

博士学位論文

イチゴのおいしさに関わる要因の探索と新たな評価法の開発

Investigation of strawberry taste and preference factors
and development of new evaluation methods

2020年 2月

静岡県立大学大学院
薬食生命科学総合学府
食品栄養科学専攻
調理科学研究室

池ヶ谷 篤

目次

序章	1
第1章 生鮮イチゴの機器分析及び官能評価との関連性	
1-1 背景と目的	3
1-2 材料及び方法	4
1-2-1 シンガポール市場からのイチゴの入手	
1-2-2 日本からのイチゴの輸送	
1-2-3 機器分析	
1-2-4 官能評価	
1-2-5 統計解析	
1-3 結果	8
1-3-1 シンガポール市場で流通していたイチゴの機器分析値	
1-3-2 日本から輸送したイチゴの機器分析値	
1-3-3 シンガポールで流通していたイチゴの官能評価結果	
1-3-4 日本から輸送したイチゴの官能評価結果	
1-3-5 官能評価による各評価項目と総合的な好みとの相関	
1-3-6 機器分析値と官能評価結果の相関	
1-4 考察	18
第2章 模擬果汁ゼリーを用いた評価系の構築と活用	
2-1 背景と目的	22
2-2 材料及び方法	23
2-2-1 イチゴ果実の果汁中の糖度、遊離糖、有機酸濃度の測定	
2-2-2 模擬果汁ゼリーによる官能評価	
2-2-3 統計解析	
2-3 結果	29
2-3-1 イチゴ果実内での糖度差	
2-3-2 イチゴ果実間の部位による遊離糖と有機酸の濃度差	
2-3-3 遊離糖と有機酸の量及び組成がイチゴの味に与える影響 (官能評価A)	

2-3-4	イチゴ果実内の遊離糖と有機酸の濃度勾配が食味に与える影響 (官能評価B)	
2-4	考察	34
第3章 有機酸含有量がイチゴジャムの味及び嗜好性に与える影響		
3-1	背景と目的	37
3-2	材料及び方法	38
3-2-1	イチゴ果実	
3-2-2	ジャムの調製	
3-2-3	イチゴペースト及びジャムの糖度、遊離糖、有機酸の分析	
3-2-4	ジャムの色及びテクスチャーの測定	
3-2-5	官能評価	
3-2-6	統計解析	
3-3	結果	41
3-3-1	イチゴペースト及びジャム中の糖度、遊離糖、有機酸	
3-3-2	イチゴジャムの色とテクスチャー	
3-3-3	官能評価	
3-4	考察	45
結章		
		47
謝辞		
		49
参考文献		
		50
論文目録		
		57

序章

イチゴ (*Fragaria × ananassa* Duchesne) は世界中で900万トン以上が生産されている主要な農産物の一つである[1]。現在、栽培されているイチゴの大半は18世紀にオランダの農園で北米産のバージニアイチゴ (*Fragaria virginiana*) と南米産のチリイチゴ (*Fragaria chiloensis*) の交雑によって作られたオランダイチゴである[2]。オランダイチゴはその後世界各地に広がり、それぞれの地域で環境に適合するように品種改良や栽培方法の開発がなされてきた。

日本にオランダイチゴが渡来したのは19世紀になってからと推定され、商業用として栽培が開始されたのは19世紀の末から20世紀初頭である[3]。品種についても、1898年に日本初のイチゴ品種‘福羽’が育成された[3]。その後、栽培技術の進歩等によって日本でのイチゴの生産量は徐々に増加してゆき、1963年に初めて農林水産統計表の品目に記載された[3]。

日本では、イチゴを販売する際に品種で区別してブランド化していることが特徴的であり、近代の日本のイチゴの研究は、特に優良な品種の育成に重点がおかれてきた。これらの品種は国立の研究機関や主要産地の公設試験場等で育成されたものが多いが、萩原章弘氏が育成した‘章姫’や西田朝美氏が育成した‘レッドパール’など、民間の育種家からも優良な品種が育成されている。本研究で使用した‘紅ほっぺ’と‘きらび香’は、いずれも静岡県で育成された品種である。‘紅ほっぺ’は2002年に静岡県農業試験場で育成されたものであるが[4]、現在は日本各地で栽培されており、日本の主要品種の1つとなっている。また、‘紅ほっぺ’の後継となる品種として2017年に‘きらび香’が育成された[5]。‘きらび香’は‘紅ほっぺ’よりも収穫開始時期が早く、連続収穫性についても優れている。

また、品種の育成と併せて栽培技術も改良が続けられてきた。現在のイチゴのほとんどは促成栽培で栽培されており、品種によって異なるが11月下旬から5月下旬あたりまで連続して収穫される。これらの促成栽培に関する技術の普及には、特に1990年代から促成栽培に適した品種が多く育成されたことや、育苗方法、花芽分化処理技術が向上したことなどが大きく寄与している[6]。それに加えて近年は各種センサー類の価格が低下したことから、これらを活用して栽培温室の温度、湿度、二酸化炭素濃度等を総合的に制御し、収量や品質を向上させる複合環境制御に関する研究が積極的に行われている。これらは特にトマトの栽培で研究

が行われているが[7]、イチゴについても徐々に研究が進められている。

ここまでは主に日本イチゴについて述べてきたが、イチゴの研究は同様に世界中で行われており、地域によって栽培方法や品種は様々である[8]。また、流通の形態も国によって異なり、他国では収穫後のイチゴを高濃度の二酸化炭素で処理し、果皮を硬化させて貯蔵性を高める処理が広く行われている[9]。日本では消費地に近いところでイチゴを栽培し、できるだけ早く消費するような流通体系を構築することが重視されてきたため、このような技術は普及していない。また、日本ではイチゴは生食の割合が高いが、他国では冷凍イチゴや加工品としての利用がより多く、イチゴの加工についての研究も多くなされている[10, 11]。

イチゴに関する研究としては、前述のように育種や栽培、貯蔵、流通、加工等の技術開発が行われている。ただし、いずれの研究を行う際にもイチゴの「おいしさ」を評価することは極めて重要な要素であるが、これらに関する研究例は極めて少ない。この理由としては、イチゴに限らず生鮮果物は同じ条件で栽培されたものでも大きさや色、糖度、酸度、食感等が大きく異なるため、複数の均一なサンプルを得ることができず、官能評価で明確な結果を得ることが困難なことが原因であると考えられる。また、果実を評価する際は、単一の果実の中でも部位によっても含有成分や食感等が異なることも、十分配慮しなければならない。

本研究は、機器分析と官能評価の組み合わせにより、イチゴの「おいしさ」の評価技術を確立することを目的とした。まず、最初に生鮮イチゴについて官能評価と機器分析を行い、結果の相関を分析することでイチゴの「おいしさ」と関連が深い因子を探索した。併せて、個体差による影響を排除し、特定の因子のみを変更したサンプルの比較を可能にするため、食品素材を利用してイチゴの分析結果を再現した模擬果汁を調製し、これを用いて官能評価を行う評価系を構築した。また、加工品についても食品素材を利用して有機酸の量のみを変化させた試料を複数調製して評価した。

本研究により得られた技術や知見は、今後のイチゴ研究に幅広く活用されるとともに、イチゴに限らず、これまで評価が難しいとされてきた生鮮果実や野菜の評価に活用されることが期待される。

第1章 生鮮イチゴの機器分析及び官能評価との関連性

1-1 背景と目的

イチゴの果実は極めて果皮が薄く、軟弱なことから貯蔵可能な期間は約4°Cの冷蔵でも7日間程度とされており[12]、イチゴは生産地の近くで消費されることが多かった。その後、二酸化炭素処理等による果実の硬化技術の実用化や[9, 13, 14]、流通環境の整備などによって貯蔵期間は延長され、イチゴの流通量も増加してきた。

流通技術の発展に伴い、近年では生鮮イチゴの世界的な流通量は増加し、日本からのイチゴの輸出量も急増している[15]。世界各国で生産されているイチゴの品質はそれぞれ大きく異なると予想されるが、生産国の異なるイチゴの品質を同時に調査した例はほとんどない。その理由としては、イチゴに関する研究はその生産量が多い国で積極的に行われているが、それらの国は自国産のイチゴの生産量が多いことから輸入量が少なく、他国産の生鮮イチゴを入手することが困難なことが考えられる。実際に日本でも他国産イチゴは、冷凍や加工品では流通しているが、生鮮ではほとんどない。

そのため、今回は食料自給率が低く、世界各国のイチゴが流通しているシンガポール市場で生産国の異なるイチゴを購入し、機器分析及び官能評価によって品質を調査した。

1-2 材料及び方法

1-2-1 シンガポール市場からのイチゴの入手

2017年2月7日にシンガポールの小売店及び小売市場から5種類のイチゴを各4パック購入した。購入したイチゴの外観、購入した店舗、内容量、価格をFig. 2-1に示す。購入したイチゴの産地はそれぞれアメリカ合衆国（アメリカ）、エジプト、スペイン、メキシコ、大韓民国（韓国）であった。いずれのイチゴもパッケージに栽培品種や詳細な生産地域、収穫日等の記載はなかった。購入したイチゴは三井化学シンガポールR&Dセンターの4°Cに設定した冷蔵庫で保管し、翌日機器分析及び官能評価に供した。

Country of origin	Egypt	Mexico	Republic of Korea	Spain	United States of America
Packaging					
Appearance					
Purchase store	Supermarket (Giant)	Department store (Cold Storage Takashimaya)	Retail market (Tionbal Market)	Department store (Isetan Scotts food section)	Department store (Isetan Scotts food section)
Weight per pack (g)	350	454	350	350	454
Price (SGD/kg)	7.00	63.85	25.71	19.71	32.82

Fig. 2-1 Strawberries distributed in Singapore.

1-2-2 日本からのイチゴの輸送

2017年2月5日に日本の各生産地から出荷されたイチゴ5種（Fig. 2-2）を夜間に輸送し、翌日の朝に静岡空港に集荷した。集荷されたイチゴは通関処理を行った後に航空輸送用コンテナに積まれ、那覇空港を經由して2月7日の午前シンガポールのチャンギ空港に輸送された。輸送されたイチゴは通関を終えたのち、保冷車で三井化学シンガポールR&Dセンターに輸送された。到着したイチゴは4°Cに設定された冷蔵庫で保管し、翌日機器分析及び官能評価に供した。これらのイチゴは通常の輸出と同じ方法で輸送されており、特別な取り扱いは行っていない。

Brand	Amaoh	Benihoppe	Hinoshizuku	Kirapika	Tochiotome
Packaging					
Cultivar	Fukuoka S6	Benihoppe	Kumaken i 548	Kirapika	Tochiotome

Fig. 2-2 Strawberries transported from Japan.

1-2-3 機器分析

1-2-1でシンガポール市場から調達したイチゴと1-2-2で日本から輸送したイチゴを機器分析によって品質を評価した。これらのイチゴは常温（約25°C）に戻して果実重量を測定した後、果頂部と果梗部の中間部分の果皮色をカラーリーダー（CR-13, コニカミノルタジャパン株式会社）で測定した。測定した色はL*a*b*カラーシステム（CIE 1976, CIELAB）で示した。その後、果皮色と同じく果頂部と果梗部の中間部分の硬度を直径1 cmの円錐型プランジャーを装着した果実硬度計（KM-1, 株式会社藤原製作所）で測定した。果皮色と硬度の測定は1果につき3回ずつ測定し、その平均値をその果実の値として用いた。

果皮色と硬度を測定した後、イチゴのがくを取り除いて1果実ずつゴース布で包み、ハンドジューサー（ジュウーサー, 株式会社伊藤製作所）で搾汁した。得られた果汁から糖酸度計（PAL-BX ACID F5, 株式会社アタゴ）で全可溶性固形分量（糖度）と酸度を測定した。また、得られた糖度を酸度で除して糖酸比を算出した。

1-2-4 官能評価

1-2-4-1 シンガポール市場で流通していたイチゴの官能評価（官能評価A）

官能評価は、14名のパネリストを用いて実施した。パネリストは7名がシンガポール在住者で7名が日本人であった。また、パネリストの性別は男性が5名、女性が9名であり、年齢は2名が20代、5名が30代、7名が40代である。なお、パネリストは食品の評価について特別な訓練はなされていない。パネルはシンガポール市場から調達したアメリカ、エジプト、スペイン、メキシコ、韓国産のイチゴの外観及び食味を評価した。なお、評価を行う際は日本から輸送した‘紅ほっぺ’を対照として加えた。

サンプルのイチゴは流水で軽く洗浄してからがくを除去し、1片が10 gになるように果頂部から果梗部にかけて放射状に切った。なお、サンプルは表面の傷や果肉の潰れ等が多いものを除き、大きさが平均値に近いものから順に試料として用いた。官能評価の際にパネルは「甘味の強さ」、「酸味の強さ」、「総合的な食味の好み」の3項目について採点法[16, 17]で評価した。パネルは、甘味の強さ、酸味の強さについては0を対照（‘紅ほっぺ’）と同等とし、-3（全く甘味/酸味がない）から+3（非常に甘味/酸味が強い）とした7点のスケールで評価した。「総合的な食味の好み」については、同じく0を対照（‘紅ほっぺ’）と同等と

し、-3（全く好まない）から+3（非常に好ましい）とした7点のスケールで評価した。パネリストには異なるサンプルを評価する際に、ミネラルウォーターで口をすすぐように指示した。サンプルはランダムで3桁にコード化して提供した。喫食順序については、最初に対照の‘紅ほっぺ’を食すように指示し、それ以外は指示を行っていない。

1-2-4-2 日本から輸送したイチゴの官能評価（官能評価B）

日本から輸送した‘あまおう’、‘きらび香’、‘とちおとめ’、‘ひのしずく’の4種のイチゴを官能評価Bで比較した。評価の際には官能評価Aと同じく‘紅ほっぺ’を対照として供試し、その他の方法も同様である。

1-2-5 統計解析

結果は、平均値 ± 標準偏差で表現した。分散分析（Analysis of variance, ANOVA）による検定後、チューキー＝クレーマー法による多重検定を行い、 $p < 0.05$ を有意差ありと判断した。統計解析は、SPSS 14.0 for Windows（SPSS Japan Inc.）を用いて実施した。

1-3 結果

1-3-1 シンガポール市場で流通していたイチゴの機器分析値

シンガポール市場で購入したイチゴの機器分析値をTable 1-1に示す。Table 1-1には比較のため日本から輸送した‘紅ほっぺ’も併せて示した。アメリカのイチゴは他と比較して大きく、平均果重は50 gを超えていた。他のイチゴの重量は概ね25-35 g程度であった。アメリカ、スペイン、エジプト、メキシコのイチゴは比較として使用した日本の‘紅ほっぺ’よりも果実硬度が高かった。韓国のイチゴの硬度は日本の‘紅ほっぺ’よりも低く、果実は柔らかかった。

果皮色については、エジプトはアメリカのイチゴよりL*値が高く、a*値が低い傾向がみられた。韓国のイチゴはアメリカ及びメキシコのイチゴと比較して高いb*値を示した。また、今回は果頂部と果梗部の中間を測定したが、アメリカとエジプトは果梗部の色が白く、同一の果実内でも色に差がみられた。

果汁を比較した結果、アメリカ、韓国、日本のイチゴは糖度が高く、エジプト、スペイン、メキシコのイチゴは糖度が低かった。また、アメリカとメキシコのイチゴの果汁中の酸度は高く、エジプトとスペインのイチゴがそれに続いた。韓国と日本のイチゴの酸度は低かった。アメリカのイチゴは糖度が高かったが、酸度も同じく高かったため、糖酸比は低かった。韓国と日本のイチゴは糖度が高く、酸度が低いため、糖酸比は非常に高かった。

1-3-2 日本から輸送したイチゴの機器分析値

日本から輸送したイチゴの分析結果をTable 1-2に示す。果重については‘ひのしずく’が低く、他のブランドでは差がみられなかった。硬度については対照として用いた‘紅ほっぺ’が最も高い硬度を示し、‘あまおう’が最も低かった。果皮色については、L*値が‘ひのしずく’で高く、‘あまおう’は低かった。a*値は‘あまおう’が他の品種と比較して低かった。b*値は‘ひのしずく’が高く、‘あまおう’が低かった。

果汁を分析した結果、いずれのブランドのイチゴも糖度に差はみられなかった。酸度については‘あまおう’と‘紅ほっぺ’は高く、‘きらび香’と‘とちおとめ’は低かった。糖度には差がみられなかったが、酸度には差がみられたため、糖酸比は‘きらび香’と‘とちおとめ’が高くなった。

1-3-3 シンガポールで流通していたイチゴの官能評価結果

シンガポール市場で購入したイチゴの官能評価結果をTable 1-3に示す。官能評価結果については、一部でシンガポール在住者と日本人の間で評価に異なる傾向がみられたため、全てのパネリストの結果に加えて、シンガポール在住者と日本人について個別に結果を示した。

甘味の強さはシンガポール在住者と日本人のいずれもエジプトのイチゴを低く、韓国のイチゴを高く評価した。酸味の強さについては、シンガポール在住者と日本人のパネルのいずれともすべてのイチゴについて評価結果に差はみられなかった。総合的な好みについてはシンガポール在住者のパネルは韓国のイチゴを高く、エジプトを低く評価した。しかし、最も高くされた韓国のイチゴでも評点は-0.1であった。また、エジプトとスペインの甘味の強さ及びエジプトの総合的な好みに関して、シンガポール在住者と日本人のパネルの間で評価に有意な差がみられた。

1-3-4 日本から輸送したイチゴの官能評価結果

日本から輸送したイチゴの官能評価結果をTable 1-4に示す。この結果は、1-3-3と同様に、全てのパネリストの合計に加えてシンガポール在住者と日本人のパネリストを分けて集計した結果を示した。シンガポール在住者のパネルは‘きらび香’を総合的な好みで高く評価し、‘ひのしずく’を低く評価した。また、酸味の強さについては‘あまおう’を高く、‘きらび香’低く評価した。日本人のパネルによる評価では甘味の強さで‘きらび香’が高く、‘あまおう’が低かったが、酸味の強さと総合的な好みについて差がみられなかった。

1-3-5 官能評価による各評価項目と総合的な好みとの相関

官能評価による甘味の強さ、酸味の強さと総合的な好みとの相関をTable 1-5に示す。シンガポール在住者と日本人のいずれとも、甘味の強さと総合的な好み間で高い相関がみられた。

1-3-6 機器分析値と官能評価結果の相関

シンガポール市場から調達したイチゴの機器分析値と官能評価結果の相関をTable 1-6に示す。機器分析による糖度及び糖酸比は、官能評価による甘味の強さと総合的な好みとの間で正の相関がみられた。また、シンガポール在住者は総合

的な好みと糖度の間で相関がみられたのに対して、日本人は糖酸比と相関がみられた。

日本から輸送したイチゴの機器分析値と官能評価結果の相関をTable 1-7に示す。総合的な好みと糖酸比の間には正の相関が、酸度との間に負の相関がみられた。また、糖酸比は甘味の強さとの間で正の相関がみられた。さらに、官能評価による酸味の強さは、糖度及び酸度と正の相関を示し、糖酸比と負の相関を示した。しかし、これらの結果は、シンガポール在住者と日本人の間に大きな違いがあるため、それぞれを分けて解析すると、日本人の官能評価結果はいずれの項目もすべての機器分析値と相関はみられなかった。

Table 1-1. Results of instrumental analysis of strawberries purchased from markets in Singapore.

Country of origin	Weight (g)	Hardness (kg/cm ²)	Color index		TSS (Brix%)	TA (%)	TSS/TA ratio
			L*	a*			
Egypt	30.1 ± 9.8	0.55 ± 0.04	38.6 ± 5.8	35.4 ± 5.8	7.5 ± 0.6	1.18 ± 0.10	6.4 ± 0.6
Mexico	34.7 ± 5.1	0.55 ± 0.04	34.5 ± 2.1	40.0 ± 3.0	7.7 ± 0.3	1.33 ± 0.16	5.8 ± 0.6
Republic of Korea	25.0 ± 3.8	0.37 ± 0.04	36.8 ± 1.9	42.4 ± 3.0	8.3 ± 0.8	0.54 ± 0.10	15.9 ± 3.7
Spain	28.8 ± 7.4	0.58 ± 0.04	36.3 ± 2.0	40.7 ± 2.9	7.7 ± 0.8	1.14 ± 0.15	6.8 ± 0.8
United State of America	54.7 ± 11.9	0.58 ± 0.05	31.9 ± 3.1	39.2 ± 4.6	9.3 ± 0.5	1.39 ± 0.20	6.8 ± 0.7
Japan, Benihoppe (control)	35.1 ± 5.2	0.48 ± 0.04	32.2 ± 1.6	43.2 ± 2.7	8.9 ± 0.6	0.70 ± 0.09	13.0 ± 2.1

Data are expressed as means ± standard deviation (n = 10). Mean values of each column with different letters are significantly different based on Tukey's multiple range test (p<0.05). TSS: total soluble solid; TA: titratable acidity.

Table 1-2. Results of instrumental analysis of strawberries from Japan.

Variety	Weight (g)	Hardness (kg/cm ²)	Color index		TSS (Brix%)	TA (%)	TSS/TA ratio
			L*	a*			
Amaoh	33.7 ± 2.5 a	0.30 ± 0.03 d	28.7 ± 4.8 b	37.5 ± 3.8 b	9.4 ± 0.4 b	0.80 ± 0.10 a	11.9 ± 1.6 b
Hinoshizuku	23.1 ± 1.7 b	0.37 ± 0.02 c	34.1 ± 2.1 a	43.5 ± 2.9 a	9.3 ± 0.6 a	0.64 ± 0.05 b	14.6 ± 1.5 b
Kirapika	30.8 ± 2.5 a	0.39 ± 0.02 bc	32.6 ± 3.2 ab	44.4 ± 2.7 a	8.9 ± 0.6 b	0.51 ± 0.04 c	17.7 ± 2.2 a
Tochiotome	35.3 ± 3.2 a	0.41 ± 0.03 b	29.9 ± 3.8 ab	41.9 ± 3.3 ab	8.8 ± 0.5 b	0.60 ± 0.06 bc	14.7 ± 1.5 ab
Benihoppe (control)	35.1 ± 5.2 a	0.48 ± 0.04 a	32.2 ± 1.6 ab	43.2 ± 2.7 a	8.9 ± 0.6 ab	0.70 ± 0.09 ab	13.0 ± 2.1 b

Data are expressed as means ± standard deviation (n = 10). Mean values of each column with different letters are significantly different based on Tukey's multiple range test (p<0.05). TSS: total soluble solid; TA: titratable acidity.

Table 1-3. Sensory evaluation results of strawberries purchased from markets in Singapore (Sensory evaluation A).

Assessor	Country of origin	Sweetness intensity	Sourness intensity	Overall preference
Total	Egypt	-2.1 ± 0.9 b	-0.4 ± 1.8	-1.9 ± 0.9 b
	Mexico	-0.7 ± 1.4 ab	-0.3 ± 1.4	-0.8 ± 1.3 ab
	Republic of Korea	0.6 ± 1.5 a	-0.7 ± 1.1	-0.1 ± 1.5 a
	Spain	-0.7 ± 1.7 ab	0.0 ± 1.5	-0.9 ± 1.3 ab
	United State of America	-0.5 ± 1.4 a	-0.4 ± 1.6	-0.7 ± 1.4 ab
Singaporean	Egypt	-2.6 ± 0.5 b	-0.4 ± 2.3	-2.4 ± 0.5 b
	Mexico	-0.4 ± 1.7 ab	0.1 ± 1.7	-0.6 ± 1.6 ab
	Republic of Korea	0.9 ± 1.6 a *	-0.7 ± 1.1	-0.1 ± 1.6 a *
	Spain	0.3 ± 1.8 a	0.1 ± 1.6	-1.1 ± 1.6 ab
	United State of America	-0.3 ± 1.6 ab	-0.6 ± 1.5	-0.4 ± 1.5 ab
Japanese	Egypt	-1.6 ± 1.0 b	-0.3 ± 1.4	-1.3 ± 1.0
	Mexico	-1.0 ± 1.2 ab *	-0.7 ± 1.1	-1.0 ± 1.0
	Republic of Korea	0.4 ± 1.5 a	-0.7 ± 1.1	0.0 ± 1.6
	Spain	-1.7 ± 0.8 b	-0.1 ± 1.5	-0.7 ± 1.0
	United State of America	-0.7 ± 1.3 ab	-0.3 ± 1.7	-1.0 ± 1.3

Each item was evaluated from -3 to +3 with Japanese Benihoppe as the control (0). Data are expressed as means ± standard deviation (n = 14). Mean values of each column with different letters are significantly different based on Tukey's multiple range test (p<0.05). * had significant differences at the 5% level using an unpaired t-test.

Table 1-4. Sensory evaluation results of strawberries from Japan (Sensory evaluation B).

Assessor	Variety	Sweetness intensity			Sourness intensity			Overall preference					
Total	Amaoh	0.1	±	1.2	ab	0.1	±	0.9	a	-0.2	±	1.2	b
	Hinoshizuku	-0.3	±	1.1	b	-0.5	±	0.8	ab	-0.3	±	1.1	b
	Kirapika	1.3	±	0.8	a	-1.3	±	0.9	b	1.0	±	1.0	a
	Tochiotome	0.1	±	1.5	ab	-0.5	±	1.1	ab	0.1	±	1.3	ab
Singaporean	Amaoh	0.3	±	1.4		0.6	±	0.5	a	-0.1	±	1.3	ab
	Hinoshizuku	-0.1	±	1.3		-0.4	±	1.0	ab	-0.4	±	1.1	b
	Kirapika	1.6	±	0.5		-1.6	±	1.1	b	1.4	±	0.8	a
	Tochiotome	0.3	±	1.8		-0.6	±	1.4	ab	0.1	±	1.6	ab
Japanese	Amaoh	0.0	±	1.2	b	-0.4	±	1.0		-0.3	±	1.1	
	Hinoshizuku	-0.4	±	0.8	ab	-0.6	±	0.5		-0.1	±	1.1	
	Kirapika	1.0	±	1.0	a	-1.0	±	0.6		0.6	±	1.0	
	Tochiotome	0.0	±	1.2	ab	-0.4	±	0.8		0.0	±	1.2	

Each item was evaluated from -3 to +3 with Japanese Benihoppe as the control (0). Data are expressed as means ± standard deviation. Total: (n = 14); Singaporean and Japanese: (n = 7). Mean values of each column with different letters are significantly different based on Tukey's multiple range test (p<0.05).

Table 1-5. Correlation coefficient between sweetness intensity and sourness intensity, and overall preference by sensory evaluation.

Sample	Assessor	Sweetness intensity	vs.	Overall preference	Sourness intensity	vs.	Overall preference
Strawberries distributed in Singapore (Sensory evaluation A)	Total	0.665	***		0.075		
	Singaporean	0.643	***		0.102		
	Japanese	0.758	***		0.044		
Strawberries transported from Japan (Sensory evaluation B)	Total	0.819	***		-0.176		
	Singaporean	0.831	***		-0.246		
	Japanese	0.782	***		-0.057		

The correlation between the sweetness intensity and sourness intensity, and overall preference was obtained by Spearman's rank correlation coefficient. For sensory evaluation A, Total: (n = 70, 14 assessors × five samples); Singaporean and Japanese: (n = 35, seven assessors × five samples). For sensory evaluation B, total: (n = 56, 14 assessors × five samples); Singaporean and Japanese: (n = 28, seven assessors × four samples). *** indicates significantly correlation at $p < 0.001$.

Table 1-6. Correlation coefficients between instrument analysis and sensory evaluation of strawberries from markets in Singapore.

Assessor	Item	Sensory evaluation		
		Overall preference	Sweetness intensity	Sourness intensity
Total	Hardness	0.002	-0.045	0.173
	TSS	0.363 **	0.459 ***	0.005
	TA	-0.052	-0.136	0.055
	TSS/TA ratio	0.255 *	0.377 **	-0.001
Singaporean	Hardness	0.042	0.070	0.157
	TSS	0.492 **	0.488 **	-0.034
	TA	0.057	-0.190	0.064
	TSS/TA ratio	0.220	0.448 **	-0.065
Japanese	Hardness	-0.054	-0.175	0.203
	TSS	0.260	0.417 *	0.026
	TA	-0.125	-0.058	0.057
	TSS/TA ratio	0.341 *	0.290	0.059

The correlation between the sweetness intensity and sourness intensity, and overall preference was obtained by Spearman's rank correlation coefficient. For sensory evaluation A, Total: (n = 70, 14 assessors × five samples); Singaporean and Japanese: (n = 35, seven assessors × five samples). For sensory evaluation B, total: (n = 56, 14 assessors × five samples); Singaporean and Japanese: (n = 28, seven assessors × four samples). *, ** and *** indicate significant correlations at $p < 0.05$, $p < 0.01$, and $p < 0.001$, respectively.

Table 1-7. Correlation coefficients between instrument analysis and sensory evaluation of strawberries from Japan.

Assesor	Item	Sensory evaluation		
		Overall preference	Sweetness intensity	Sourness intensity
Total	Hardness	0.249	0.177	-0.161
	TSS	-0.125	-0.063	0.345 *
	TA	-0.295 *	-0.263	0.500 ***
	TSS/TA ratio	0.419 **	0.376 **	-0.317 *
Singaporean	Hardness	0.256	0.184	-0.311
	TSS	-0.154	-0.072	0.463 *
	TA	-0.372	-0.266	0.627 **
	TSS/TA ratio	0.475 *	0.378 *	-0.476 *
Japanese	Hardness	0.250	0.176	0.042
	TSS	-0.091	-0.046	0.206
	TA	-0.217	-0.246	0.352
	TSS/TA ratio	0.377	0.051	-0.104

The correlation between the sensory evaluation and the instrumental analysis results was obtained by Spearman's rank correlation coefficient Total: (n = 56, 14 assessors × five samples); Singaporean and Japanese: (n = 28, seven assessors × four samples).

*, ** and *** indicate significantly correlations at $p < 0.05$, $p < 0.01$, and $p < 0.001$, respectively. TSS: total soluble solid; TA: titratable acidity.

1-4 考察

今回の調査ではシンガポールの市場からアメリカ、エジプト、スペイン、メキシコ、韓国で生産されたイチゴを入手することができた。これらは外観や大きさに大きな違いがみられた。機器分析の結果、アメリカ、エジプト、メキシコ及びスペインのイチゴは硬度が高く、貯蔵性が他と比較して高いと考えられた。しかし、これらはいずれも糖酸比が低く、食味はやや酸味が強く感じられることが予想された。糖酸比は、柑橘類やイチゴのような酸味のある果物の甘さを評価するために広く利用されている[18-20]。しかし、その中でもアメリカ産のイチゴは糖酸比が低かったものの、糖度と酸度のいずれも高い値を示したことから、非常に濃厚な味であることが予想された。韓国のイチゴは硬度が低く、糖度が高く酸度が低いといった特徴を持ち、日本のイチゴと機器分析値が近かった。

韓国のイチゴの包装には、品種や詳細な生産地等の表示はなかったが、果実の外観は報告されている‘梅香（メヒャン）’に酷似していた[21]。‘梅香’は日本で育成された‘章姫’と‘栃の峰’の交配によって作出された品種である。そのため、今回の調査に使用したイチゴは‘梅香’もしくは、これらをさらに交配して作出した後継品種であると予想された。‘梅香’は、親品種である‘章姫’とほぼ同じ硬度を持つと報告されている[21]。比較として用いた‘紅ほっぺ’は‘章姫’よりもやや硬い果実であり[4]、これは今回の結果とも一致する。

他の国のイチゴについても、同じく包装に詳細な品種等の記載はなく、外観から品種を推定することはできなかった。韓国と日本のイチゴは品質が近かったが、その他の国のイチゴの品質は大きく異なった。シンガポール市場から購入したイチゴには、いずれも包装に記載がないことから、栽培品種や栽培方法に基づく詳細な考察ができなかったが、同時に異なる国で生産されたイチゴの品質に関する他の研究はほとんどないため、この研究はイチゴの流通、販売に向けて有効な資料になることが期待される。

日本産の5種類のイチゴについても、同様に分析を行った（Table 1-2）。5種のイチゴはいずれも糖度に差はみられなかった。硬度と酸度については差がみられたが、異なる国で生産されたイチゴと比較すると、品質の差はわずかであった。これらの結果から、イチゴの生産国である日本では、たとえ品種が異なったとしても、比較的近い品質のイチゴを消費者は日常的に食べているのに対して、シンガポールのような輸入量の多い国の消費者は、かなり品質の異なるイチゴを食べて

いると考えられる。

官能評価の結果については、まずシンガポール市場で購入した産地の異なるイチゴについて検討する。総合的な好みについて、韓国のイチゴの評価が高く、エジプトのイチゴが低かった。しかし、シンガポール在住者と日本人のパネルはどちらも韓国のイチゴを対照の日本のイチゴとほぼ同じレベルで評価した（Table 1-3）。これは、対照として用いた日本のイチゴが他国で生産されたイチゴと比較して品質の点で優れていることを示唆していると考えられる。シンガポール在住者のパネルと日本人のパネルの評価による差を検討したところ、エジプトのイチゴの甘味の強さ及び総合的な好みの評価において有意な差がみられた。しかし、いずれのパネルも、エジプトのイチゴは、対照と比較して甘味の強さと総合的な好みを低いと評価していた。シンガポール在住者のパネルは、日本人のパネルよりも甘味の強さと総合的な好みに関してサンプル間に大きな差を示す傾向があり、これが評価の差につながったものと考えられた。

次に、日本から輸送したイチゴの官能評価結果について検討する。これらのイチゴはいずれも糖度に差はないものの、‘きらび香’の甘味の強さが‘ひのしずく’よりも有意に高いと評価された（Table 1-4）。糖は有機酸と混合することで、味覚として感じる甘味が低減される[22]。したがって、糖度に差がないにもかかわらず、甘味の強さに差がみられたのは酸度と酸度の違いによって引き起こされる糖酸比の違いがその要因と考えられた。酸味の強さについては、‘あまおう’が高く、‘きらび香’が有意に低いと評価された。シンガポール在住者と日本人のパネリストを分けて解析した結果、シンガポール在住者のパネルは‘あまおう’の酸味が強く、‘きらび香’が低いと評価し、これは機器分析によって得られた酸度の分析結果と一致していた。一方、日本人のパネルによる評価では、酸味の強さに差はみられなかった。

実施した官能評価の結果から甘味の強さ、酸味の強さと総合的な好みの相関を算出し、どのような特徴を持ったイチゴが好まれるかを検討した（Table 1-5）。その結果、シンガポール在住者と日本人のいずれのパネルも総合的な好みと甘味の強さとの間に高い相関がみられ、甘いイチゴが好まれることが明らかとなった。また、いずれのパネルも酸味の強さとの相関はみられず、酸味の強さについては好みに個人差が大きいことが示唆された。

官能評価は多数のパネリストの協力を必要とすることから、実施することは容易ではない。今回の試験は海外で実施したため、パネリストの協力を得ることは

特に困難であった。また、イチゴに限らず生鮮品は貯蔵中に品質が変化するため、官能評価を複数回に分けて実施することができず、十分なパネリストの数を確保することも難しい。そのため、今後もイチゴの品質の評価は機器分析によって行われることが多くなると考えられる。しかし、機器分析値から適切に品質を評価するためには官能評価と関連が深い項目をあらかじめ調べておくことが必要である。そのため、今回実施したイチゴの機器分析の結果と官能評価の関係を解析した。

官能評価Aの結果と機器分析値の関係をTable 1-6に示す。官能評価結果と機器分析値の関連については、ワインで広く研究がなされているが[23-25]、生鮮品に関する例は極めて少ない[26, 27]。その理由として、野菜や果物は個体間で品質の差が大きく、官能評価で明確な差を得ることが困難であることが考えられる[26]。今回の研究でも全体的に高い相関は得られなかったが、シンガポール在住者のパネルの総合的な好みと糖度の間と、日本人のパネルの総合的な好みと糖酸比の間には正の相関がみられた。官能評価における甘味の強さと糖度の間では、いずれのパネルでも相関がみられた。これらの結果は、シンガポール在住者のパネルは、日本人のパネルと比較してより糖度が高いイチゴを好んだことを示唆している。過去に行われたイチゴの官能評価と機器分析の結果の関連に関する研究では、糖度及び糖酸比はイチゴの嗜好性と関連が高いと報告されており[26, 28]、今回の結果とも一致する。

次に、官能評価Bの結果と機器分析値の関係をTable 1-7に示す。シンガポール在住者と日本人の結果を分けて結果を算出したところ、酸味の強さの評価においてシンガポール在住者のパネルは‘あまおう’が強く‘きらび香’が低いと評価したが、これは機器分析による酸度の分析結果と一致していた。日本人のパネルによる評価では差はみられなかった。また、シンガポール在住者のパネルによる評価では総合的な好みと糖酸比の間に相関がみられ、さらに糖酸比は甘味の強さとも相関がみられた。これらの結果は、シンガポール在住者のパネルは、日本人のパネルと比較してより甘味が強いイチゴを好むことを示唆していると考えられた。また、シンガポール在住者のパネルによる酸味の強さと酸度及び糖酸比との間には、相関がみられた。この官能評価による酸味の強さと機器分析による酸度は、今回の結果の中で最も強い正の相関を示し、糖酸比とは負の相関を示した。さらに、有意ではなかったが、総合的な好みと酸度との間に負の相関がある傾向がみられた。これらの結果からは、シンガポール在住者が日本人より酸味に対し

て敏感である可能性を示唆していると考えられた。地域による食への嗜好性の違いについては、日本人とスリランカ人の間について報告されているが、その要因は明らかになっていない[29]。苦味と酸味は毒の存在を示唆し、食物が未熟であることや腐敗していることを示すため、人間を含む生物はこれらの味を忌避する傾向がある[30]。苦味に対する感受性は遺伝的要因と食生活によって変化すると考えられているが[31]、酸味に対する感受性の変化に関する報告はほとんどない。嗜好は特徴的な味の食べ物を繰り返し摂取することにより、口蓋を訓練することによって確立される[32]。日本はイチゴの生産量が多いため、日本人は生鮮イチゴに対する食経験が比較的多いと考えられる。シンガポールでは果物の消費に関する統計がないため、近隣のマレーシアの参考にしたところ、1人あたり年間消費量が1 kgを超える果物は多いものから順にココナッツ、バナナ、パイナップル、ドリアン、スイカ、グアバ、スイートコーン、マンゴー、ジャックフルーツ、パパイヤ、マンゴスチン、ランブータンであった[33]。これらの果物の中には酸味が強いものはなく、東南アジア地域では酸味の強い果物を食す機会が少ない可能性が示唆された。そのため‘酸味の強さ’についてシンガポール在住者が日本人よりも官能評価結果と機器分析値に高い相関を示した理由は、酸味の強い果物を食べる機会が少ないため、酸味に強い感受性があるためであると考えた。今回の試験結果により、イチゴの嗜好性は民族や地域によって異なる場合がある可能性が示唆されたが、この仮説を立証するためにはより多くのパネリストを用い、複数回の試験を実施する必要がある。全く同じ品質の新鮮な果物は入手できないため、追試を行っても毎回少しずつ結果は変わることも予想されるが、試行回数を増やすことで、一定の傾向は得られると考えられるため、今後の研究によって明らかにしていきたい。

本研究では、世界中に分布しているイチゴの品質の違いを明らかにするとともに、消費者はその違いも認識できることが示された。さらに、糖度が高く酸度が低いイチゴが好まれ、この傾向が東南アジア地域ではより強いことが示唆された。しかし、今回の官能評価結果には味に影響を与えうる果実断面の色や香り等の要素の影響を排除しきれていないため、今後はこれらについても検討を行うとともに、得られた知見が今後のイチゴの品種開発や、海外輸出戦略の策定等に利用されることを期待する。

第2章 模擬果汁ゼリーを用いた評価系の構築と活用

2-1 背景と目的

第1章では生鮮イチゴの味について検討を行い、基本的には糖度が高いイチゴが好まれ、糖度に差がない場合は酸度が低く、糖酸比が高いイチゴが好まれる傾向がみられた。しかし、生鮮果実を官能評価するに当たっては、果実間の個体差が大きく複数の均質なサンプルを取得することはできないことや、サンプルの保存ができず複数回の試験が実施できない等の問題があることが明らかとなった。食品の味や嗜好性に影響を与える要因は大きさ、色、糖や有機酸、アミノ酸等の含有量及び組成、香り、食感など多岐にわたるが[34-36]、イチゴをはじめとする果物は同じ条件下で栽培された場合でもこれらが異なり、さらに単一の果物内であっても、部位ごとに各成分の濃度に大きな違いがある[37]。果実を官能評価する際にはサンプルの切り方等を工夫するなど、これらについて十分配慮して行う必要があるが、問題を完全に排除することはできない。そのため、サンプル間の僅かな差は官能評価で明らかにすることができず、有意差を得ることができるのは、2群に相当明確な差がある場合のみである。また、たとえ2群間で差が得られたとしても、前述したように味や嗜好性には要因が複合的に影響しているため、味に差をもたらした要因を特定することは困難である。

本章では、これらの問題を解決するために、まず果実を機器分析によって分析した。そして、その分析値を元に食品素材を利用して果実の味を再現し、これをもって官能評価を行うことで、分析値の差が食味に与える影響を検証するための評価系を考案した。今回は、まずイチゴの果汁中の主要な成分である糖と有機酸がイチゴの味に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。本研究では、特にイチゴの同一果実内での糖と有機酸の分布に着目し、これを詳細に調査するとともに、考案した評価系を用いて糖や有機酸の量ではなく偏在しているという事象が食味に影響を及ぼすかについて検証を行った。

2-2 材料及び方法

2-2-1 イチゴ果実の果汁中の糖度、遊離糖、有機酸濃度の測定

2-2-1-1 イチゴ果実

イチゴ果実は静岡県農林技術研究所（静岡県磐田市）で栽培した‘紅ほっぺ’を供した。イチゴはガラス温室で栽培され、果実は2018年4月に収穫されたものを使用した。これらの栽培はすべて‘紅ほっぺ’の慣行法に基づいて行われた[38]。

2-2-1-2 イチゴ果実内の糖度の偏在

完熟したイチゴを収穫して重量を測定し、19-23 gのものを20果選抜した。果実はがくを取り除いた後、Fig. 2-1のように19片に分割した。詳細な分割方法はまず、果梗部から果頂部にかけて5, 10, 10, 10 mmと余りになるように5枚にスライスした。10 mmの厚さの3枚のスライス、直径が13及び20.5 mmのコルクボーラーで打ち抜いた。その後、最も果頂部に近い1片を除くすべての切片を、栽培時に陽光が多く当たった面（表面）と陰になった面（裏面）に分割した。

分割した切片はそれぞれ100メッシュのゴース布にくるみ、手で搾汁して糖度計（SMART-1, 株式会社アタゴ）で糖度を測定した。

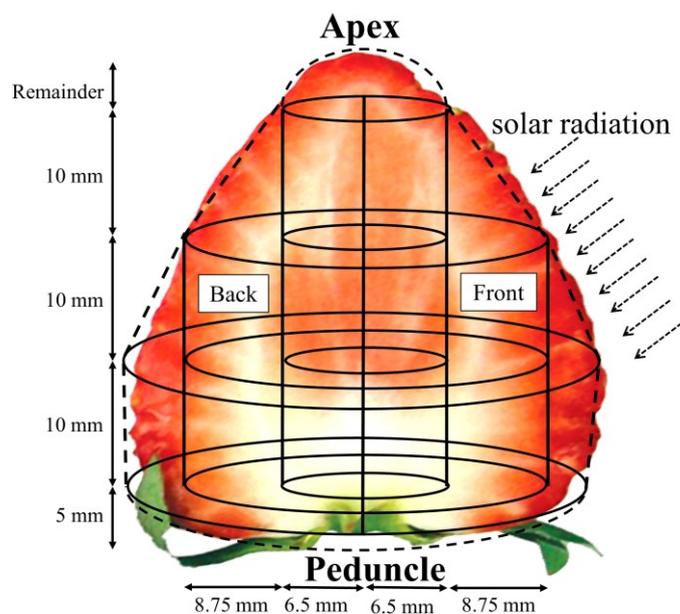


Fig. 2-1. Method of division the strawberry fruit for total soluble solid measurement.

“Front” is the surface that was predominantly exposed to the sun during cultivation, as opposed to the “Back”.

2-2-1-3 イチゴ果実中の遊離糖と有機酸の分析

完熟したイチゴ6果を採取し、それぞれを果梗部から果頂部にかけて重量で4等分し、I、II、III、IVの4つの切片に分離した (Fig. 2-2)。各切片は2-2-1-2と同じ方法で搾汁し、果汁の糖度を測定した。その後、果汁を4°C、6,400×gで10分間冷却遠心分離して上清を回収した。得られた上清は精製水で50倍に希釈し、ポアサイズ0.45 μmのポリテトラフルオロエチレン (PTFE) フィルターでろ過した。ろ過した上清は高速液体クロマトグラフィー (HPLC) を使用してイチゴの主要な遊離糖であるグルコース、フルクトース及びスクロースの濃度を測定した[39]。分析条件は以下の通りである。HPLC: Alliance2695 (Waters, Massachusetts, USA) ; カラム: SC1011 (8 mm I.D.×300 mm, 昭和電気株式会社) ; 移動相: 超純水; 流量: 1 mL min⁻¹; 検出器: 示差屈折検出器 (2414, Waters) ; 標準品: グルコース, フルクトース, スクロース (和光純薬工業株式会社)。

遊離糖の分析に用いたものと同じ果汁を精製水で5倍に希釈して遠心分離した上清をろ過し、HPLCを使用してコハク酸とともに、イチゴの主要な有機酸であるクエン酸とリンゴ酸の濃度を測定した[40]。分析条件は以下の通りである。HPLC: LC-10AD-Vp (株式会社島津製作所) ; カラム: Shim-pack SCR102H (8 mm I.D.×300 mm, 株式会社島津製作所) ; 移動相: 5 mM p-トルエンスルホン酸水溶液; 流量: 0.8 mL min⁻¹; 検出器: 電気伝導度検出器 (CDD-6A, 株式会社島津製作所) ; 標準品: クエン酸, リンゴ酸, コハク酸 (和光純薬工業株式会社)。

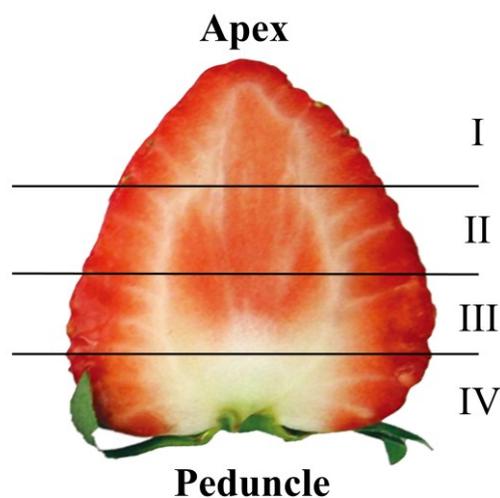


Fig. 2-2. Method of division the strawberry fruit for sugars and organic acids analysis.

2-2-2 模擬果汁ゼリーによる官能評価

イチゴの果実中の遊離糖と有機酸の偏在が食味に及ぼす影響を明らかにするために、2回の官能評価を実施した。

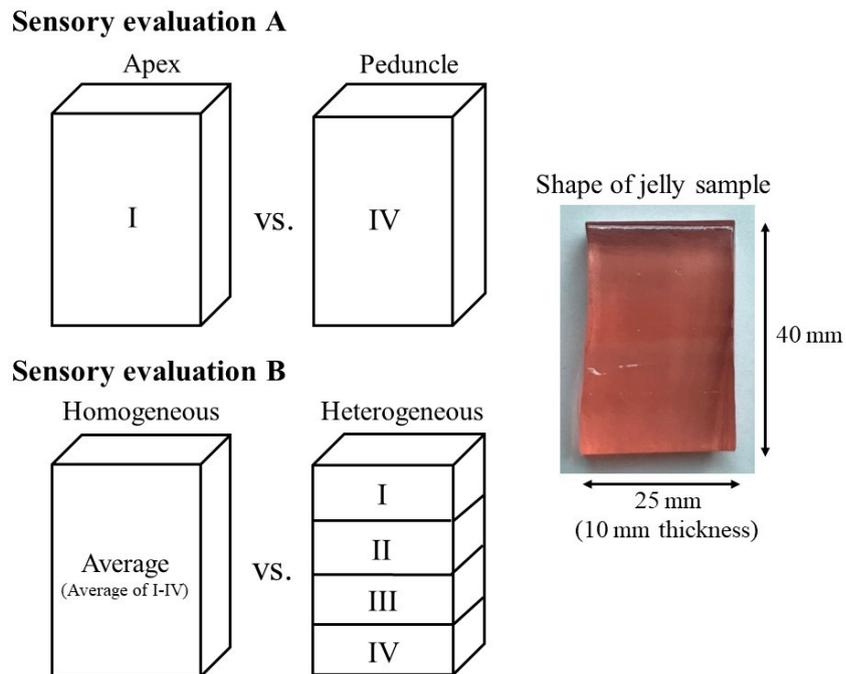


Fig. 2-3. Combinations of the simulated strawberry fruit juice jelly for sensory evaluation.

2-2-2-1 模擬果汁ゼリーを用いた官能評価によるイチゴの果梗部と果頂部の比較 (官能評価A)

まず、果梗部と果頂部の遊離糖と有機酸の濃度と組成の違いが味の違いとして認識できるかどうかを確認するために、各部分の遊離糖と有機酸の濃度を再現した模擬果汁ゼリーを調製し、これを用いて官能評価を行った (Fig. 2-3, Sensory evaluation A)。

Table 2-1に、調製した模擬果汁ゼリーの組成を示す。用いた原料はすべて食品グレードのものを使用した。グルコース (兼松塩商株式会社)、フルクトース (日新製糖株式会社)、スクロース (三井製糖株式会社)、クエン酸 (株式会社紅清)、リンゴ酸 (八宝食産株式会社) 及びイチゴ香料 (ストロベリーエッセンス, ゴールデンケリーパテント香料株式会社)、赤色の食品着色料 (アントシアレッドRS, グリコ栄養食品株式会社) を蒸留水に溶解して、果頂部 (I) 及び果梗部 (IV) の遊離糖及び有機酸の濃度を再現し、これを模擬果汁とした。調製した模擬果汁には模擬果汁の重量の3%の凝固剤 (クリアガー100, 青葉化成株式会社) を添加し、80°Cに加熱した。なお、凝固剤は主にカラギーナンとローストビーンガムで構成された、無味無臭のものを選定して使用した。加熱した模擬果汁は粗熱をとった後、加熱中の水分の蒸発を重量が減少した分と等量の蒸留水を加えることで補正した。重量減少を補正した模擬果汁は、810 mLを内寸150 mm×135 mm×47 mmのステンレス製の型に注ぎ、4°Cの冷蔵庫に18時間静置した。凝固したゼリーは、官能評価のために40 mm×25 mm×10 mmのサイズに切り出した。

ゼリーの官能評価に用いたパネルは31名のパネリストで構成され、その属性は年齢が20代5名、30代6名、40代8名、50代12名、性別は女性15名、男性16名であり、食品の評価に関する経験等については様々であった。ゼリーは品温を20°Cに調整し、3桁の不作為な数字でコード化した。パネリストは甘さの強さと酸味の強さについて、2点識別法で評価し[16, 17]、より甘いもしくはより酸味が強いと感じたサンプルを選択した。パネリストには、官能評価を行う際にゼリー1片を一口で食べるように指示した。

Table 2-1. Composition of simulated strawberry fruit juices.

Ingredient		Concentration (g/L)				Average ^a
		Part				
		I (Apex)	II	III	IV (Peduncle)	
Sugar	Glucose	24.6	21.6	19.0	15.5	20.2
	Fructose	26.4	23.1	20.4	17.0	21.7
	Sucrose	31.8	29.7	26.3	21.6	27.4
Organic acid	Citric	7.4	7.3	7.5	9.1	7.8
	Malic	1.9	1.9	1.8	1.8	1.9
Strawberry flavor						0.2
Red food coloring						0.2

^aAverage sugar and organic acid concentrations of I, II, III, and IV.

When producing jelly sample from the simulated strawberry fruit juice, a gelatinizing agent corresponding to 3% of the juice mass was added.

2-2-2-2 果実中の濃度勾配を再現した模擬果汁ゼリーの官能評価（官能評価B）

次に、模擬果汁ゼリーを使用してイチゴ果実内の遊離糖と有機酸の濃度勾配が味に及ぼす影響を検証した（Fig. 2-3, Sensory evaluation B）。均一な濃度の遊離糖と有機酸を含むゼリー（Homogeneous）を、実際の果物の分析値を再現した濃度が均一でないゼリー（Heterogeneous）と比較した。双方のゼリーに含まれる遊離糖と有機酸の総量は等しい。ゼリーの構成と成分をTable 2-1に示す。まず、2-2-2-1と同様の方法で、遊離糖と有機酸の濃度が異なる4つの模擬果汁（I、II、III、IV）を調製した。調製した模擬果汁は凝固剤を加えて加熱し、その間に水分の蒸発を加水によって補正した。次に水分を補正した模擬果汁を202.5 mLずつIV-III-II-Iの順序で同じ型に注いでゲル化させ、異なる遊離糖と有機酸の濃度が4層のゼリー（Heterogeneous）を調製した。次に遊離糖及び有機酸の濃度がI、II、III、IVの平均となるように調整した模擬果汁を調製した。調整した模擬果汁は同様の方法で凝固剤を加えて加熱し、その後同じサンプルを4回に分けてゲル化させて4層のゼリーとした（Homogeneous）。調製したゼリーは、2-2-2-1と同様の方法で40 mm×25 mm×10 mmに切り出し官能評価に供した。官能評価に用いたパネル及び方法については2-2-2-1と同様である。

2-2-3 統計解析

機器分析値は、平均値 ± 標準偏差で表現した。ANOVA による検定後、チューキー＝クレーマー法による多重検定 を行い、 $p < 0.05$ を有意差ありと判断した。統計解析は、SPSS 14.0 for Windows (SPSS Japan Inc.) を用いて実施した。

官能評価結果は、二項検定により行い、 $p < 0.05$ を有意差ありと判断した。

2-3 結果

2-3-1 イチゴ果実内での糖度差

Fig. 2-4にイチゴの各部位の糖度を示す。糖度は果頂部と果梗部の間で大きく異なった。果頂部の糖度は10.1%であったが、果梗部の糖度は低く表面で6.5%、裏面で6.3%であった。イチゴ果実は栽培中に多くの日射を受けた面の色が濃くなり、日本ではこの面を表と呼び、その逆を裏と呼ぶが、表面の糖度は裏面よりも高くなる傾向がみられた。しかし、この差は最大でも0.4%であった。

2-3-2 イチゴ果実間の部位による遊離糖と有機酸の濃度差

果頂部から果梗部にかけて4等分した各切片から得られた果汁の糖度、遊離糖及び有機酸の濃度をTable 2-2に示す。イチゴ果汁中に含まれる主な遊離糖はグルコース、フルクトース、スクロースであるため、これらの合計を総遊離糖（TS）とみなした。グルコース、フルクトース及びTSの濃度は、果頂部から果梗部かけて減少した。スクロースの分布は他よりも個体差によるばらつきが大きく、切片IとIVの間でのみ有意差がみられた。

イチゴに含まれる有機酸としてクエン酸、リンゴ酸、コハク酸を分析した。コハク酸の濃度はすべての分析サンプルで0.1 g/L未満であったため、クエン酸とリンゴ酸の合計をイチゴの総有機酸（TOA）とみなした。果実で部位によるクエン酸、リンゴ酸及びTOAの濃度に差はみられなかった。

2-3-3 遊離糖と有機酸の量及び組成がイチゴの味に与える影響（官能評価A）

イチゴ果実の果頂部と果梗部の遊離糖と有機酸の組成を再現した模擬果汁ゼリーの甘さと酸味を比較した結果をTable 2-3に示す。その結果、果頂部と果梗部の遊離糖と有機酸の濃度及び組成の差は、十分に一般消費者が識別できるレベルであることが確認された。

2-3-4 イチゴ果実内の遊離糖と有機酸の濃度勾配が食味に与える影響（官能評価B）

糖と有機酸の濃度が均一なゼリー（Homogeneous）と、実際のイチゴで測定された遊離糖と有機酸の濃度勾配を4層にして再現したゼリー（Heterogeneous）の甘味と酸味の強さを官能評価によって比較した結果をTable 2-4に示す。

Heterogeneousのサンプルは、2つのゼリーの各1片に含まれる遊離糖と有機酸の総量が同じであっても、**Homogeneous**よりも有意に甘味が低く、酸味が強いと評価された。これにより、遊離糖と有機酸の濃度勾配は味に大きな影響を与えることが明らかとなった。

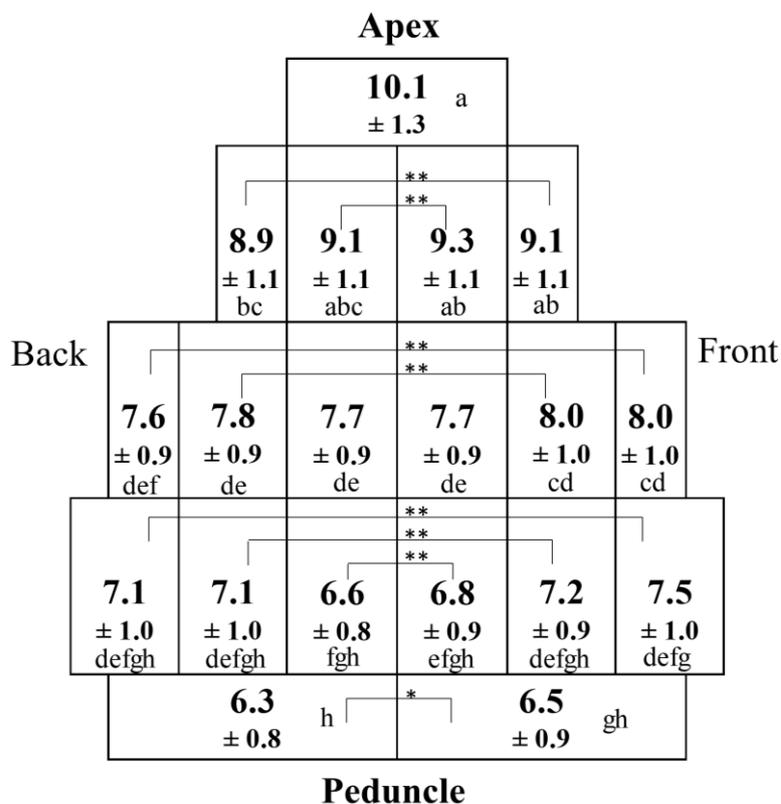


Fig. 2-4. Total soluble solid (°Brix) distribution of strawberry fruit.

The meaning of “Front” and “Back” are the same as in Fig. 2-1. The values are presented as mean ± S.D. (n = 20). Mean within a figure followed by different letters are significantly different according to Tukey’s multiple range test at $p < 0.05$. In addition, paired t-test between “Front” and “Back” for each part are performed. * and ** are significantly different at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.

Table 2-2. TSS, free sugar and organic acid content in parts I-IV of strawberry fruit, and TSS/TOA ratio.

Part	TSS (%)	Free sugar (g/L)				Organic acid (g/L)			TSS / TOA ratio
		Glucose	Fructose	Sucrose	Total (TS)	Citric	Malic	Total (TOA)	
I	10.0 ± 0.7 a	24.6 ± 1.3 a	26.4 ± 1.1 a	31.8 ± 5.3 a	82.8 ± 7.5 a	7.4 ± 1.2 a	1.9 ± 0.5 a	9.3 ± 1.1 a	10.9 ± 1.4 ab
II	8.6 ± 1.3 bc	21.6 ± 0.9 b	23.1 ± 1.0 b	29.7 ± 4.8 ab	74.4 ± 6.0 ab	7.3 ± 1.3 a	1.9 ± 0.5 a	9.1 ± 1.3 a	9.5 ± 1.3 bc
III	7.8 ± 1.1 cd	19.0 ± 1.3 c	20.4 ± 1.4 c	26.3 ± 4.7 ab	65.7 ± 6.2 bc	7.5 ± 1.3 a	1.8 ± 0.4 a	9.3 ± 1.1 a	8.5 ± 1.1 c
IV	7.0 ± 0.9 d	15.5 ± 1.9 d	17.0 ± 1.8 d	21.6 ± 5.4 b	54.2 ± 8.8 c	9.0 ± 1.3 a	1.8 ± 0.4 a	10.9 ± 1.2 a	6.5 ± 0.9 d

TSS, total soluble solid. TOA, total organic acid. The results are presented as mean ± S.D. (n = 6). Values marked with different letters within the same column are significantly different according to Tukey's multiple range test at p<0.05.

Table 2-3. Results of sensory evaluation A of simulated strawberry fruit juice jellies based on component analysis of fruit apex and peduncle region.

Attributes	Apex (I)	Peduncle (IV)	Statistical analysis
Sweetness	27	4	***
Sourness	8	23	*

"Sweetness" and "sourness" are investigated in terms of which one felt stronger. The results are presented as number of responses (n = 31). * and *** are significantly different according to two-tailed test at $p < 0.05$ and $p < 0.001$, respectively.

Table 2-4. Results of sensory evaluation B with different taste homogeneity.

Attribute	Homogeneous (Average of I-IV ^a)	Heterogeneous (4-layer of I-IV)	Statistical analysis
Sweetness	23	8	*
Sourness	9	22	*

^a As same as Table 1. "Sweetness" and "sourness" were investigated in the same as Table 2-3. The results are presented as number of respondents (n = 31). * is significantly different according to two-tailed test at $p < 0.05$.

2-4 考察

イチゴ果実中の糖度は、果頂部と果梗部の間で大きく異なり、果頂部の糖度は10.1%であったが、果梗部の糖度は低く表面で6.5%、裏面で6.3%であった。このような果実内での糖の濃度差については、メロンでも報告されているが[37]、イチゴの果実内の濃度はメロンよりも大きかった。また、イチゴ果実の表面の糖度は裏面よりも高くなる傾向がみられたが、この差は最大でも0.4%であり、果頂部と果梗部の差が3.0%以上であることと比較すると、差はわずかであった。

2-3-1の結果から、イチゴの果実内で糖度は果頂部から果梗部に向かって大きく変化していることが明らかになったため、遊離糖と有機酸の濃度の詳細を分析する際は、果頂部から果梗部にかけて4等分した。4等分した各部位の遊離糖と有機酸の濃度及び組成を検討した結果、グルコース、フルクトース及びTSの濃度は、果頂部から果梗部にかけて減少した。スクロースの分布は他よりも個体差が大きく、切片IとIVの間でのみ有意差がみられた。

イチゴに含まれる有機酸としてクエン酸、リンゴ酸、コハク酸を分析したが、コハク酸の濃度はすべての分析サンプルで0.1 g/L未満であったため、食味にはほとんど影響を与えないと考えられた。遊離糖は果頂部から果梗部にかけて減少したのに対して、有機酸はクエン酸、リンゴ酸及びTOAのいずれの濃度にも、部位による差はみられなかった。

Brix糖度を滴定酸度で除した糖酸比は、柑橘類やイチゴなどの酸味のある果物の甘さを評価するために広く利用されている[18-20]。今回は滴定を用いずHPLCで有機酸を分析したため、滴定酸度の代わりにTOAを使用して評価した。イチゴの糖度は果頂部から果梗部にかけて徐々に低下するが、TOAは一定のままであるため糖酸比も同様に低下する。イチゴの糖度は果頂部が高く、果梗部が低いことについては、詳細な報告はないものの一般的に知られていたが[41]、糖酸比が変化することについては本研究で初めて明らかになった。糖酸比は食した際の酸味の強さに大きく影響を与えるため、イチゴの果頂部から果梗部にかけての味の差は、糖度の差が与える影響以上に大きいことが予想される。また、遊離糖が果頂部から果梗部にかけて減少するにもかかわらず、有機酸の濃度が一定であることは、これらの蓄積に関連する代謝メカニズムが異なることを示唆している。今後は、これらの要因についても検討していきたい。

イチゴの果実の分析により、遊離糖の量及び組成と糖酸比が果頂部と果梗部で

大きな差があることが明らかとなった。次に、この違いは実際に人が食した際に識別できるレベルであるかを官能評価によって検討した。そこで、イチゴの個体差による影響を排除するため分析値をもとに模擬果汁を調製し、これを用いて官能評価を実施した。このような食品素材によるモデルを用いた食料品の評価は、ワインやチーズについて実施例があるが[42, 43]、生鮮果物や野菜等に関しては行われていない。

考案した評価系では、まず、イチゴ果実の果頂部と果梗部の遊離糖と有機酸の組成を再現した模擬果汁ゼリーの甘さと酸味を比較した。その結果、果頂部と果梗部の遊離糖と有機酸の濃度及び組成の差は、十分に一般消費者が識別できるレベルであることが確認された。2-3-2ではイチゴ果実内の遊離糖と有機酸の異なる分布傾向及び糖度と糖酸比の差について検討したが、実際の食味には遊離糖や有機酸に加えて、他の成分や香り、食感等もイチゴの甘味や酸味に寄与すると考えられる[34-36]。模擬果汁ゼリーを用いることで、果実内の香りや食感及びその他の成分の影響が排除され、果頂部と果梗部の遊離糖と有機酸の量と組成の違いが甘さと酸味に与える影響のみが評価できる。

さらに、イチゴは大きさによっては一口で食べることができないため、最初に味わった部分が次に食した部位の味覚に影響する可能性がある。たとえば、非常に甘い果頂部を食した後に果梗部を食すと、味の順応により果梗部の甘さを感じにくくなり、酸味をより強く感じる事が予想される[44]。逆に、果梗部を最初に食した場合、果頂部はより甘く感じる事が予想される。

2-3-1から2-3-3で、イチゴ果実内の遊離糖と有機酸の分布に大きな差があることが明らかになった。これらの差は、他の果物でも同様に味に影響を与えると予想される。したがって、生鮮果実の官能評価を行う際は、これらの影響を排除するために、あらかじめ果物内の糖度を始めとする各種成分の分布をまず分析し、その後に果実全体の平均値と品質に近い部分を一口大に切り出して実施することが望ましいと考えられた。

前述の模擬果汁ゼリーによる官能評価により、果頂部と果梗部の遊離糖及び有機酸の濃度と組成の差は、食味に影響を与えることが確認された。模擬果汁はゼリーにすることで、ゼリー内に濃度勾配をつけることが可能であるため、次に量ではなく、各成分が偏在していることが食味に影響を与えるかを検証した。その結果、Heterogeneousのサンプルは、2つのゼリーの各1片に含まれる遊離糖と有機酸の総量が同じであっても、Homogeneousよりも有意に甘味が低く、酸味が強い

と評価された。これにより、遊離糖と有機酸の濃度勾配は味に大きな影響を与えることが明らかとなった。

同様の研究は、主に減塩を目的として塩味について検討されており、塩味の場合も総量が等しくても濃度勾配があると、味をより強く感じる事が知られている[45]。有機酸は糖と混合されると感じる酸味は低下するが[22]、HeterogeneousのIIIとIVの部位に含まれている遊離糖の量は少ないため、酸味がより強く感じられたと考えられる。本研究では、濃度勾配を設けたものは甘味が弱く、酸味が強いと評価された。この原因は、糖酸比の低下による酸味の強さの増加が、遊離糖の濃度の増加が与える甘味の増加よりも、イチゴの味に大きな影響を与えたものと考えた。有機酸が人の味覚に影響を与える濃度の閾値は、イチゴに多く含まれるグルコース、フルクトース、スクロースよりも低いため[46-48]、果実の味に与える影響はより強いと考えられる。そのため、酸味のある果物の甘味を評価する際には糖度が利用されることが多いが、糖酸比の重要性をより強く検討する必要があると考えられる。

2-3-3では、生鮮果物の官能評価には一口サイズに切り出した切片を使用することが望ましいと考えられたが、生鮮品の官能評価の際には遊離糖や有機酸の量だけではなく、濃度勾配も影響することが明らかとなった。そのため、糖と有機酸の濃度が平均値から大きく乖離した部位を除いてから用いることで、さらに評価の精度を高められると考えられた。イチゴを例にとると、果実が一口で食べることができる大きさであった場合でも、果頂部や果梗部などの糖度が平均と大きく異なる部分を除去してから官能評価を行うことで、より正確な結果を得ることができると考えられた。

第3章 有機酸含有量がイチゴジャムの味及び嗜好性に与える影響

3-1 背景と目的

第1章で生鮮イチゴの味について検討を行ったが、イチゴは生鮮果実としてだけでなく加工品としても広く利用されている。特に海外ではイチゴは冷凍、ピューレ、ジャムなどで消費されることが多く、日本国内よりも加工イチゴに関する研究は進んでいる[10, 11]。

第1章では、生鮮イチゴについては糖度が高く、酸度が低いイチゴが好まれることが明らかになり、イチゴの食味及び嗜好性には糖による甘味と有機酸による酸味が大きく影響することが示された。加工品についても糖や有機酸は大きな影響を与えると予想されるため、検討を行うこととした。また、対象はイチゴの最も一般的な加工品であるジャムとした。イチゴジャムについては色[49]、加工方法[50]、保管[51]、原料の選定等[52]、様々な研究がなされているが、味の観点から評価した事例、特に有機酸濃度や糖と酸の比等に着目した例はない。

イチゴジャムを製造する際は、レモン汁や食品素材のクエン酸が加えられることが多いが、これの主な目的はpHを低下させることによって、ペクチンによるジャムの硬化作用を促進するためと考えられている[53]。しかし、有機酸の添加はジャムの物性だけでなく味や嗜好性にも大きく影響すると考えられる。この影響を検証するため、まず、有機酸の含有量が特に少ないイチゴ品種‘きらび香’を使用してジャムを作り[5]、このサンプルに食品素材のクエン酸とリンゴ酸を加えることで、有機酸の濃度のみが異なるジャムを複数調製した。そして、異なる濃度の有機酸を含むジャムサンプルの味と嗜好性を官能評価により評価した。

3-2 材料及び方法

3-2-1 イチゴ果実

イチゴ果実は静岡県農林技術研究所（静岡県磐田市）で栽培した‘きらび香’を供した。イチゴはガラス温室で栽培され、果実は2019年4月に収穫されたものを使用した。これらの栽培はすべて‘きらび香’の慣行法に基づいて行われた[5]。

3-2-2 ジャムの調製

完熟したイチゴを収穫し、流水で軽く洗浄した。洗浄したイチゴは表面の水をふき取った後、がくを除去してミキサー（TMV1100, テスコム電機株式会社）で20秒間粉碎し、ペースト状にした。得られたペーストは開口部が1 mm幅の篩に通して主に果梗部付近の大きな固形物を除去した。ペーストをジャムに加工する方法はIgual et al., [54]及びRibes et al., [55]の方法を参照した。イチゴペーストとグラニュー糖（大日本明治製糖株式会社）を65:35の比率で混合し、クッキングブレンダー（SBC-1000J, Cuisinart, Inc., Stamford, USA）でイチゴペーストと砂糖の混合物のBrixを60%に到達するまで加熱し、ジャムとした。この操作に要した加熱時間は約30分間であった。

得られたジャムは200 gずつ等分し、異なる量のクエン酸（株式会社紅清）とリンゴ酸（八宝食産株式会社）をそれぞれ添加した。これらの操作によって、有機酸無添加の対照に加えて異なる量の有機酸を含むジャムサンプルI、II、IIIを調製した。各サンプルに添加したクエン酸とリンゴ酸の量はTable 3-1に示す通りである。

Table 3-1. The amount of citric acid and malic acid added to the strawberry jam.

Sample	Additive amount (mg/g)		
	Citric	Malic	Total
Control	0.00	0.00	0.00
I	3.18	0.82	4.00
II	6.36	1.64	8.00
III	9.54	2.46	12.00

3-2-3 イチゴペースト及びジャムの糖度、遊離糖、有機酸の分析

ジャムの原料として使用したイチゴペースト及び調製したジャムの糖度(°Brix)を、屈折糖度計(PAL-S, 株式会社アタゴ)を使用して20°Cで測定した。また、ペーストは50倍に、ジャムは250倍に精製水で希釈した後4°C、6,400×gで10分間冷却遠心分離して上清を回収した。得られた上清は精製水で50倍に希釈し、0.45 µmのPTFEフィルターでろ過した。ろ過した上清は、2-2-1-3と同様の方法で遊離糖を分析した。

同じく、ペースト及びジャムを精製水で5倍に希釈して冷却遠心分離した上清をろ過し、2-2-1-3と同様の方法で有機酸を分析した。

3-2-4 ジャムのpH、色及びテクスチャーの測定

3-2-2で調製した対照及びI、II、IIIの4種のジャムはpHメーター(LAQUA D-74, 株式会社堀場製作所)でpHを測定した。さらに、それぞれのジャムを厚さ10 mmの石英セルに充填してカラーリーダー(CR-13, コニカミノルタ株式会社)で色を測定した。測定した色は、L*a*b*カラーシステム(CIE 1976, CIELAB)で示した。測定は、各サンプルについて5回ずつ行った。

同じジャムサンプルを直径35 mm、高さ15 mmのペトリ皿に充填し、直径20 mmの円柱型プランジャーを装着したユニバーサル試験機(Reoner II RE2-3305B, 株式会社山電)でジャムの硬さ、凝集性、付着性を測定した[56]。なお、測定を行った際の条件は以下の通りである。測定速度: 5 mm/sec; 戻り距離: 20 mm; 歪率: 50%。テクスチャー測定は、各サンプルについて5回ずつ実施した。

3-2-5 官能評価

ジャムの官能評価は25名のパネリストで実施し、その属性は年齢が10代1名、20代5名、30代3名、40代7名、50代8名、60代以上1名であった。性別は女性10名、男性15名であり、食品の評価に関する経験等については様々であった。ジャムは品温20°Cに調整し、3桁の不作為な数字でコード化した。パネリストは、甘味の強さと酸味の強さ及び総合的な好みの3つの項目について、採点法[16, 17]によって評価した。評価は甘味の強さと酸味の強さは1(まったく甘味/酸味がない)から9(非常に甘味/酸味が強い)までの、総合的な好みについては1(非常に好ましくない)から9(非常に好ましい)の9点の非構造型スケールを用いて行った。

3-2-6 統計解析

得られた結果は、平均値 ± 標準偏差で表現した。ANOVAによる検定後、チューキー＝クレーマー法による多重検定を行い、 $p < 0.05$ を有意差ありとした。統計解析は、SPSS 14.0 for Windows (SPSS Japan Inc.) を用いて実施した。

3-3 結果

3-3-1 イチゴペースト及びジャムの糖度、遊離糖、有機酸

材料として使用したイチゴのペーストと調製したイチゴのジャムの糖度及び遊離糖、有機酸の濃度をTable 3-2に示す。グラニュー糖と混合したイチゴのペーストは、加熱してBrixが60%に到達するまでに重量が34.5%減少した。ジャムを調製する際に加えたグラニュー糖はそのほとんどがスクロースであるため、重量の減少がすべて水分の蒸発によるものと仮定すれば、グルコースとフルクトースの濃度はそれぞれ82.3、75.4 mg/gになるはずであるが、ジャムの分析値はこれを大きく上回った。有機酸については、クエン酸の比率は減少し、リンゴ酸の比率が増加した。

また、これらの分析値及び有機酸の添加量から、対照及びI、II、IIIの4種のジャムの遊離糖と有機酸の濃度を算出したものをTable 3-3に示す。

3-3-2 イチゴジャムのpH、色及びテクスチャー

対照及び有機酸を添加したジャムのpH、色及びテクスチャーをTable 3-4に示した。ジャムのpHは、有機酸の添加量が増えるにつれて低下した。色に関しては、有機酸の添加によりa*及びb*が増加したが、その変化は添加した量に関わらず一定であった。テクスチャーについては、有機酸を添加しても硬さと凝集性は変化しなかった。一方、8 mg/g以上の有機酸を添加することによって付着性が増加した。

3-3-3 官能評価

対照及び異なる量の有機酸を添加したイチゴジャムの官能評価結果をTable 3-4に示す。有機酸の添加量が増加するにつれて甘味の強さは減少し、酸味の強さは増加した。しかし、添加された有機酸の量の違いにかかわらず嗜好性に差はみられなかった。また、この結果はいずれの年齢及び性別でも同様の傾向を示した。

Table 3-2. TSS, free sugar and organic acid content in strawberry paste and jam.

Sample	SSC (°Brix)	Free sugar (mg/g)				Organic acid (mg/g)		
		Glucose	Fructose	Sucrose	Total	Citric	Malic	Total
Paste	9.7	53.9	49.4	3.6	107.0	7.3	1.3	8.6
Jam	60.0	206.3	157.0	424.0	787.2	6.5	1.7	8.2

SSC, soluble solid content. The paste was mixed with sugar in a ratio of 65:35 and heated until °Brix was 60% to jam.

Table 3-3. Free sugar and organic acid content in strawberry jam samples.

Sample	Free sugar (mg/g)				Organic acid (mg/g)		
	Glucose	Fructose	Sucrose	Total	Citric	Malic	Total
Control	206.3	157.0	424.0	787.2	6.5	1.7	8.2
I	205.5	156.3	422.3	784.1	9.7	2.5	12.2
II	204.6	155.7	420.6	781.0	12.8	3.3	16.1
III	203.8	155.1	419.0	777.9	15.9	4.1	20.0

These values were calculated from the analytical values of the prepared jam and the amounts of citric acid and malic acid added. The value of control is the same as the value of jam in Table 3-2.

Table 3-4. Changes in pH, color index and texture of strawberry jam by adding organic acid.

Sample	pH	Color index			ΔE^*_{ab}	Texture		
		L*	a*	b*		Hardness (N)	Cohesiveness	Adhesiveness (N/m ²)
Control	3.50 ± 0.02 a	12.9 ± 0.1	10.3 ± 0.2 b	2.4 ± 0.5 b	-	0.12 ± 0.01	0.89 ± 0.02	93.6 ± 1.3 b
I	3.18 ± 0.02 b	13.7 ± 0.5	12.6 ± 0.5 a	3.8 ± 0.7 a	2.8	0.12 ± 0.00	0.88 ± 0.01	93.8 ± 5.9 b
II	2.93 ± 0.01 c	13.2 ± 0.6	12.9 ± 0.5 a	4.8 ± 0.8 a	3.5	0.11 ± 0.00	0.89 ± 0.02	104.2 ± 6.6 a
III	2.75 ± 0.01 d	13.1 ± 0.5	12.4 ± 0.7 a	4.3 ± 0.8 a	2.8	0.11 ± 0.01	0.89 ± 0.01	105.6 ± 1.6 a

The results are presented as mean ± S.D. (n = 5). Values marked with different letters within the same column are significantly different according to Tukey's multiple range test at p<0.05.

Table 3-5. Results of sensory evaluation with strawberry jams of different concentration of organic acid.

Total

Sample	Sweetness	Sourness	Preference
Control	7.5 ± 1.2 a	2.6 ± 0.9 d	5.3 ± 2.0
I	6.5 ± 1.0 b	4.1 ± 1.1 c	5.8 ± 1.5
II	5.1 ± 1.4 c	6.3 ± 1.3 b	6.0 ± 1.5
III	4.7 ± 1.5 c	7.1 ± 1.4 a	5.4 ± 1.5

(n = 25)

Both genders

Sample	Sweetness		Sourness		Preference	
	Female	Male	Female	Male	Female	Male
Control	7.0 ± 1.5 a	7.8 ± 1.2 a	2.4 ± 0.7 c	2.7 ± 1.0 d	5.8 ± 2.1	5.0 ± 1.9
I	6.3 ± 1.0 ab	6.6 ± 1.1 b	4.0 ± 1.1 b	4.2 ± 1.1 c	5.7 ± 1.5	5.9 ± 1.4
II	5.8 ± 1.4 ab	4.6 ± 1.3 c	6.6 ± 1.4 a	6.1 ± 1.2 b	6.4 ± 1.6	5.8 ± 1.5
III	4.8 ± 1.6 b	4.5 ± 1.4 c	6.9 ± 1.8 a	7.2 ± 1.1 a	5.7 ± 1.6	5.2 ± 1.4

Female; (n = 10). Male; (n = 15)

Age groups

Sample	Sweetness			Sourness			Preference		
	Under 39	40-49	Over 50	Under 39	40-49	Over 50	Under 39	40-49	Over 50
Control	7.8 ± 1.4 a	7.4 ± 1.5 a	7.2 ± 1.3 a	2.4 ± 1.2 c	2.6 ± 0.7 d	2.7 ± 0.8 cd	5.8 ± 2.2	4.7 ± 1.8	5.2 ± 1.9
I	6.4 ± 1.0 ab	6.1 ± 1.4 ab	6.8 ± 0.7 a	4.3 ± 0.9 b	4.0 ± 1.0 c	4.0 ± 1.4 bc	6.1 ± 1.6	5.5 ± 1.6	5.7 ± 1.2
II	5.2 ± 1.7 bc	5.3 ± 1.2 b	4.8 ± 1.4 b	6.6 ± 1.2 a	6.3 ± 0.6 b	5.9 ± 1.7 ab	6.6 ± 1.6	5.6 ± 0.9	5.9 ± 1.8
III	4.5 ± 1.6 cd	4.4 ± 1.1 b	5.0 ± 1.7 b	7.4 ± 0.9 a	7.6 ± 0.6 a	6.4 ± 2.0 a	5.4 ± 1.4	5.0 ± 2.2	5.8 ± 1.0

Under 39; (n = 9). 40-49; (n = 7). Over 50; (n = 9).

Each item was evaluated on a 9-point unstructured scale from 1 (absolutely no sweetness/sourness/undesirable) to 9 (extremely sweet/sour/desirable). The results are presented as mean ± S.D. Values marked with different letters within the same column are significantly different according to Tukey's multiple range test at p<0.05.

3-4 考察

本章では、イチゴジャムの有機酸含有量が品質に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、その中でも特に味と嗜好性に焦点を当てて研究した。イチゴジャムを製造する場合、レモン果汁やクエン酸を加えることが多いが、その主な目的はペクチンによるジャムの硬化を支援するために、pHを下げることである[53]。色をより鮮やかにすることも目的とされていると考えられるが、一般的ないわゆるレシピ本には記載があるものの、食品加工等に関する書籍には記載がなく、研究事例もみられなかった。また、本研究に当たっては世界中の多くのイチゴジャムのレシピを参照したが、加えられたレモン果汁や有機酸の量にはかなりの差があった。

有機酸の添加量については無添加のものもあるが、比較的多めに添加されていたものはイチゴと砂糖の混合物に対して約1%の有機酸が加えられていた。これらの調査結果から、イチゴジャムに含まれる有機酸は、イチゴに元々含まれていた量と組み合わせた場合、多いもので約2%であると想定した。有機酸を添加する前のジャム中の濃度は約0.8%であったため、調査結果をふまえて添加量は0.4、0.8、及び1.2%に設定した。ジャムの製造時に利用される有機酸はほとんどの場合がクエン酸のみであったが、有機酸の比率の変化による影響を排除するため、クエン酸とリンゴ酸の比率が同じになるように配慮した。また、ジャムにレモン果汁やクエン酸を加えるタイミングは、加熱前と加熱後のいずれの場合もみられたが、本研究では加熱による有機酸の分解や揮発による減少と、糖の酸加水分解による組成の変化を防ぐため、加熱後に添加した。

イチゴジャムは、有機酸を添加することによってa*及びb*値が大幅に増加した。これらは、ジャムの赤みと黄色みが増加したことを示唆しており、有機酸の添加はジャムの色を鮮やかにしたと考えられた。しかし、有機酸の添加量を4 mg/gから12 mg/gに増やしてもそれ以上の色の変化はみられなかった。したがって、色を鮮やかにすることが目的であるならば、必要な有機酸の量は4 mg/g以下であると考えられた。テクスチャーに関しては、有機酸の添加は硬度と凝集性には影響を与えなかったが、8 mg/g以上の添加で付着性が増加した。これは、ペクチンのゲル化能がpHの低下により低下したと考えられた[53]。

次に、有機酸の添加によるジャムの味の変化について検討する。有機酸の添加量が増えるにつれてジャムの甘味の強さが低下すると評価されたが、添加量が8

mg/g (II) と12 mg/g (III) のものについては差がないと評価された。一方、酸味の強さについては添加量が増加するにつれて増加し、すべてのサンプルが明確に識別された。しかしながら、総合的な好みについては有機酸の添加量に関わらず差はみられなかった。これらの結果は、有機酸の量がジャムの甘味と酸味に大きく影響することを示唆している。しかし、どの程度の酸味の強さを好むかについては個人差が大きく、嗜好性の面から考慮すると、特に適した有機酸濃度があるわけではないと考えられた。味の感じ方や嗜好性は年齢や性別によって変化することがあるため個別にも検討したが[57, 58]、すべて同じ傾向を示した。

これらの結果から、イチゴジャムに有機酸を加えると色、食感、味が変化することが明らかとなった。しかし、目的に応じて添加量を変更する必要があり、色を鮮やかにするためであれば少量でも良いと考えられた。また、有機酸の添加はペクチンのゲル化能を補助することが目的の一つであるが、本研究では有機酸の添加はジャムの硬さに影響を与えなかった。ペクチンの挙動については不明な事が多く、今後のさらなる研究が必要であると考えられる。有機酸の添加はジャムの味を大きく変えるがその好みは幅広く、非常に甘いジャムを好むパネリストとかなり酸味の強いジャムを好むパネリストのいずれもみられた。そのため、嗜好性の面から検討すると、イチゴジャムにとって適切な有機酸量というものを設定することができないため、イチゴジャムを製造する際は数種類の酸味の異なるものを作り、消費者に選択してもらうことが望ましいと考えられた。

結章

イチゴ(*Fragaria × ananassa* Duchesne)は世界中で生食、加工用として多く栽培されている主要な農産物の一つであるが、その‘おいしさ’を構成する要因については不明なことが多かった。この要因としては、イチゴに限らず生鮮果物は同じ条件で栽培されたものでも大きさや色、糖度、酸度、食感等が大きく異なるため、複数の均一なサンプルを得ることができず、官能評価で明確な結果を得ることが困難なことが原因であると考えられる。また、果実を評価する際は、単一の果実の中でも部位によって含有成分の種類や量、食感等が異なることなども、味に関する研究の障害となってきた。

本博士論文の第1章では、世界各国及び日本国内で流通しているイチゴの機器分析と官能評価から、生鮮イチゴについては糖度が高く、酸味が低いイチゴが好まれる傾向があることが明らかとなった。しかし、併せてイチゴの嗜好性は地域や食経験によっても変わりうることが示唆された。

第2章では、果実中の糖及び有機酸等の分析を行い、その分析値を再現した模擬果汁を食品素材のみで調製し、これを官能評価することで果実の分析値の差が食味に与える影響を検証するための評価系を考案した。その結果、考案した評価系を用いてイチゴの果頂部と果梗部の甘味と酸味は、人が十分に認識できるレベルであることを明らかにした。さらに、濃度が均一な模擬果汁ゼリーとイチゴを再現して不均一にしたゼリーの官能評価により、果実中の糖と有機酸の濃度勾配は食味に影響を与えること明らかにした。

第3章では、有機酸含有量がイチゴジャムの味及び嗜好性に与える影響について検討を行った。第1章で生鮮イチゴについては甘味が強いと感じるものが好まれることが明らかとなったが、イチゴジャムについては、心地よいと感じる酸味の強さにかなりの個人差があり、生鮮イチゴとは異なる傾向がみられた。

これらの一連の研究により、イチゴの食味には糖と有機酸が大きく影響することが明らかとなった。第1章では、消費者は糖度と糖酸比が共に高いイチゴを好んだ。これは、消費者はより甘味を強く感じるイチゴを好むが、有機酸の存在はその甘味を大幅に感じにくくするため、イチゴの‘おいしさ’には糖の量だけでなく酸の少なさが重要であると考えられる。第3章ではジャムの有機酸量について検討を行ったが、こちらは個人差が大きいことから嗜好性に一定の傾向はみられず、生鮮イチゴを食した際とは異なる傾向がみられた。今後は、第2章で考案

した評価系を応用し、糖や有機酸がイチゴの味に与える影響をより詳細に明らかにするとともに、香りや硬さ等の影響についても検討していく。また、イチゴ以外の種々の生鮮果実について研究を続けることで、これまで研究が進んでこなかった生鮮果実の‘おいしさ’に関わる多くの因子が徐々に解決していきたい。

謝辞

本研究を遂行し、博士論文を執筆するに当たって終始丁寧なご指導、ご鞭撻を賜りました静岡県立大学薬食生命科学総合学府調理科学研究室の新井映子先生及び伊藤聖子先生に心からお礼申し上げます。また、英文についてご指導いただいたHawke Philip先生に謹んでお礼申し上げます。加えて、本論文の審査過程において、ご助言とご指導を賜りました静岡県立大学食品栄養科学部の市川陽子教授、熊澤茂則教授、下山田真教授に厚く感謝の意を表します。

研究を進めるあたり、数々のご助言とご協力をいただくとともに、共に研究に励んでいただいた静岡県農林技術研究所の小杉徹様、中嶋輝子様、河田智明様、井狩徹様、大場聖司様、豊泉友康様及びイチゴ研究についてご指導いただいた竹内隆様、斎藤正弘様に深く感謝申し上げます。

また、本研究の一部は海外で実施しましたが、その際には静岡県経済農業協同組合の皆様、三井化学株式会社及び三井化学シンガポールR&Dセンターの皆様、静岡県庁の皆様にご多大なるご協力をいただきました。改めて厚くお礼申し上げます。

最後に、仕事と子育てを両立させながら博士課程に進学するのは厳しいこともありましたが、無事にやり遂げることができたのは終始あたたかくご指導いただいた両先生を始め、多くの皆様のサポートによるものです。重ねてお礼申し上げます。また、私のこのような行動に対し、理解を示し、サポートしてくれた妻と家族に感謝します。

令和2年2月

池ヶ谷篤

参考文献

- [1] FAO Statistic. 2017. Rome. Italy.
- [2] Darrow, G.: “The Strawberry: History, breeding and physiology”. Holt, Rinehart and Winston, New York, (1966).
- [3] 織田弥三郎: 「栽培イチゴの起源と来歴」, 農文協編『イチゴ大辞典』, pp11–37 (2016).
- [4] 竹内隆, 藤浪裕幸, 河田智明, 松村雅彦: イチゴ新品種 ‘紅ほっぺ (仮称)’ の育成経過と主特性. *静岡県農業試験場研究報告*, **44**, 13–24 (1999).
- [5] 河田智明, 竹内隆, 井狩徹, 望月麻衣, 大石智広, 済木千恵子, 池ヶ谷篤, 五藤由香里: イチゴ新品種 ‘きらび香 (仮称)’ の育成経過と主特性. *静岡県農林技術研究所研究報告*, **9**, 1–9 (2016).
- [6] 西本登志: 「促成栽培の基本技術」, 農文協編『イチゴ大辞典』, pp103–120 (2016).
- [7] 佐藤侑美佳, 大木浩, 鈴木菊雄, 鈴木秀章: 結露センサー付き複合環境制御装置を用いた湿度管理による促成ミニトマトの裂果抑制. *千葉県農林総合研究センター研究報告*, **10**, 11–18 (2018).
- [8] Angelini, R (Ed.): La fregola. Bayer Crop Science, Milan, (2010).
- [9] Nunes, C.N., Morais, A.M.M.B., Brecht, J.K. and Sargent, S.A.: Fruit maturity and storage temperature influence response of strawberries to controlled atmospheres. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, **127**, 836–842 (2002).
- [10] Aaby, K., Grimsbo, I.H., Hovda, M.B. and Rode, T.M.: Effect of high pressure and thermal processing on shelf life and quality of strawberry purée and juice. *Food Chem.*,

260, 115–123 (2018).

[11] Kovačević, D.B., Putnik, P., Dragović-Uzelac, V., Vahčića, N., Babojelić, M.S. and Levaj, B.: Influences of organically and conventionally grown strawberry cultivars on anthocyanins content and color in purees and low-sugar jams. *Food Chem.*, **181**, 94–100 (2015).

[12] Redit, W.H. and Hamer, A.A.: Precooling and shipping Louisiana strawberries. U.S. Dept. of Agric., Washington, D.C., (1959).

[13] Li, C. and Kader, A.A.: Residual effects of controlled atmospheres on postharvest physiology and quality of strawberries. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, **114**, 629–634 (1989).

[14] Chandra, D., Choi, A., Lee, J.S., Lee, J. and Kim, J.: 2015. Changes in physicochemical and sensory qualities of “Goha” strawberries treated with different conditions of carbon dioxide. *Agric. Sci.*, **6**, 325–334 (2015).

[15] 遠藤(飛川)みのり, 曾根一純: 航空便および船便輸送において新型包装容器およびMA包装がイチゴ果実にもたらす損傷低減効果の評価, *園芸学研究*, **16**, 95–104 (2017).

[16] Meilgaard, M., Civille, G., Carr, and T. Carr. (Eds.) 2007. Sensory evaluation technique (4th ed.). CRC Press, New York, (2007).

[17] 佐藤信: 統計的官能評価法, 日科技連, 東京, (1985).

[18] Fawole, O.A. and Opara, U.L.: Harvest discrimination of pomegranate fruit: Postharvest quality changes and relationships between instrumental and sensory attributes during shelf life. *J. Food Sci.*, **72**, 1264–1272 (2013).

[19] Qiu, S., Wang, J. and Gao, L.: Qualification and quantization of processed strawberry juice based on electronic nose and tongue. *LWT-Food Sci. Technol.*, **60**, 115–

123 (2015).

[20] Zhou, Y., He, W., Zheng, W., Tan, Q., Xie, Z., Zheng, C. and Hu, C.: Fruit sugar and organic acid were significantly related to fruit Mg of six citrus cultivars. *Food Chem.*, **259**, 278–285 (2018).

[21] 松本和浩, 李忠峴, 千種弼, 金泰日, 田村文男, 田辺賢二, 黄龍洙: 韓国産イチゴ新品種の特性と貯蔵性の品種間差異, *園芸学研究*, **7**, 293–297 (2008).

[22] Green, B.G., Lim, J., Osterhoff, F., Blacher, K. and Nachtigal, D.: Taste mixture interactions: Suppression, additivity, and the predominance of sweetness. *Physiol. Behav.* **101**, 731–737 (2010).

[23] Liu, J., Toldam-Andersen, T.B., Petersen, M.A., Zhang, S., Arneborg, N. and Bredie, W.L.P.: Instrumental and sensory characterization of Solaris white wines in Denmark. *Food Chem.*, **166**, 133–142 (2015).

[24] Sherman, M., Harbertson, J.F., Greenwood, D.R., Villas-Bôas, S.G., Fiehn O. and Heymann, H.: Reference samples guide variable selection for correlation of wine sensory and volatile profiling data. *Food Chem.*, **267**, 344–354 (2018).

[25] Soufleros, E.H., Pissa, I., Petridis, D., Lygerakis, M., Mermelas, K., Boukouvalas, G. and Tsimitakis, E.: Instrumental analysis of volatile and other compounds of Greek kiwi wine; sensory evaluation and optimisation of its composition. *Food Chem.*, **75**, 487–500 (2001).

[26] Gunness, P., Kravchuk, O., Nottingham, S.M., D'Arcy, B.R. and Gidley, M.J.: Sensory analysis of individual strawberry fruit and comparison with instrumental analysis. *Postharvest Bio. Technol.*, **52**, 164–172 (2009).

[27] Saftner, R., Polashock, J., Ehlenfeldt, M. and Vinyard, B.: Instrumental and sensory quality characteristics of blueberry fruit from twelve cultivars. *Postharvest Bio. Technol.*,

49, 19–26 (2008).

[28] 曾根一純, 望月龍也, 野口裕司: イチゴ果実の糖・有機酸の含量・組成およびその収穫期間を通じた安定性と食味官能評価との関係, *園芸学会雑誌*, **69**, 736–743 (2000).

[29] Koyama, Y., Premarathne, S.D., Oppilamany, T., Ohnuma, A., Okuda, A., Iijima, A., Onoma, N. and Uchiyama, M.: Differences in subjective taste between Japanese and Sri Lankan students depending on food composition, nationality, and serum zinc. *Clin. Nutr. Exp.*, **23**, 60–68 (2019).

[30] Chandrashekar, J.L., Hoon, M.A., Ryba, N.J. and Zuker, C.S.: The receptors and cells for mammalian taste. *Nature*. **444**, 288–229 (2006).

[31] 堀尾強: PROP味覚感受性と苦味のある食品の嗜好との関係, *栄養学雑誌*, **67**, 15–19 (2009).

[32] 山口静子: 官能評価の信用性に関する一考察, *日本調理科学会誌*, **42**, 1–8 (2009).

[33] Department of Statistics Malaysia.: Supply and utilization accounts selected agricultural commodities, Malaysia 2013–2017. (2018).

[34] Banerjee, R., Tudu, B., Bandyopadhyay, R. and Bhattacharyya, N.: A review on combined odor and taste sensor systems. *J. Food Eng.* **190**, 10–21 (2016).

[35] Keast, R. and Breslin, P.: An overview of binary taste–taste interactions. *Food Qual. Prefer.*, **14**, 111–124 (2002).

[36] Yin, W., Hewson, L., Linfoth, R., Taylor, M. and Fisk, I.D.: Effects of aroma and taste, independently or in combination, on appetite sensation and subsequent food intake. *Appetite*, **114**, 265–274 (2017).

[37] Biais, B., Beauvoit, B., Allwood, W., Deborde, C., Maucourt, M., Goodacre, R., Rolin, D. and Moing, A.: Metabolic acclimation to hypoxia revealed by metabolite gradients in melon fruit. *J. Plant Physiol.*, **167**, 242–245 (2010).

[38] 竹内隆: 「主要品種の特性とつくりこなし方 ‘紅ほっぺ’」, 農文協編『イチゴ大辞典』, pp367–371 (2016).

[39] Papparozzi, E.T., Meyer, G.E., Schlegel, V., Blankenship, E.E., Adams, S.A., Conley, M.E., Loseke, B. and Reade, P.E.: Strawberry cultivars vary in productivity, sugars and phytonutrient content when grown in a greenhouse during the winter. *Sci. Hortic.*, **227**, 1–9 (2018).

[40] Koyuncu, M.A. and Dilmaçunal, T.: Determination of vitamin C and organic acid changes in strawberry by HPLC during cold storage. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, **38**, 95–98 (2010).

[41] 吉田裕一: 「果実の発育と品質」, 農文協編『イチゴ大辞典』, pp89–99 (2016).

[42] Arvisenet, G., Ballester, J., Ayed, C., Sémon, E., Andriot, I., Quere, J.L. and Guichard, E.: Effect of sugar and acid composition, aroma release, and assessment conditions on aroma enhancement by taste in model wines. *Food Qual. Prefer.*, **71**, 172–180 (2019).

[43] Niimi, J., Eddy, A.I., Overington, A.R., Heenan, S., Silcock, P., Bremer, P.J. and Delahunty, C.M.: Aroma–taste interactions between a model cheese aroma and five basic tastes in solution. *Food Qual. Prefer.*, **31**, 1–9 (2016).

[44] Theunissen, M.J.M., Polet, I.A., Kroeze, J.H.A. and Schifferstein, H.N.J.: Taste adaptation during the eating of sweetened yogurt. *Appetite*, **34**, 21–27 (2000).

- [45] Dijksterhuis, G., Boucon, C. and Berre, E.L.: Increasing saltiness perception through perceptual constancy created by expectation. *Food Qual. Prefer.*, **34**, 24–28 (2014).
- [46] Amerine, M.A., Pangborn, R.M. and Roessler E.B.: Principles of sensory evaluation of food. In: Food Science and Technology Monographs. Academic Press, New York, pp338–339 (1965).
- [47] Pfaffmann, C.: The afferent code for sensory quality. *Am. Psychol.*, **14**, 226–232 (1959).
- [48] Yamaguchi, S.: The umami taste. In J. C. Boudreau (Ed.) Food taste chemistry. American Chemical Society, pp35–51 (1979)
- [49] Holzwarth, M., Korhummel, S., Siekmann, T., Carle, R. and Kammere, D.: Influence of different pectins, process and storage conditions on anthocyanin and colour retention in strawberry jams and spreads. *LWT - Food Sci. Technol.* **52**, 131–138 (2013).
- [50] Ribes, S., Fuentes, A., Talens, A. and Barat, J.M.: Application of cinnamon bark emulsions to protect strawberry jam from fungi. *LWT - Food Sci. Technol.* **70**, 265–272 (2017).
- [51] Wicklund, T., Rosenfeld, H., Martinsen, B., Sundförb, M. Lea, P., Bruuna, T., Blomhoff, R. and Haffner, K.: Antioxidant capacity and colour of strawberry jam as influenced by cultivar and storage conditions. *LWT.* **38**, 387–391 (2005).
- [52] Rosenfeld, H. and Ness, A.: Prediction of sensory quality of strawberry jam by means of sensory quality attributes of fresh fruits. *J. Sci. Food Agric.* **80**, 1895–1902 (2000).
- [53] 三浦洋: ペクチンの性状とゲル化, *高分子*, **15**, 294–301 (1966)

- [54] Igual, M., Contreras, C. and Martínez-Navarrete, N.: Non-conventional techniques to obtain grapefruit jam. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol*, **11**, 335–341 (2010).
- [55] Ribes, S. Fuentes, A. Talens, P. and Barat, J.M.: Use of oil-in-water emulsions to control fungal deterioration of strawberry jams. *Food Chem.*, **211**, 92–99 (2016).
- [56] Wada, S., Goto, T., Fujimoto, K., Watanabe, M., Nagao, K., Nakamichi, A. and Ichikawa, T.: Changes in food bolus texture during mastication. *J. Texture Stud.*, **48**, 171–177 (2016).
- [57] Narukawa, M., Kurokawa, A., Kohta, R. and Misaka, T.: Participation of the peripheral taste system in aging-dependent changes in taste sensitivity. *Neuroscience*, **358**, 249–260 (2017).
- [58] Robin, O., Rousmans, S., Dittmar, A. and Vernet-Maury, E. Gender influence on emotional responses to primary tastes. *Physiol. Behav.*, **78**, 385–393 (2003).

論文目録

主論文

1. Ikegaya, A., Toyozumi, T., Ohba, S., Nakajima, T., Kawata, T., Ito, S. and Arai, E.: Effects of distribution of sugars and organic acids on the taste of strawberries. *Food Sci. Nutr.*, **7**, 2419–2426 (2019).

参考論文

1. Ikegaya, A., Toyozumi, T., Ohba, S., Nakajima, T., Nagafuji, A., Nakamura, S., Ito, S. and Arai, E.: Quality evaluation of fruits and vegetables in mixed cargo exported by sea. *Hort. J.*, **88**, 548–558 (2019).
2. Toyozumi, T., Ohba, S., Fujii, K., Ikegaya, A., Matsuura, H. and Nakajima, T.: Differential GABA concentration gradients are present in the edible parts of greenhouse melon (*Cucumis melo L.*) during all four seasonal croppings. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **83**, 330–338 (2019).
3. 浜部直哉, 勝岡弘幸, 馬場明子, 種石始弘, 久松奨, 池ヶ谷篤, 大場聖司, 武藤浩志, 稲葉善太郎, 野田勝二: レモネード果汁中に含まれる揮発性成分とその香気特性評価. *園芸学研究*, **18**, 1–5 (2019).
4. 池ヶ谷篤, 望月麻衣, 天池寛武, 河田智明, 井狩徹, 大場聖司, 竹内隆, 伊藤聖子, 新井映子: パッケージセンターの効率化に向けたイチゴ果実階級判別装置の開発と性能評価. *園芸学研究*, **18**, 73–79 (2019).