モモ果実の渋味とポリフェノール含量に及ぼす土壤乾燥の影響

久保田尚浩・工藤正吾

岡山大学農学部 700 岡山市津島

Effects of Soil Moisture Tension on Phenolic Contents and Astringency in Peach Fruits

Naohiro Kubota and Shogo Kudo

Faculty of Agriculture, Okayama University, Tsushima, Okayama 700

Summary

Phenolic content and PAL activity in the mesocarp tissue of peach in relation to astringency were determined on three peach (*Prunus persica* Batsch.) cultivars that were pot-grown and under different ranges of soil moisture tension. In Experiment 1, 'Takei Hakuho' grafted on *P. persica* were subjected to soil moisture tension (pF) of 2.3 to 2.7 during the three stages of fruit growth, whereas pF of the control trees were kept below 1.5 throughout the experiment. The soil moisture tension in the treatment plot was maintained by withholding water. In Experiment 2, peach trees of 'Saotome' grafted on *P. persica* or *P. tomentosa* and 'Sanyo Suimitsu' grafted on *P. persica* were subjected to four ranges of soil moisture tension: below 1.5, 1.5 to 2.0, 2.0 to 2.5, and above 2.5 while the fruits were in Stage 3.

In Exp. 1, the later the trees were stressed for moisture, the later the fruits ripened. Trees stressed during Stage 3 of fruit growth yielded the smallest fruits with the highest soluble solids content at harvest. Although no difference was observed in PAL activity between fruits stressed during Stage 3 and control fruits, the phenolic contents of stressed fruits were significantly higher in the former than in the latter. In Exp. 2, the higher the pF, the later the fruits of both cultivars ripened. The delayed harvest resulted in higher soluble solids contents in fruits irrespective of rootstocks. In both cultivars, the fruit phenolic content on fresh weight basis was about two times higher on trees held at pF of 2.0 and higher as compared with control trees or those maintained below a pF of 2.0. In 'Sanyo Suimitsu', the higher pF resulted in higher PAL activity as determined by the amount of radioactivity incorporated into cinnamic acid from ^{14}C -phenylalanine. However, with the spectrophotometric method, no PAL activity was detectable in fruits from any treatments.

From these results we consider that soil moisture tension above a pF 2 during Stage 3 of fruit development is closely related with the occurrence of astringent peach fruits.

緒 言

品種にもよるが、モモ果実が渋味を呈することはよく知られており (Joslyn・Goldstein, 1964), その程度が強い場合には市場での商品価値を著しく低下させる。一般に、渋味の発生には樹勢の衰弱といった内的条件に加えて外的条件、特に土壤水分や温度などの環境要因が密接に関与するとされている (Hesse, 1975; 石田・大城, 1983)。しかし、これに関連した研究は極めて少なく、その論拠は栽培者の経験や勘に基づいている

ことが多い。したがって、実際栽培においても渋味の発生を防止するための適切な方法はほとんど採られていないのが実状である。

筆者ら (1986, 1987) は、モモ果実の渋味に関するこれまでの研究から、官能検査による渋味の強さと総ポリフェノール含量との間には正の相関があること、一般に渋味の発生しやすい品種では成熟果実のポリフェノール含量が多いこと、ポリフェノール含量は果実発育の第2期に急増するが、その生合成との関連が深いPAL (L-フェニルアラニンアンモニアリアーゼ) の活性は果実発育の第1期に高いことなどを明らかに

した。また、渋味の発生には土壌の乾燥や湛水、さらには低温が密接に関連していることを報告した(久保田ら, 1990, 1988)が、その程度については明確にできなかった。

本研究は、モモ果実における渋味の発生要因の解明ならびにその防止策を確立するための基礎資料を得ることを目的としたもので、ここでは土壌乾燥の時期および程度が果実のポリフェノール含量に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

実験1：乾燥時期の影響

容積約50 literのプラスチックコンテナで土耕した共台の‘武井白鳳’8年生樹を供試し、果実発育の第1期(5月13日～5月29日)、第2期(5月28日～6月8日)および第3期(6月8日～6月30日)に土壌の乾燥処理を行った。各々を第1期乾燥区、第2期乾燥区および第3期乾燥区とし、各期間かん水量を変えることにより、土壌深10 cmにセットしたテンシオメーターの示度、すなわちpFが対照区では1.5以下、乾燥区では2.3～2.7になるように維持した。乾燥処理は、既報(久保田ら, 1990, 1988)のようにコンテナをポリエチレンのシルバーシートで覆い、外からの水の侵入を防ぐことにより行った。なお、コンテナ内の地温が高くなり過ぎないように、雨天日を除き昼間はシートを除去した。乾燥区のかん水はpFと供試樹の葉や果実の状態をみながら少量ずつ適宜行ったが、いずれの時期ともpFはわずかながら変動した。各処理区2個体を供試し、各個体5果ずつ計10個の成熟果実について重さ、屈折計示度およびポリフェノール含量を測定した。ポリフェノールの分析は、果肉約10 gに水を加えて煮沸抽出(久保田ら, 1986)した後、Folin-Denis法により行った(中林, 1967)。また、第1期乾燥区では処理7日後、第2期と第3期乾燥区では13日後に果実をサンプリングし、分光光度計法と ^{14}C 標識基質法によりPAL活性を測定した。

粗酵素液の抽出はFaragher・Chalmers (1977)の方法によった。すなわち、果肉約2 gに20 mMのメルカプトエタノールを含む0.1 Mホウ酸バッファー(pH 8.8) 10 mlおよびポリクラーA T約2 gを加えてホモジナイズし、再度ホウ酸バッファー20 mlを加えてホモジナイズした後、13,000 rpmで30分間遠心分離した。その上澄液20 mlに対して硫酸アンモニウムを70%飽和まで加え、完全に溶解後30分間静置した。これを13,000 rpmで15分間遠心分離し、その沈澱物をホ

ウ酸バッファー5 mlで溶解したものを粗酵素液とした。なお、これらの操作はすべて5℃以下の低温下で行った。分光光度計法ではKoukol・Conn (1961)の方法により t -桂皮酸の生成速度を測定した。すなわち、粗酵素液2 mlに25 mM L-フェニルアラニン1 mlを加え、40℃で2時間インキュベートした。6 N塩酸0.1 mlで反応を停止させた後、エチルエーテル5 mlを加え、3,000 rpmで3分間遠心分離した。次に、エチルエーテル層を試験管にとり、減圧乾固した後、0.05 N水酸化ナトリウム8 mlに溶解し、268 nmと300 nmの吸光度を測定した。なお、L-フェニルアラニンの代わりに蒸留水と同様の操作を行ったものを対照とし、粗酵素液と対照液との吸光度差および別途求めた検量線からPAL活性を算出した。 ^{14}C 標識基質法はHiramatsuら(1986)の方法に準拠した。すなわち、前述の粗酵素液100 μl に ^{14}C L-フェニルアラニン25 μl を加え、30℃で1時間インキュベートした後、メタノール500 μl を加えて反応を停止させた。これにエタノール2 mlを加え4℃で1時間以上静置した後、3,500 rpmで10分間遠心分離した。この上澄液2 mlを試験管にとって減圧乾固し、少量のエタノールに溶解後TLC (Kieselgel 60 F254 Merck)にスポットした。これを展開後(展開溶媒：トルエン：ギ酸エチル：ギ酸=60:40:1)乾燥させ、活性スポットをUVで確認した後、その部分を切り取ってバイアルに入れ、液体シンチレーター2 mlを加え、シンチレーションカウンターで ^{14}C -桂皮酸の放射能活性を測定した。

実験2：乾燥程度の影響

実験1と同じコンテナで土耕した共台およびユスラウメ台の‘さおとめ’4年生樹ならびに共台の‘山陽水蜜’4年生樹を供試し、果実発育の第3期に前述と同様の方法でpF 1.5以下を対照区とし、1.5～2.0、2.0～2.5および2.5以上の4段階に調節した。かん水はpFと個体の葉や果実の状態をみながら少量ずつ行ったが、第1図に示したようにpFは各区ともかなり変動した。特に、pF 2.5以上の区は実際には設定値に維持できなかったが、ここでは便宜上2.5以上の区とした。各区2個体を供試し、各個体5果ずつ計10個の成熟果実について前述と同様の調査を行った。また、‘山陽水蜜’については、処理開始7日後に前述と同様の方法で果実のPAL活性を測定した。

Fig. 1. Changes in soil moisture tension in each treatment during Stage 3 of fruit growth in 'Sanyo Suimitsu' peaches.

Table 1. Effects of soil moisture stress during different stages of fruit growth on fresh weight and total soluble solids and phenolic contents of 'Takei Hakuho' peach fruit at harvest.

Period of water stress	Harvested date	Fruit weight (g)	Total soluble solids (° Brix)	Phenol content	
				mg/100 g FW	mg/fruit
Stage 1 (13 May~29 May)	27 June	174.4 ab ²	12.4 bc	34.7 b	60.9 b
Stage 2 (28 May~8 Jun.)	28 June	156.8 b	11.3 c	38.4 b	60.0 b
Stage 3 (8 Jun.~30 Jun.)	30 June	107.4 c	15.7 a	110.2 a	118.4 a
Control	26 June	181.7 a	13.2 b	43.2 b	77.8 b

² Average values were analysed with Duncan's multiple range test. Values within column followed by the same letter are not significantly different at P=0.01.

結 果

実験 1 : 乾燥時期の影響

「武井白鳳」の結果を第1表に示した。果実の成熟は乾燥時期が遅いほど遅れる傾向であった。果実肥大は乾燥時期が遅いほど劣り、特に第3期乾燥区の果実は著しく小さかった。屈折計示度は第3期乾燥区で最も高く、第2期乾燥区で低かった。ポリフェノール含量は、新鮮重100g当たりでは対照区の43.2mgに対し、第1期と第2期の乾燥区では差がなかったが、第3期乾燥区では110.2mgと1%レベルで有意に多かった。1果当たりの含量もこれとほぼ同様で、第3期乾燥区では対照区よりも有意に多かった。

PAL活性は果実発育第1期の処理ではいずれの方法でも対照区、乾燥区ともに著しく高かったが、その程度は分析方法によって異なった。すなわち、分光光度計法では乾燥区よりも対照区が高い活性を示したのに対し、¹⁴C標識基質法では逆に乾燥区が高かった。第2期処理ではいずれの方法とも対照区よりも乾燥区で高い活性を示したが、活性は第1期に比べて著しく低かった。第3期処理では、分光光度計法ではまったく

活性を示さなかったのに対し、¹⁴C標識基質法では活性がわずかにみられたものの、処理区間での差はなかった(第2表)。

実験 2 : 乾燥程度の影響

「さおとめ」の結果は第3表に示したとおりで、成熟は共台樹ではいずれの乾燥区でも、またユスラウメ台樹ではpF 2.0~2.5と2.5以上の両乾燥区でわずかに遅れた。これら両区の果実はいずれの台樹とも対照区に比べて著しく小さく、特にユスラウメ台樹で処理区による差が大きかった。屈折計示度は共台樹では乾燥程度が強いほど、またユスラウメ台樹ではpF 2以上の両乾燥区で高かった。総ポリフェノール含量は、両台樹ともに単位重量当たりでも1果当たりでも乾燥程度が強いほど多く、特にpF 2以上の両乾燥区で著しく多かった。

「山陽水蜜」の場合、pF 2.0~2.5と2.5以上の両乾燥区では果実の成熟がやや遅れ、果実が著しく小さく、また屈折計示度が高かった。単位重量当たりのポリフェノール含量はpF 2以上の両乾燥区が1%レベルで有意に多く、1果当たりの含量もほぼ同様の結果であ

Table 2. Effects of soil moisture stress during different stages of fruit growth on PAL activity in 'Takei Hakuho' peach fruit.

Period of water stress ^z	Treatment	PAL activity ^y	
		t-Cinnamic acid (nmol/g FW·hr)	Radioactivity incorporated into cinnamic acid from ¹⁴ C-phenylalanine (DPM/g FW·hr) ^x
Stage 1	Stressed	495.5	1836.7
	Control	575.3	1358.8
Stage 2	Stressed	16.0	107.1
	Control	5.8	38.8
Stage 3	Stressed	N.D. ^w	3.5
	Control	N.D.	2.6

^z Refer to Table 1.^y Measured at 7, or 13 days after starting of stress treatment at Stage 1, or Stage 2 and 3, respectively.^x DPM × 10³.^w Not detected.**Table 3.** Effects of soil moisture stress during Stage 3 of fruit growth on fruit weight and total soluble solids and phenolic contents of fruits harvested from 'Saotome' peach trees grafted on different rootstocks.

Rootstock and treatment (pF) ^z	Harvested date	Fruit weight (g)	Total soluble solids (° Brix)	Phenol content	
				mg/100 g FW	mg/fruit
<i>P. tomentosa</i>					
<1.5	19 June	100.4 a ^y	11.8 c	31.8 c	31.1 b
1.5~2.0	20 June	72.9 b	15.6 b	57.9 b	42.2 a
2.0~2.5	21 June	44.8 c	18.6 a	86.7 a	39.4 a
2.5<	21 June	46.8 c	18.2 a	93.2 a	44.6 a
<i>P. persica</i>					
<1.5	13 June	78.9 a	13.5 d	31.6 c	24.9 c
1.5~2.0	16 June	57.7 b	16.0 c	58.7 bc	34.7 bc
2.0~2.5	16 June	48.7 c	18.1 b	83.6 ab	41.1 ab
2.5<	16 June	43.8 c	19.5 a	100.7 a	44.4 a

^z Control of soil moisture was started on 1 June in all the treatments.^y Average values were analysed with Duncan's multiple range test. Values within rootstock and column followed by the same letter are not significantly different at P=0.01.

った (第4表)。

‘山陽水蜜’におけるPAL活性の結果を第5表に示した。分光光度計法ではいずれの処理区とも活性をまったく示さなかったが、¹⁴C標識基質法では対照区を含むすべての区で活性が認められ、また乾燥の程度が強いほど活性も高かった。

考 察

モモ果実の渋味発生に及ぼす土壤乾燥の影響を明らかにするために、土壤の乾燥時期および程度を変えて果実のポリフェノール含量に及ぼす影響を調査した。

まず、‘武井白鳳’を用いて、果実発育の第1期、第2期および第3期に乾燥処理を行ったところ、第3期すなわち成熟期の乾燥処理によってポリフェノール含量が著しく増加した。また、第3期の乾燥処理では果実の成熟が遅れ、肥大が劣り、糖含量が増加した。この結果は、‘武井白鳳’および‘山陽水蜜’について時期を変えて土壤の乾燥処理を行った筆者ら (1990) の報告と酷似した。また、石田 (1984) は、‘布目早生’について果実発育の異なった時期による差は小さいものの、果実発育第3期の乾燥処理で土壤の乾燥処理などを行い、

Table 4. Effects of soil moisture stress during Stage 3 of fruit growth on fruit weight and total soluble solids and phenolic contents of 'Sanyo Suimitsu' peach fruit.

Treatment ^z (pF)	Harvested date	Fruit weight (g)	Total soluble solids (° Brix)	Phenol content	
				mg/100 g FW	mg/fruit
<1.5	13 July	187.9 a ^y	13.3 b	55.1 b	102.3 b
1.5~2.0	14 July	157.0 b	13.9 b	44.8 b	70.7 c
2.0~2.5	15 July	111.0 d	16.4 a	114.6 a	127.7 a
2.5<	15 July	129.2 c	16.0 a	110.6 a	143.9 a

^z Refer to Fig. 1. Control of soil moisture was started on 18 June in all the treatments.^y Average values were analysed with Duncan's multiple range test. Values within column followed by the same letter are not significantly different at P=0.01.**Table 5.** Effects of soil moisture stress during Stage 3 of fruit growth on PAL activity of 'Sanyo Suimitsu' peach fruit.

Treatment ^z (pF)	PAL activity ^y	
	t-Cinnamic acid (nmol/g FW·hr)	Radioactivity incorporated into cinnamic acid from ¹⁴ C- phenylalanine (DPM/g FW·hr) ^x
<1.5	N.D. ^w	5.1
1.5~2.0	N.D.	10.7
2.0~2.5	N.D.	45.6
2.5<	N.D.	64.5

^z Refer to Fig. 1 and Table 4.^y Measured at 7 days after starting of treatment in all the plots.^x DPM × 10³.^w Not detected.

短期間処理のため時期ポリフェノール含量が多く、渋味も強いことを報告している。これらのことから、モモ果実の渋味の発生には果実発育第3期の土壌の乾燥が密接に関係していることが推察された。

そこで、共台とユスラウメ台の「さおとめ」および共台の「山陽水蜜」を供試し、果実発育の第3期に土壌の乾燥程度をpF 1.5以下、1.5~2.0、2.0~2.5および2.5以上の4段階に変えて、渋味発生に及ぼす影響を調査した。その結果、両品種いずれの台木ともpF 2.0以上の乾燥区でポリフェノール含量が著しく増加した。すなわち、ポリフェノール含量はpF 1.5以下の対照区に比べて2.0~2.5と2.5以上の両乾燥区では2~3倍であった。これらを総合すると、モモ果実の渋味の発生には果実発育第3期の土壌の乾燥が密接に関与し、この時期にpFが約2以上になると渋味の発生が促されることが考えられる。なお、「さおとめ」の場合と同様に、こ

れら両乾燥区の果実は対照区よりも成熟が遅れ、肥大が劣り、糖含量が著しく多かった。成熟期に高温乾燥が続くと、モモ果実の成熟が遅れ、肥大が劣り、屈折計示度が高くなることは経験的によく知られている。モモの台木に矮性台を使用すると、果実に渋味が発生しやすいとされている(Kubotaら, 1986; 山崎, 1984)が、共台とユスラウメ台を用いた本実験ではポリフェノール含量に違いがみられず、また土壌乾燥に対する果実の反応にも差がなかった。

モモ果実のポリフェノール含量が果実発育の第2期に急増し、第3期すなわち成熟期に著しく減少することはこれまでの報告(Craft, 1961; Joslyn・Goldstein, 1964; 久保田ら, 1986)からも明らかであるが、この時期の土壌乾燥でポリフェノール含量が増加した一因として、果実肥大が抑制されたことによるポリフェノールの濃縮が考えられる。ところが、本実験において乾燥区では単位重量当たりだけでなく1果当たりのポリフェノール含量も有意に増加した。筆者ら(1990)は、土壌乾燥によるポリフェノール含量の増加が果実肥大の抑制だけでは説明できないことを述べたが、第3期に乾燥処理を行った本実験の結果もこれとはほぼ同様であった。このことから、果実発育第3期の土壌乾燥によるポリフェノール含量の増加はフェノール物質の生合成の増大あるいはその分解の抑制によると考えられる。

PALはフェノール物質の生合成におけるKey酵素とされ、その活性がエチレンや傷害に加えて光や低温などの環境条件に大きく左右されることはよく知られている(Buren, 1970; Kataokaら, 1983; 南川・吉田, 1980; Tan, 1979)。本実験では果実のPAL活性を分光光度計法と¹⁴C標識基質法の二つの異なった方法で

測定した。これは、既に報告（久保田ら，1987）したように分光光度計法ではまったく活性の認められないものでも ^{14}C 標識基質法ではかなりの活性がみられたことによる。本実験において、‘武井白鳳’のPAL活性は、果実発育第1期処理では対照区、乾燥区ともにいずれの方法でも著しく高く、第2期処理では対照区よりも乾燥区で高いものの第1期処理に比べて著しく低かった。また、第3期処理の場合、分光光度計法ではまったく活性を示さないのに対し、 ^{14}C 標識基質法では対照区、乾燥区ともにわずかながら活性が認められたが、処理区間での差はなかった。果実の発育ステージによるこのような違いはこれまでの報告（Aokiら，1971；久保田ら，1987）とほぼ一致したが、土壤乾燥によるポリフェノール含量の増加とPAL活性との関係については明らかでなかった。ところが、‘山陽水蜜’について果実発育の第3期に同様の調査を行ったところ、分光光度計法ではまったく活性を示さなかったが、 ^{14}C 標識基質法ではポリフェノール含量の違いと同様に乾燥程度が強いほど高く、特にpF 2.0以上の両乾燥区で高い活性を示した。このことから、果実発育第3期の土壤乾燥によるポリフェノール含量の増加にはPAL活性が関係していることが推察され、土壤乾燥もまたPAL活性を増大させる一因と思われた。しかしながら、その活性が感度の高い ^{14}C 標識基質法でのみ認められたことを考えると、両者の関係については土壤乾燥によるフェノール化合物の分解の抑制も含めてさらに詳細に検討する必要がある。なお、本実験において果実発育第3期のPAL活性は‘武井白鳳’と‘山陽水蜜’とは様相が異なり、前者では処理による差がほとんど認められなかったのに対し、後者では明らかに対照区よりも乾燥区で高かった。これは、‘武井白鳳’では乾燥処理後13日目の測定であるのに対し、‘山陽水蜜’では7日目の測定であることから、処理開始後のサンプリング時期の違いによると思われる。

以上のことから、モモ果実の渋味の発生には果実発育第3期の土壤乾燥が密接に関係しており、この時期に土壤がpF約2以上になると果実のポリフェノール含量が著しく増加すると考えられる。この増加にはPAL活性が関与していることが推察されるものの、この点についてはフェノール化合物の分解とともに更に検討が必要である。

摘 要

モモ果実における渋味の発生要因の解明ならびにその軽減方法の確立を図るための基礎資料を得ることを

目的として、土壤乾燥の時期および程度がコンテナ植えモモ樹における果実のポリフェノール含量とPAL活性に及ぼす影響を調査した。

‘武井白鳳’を用いて、果実発育の第1期、第2期および第3期に土壤pFを乾燥区では2.3～2.7、対照区では1.5以下に維持したところ、乾燥時期が遅いほど成熟が遅れた。第3期乾燥区では果実が著しく小さく、屈折計示度が最も高かった。第3期乾燥区では果実のポリフェノール含量も著しく多かったが、PAL活性には顕著な差がなかった。共台およびユスラウメ台の‘さおとめ’ならびに共台の‘山陽水蜜’を供試し、果実発育の第3期に土壤pFを1.5以下、1.5～2.0、2.0～2.5および2.5以上の4段階に調節したところ、両品種とも乾燥程度が強いほど果実が小さく、屈折計示度が高かった。果実のポリフェノール含量はpF 2以上の両乾燥区で多かった。‘山陽水蜜’のPAL活性は分光光度計法では認められなかったが、 ^{14}C 標識基質法では乾燥程度が強いほど高かった。

以上の結果から、モモ果実の渋味の発生には果実発育第3期の土壤乾燥が密接に関与し、この時期にpFが約2以上になると渋味が発生しやすいと思われた。

謝 辞 ^{14}C 標識基質法によるPAL活性の測定に際して、多大の御援助を頂いた本学農学部生物機能・遺伝資源開発学講座白石友紀助教授に感謝の意を表する。

引用文献

- Aoki, S., C. Araki, K. Kaneko and O. Katayama. 1971. Occurrence of L-phenylalanine ammonia-lyase activity in peach fruit during growth. *Agr. Biol. Chem.* 35 : 784-787.
- Buren, J. V. 1970. Fruit phenolics. p.269-304. In : A. C. Hulme (ed.). *The biochemistry of fruits and their products*. Academic Press, New York.
- Craft, C.C. 1961. Polyphenolic compounds in Elberta peaches during storage and ripening. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 78 : 119-131.
- Faragher, J. D. and D. J. Chalmers. 1977. Regulation of anthocyanine synthesis in apple skin. III. Involvement of phenylalanine ammonia-lyase. *Aust. J. Plant Physiol.* 4 : 133-141.
- Hesse, C. O. 1975. Peaches. p.285-335. In : J. Janick and J. N. Moore (eds.). *Advances in fruit breeding*. Purdue Univ. Press, West Lafayette, Ind.
- Hiramatsu, M., Y. Ichinose, T. Shiraishi, H. Oku and S. Ouchi. 1986. Regulation of pisatin biosynthesis in pea leaves by elicitor and suppressor produced by *Mycosphaerella pinodes*. *Ann.*

- Phytopath. Soc. Japan 52 : 53-58.
- 石田 隆・大城 晃, 1983. 早生モモの渋味原因の解明と防止対策 (果実の肥大期における土壌の乾燥処理と渋果発生との関係). p. 341-342. 農水省果試編. 昭和 57 年度落葉果樹に関する重要研究問題検討会.
- 石田 隆, 1984. 早生モモの渋味原因の解明と防止対策 (渋果発生に及ぼす土壌乾燥処理時期の影響). p. 23-24. 農水省果試編. 昭和 58 年度落葉果樹に関する特定課題研究会資料.
- Joslyn, M. A. and J. L. Goldstein. 1964. Astringency of fruits and fruit products in relation to phenolic content. p.179-217. In : Advances in food research. Vol. 13. Academic Press, New York.
- Kataoka, I., Y. Kubo, A. Sugiura and T. Tomana. 1983. Changes in L-Phenylalanine ammonia-lyase activity and anthocyanine synthesis during berry ripening of three grape cultivars. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 52 : 273-279.
- Koukol, J. and E. E. Conn. 1961. The metabolism of aromatic compounds in higher plants. J. Biol. Chem. 236 : 2692-2698.
- 久保田尚浩・川尾尚史・島村和夫, 1990. モモ果実のポリフェノール含量に及ぼす土壌の乾燥ならびに気温の影響. 生物環境調節 28 : 141-146.
- 久保田尚浩・三村博美・島村和夫, 1988. 土壌の乾燥と灌水がモモ果実のフェノール含量に及ぼす影響. 岡山大学農学報. 71 : 17-21.
- 久保田尚浩・西山範子・薬師寺浩子・島村和夫, 1987. モモ果実におけるフェノール生合成とPAL活性との関係. 園学要旨. 昭 62 秋 : 182-183.
- 久保田尚浩・島村和夫・三村博美, 1986. モモ果実におけるフェノール含量の品種間差異及びその季節的变化. 園学要旨. 昭 61 春 : 62-63.
- Kubota, N., K. Shimamura, H. Mimura and M. Nakano. 1986. Changes in the content of total phenolic compound during fruit ripening of peaches as affected by different rootstocks. Hort-Science 21 : 765.
- 南川隆雄・吉田精一, 1980. 高等植物の二次代謝. p. 37-53. 東大出版会. 東京.
- 中林敏郎・木村 進・加藤博通, 1967. 食品の変色とその化学. p. 64-115. 光琳書院. 東京.
- Tan, S. C. 1979. Relationships and interactions between phenylalanine ammonia-lyase, phenylalanine ammonia-lyase inactivating system, and anthocyanine in apples. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104 : 581-586.
- 山崎利彦, 1984. わい化栽培. p. 177-187. 農業技術大系. 果樹編 6 (モモ, ウメ, スモモ, アンズ). 農文協. 東京.