娘’は約75%と同等の水分率となった。十分な糊化に必要な水分率は30%以上とされており(食品科学便覧編集委員会, 1978)、もともとエダマメは十分高い水分率であるため、加熱糊化に伴う吸水はあまり必要としなかったと考えられた。これは糊化度と類似の傾向であり、1次加熱を中断し、間に凍結処理を行っても、糊化度がほぼ同一となるよう2次加熱を行うことで、ほぼ同一の水分率が得られることを確認された。また、‘味緑’と‘湯あがり娘’で水分率に大きな差は見られなかった。

1次加熱時間が長くなるに伴い、凍結、解凍後の最大荷重は低下した。加熱に

に伴い、ペクチン質が分解し、低分子化、可溶化したことによる細胞間の接着力の低下（淵上，2007）、デンプンの糊化、膨潤が関与すると考えられた。一方で、1次加熱時間が長くなるに伴い、付着性は上昇した。‘味緑’、‘湯あがり娘’のいずれでも糊化度 50%を超えると急激に付着性が高くなった。デンプンが糊化したことにより、粘りが生じたためと推測された。CIは加熱時間が長くなるに従い低下した。これは、最大荷重での結果と同様にペクチンの影響が大きいと推測され、ペクチンが失われると野菜の張りが低下する（淵上，2007）。エダマメの場合も同様で、加熱に伴い歯切れが低下したと考えられた。

これら様々な糊化度で凍結、解凍されたエダマメを、合計 210 秒になるように 2次加熱すると、得られる物性は検体間で異なった。‘味緑’は糊化度 55~76%、‘湯あがり娘’は糊化度 67~83%で凍結したエダマメは、2次加熱を行ってもCIの大きな低下が見られず、他に比べて高い値を示した。‘味緑’の糊化度 41%以下、‘湯あがり娘’の糊化度 51%以下で凍結したエダマメは、2次加熱によりCIが大きく低下した。‘味緑’の糊化度 94%以上、‘湯あがり娘’の糊化度 92%以上で凍結したエダマメは、2次加熱による低下は小さかった。しかし、1次加熱、凍結、解凍後のCIが低いため、2次加熱後の値は低かった。最大荷重については‘味緑’は糊化度 68~76%、‘湯あがり娘’は糊化度 51%で凍結したエダマメにおいて、2次加熱により低下し難い結果が得られた。CIと同様に半分程度糊化させて凍結したエダマメは、解凍後の荷重値が高く、2次加熱による変化も小さいことから、他に比べて高い値を示す結果となった。付着性については、両品種ともに糊化度 60%以下で凍結したエダマメは、2次加熱により値が向上した。糊化が進行することにより粘りが付与されたことが原因と考えられた。糊化度 60%以上で凍結したものは、2次加熱により付着性が低下した。ボイル加熱により、糊化したデンプンが水中に流出した可能性が推測された。合計 210 秒加熱された 2次加熱後の付着性を比較すると、‘味緑’は糊化度 98%で凍結した検体 6、‘湯あがり娘’は糊化度 67%で凍結した検体 4 が高い値を示した。

2次加熱後の加熱時間は、いずれのエダマメも合計 210 秒のため、熱力価は同じであり、ペクチン質の分解など加熱に伴う反応もほとんど同程度進行したと推測された。上述したように、糊化度と水分率も検体間で大きな差はなく、物性が異なる原因はこれ以外にあると考えられた。検体間で異なるのは凍結時の糊化度であり、これが物性に影響を与えたと推測された。デンプンは、アミロペクチンが結晶性のミセル構造を取り、アミロースがミセルの間隙に非結晶状態で整然と配列した構造である（三浦，2003）。未糊化のデンプンは非常に密な結晶構造を持ち、常温においては水に浸漬しても緩むことはない。よって、糊化度が低い状態で凍結すると、デンプンが強固な結晶構造のため壊れにくく、水が内部まで入

り込んでいないため氷結晶による損傷を受けにくい。結果として組織が比較的保持され、2次加熱によりほぼ完全糊化しても、CIや硬さが高い値になると推測された。SEMによる観察において、50~70%の半糊化状態で凍結した後、加熱によりほぼ完全糊化されたエダマメは細胞構造が保持されていることが確認された。一方、90%以上の高い糊化度で凍結した後、加熱によりほぼ完全糊化されたエダマメは最も細胞損傷が大きかった。上述したように、糊化度が高いデンプンは結晶構造が壊れ、水が内部まで入り込んだ状態である。つまり、凍結により、無数の氷結晶が内部まで生成し、細胞が破壊されたと考えられた。

糊化とはデンプンを水と加熱することで、デンプンの分子間結合が切断され、規則性を失い、保水して膨潤し、糊状になることである。つまり、糊化度が異なると自由水と結合水の割合が変化する。また、結合水は自由水に比べて凍結し難いと言われている（高田ら、2012）。つまり、凍結時の糊化度が低すぎると、自由水の割合が高いために氷結晶が多くなり、細胞が損傷し、2次加熱によりほぼ完全糊化した状態ではCIや硬さが大きく低下し、低い値となったと推測された。また、通常、冷凍野菜製造の際には、生鮮野菜をブランチングと言われる加熱処理を行った後、凍結を行う。ブランチングの一番の目的は野菜に含まれるペルオキシダーゼなどの酵素を失活させて保存性を付与させることであるが、野菜の細胞壁や維管束などの組織を適度に軟化させ凍結膨張に耐えやすくする効果があると言われている（熊谷ら、1994）。したがって、低い糊化度で凍結したエダマメをほぼ完全糊化した際にCIや硬さが低かった原因として、1次加熱が弱すぎたことで組織に適度な柔軟性が付与されず、凍結時の氷結晶による損傷が大きかった可能性が考えられた。

糊化度50~83%で凍結し、2次加熱により糊化度98%にしたエダマメの最大荷重とCIは、他糊化度で凍結したエダマメよりも、未凍結エダマメに近い値を示した。付着性については、‘味緑’は半糊化状態で凍結したエダマメは未凍結に近い値を示した。ただし、‘湯あがり娘’では未凍結との差が広がった。

このように、半糊化状態で凍結することで、氷結晶による損傷を抑え、エダマメ本来の食感を比較的保持できることが確認された。しかし、半糊化状態で凍結したエダマメは、解凍しただけでは糊化度が低いため、消費者はそのまま食すことができず、加熱調理をしてから喫食することが好ましいと考えられる。よって、糊化度50~83%の半糊化の状態に冷凍したエダマメを、消費者が流水解凍し、ボイル加熱により糊化度90~100%に調理する製品を設計することで、生鮮に近い物性を持つ良食感の冷凍エダマメを提供できると考えられた。

第5節 引用文献

- 秋元浩一・黒田佐俊. 1981. 生鮮エダマメのフィルム包装と品質. 園学雑. 50: 100-107.
- 安藤寛子・渡辺 学・大下誠一・鈴木 徹. 2008. 生鮮野菜に対する浸透圧脱水凍結法の効果の検討. 日食保蔵誌. 34: 261-266.
- 綾部園子. 2008. インディカ米とジャポニカ米の調理特性の比較. 調科誌. 41: 283-288.
- 渕上倫子. 2007. 野菜の加熱とペクチン質. 調科誌. 40: 1-9.
- 堀江秀樹・伊藤秀和・一法師克成・東 敬子・五十嵐勇. 2004. キュウリ果肉部の物理性評価法の開発. 園学研. 3: 425-428
- 五十嵐勇・坂田好輝. 2007. 果実が硬い‘きゅうり中間母本農4号’の育成とその特性. 野菜茶研報. 6: 59-63
- 伊東敏行. 2010. 中国冷凍野菜の取り組み経緯について. 農薬学会誌. 35: 66-72.
- 香川芳子. 2011. 五訂増補食品成分表. p. 46-47. 女子栄養大学出版部. 東京.
- 香西みどり. 2011. 米の炊飯過程における水分分布の視覚的・定量的把握. 食科工誌. 58: 506-510.
- 熊谷義光・山田嘉治・小嶋秩夫. 1994. 冷凍食品製造ハンドブック. p. 142-143. 光琳. 東京.
- 栗田寛子・寺本あい・治部祐里・田淵真愉美・渕上倫子. 2011. 玄米飯の物性と微細構造. 調科誌. 44: 137-144.
- 松永暁子・貝沼圭二. 1981. 澱粉質食品の老化に関する研究(第1報)米飯の老化について. 家政誌. 32: 653-659.
- 三浦芳助. 2003. 熱分析によるデンプンの糊化・老化特性の解析. 広島女大論集. 53: 79-87.
- 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.
- 中川良二・北川直揮・八十川大輔・池田隆幸・長島浩二. 1998. 野菜の冷凍保存技術の開発. 北海道食加研セ報. 3: 59-63.
- 岡留博司・豊島英親・須藤 充・安東郁男・沼口憲治・堀末 登・大坪研一. 1998. 米飯1粒の多面的物性測定に基づく米の食味評価. 食科工誌. 45: 398-407.
- 佐藤嘉一・有坂将美. 2001. 枝豆の鮮度保持法. 新潟農総研報. 35: 7-12.
- 食品科学便覧編集委員会. 1978. 食品科学便覧. p. 241. 共立出版. 東京.
- 生野世方子. 1987. エダマメの品質保持に関する研究. 日本家政学会誌. 38: 1057-1062.

- 高田昌子・谷米温子・高橋淳子・中澤文子. 2012. デンプン-水系における凍結水の熱分析による解析. 食科工誌. 59: 56-62.
- 田村咲江・河村知恵・千田隆夫・淵上倫子. 1993. ダイコンの煮熟軟化と柔細胞壁の微細構造変化に及ぼす各種塩類の影響. 日本家政学会誌. 44: 633-641.
- 田村咲江. 1994. 調理学領域における組織学的研究. 日本家政学会誌. 45: 773-781.

第 5 章 総括

第 1 節 研究成果と今後の展望

エダマメは未成熟な子実のため品質変化が激しい（前沢・秋元，1996），端境期が存在する，デンプン含量が高い（香川，2011）という他の野菜には少ない特徴を持つ．本研究では，エダマメの品質に焦点を当て，園芸学，食品工学の手法を用いて収穫，貯蔵，冷凍の影響について評価した．このように栽培～加工まで一貫した研究を行うことで，良品質な原料の安定的な供給，品質を最大限に引き立てる加工が可能になり，これまでにない美味しいエダマメを消費者に提供できることが期待できる．

第 2 章ではエダマメの最適収穫時期の正確な評価について検討した．開花後 30 日より前では，豆の大きさが小さすぎ（莢の厚さが 8 mm 以下），見栄えが悪く商品性がなかった．一方，開花後 40 日を過ぎると緑色が退色し，乾燥過程が進行した．エダマメの主要な糖はスクロースであり，少量のフルクトースとマルトースも含まれていた．両品種でフルクトース含量は生育期間を通じて減少し，スクロース含量は開花後 35 日まで徐々に増加しピークに達した．エダマメに含まれる主要な遊離アミノ酸は酸味を呈するアスパラギンであり，うま味成分であるグルタミン酸と甘味を呈するアラニンも含まれていた．遊離アミノ酸については開花後 25～35 日でグルタミン酸とアラニンが比較的多く，開花後 25 日以降にはアスパラギンが一貫して低下した．エダマメの収穫は一樹単位で行われるが，両品種とも開花日は一樹内では約 10 日間に渡っていた．これらの結果を総合すると，開花後 30～40 日のエダマメが商品として良好な品質であると評価できる．また，莢の厚さや色指標は，同一生育段階ではばらつきが小さく，開花後日数や品質や成分の変化と密接な関係を示した．つまり，莢の厚さや色指標は生育段階を評価し，未熟または過熟莢を除く簡単な収穫・選別の指標として利用が推奨される．このような，農地で簡便に測定できる大きさや色の様な品質と，食味をはじめとするその他品質の関係を調査し，収穫適期を客観的に判断可能にする取り組みは，他の作物においても応用できると考えられる．よって，本手法が多くの作物の収穫時の品質安定化に貢献することが期待される．

第 3 章では種々の貯蔵温度，形態（“枝葉付き”，“枝付き”，“もぎ莢”）が収穫後のエダマメの品質に及ぼす影響を経時的に調査した．15℃以上の貯蔵では糖含量は 3 時間後に収穫時の約 80% 以下に，遊離アミノ酸含量は 6 時間後に収穫時の約 80% 以下に減少した．常温近くで貯蔵すると 3 時間という非常に短い間に品質が低下することが明らかになった．しかし，10℃以下の貯蔵条件は，外

観保持効果に優れ、糖含量は 10 時間後でも収穫時の約 80% 以上、遊離アミノ酸含量は 24 時間後でも収穫時の約 80% 以上保持した。低温貯蔵は品質低下抑制に非常に有効であった。枝葉付き貯蔵にも一定の品質保持効果が見られたが、貯蔵温度と時間の影響の方が明らかに大きかった。これらの結果から、エダマメを高品質に保つためには、収穫後 3 時間以内に 10℃ 以下の温度に管理することが重要と考えられた。適正な収穫後の取り扱いを行うことで、産地近傍でしか味わえなかった採れたて時の高品質を、遠方の食卓にまで届けることが可能になる。これにより、エダマメの本当のおいしさを消費者に伝えることができ、消費拡大に繋がることが期待される。

第 4 章では凍結時の糊化度がエダマメの物性に及ぼす影響を調査した。加熱時間を変えて糊化度の異なるエダマメを数種類作成し、凍結した。流水解凍した後、再度加熱し、ほぼ完全に糊化させた。これの物性を測定した結果、凍結時の糊化度の影響を受けて検体間で異なる値を示した。糊化度 55~83% で凍結したエダマメは、解凍後の荷重、CI 値が高く、ほぼ完全に糊化させても値は大きく低下せず、他糊化度で凍結したもの比べて高い値を示した。しかし、糊化度 41% 以下で凍結したエダマメは、解凍後高い荷重、CI 値を示すが、加熱によりほぼ完全に糊化されることで値が大きく低下した。また、糊化度 92% 以上で凍結したエダマメは、解凍後の時点で低い荷重、CI 値を示し、ほぼ完全糊化の加熱により値が若干低下した。糊化度が低い状態で凍結すると、デンプンが密で強固な結晶構造の為に壊れにくく、水が内部まで入り込んでいないために氷結晶でデンプンが損傷しにくく、組織が保持されやすいと推測した。一方で、凍結時の糊化度が低すぎると、自由水の割合が高い為に氷結晶が多くなること、加熱時間が短い為に組織に凍結膨張に耐えうる柔軟性を付与出来ないことから、組織が損傷しやすいと推測した。半糊化状態で凍結したエダマメを解凍、調理により完全糊化させて喫食することで、冷凍エダマメでも本来の物性に近い良食感を提供出来ると考えられた。冷凍の課題であった食感品質が改善されたことにより、高品質なエダマメを年間を通して安定供給できる体制の構築に繋がることが期待される。今後、本研究で行った様に、野菜の特性に合わせた品質改善法を検討することで、これまで解決が難しかった課題について進捗することが望まれる。

以上の結果より、エダマメに関する収穫、貯蔵、冷凍について有用な知見が得られた。さらに、エダマメについては今後以下の様な研究が継続されるのが望ましい。消費の拡大に伴い、エダマメの栽培は国内外の様々な場所で行われている。気候、土壌が大きく異なる各栽培地に適する品種の選定について研究を行うことは、安定した高品質な原料供給に貢献できることが期待される。また、株間、施肥などの栽培条件が収量に与える影響についてはこれまでに数多く研究が行わ

れているが（片山ら，2011；高橋・星野，2003），品質に与える影響についても研究が進められることによって，栽培面からのエダマメのおいしさ向上について有用な情報が得られることが期待できる．エダマメの食味評価においては HPLC を用いることが多いが，高い精度である一方で，分析に技術と時間が必要である．本研究で用いた CE は HPLC よりも簡便で迅速であるが，それでもまだ日常分析とするには手間がかかる．多くの作物，果実で検討されている近赤外光（尾形ら，1992；高野ら，2007）を応用して，エダマメの食味成分の迅速簡便測定について研究を行うことは，原料受け入れ時の品質評価への応用が期待され，品質に応じて買い取り価格を変動させることにより，生産者の意識向上，原料品質の高位安定化に役立つことが考えられる．加工面においては，本研究では食感について検討を行った．エダマメのおいしさには食味も大きく影響するため（星野，2001），これについても研究が行われることが望ましい．加熱時に子実中のデンプンが耐熱性 β -アミラーゼにより分解されマルトースが生成すると報告されていることから（増田，2004），酵素反応が十分促進する加熱条件の検討，酵素添加しデンプンの分解を促進させる研究を行うことで，食味（特に甘味）品質の向上が期待される．また，エダマメ喫食時は塩を添加する機会が多いことから，食味を引き立たせる塩の種類，添加量について調理学の手法で研究を行うことで，料理としてのエダマメの完成度を向上させることが期待される．

先に示したような最適品種，栽培方法，迅速簡便測定法，加工調理法について明らかにされることで，エダマメが収穫～加工まで一貫した研究が行われた野菜のモデルとなり，今後様々な作物において，このような研究が発展することが望まれる．

第 2 節 引用文献

- 香川芳子. 2011. 五訂増補食品成分表. p. 46-47. 女子栄養大学出版部. 東京.
- 片山勝之・細野達夫・細川 寿・野村幹雄. 2011. エダマメの直播密植栽培が生育および収量に及ぼす影響. 北陸作物学報. 46: 62-65.
- 星野康人. 2001. 野菜の品質評価による有利販売方法. 新潟農総研報. 3: 35-48.
- 前沢重礼・秋元浩一. 1996. 水処理がエダマメの呼吸作用に及ぼす影響. 岐阜大農研報. 61: 87-91.
- 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. 農業および園芸. 79: 1085-1093.
- 尾形武文・川村富輝・原園皓二. 1992. 近赤外分光分析計を利用した米の食味関連成分の測定. 日作九支報. 59: 41-42
- 高橋能彦・星野 卓. 2003. 水田転換畑へのモミ殻施用がエダマメの生育・収量に対する効果の持続性. 日本土壌肥料学雑誌. 74: 525-528.
- 高野和夫・妹尾知憲・海野孝章・笹邊幸男・多田幹郎. 2007. 近赤外分光法によるモモ果実の渋味の評価. 園学研. 6: 137-143.

第 6 章 謝辞

本研究は岡山大学大学院環境生命科学研究科にご指導いただき、味の素冷凍食品株式会社において行ったものである。

本稿を終えるにあたり、研究全般にわたってご指導いただきました岡山大学大学院環境生命科学研究科の 久保康隆 教授に心より感謝の意を表します。研究を進めるにあたり多くのご助言いただきました 中野龍平 准教授，牛島幸一郎 助教につつしんで感謝申し上げます。

本研究に携わる機会を与えていただいた味の素冷凍食品株式会社の 横井俊宏 常務， 江原司 研究開発センター長に深く感謝申し上げます。実験を行う上で、適切なご指導をいただきました 山本達也 研究グループ長に深く感謝の意を表します。第 2～4 章の研究の一部は 田中仁奈 女史， 橋本早紀 女史との共同研究の成果であり，各氏に心から感謝いたします。最後に，お忙しい中，助言及び激励をしていただきました味の素冷凍食品株式会社研究グループの皆様方に深く感謝いたします。