イチジク果実の細胞壁成分の品種間差異と成熟過程における変化

矢羽田第二郎・栗村光男

福岡県農業総合試験場豊前分場 824 福岡県行橋市西泉

Varietal Differences and Changes in Cell Wall Composition in Ripening Fig Fruits

Daijiro Yahata and Mitsuo Awamura

Buzen Branch, Fukuoka Agricultural Research Center, Nishiizumi, Yukuhashi, Fukuoka 824

Summary

To elucidate the varietal differences in cell wall composition of fig fruits at harvest, the uronic acid and neutral sugar contents in the syconia of Caprifig 'VC-180' (*Ficus carica* L. var. *intermedia* Shinn×*F. carica* L. var. *sylvestris* Shinn), San Pedro type 'King' and 'San Pedro White' (*F. carica* L. var. *intermedia* Shinn) and common figs 'Masui Dauphine' and 'Houraishi' (*F. carica* L. var. *hortensis* Shinn) were analyzed. In addition, the changes in cell wall composition of ripening 'Masui Dauphine' fruits were investigated, comparing uronic acid and neutral sugar contents in the syconia exhibiting 10, 50, and 100% colored peel. Cell wall polysaccharides were sequentially extracted from ethanol insoluble materials of pistillate flowers with water, hot-water, EDTA, KOH (hemicellulose fraction), and H₂SO₄ (cellulose fraction) solutions.

1. In the water fractions, the varietal difference in cell wall composition was very small. The total sugar contents, including uronic acid and neutral sugar, in the hot-water, EDTA, hemicellulose, and cellulose fractions were significantly highest in the syconia of 'VC-180'. Except for 'VC-180', the difference in neutral sugar contents in the cellulose fractions was largest among other cultivars.

2. The uronic acid contents per unit weight in the water fractions, extracted from 'Masui Dauphine' syconia during ripening, became higher in the order of 50, 100, and 10% colored peel, but there was little difference in the neutral sugar contents in the same fractions. In the hot-water and EDTA fractions, the uronic acid contents per unit weight decreased with color development; therefore, the total sugar contents from pectic substances likewise decreased. In the hemicellulose and cellulose fractions, both the uronic acid and neutral sugar contents per unit weight decreased with color development.

3. The cell wall composition per fruit of 'Masui Dauphine' was different from that per unit weight, because the ripening fruits increased in weight. As the percentage of coloring in the peel increased, the uronic acid contents per fruit increased markedly in the water fractions and decreased in the hot-water and EDTA fractions; the neutral sugar contents per fruit increased in the water and hot-water fractions. However, there were no differences in the total sugars per fruit derived from the pectic substances or in the uronic acid, neutral sugar, and total sugars per fruit derived from the hemicellulose and cellulose fractions during the ripening process.

緒 言

イチジク (*Ficus carica* L.) 果実は、一般に夏果が6月下旬～7月中旬、秋果は8月中旬～10月末頃まで収穫され、成熟期には2週間ほどで急激に肥大、軟化し

て、着色や糖の集積が急速に進行する(平井, 1966)。成熟果は、採取時期のわずかな違いによっても重量や品質が異なるため、収穫に当たっては収穫適期を的確に把握しなければならないが、実際には果実の着色や軟化程度を目安に収穫を行っている。また、イチジク果実は、収穫後も軟化が進行して鮮度が低下しやすい。

福岡県内の産地では、収穫果実の鮮度維持のため収穫後に保冷を行い、品温を8~10℃前後の低温に保って軟化、腐敗を防止している。このようにイチジクでは、軟化程度が果実品質を判定する指標の一つとなっている。このため、収穫から流通段階までの品質管理を適正に行うには、果実の軟化機構を解明することが重要となる。

果実の軟化や肉質の変化には、ペクチン質やセルロースなど細胞壁の構成成分の変化が影響していることが、リンゴ(吉岡ら, 1992), ナシ(Bartleyら, 1982; Dick・Labavitch, 1989; Yamakiら, 1979), カンキツ類(Goto, 1989; 竹林ら, 1994), キウイフルーツ(Matsui・Kitagawa, 1988), トマト(DellaPennaら, 1990; Koch・Nevins, 1990)など、多くの果実類で報告されている。イチジクについてはTsantili(1990)が、果実の成熟と硬度の低下に伴って全ペクチン含量が減少し、水溶性ペクチン含量が増加することを報告している。また、ポリガラクトクロナーゼなどペクチン関連酵素の活性変化を調査した事例もある(外川ら, 1992; Linら, 1989)。しかし、イチジク果実の軟化や細胞壁成分に関する報告はまだ少なく、ペクチン質の変化や関連酵素の役割などについて、十分な解明が行われるには至っていない。またYoshiokaら(1994)は最近、リンゴ果実の細胞壁成分に含まれる構成糖の変化を調査し、軟化時にはアラビノース、ガラクトースなどの中性糖残基に乏しいペクチン質が選択的に遊離されることを明らかにした。イチジク果実では、ペクチン質の構成糖を調査した事例は見当たらないが、今後、調査を行うに当たっては、細胞壁成分の量的変化だけでなく、このような中性糖残基の消失などの質的变化も考慮しておく必要がある。

本報告では、イチジク果実の軟化機構の解明を進めるために、ペクチン質、ヘミセルロース、セルロースなどの細胞壁成分の構成糖であるウロン酸および中性糖含量について、品種・系統間の差異と成熟過程における変化を調査した。

材料および方法

1. 品種・系統別の果実の細胞壁成分

福岡県農業総合試験場豊前分場の場内圃場に栽植されたカプリ系の6年生'VC-180'(ビオレー・ドーフィン×カプリフィッグ6085の交雑実生からの選抜系統)、サンペドロ系の5年生'キング'および6年生'サンペドロホワイト'、普通系の7年生'樹井ドーフィン'および7年生'蓬萊柿'を用いた。カプリ系とサンペ

ロ系の品種・系統は1994年7月1日に成熟した夏果を採取し、また普通系品種は9月4日に成熟した秋果を採取して、それぞれ採取直後から果肉の細胞壁成分の分析を行った。分析には果肉として小果のみを用い、雄花の着生するカプリ系の'VC-180'も雄花を除いた小果(雌花)の部分を試した。なお、'VC-180'の成熟果は小果を含めた果実全体がスポンジ状のままで、軟化していなかった。分析は後藤(1991)の方法に準じ、各品種とも3~5果から採取した果肉2gに4倍量のエタノールを加えて磨砕し、80℃の温湯中で10分間加熱した。遠心分離後、沈澱に脱イオン水を加えて室温で一晩抽出を行い(水画分ペクチン質)、残渣をさらに熱水、次いで0.05M EDTA(2Na塩、酢酸-NaOH緩衝液中、pH 4.5)で、それぞれ80℃、2時間、2回ずつ抽出を行った(熱水画分ペクチン質、EDTA画分ペクチン質)。その後、残渣に10%水酸化カリウムを加えて室温で24時間、2回反復抽出し、次に24%水酸化カリウムで24時間抽出して、10%および24%水酸化カリウム抽出液を合わせ、ヘミセルロース画分とした。さらに残渣を水、1mM酢酸およびエタノールで洗浄後に風乾し、72%硫酸で室温下1時間抽出してセルロース画分とした。各画分は脱イオン水で100mlに定溶し、ウロン酸含量はカルバゾール法(McComb・McCready, 1952)により100℃、20分間の加熱によって発色させ、520nmの吸光度を測定して無水ガラクトツロン酸を標準として表した。中性糖含量は各画分をフェノール硫酸法(Dubisら, 1956)により求め、各ペクチン質およびヘミセルロース画分については、アラビノースを標準に480nmの吸光度を測定し、セルロース画分ではグルコースを標準に490nmの吸光度を測定した。なお、中性糖含量はフェノール硫酸法による吸光度からガラクトツロン酸由来の吸光度を差し引き、その値を中性糖による吸光度として計算を行った(Hatanaka・Ozawa, 1966)。分析は各品種・系統とも2反復で行った。

2. 果実の成熟過程における細胞壁成分の変化

1994年9月26日に場内圃場の7年生'樹井ドーフィン'24樹から、果皮の着色割合が1分、5分、10分の果実をそれぞれランダムに15果採取し、果重と水分含量を調査し、果肉の細胞壁成分の分析を行った。採取した果実の成熟程度は1分着色果が軟化始め、5分着色果は軟化が進行中の状態であり、10分着色果は完熟して収穫適期のものである。水分含量は果肉を

80℃で通風乾燥して求め、また細胞壁成分は、3～5果から果肉2gを採取して1と同様の方法で分析を行った。分析は各区とも3反復で行った。

結 果

1. 品種・系統別の果実の細胞壁成分

品種・系統別の果肉の細胞壁成分含量を第1図に示した。各品種・系統とも、水、熱水、EDTA画分ではウロン酸の比率が高く、ヘミセルロース、セルロース画分では中性糖の比率が高かった。水画分では、ウロン酸と中性糖を合計した総糖含量が各品種・系統とも新鮮重1g当たり5mg前後で、大きな差はなかった。熱水、EDTA、ヘミセルロースおよびセルロース画分では、'VC-180'の総糖含量が他の品種よりもきわめて多く、熱水画分は6～12倍、EDTAおよびヘミセルロース画分は3倍以上、セルロース画分は1.5～3倍近くに達した。中でも'VC-180'の熱水画分におけるウロン酸含量とセルロース画分の中性糖含量は他の画分に比較して特に多く、新鮮重1g当たりにして10mg前後であった。

'VC-180'以外の4品種の細胞壁成分を比較すると、水画分で'蓬萊柿'のウロン酸含量が、また熱水画分で'キング'と'サンペドロホワイト'の総糖含量がわずかに多い傾向にあったが明確な差ではなく、EDTAおよびヘミセルロース画分でも品種間の大きな差はなかった。これに対して、セルロース画分では総糖含量の品種間差が大きく、特に中性糖含量が'キング'と'蓬萊柿'で多く、'柵井ドーフィン'で少なかった。

2. 果実の成熟過程における細胞壁成分の変化

'柵井ドーフィン'の着色程度別の1果重は1分、5分および10分着色果の順に32.7, 48.1, 77.3gで、1分着色果に比べて5分着色果が約1.5倍、10分着色果は2.4倍の重量であった。水分含量は各区とも84～87%の範囲で大差なかったが、5分着色果がやや少ない傾向にあった(第1表)。

着色程度の違いによる果実の細胞壁成分の変化を、第2表に示した。新鮮重1g当たり細胞壁のウロン酸含量は、水画分では5分、10分、1分着色果の順に多

Fig. 1. Varietal differences in cell wall composition in the flesh of fig fruits at harvest time. The picking dates; July 1, 1994 ('VC-180', 'King' and 'San Pedro White') and September 4, 1994 ('Masui Dauphine' and 'Houraishi'). Cell wall polysaccharides were sequentially extracted from the ethanol insoluble materials of flesh (pistillate flowers) with water, hot-water, EDTA, KOH (Hemicellulose fraction) and H_2SO_4 (Cellulose fraction) solutions. The uronic acid and neutral sugar were analyzed by the colorimetric method. 'VC-180' (*Ficus carica* L. var. *intermedia* Shinn $\times$ *Ficus carica* L. var. *sylvestris* Shinn) is a line of caprifig.

かったが、熱水および EDTA 画分では着色の進んだ果実ほど少なく、また水、熱水、EDTA 画分を合わせたペクチン質の合計量も同様の傾向であった。中性糖含量は、水、熱水および EDTA 画分ともウロン酸含量に比較して少なく、着色程度の違いによる差も小さかった。ウロン酸と中性糖を合わせたペクチン質の総糖含量は 1 分、5 分、10 分着色果の順に 18.6, 12.5, 7.4 mg で、1 分着色果は 5 分着色果の約 1.5 倍、10 分着色果の 2.5 倍であった。ヘミセルロースおよびセルロース画分は、他の画分に比べて中性糖含量が多く、総糖含量に占める比率も高かった。また、これらの画分ではウロン酸、中性糖含量ともに着色の進んだ果実ほど少なく、10 分着色果の総糖含量は 1 分着色果の半分以上であった。

第 3 表には、着色程度別の細胞壁成分含量を 1 果当たり換算した値を示した。水画分のウロン酸含量は着色の進んだ果実ほど多く、熱水、EDTA 画分では逆に少なかった。中性糖は着色の進んだ果実の水、熱水画分で多かった。水、熱水、EDTA 画分を合わせたペクチン質の合計量は、着色の進行に伴ってウロン酸が

減少し、中性糖は逆に多くなった。しかし、ウロン酸と中性糖を合わせたペクチン質の合計量は 1 分、5 分、10 分着色果の順に 606.9, 597.6, 571.7 mg で、着色の進んだ果実でやや少ない傾向にあったが、統計的に有意な差ではなかった。ヘミセルロース、セルロース画分では、ウロン酸、中性糖および総糖含量ともに着色程度の違いによる差はなく、他の画分で認められたような成熟に伴う細胞壁成分含量の変化は認められなかった。

考 察

イチジクは、スミルナ系、カプリ系、サンペドロ系および普通系の 4 系統に大別される。この内、スミルナ系、サンペドロ系、普通系の果実には雌花のみが着生するのに対して、カプリ系の果実は雄花および雌花と、雌花の一種で小バチの寄生する虫えい花が着生する（栗村・正田, 1991; Storey, 1975）。わが国の経済栽培品種は、普通系に属する‘榊井ドーフィン’と‘蓬萊柿’で大半が占められており、その他、ごくわずかにサンペドロ系品種が栽培されている。本研究では、普通系およびサンペドロ系品種に加えて、ピオレードフィンとカプリフィグ 6085 の交雑実生から選抜した系統で、カプリ系に属する‘VC-180’を供試して、イチジク果実の細胞壁成分の品種・系統間差異を調査した。その結果、カプリ系統の‘VC-180’の果実はサンペドロ系および普通系品種に比べて、熱水、EDTA、ヘミセルロース、セルロースの各画分で、ウロン酸と中性糖を合計した総糖含量の多いことが明らかになった。水画分の総糖含量は、品種・系統間で明確な差異は認められなかった。リンゴ、ナシ、イチジクなどの

Table 1. Changes in fruit weight and water content of ‘Masui Dauphine’ fruit during ripening.

Percentage colored peel	Fruit weight (g)	Water content (%)
10%	32.7a ²	86.4ab
50%	48.1b	84.4a
100%	77.3c	86.8b

² Mean separation within columns by Tukey's multiple range test, 5 % level.

Table 2. Changes in cell wall composition in the flesh of ‘Masui Dauphine’ fruit during ripening (1). (mg/g f. w.)

	Percentage colored peel	Pectic substances				Hemicellulose frac.	Cellulose frac.
		Water frac.	Hot-water frac.	EDTA frac.	Total		
Uronic acid	10%	3.1c ²	6.7a	6.9a	16.7a	2.1a	3.7a
	50%	6.1a	1.8b	2.7b	10.6b	1.3b	2.3b
	100%	4.2b	0.8c	0.9c	5.9c	0.8c	1.3c
Neutral suger	10%	1.3a	0.1b	0.5a	1.9a	3.6a	7.9a
	50%	1.1a	0.4a	0.4ab	1.9a	2.8b	6.3a
	100%	1.0a	0.3a	0.2b	1.5a	1.6c	3.0b
Total	10%	4.4c	6.8a	7.4a	18.6a	5.7a	11.6a
	50%	7.2a	2.2b	3.1b	12.5b	4.1b	8.6b
	100%	5.2b	1.1c	1.1c	7.4c	2.4c	4.3c

² Mean separation within columns by Tukey's multiple range test, 5 % level.

Table 3. Changes in cell wall composition in the flesh of 'Masui Dauphine' fruit during ripening (2). (mg/ fruit)

	Percentage colored peel	Pectic substances				Hemicellulose frac.	Cellulose frac.
		Water frac.	Hot-water frac.	EDTA frac.	Total		
Uronic acid	10%	100.0b ²	220.6a	226.7a	547.3a	66.9a	119.4a
	50%	294.6a	87.6b	127.9b	510.1ab	60.0a	109.2a
	100%	326.5a	61.3b	67.9c	455.7b	57.6a	97.0a
Neutral suger	10%	41.6b	1.4c	16.6a	59.6b	116.9a	258.4a
	50%	51.2ab	17.0b	19.3a	87.5ab	135.1a	300.6a
	100%	75.3a	24.7a	16.0a	116.0a	124.7a	232.2a
Total	10%	141.6c	222.0a	243.3a	606.9a	183.8a	377.8a
	50%	345.8b	104.6b	147.2b	597.6a	195.1a	409.8a
	100%	401.8a	86.0b	83.9c	571.7a	182.3a	329.2a

² Mean separation within columns by Tukey's multiple range test, 5 % level.

果実類では、果実の成熟、軟化に伴って細胞壁の構成成分の内、EDTA および塩酸可溶性ペクチン質やヘミセルロース、セルロースなどが減少して、水溶性ペクチン質が増加することが知られている (外川ら, 1992; Yamaki ら, 1979; Yoshioka ら, 1994). カプリ系イチジクの果実内に着生する小果は、通常、成熟時もスポンジ状のままで食用には適さないが、人工受粉により種子が形成された場合にはサンペドロ系や普通系と同様に軟化して甘味が増す (Neeman・Galil, 1978). 今回の実験に用いた 'VC-180' の果実は単為結果した夏果で、分析時の小果はスポンジ状のままで軟化していなかったことから、他の品種に比較して熱水および EDTA 可溶性のいわゆるプロトペクチンやヘミセルロース、セルロース含量が多かったと考えられる。中でも本実験では、熱水画分のウロン酸とセルロース画分の中性糖含量は他の画分に比較して特に多く、イチジクの果肉のスポンジ状組織では、これらの細胞壁成分の比率が高まることが明らかになった。近年、トマトでは、成熟時に軟化しにくい系統を実験に用いることによって、果実の軟化機構が明らかにされつつある (DellaPenna ら, 1989, 1990; Koch・Nevins, 1990). 今後はイチジクについても、成熟時に軟化しないカプリ系の果実を用いて細胞壁成分とペクチンおよびセルロース関連酵素の関係を調べることにより、軟化機構の解明が進むと思われる。また、'VC-180' を除く、サンペドロおよび普通系品種の成熟果では、細胞壁のペクチン質やヘミセルロース画分の総糖含量はほとんど変わらないが、セルロース画分では中性糖および総糖含量の品種間差異の大きいことが明らかになった。

村松ら (1994) は、カンキツ類の果肉硬度と細胞壁成分との間に正の相関関係を認め、特にセルロース含量との相関が高いことを報告している。本研究の結果から、イチジクについても細胞壁のセルロース含量の違いが果実の硬度や肉質の品質間差の要因となっている可能性が考えられ、今後、果実硬度とセルロース含量の関連性について検討を行う必要がある。

果実の軟化には細胞壁の構成成分の量的または質的な変化が関係しているとされ、軟化が進行する際には先に述べた水溶性ペクチン質の増加とともに、ポリガラクトウロナーゼによる細胞壁のペクチン質の低分子化 (Bartley ら, 1982; Yamaki・Kakiuchi, 1979; Wu ら, 1993) や、ペクチン質側鎖からのアラビノース、ガラクトースなど中性糖残基の消失 (Dick・Labavitch, 1989; Yoshioka ら, 1994) の起こることがリンゴやナシで報告されている。本報告では '榊井ドーフィン' を用いて、イチジク果実の成熟期における果肉の細胞壁成分の変化を調査した。その結果、単位重量当たりで比較した場合、果皮の着色に伴って熱水、EDTA、ヘミセルロース、セルロースの各画分のウロン酸含量と、ヘミセルロースおよびセルロース画分の中性糖含量が顕著に減少することが明らかになった。この傾向は、ウロン酸と中性糖を合計した総糖含量についても同じであった。この内、熱水および EDTA 可溶性ペクチン質の一部は水溶性ペクチン質に変化したと考えられる。しかし、水画分のウロン酸含量は 5 分、10 分、1 分着色果の順に多く、中性糖含量では着色程度による有意な差が認められなかったことや、水、熱水および EDTA 画分を合計したペクチン

質の総糖含量は大きく減少したことから、単位重量当たりで比較した場合、熱水およびEDTA可溶性のペクチン質がすべて水溶性ペクチン質に変化したとは考えにくい。

イチジク果実は成熟期に入ってから肥大が急激で、収穫前の16日間で全重量の80%が増加する(平井, 1966)。本研究でも、1分、5分および10分着色果で1果重が大きく異なり、1分着色果に比べて5分着色果は約1.5倍、10分着色果は2.4倍の重量であった。このようにイチジク果実は、カンキツ、リンゴ、ナシなど他の果樹類と異なって成熟期の重量増加が著しいことから、軟化機構の解明のためには、肥大に伴う果実全体の細胞壁成分の変化を調べる必要がある。本研究の結果では、1果当たりの細胞壁成分含量の変化は、単位重量当たりの場合とは大きく異なった。すなわち、水画分ではウロン酸と中性糖含量が着色の進んだ果実で急増し、熱水およびEDTA画分ではウロン酸含量が顕著に減少したが、水、熱水、EDTA画分のウロン酸と中性糖含量を合計したペクチン質の総糖含量では成熟程度の違いによる有意差が認められなかった。また、ヘミセルロース、セルロース画分ではウロン酸、中性糖および総糖含量のすべてにおいて、成熟程度の違いによる有意な差はなかった。今回の実験では、細胞壁成分の1果当たりの含量を小果の単位重量当たりの含量から換算して求めたが、イチジクの果肉は果托と小果に分けられるため(平井, 1966; Storey, 1975)、厳密な調査を行うには果托と小果のそれぞれについて細胞壁成分の分析を行う必要がある。しかし、小果の重量は果実全体の50%以上になり、成熟に伴う軟化の進行や遊離の糖含量の増加傾向なども果托と小果で変わらない(平井, 1966)。また、著者らが‘蓬萊柿’を用いて行った実験でも、果托と小果の成熟に伴う細胞壁成分の変化には大きな差がなかった(データ未掲載)。以上の結果を総合すると、イチジク果実は成熟期の着色の進行に伴って、細胞壁内のプロトペクチンが水溶性のペクチン質に変化するとともに、単位重量当たりのヘミセルロース、セルロース含量が減少しながら急激に肥大、軟化するが、1果当たりのペクチン質の総量やヘミセルロース、セルロース含量に大きな変化はないと考えられる。またペクチン質の構成糖の内、ウロン酸は成熟に伴って減少したのに対し、水画分や熱水画分の中性糖含量は単位重量当たりでは変化が小さく、1果当たりでみると大幅に増加したことから、イチジク果実の軟化機構はペクチン質側鎖の中性

糖残基の消失が影響しているとされるセイヨウナシ(Dick・Labavitch, 1989)やリンゴ(Yoshiokaら, 1994)の場合と異なっている可能性もある。この点については、細胞壁ペクチン質の側鎖を構成する糖含量の増減を種類別に調べるなど、さらに検討を要する。

摘 要

イチジク果実の細胞壁成分の品種間差異を明らかにするため、カプリ系の‘VC-180’(ビオレー・ドーフィン×カプリフィッグ6085)、サンペドロ系の‘キング’、‘サンペドロホワイト’、普通系の‘柘井ドーフィン’、‘蓬萊柿’を供試し、細胞壁の成分をペクチン質(水、熱水、EDTA画分)とヘミセルロース、セルロース画分に分けて、ウロン酸と中性糖含量を調べた。また、果実の成熟過程における細胞壁成分の変化を調べるため、‘柘井ドーフィン’を供試し、着色割合が1分、5分、10分の果実で細胞壁成分含量を比較した。

1. カプリ系‘VC-180’の果実は、サンペドロ系および普通系品種に比べて、熱水、EDTA、ヘミセルロース、セルロースの各画分で、ウロン酸と中性糖を合計した総糖含量が多かった。サンペドロ系と普通系品種の果実では、セルロース画分の中性糖含量の品種間差が大きかった。

2. ‘柘井ドーフィン’果実の着色程度別の細胞壁成分含量を単位重量当たりで比較した場合、水画分のウロン酸含量は5分着色果で最も多かったが、熱水およびEDTA画分では着色の進んだ果実ほどウロン酸含量が少なく、またペクチン質の合計量も同様の傾向であった。水、熱水およびEDTA画分の中性糖含量は、着色程度の違いによる差が小さかった。ヘミセルロースおよびセルロース画分は、ウロン酸、中性糖含量ともに着色の進んだ果実ほど少なかった。

3. ‘柘井ドーフィン’果実の細胞壁成分を1果当たりに換算したところ、水画分のウロン酸含量は着色の進んだ果実ほど多く、熱水およびEDTA画分では逆に少なくなった。中性糖は着色の進んだ果実の水、熱水画分で多かった。また、ペクチン質の総糖含量と、ヘミセルロースおよびセルロース画分のウロン酸、中性糖、総糖含量は着色程度の違いによる差が認められなかった。

引用文献

- 栗村光男・正田耕二. 1991. イチジクの育種法. 第1報. カプリ種の夏果の生育特性と受粉最適果実の判定. 福岡農総試研報. B-11: 93-96.
Bartley, I. M., M. Knee and M. Casimir. 1982. Fruit

- softening I. Changes in cell wall composition and endo-polygalacturonase in ripening pears. J. Exp. Bot. 33 : 1248-1255.
- DellaPenna, D., J. E. Lincoln, R. L. Fischer and A. B. Bennett. 1989. Transcriptional analysis of Polygalacturonase and other ripening associated genes in rutgers, *rin*, *nor*, and *Nr* tomato fruit. Plant Physiol. 90 : 1372-1377.
- DellaPenna, D., C. C. Lashbrook, K. Toenjes, J. J. Giovannoni, R. L. Fischer and A. B. Bennett. 1990. Polygalacturonase isozymes and pectin depolymerization in transgenic *rin* tomato cell wall. II. Polyuronide metabolism in a fruit. Plant Physiol. 94 : 1882-1886.
- Dick, J. and J. M. Labavitch. 1989. Cell wall metabolism in ripening fruit. IV. Characterization of the pectic polysaccharides solubilized during softening of 'Bartlett' pear fruit. Plant Physiol. 89 : 1394-1400.
- Dubis, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers and J. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem. 28 : 350-356.
- Goto, A. 1989. Relationship between pectic substances and calcium in healthy, gelled, and granulated juice sacs of Sanbokan (*Citrus sulcata* hort. ex Takahashi) fruit. Plant Cell Physiol. 30 : 801-806.
- 後藤明彦. 1991. 'サンボウカン'の生理的す上がり果実の果肉砂じょうのペクチン質とヘミセルロースの分子量. 果樹試報. 19 : 29-38.
- Hatanaka, C. and J. Ozawa. 1966. Enzymic degradation of pectic acid. Part 4. Action of carrot exo-polygalacturonase on the pectic acids prepared by saponification of pectin with alkali and with pectin esterase. J. Agric. Chem. Soc. Jap. 40 : 421-428.
- 平井重三. 1966. イチジク果実の発育に関する研究. 大阪府立大学紀要. 18 : 169-218.
- Koch, J. L. and D. J. Nevins. 1990. The tomato cell wall. II. Polyuronide metabolism in a nonsoftening tomato mutant. Plant Physiol. 92 : 642-647.
- Lin, T., C. Liu, S. Chen and W. Wang. 1989. Purification and characterization of pectinmethylesterase from *Ficus awkeotsang* Makino achenes. Plant Physiol. 91 : 1445-1453.
- Matsui, T. and H. Kitagawa. 1988. Seasonal changes in pectinmethylesterase and polygalacturonase activities in kiwifruit. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi. 35 : 851-855.
- McComb, E. A. and R. M. McCready. 1952. Colorimetric determination of pectic substances. Anal. Chem. 24 : 1630-1632.
- 村松 昇・高原利雄・児島清秀・緒方達志. 1994. カンキツ類の果肉のテクスチャーと細胞壁成分との関係. 園芸学会九州支部研究収録 3 : 35-36.
- Neeman, G. and J. Galil. 1978. Seed set in the 'male syconia' of the common fig *Ficus carica* L. (*caprificus*). New Phytol. 81 : 375-380.
- 外川哲男・垣内勝哉・久保康隆・稲葉昭次・中村怜之輔. 1992. イチジク '梶井ドーフィン' 果実の成熟特性. 園学雑. 61 (別1) : 518-519.
- Storey, W. B. 1975. Figs. p. 568-589. In : J. Janick and J. N. Moore (eds.). Advances in fruit breeding. Purdue Univ. Press, West Lafayette.
- 竹林晃男・片岡丈彦・行永寿二郎. 1994. 樹上完熟栽培におけるウンシュウミカン果実のじょうの膜の変化. 園学雑. 63 : 267-275.
- Tsantili, E. 1990. Changes during development of 'Tsapela' fig fruits. Scientia Hort. 44 : 227-234.
- Wu, Q., M. Szakacs-Dobozi, M. Hemmat and G. Hrazdina. 1993. Endopolygalacturonase in apples (*Malus domestica*) and its expression during fruit ripening. Plant Physiol. 102 : 219-225.
- Yamaki, S. and N. Kakiuchi. 1979. Changes in hemi-cellulose-degrading enzymes during development and ripening of Japanese pear fruit. Plant Cell Physiol. 20 : 301-309.
- Yamaki, S., Y. Machida and N. Kakiuchi. 1979. Changes in cell wall polysaccharides and mono-saccharides during development and ripening of Japanese pear fruit. Plant Cell Physiol. 20 : 311-321.
- 吉岡博人・桜岡芳記・金子勝芳. 1992. セイヨウナシの軟化に伴うペクチン質とヘミセルロース構成糖の変化. 園学雑. 61 (別2) : 658-659.
- Yoshioka, H., Y. Kashimura and K. Kaneko. 1994. Solubilization and distribution of neutral sugar residues derived from polyuronides during the softening in apple fruit. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 63 : 173-182.