

おいしいモモの生産と出荷技術に関する研究

高野 和夫

Delicious Peach Fruit Production and Shipping Technology

Kazuo Takano

序

岡山県の恵まれた気候風土と、生産者のたゆまぬ努力によって培われた技術に支えられた、特産の「白桃」は、「くだもの王国おかやま」を代表する本県主要品目であり、気品ある外観と美味しさから、全国に名声を博している。

一方、モモの品質は、気候や土壌条件の外、栽培管理方法や収穫熟度等によっても変動することから、果実の外観だけでは「美味しさ」を判断することは極めて難しかった。しかし、「平成」に入り本県主要産地では、近赤外分光法による果実糖度の非破壊測定が実用化されたことから、糖度を保証した果実の出荷体制が広く普及した。このため、天候が不順な年でも糖度の高い果実が安定して生産できる技術確立が強く求められ、「糖度の高いモモを生産するための栽培管理指標」の策定調査を、当時の農業試験場や農業改良普及センター等の関係者が一体となり進めることとなった。

そこで、糖度の高い果実を生産するためのモモ樹の栄養状態を反映する樹相診断技術を確立し、その指標を作成するとともに、近赤外分光法によるモモ樹の栄養診断技術を確立した。さらに、高品質なモモの出荷に役立てるため、果実の成熟に伴う品質変化と、鮮度保持方法を明らかにした。これらの成果は、高品質なモモを生産するための栽培技術として、本県はもとより、全国で広く利用されているところである。

本論文は、高冷地研究室高野和夫専門研究員が平成元年の研究開始以来、逐次発表してきた一連の研究成果を取りまとめたもので、実用性は勿論のこと、学術的にも貴重な業績であるので、広く刊行し、一般の参考に供する次第である。

なお、本論文は同氏が平成19年9月30日に岡山大学大学院博士課程修了に伴い授与された博士（農学）の学位論文を基に編纂したものであることを付記しておく。

平成22年12月

岡山県農林水産総合センター農業研究所長
博士（農学） 伊 達 寛 敬

目次

緒言	27
第1章 糖度の高いモモを生産するための栄養診断技術開発	
第1節 モモ果実糖度に日照時間と降水量が及ぼす影響	29
第2節 モモ樹の栄養状態が果実品質に及ぼす影響	32
第3節 糖度の高い果実を生産するための栄養診断指標	42
第4節 近赤外分光法によるモモ樹の栄養診断の迅速化	51
第2章 高品質なモモの出荷技術開発	
第1節 モモの渋味の非破壊評価	59
第2節 樹上での果実のクロロフィル含量の非破壊測定による熟度判別	66
第3節 収穫果実の日持ち性の光学的評価	69
第4節 完熟モモ流通のための収穫適期、鮮度保持および輸送方法の検討	72
第3章 総合考察	78
摘要	81
引用文献	83
英文摘要	88

緒言

おいしいモモにめぐり合うと、とても幸せな気分になる。甘い香りと味、多汁で、そしてチーズのように滑らかでとろける様な肉質、これが、岡山の白桃である。しかしながら、モモは外観からおいしさを判断することは極めて難しく、しばしば、期待を裏切られる結果となっていた。ところが、モモ果実の糖用屈折計示度（以下、糖度）が近赤外分光法により非破壊測定可能なことがkawano et al. (1992) により示され、1989年に岡山市の一宮農協（オフライン型、三菱重工業）（中村ら、1989）と、山梨県の西野農協（オンライン型、三井金属）において実用化され、糖度を保証した果実の流通が可能となった。1993年には、岡山県でもオンライン型（三井金属）の非破壊糖度選果機が玉島北農協に導入され、モモ果実糖度の全量検査システムが稼動した。その後、日本のモモの主要な産地においては糖度選果が必須となりつつあり、岡山県でも2009年の時点において県内の主要な7産地に導入が進み、県産モモの系統出荷量の大多数が糖度選果されるまでに至っている。

近赤外分光法による非破壊糖度選果により糖度を保証した果実の流通が一般的となった現在、岡山県産のモモの評価を高め、生産者の収益性を向上するためには、これまでも増して栽培環境の改善による高品質果実生産への取組みが必要である。近赤外分光法による非破壊糖度選果機を導入した産地では、単に糖度選果を行い消費者に糖度を保証した果実を提供するだけでなく、糖度選果データを解析し、栽培上の問題点を抽出し、品質向上を図る取組みがなされてこそ、非破壊糖度選果機を導入した真価が発揮されるものと考えられる。

近赤外分光法による非破壊糖度選果機の導入が先行した山梨県では、糖度選果データを基に園地の実態調査が行われ、園地条件、樹体条件、果実条件、管理方法および気象条件などについて、高糖度園の要因と低糖度園の要因が示されている（今井、1991；土橋、1991）。これらの調査結果には、他の産地においても共通する部分が多いが、産地により品種構成、気象条件、土壌条件は異なり、実状が相違する部分も存在する。その中で、これまでの多くの研究（村田、1979；岡本、2001；繁田ら、1991；渡辺、1960）で示されているように、過剰な施肥によるモモ樹の窒素過多が果実品質を低下させることは、多くのモモ産地で共通する部分と考える。しかし、現地でのモモ樹の栄養状態

と果実糖度との関係は十分には解明されていないのが現状である。

モモ樹の栄養状態の改善による品質向上を推進するためには、具体的な栄養診断指標の作成が必要であり、それは、園地別の糖度選果データと園地別の樹体栄養状態との関連を解析することにより、糖度を重視した栄養診断指標の作成が可能になったと考える。これまでに、果樹の栄養診断に関しては多くの研究がなされ（石原、1982；千葉ら、1982）、カキ（小野・黒田、1986）、ミカン（山田、1978）およびブドウ（古井ら、1982；竹下ら、1975；繁田ら、1990）では、果実品質を考慮した栄養診断指標が示されている。しかし、モモでは果実糖度を考慮した指標はいまだに示されておらず、糖度選果に対応した生産性と果実品質を考慮した栄養診断指標の早急な作成が望まれる。そして、栄養診断に基づく肥培管理を推進するためには、栄養診断の簡易迅速化が不可欠であり、その方法としては、近年多くの分野で非破壊検査に活用されている近赤外分光法（岩本ら、1994）が最も有望視される。

一方、果実の流通に目を向けると、時として強烈的な渋味を有する果実が存在し、消費者からのクレームの原因になっている。特に、近赤外分光法による糖度選果により高糖度で分級したロットに渋味を有する果実が混入すると、産地の評価が大きく低下する。現在、渋味の強い果実を判別する技術は未確立であり、その技術開発が強く望まれている。

また、モモは成熟末期の果実肥大と糖含量の増加が著しく、熟度が進むほど果実品質が向上するものの、完熟した果実の流通は現行の常温輸送体系では傷みが発生するため困難であり、本来の味を呈する熟度よりも2～5日前に収穫せざるを得ないのが現状である。しかし、近年の輸送環境の変化は著しく、低温輸送のための環境もかなり整備されるとともに、従来の市場出荷以外にインターネット販売などによる生産者から消費者への直接販売も増加し、完熟した果実の流通の可能性が高まったと考えられる。完熟とはいかないまでも、輸送方法を再検討することにより、より熟度の進んだ糖度の高い果実の出荷が可能であり、出荷技術の改善も品質向上の一方策と考える。

このような背景を基に、糖度の高いモモを生産するための栄養診断技術の確立と、高品質な果実の出荷技術の開発を目的として、第1章では、モモ果実の糖度と気象条件、樹体栄養条件との関係を解析し、糖度の高い果実を生産するための栄養診断指標を策定した。さらに、栄養診断に基づく肥培管理を推進するために

は、葉分析の簡易迅速化が不可欠であることから、近赤外分光法による葉中無機成分の簡易迅速測定法を開発した。第2章では、モモ果実の渋味、熟度、日持ち性について紫外から近赤外領域の光を利用した非破壊評価法を検討するとともに、樹上で完熟した果実の流通の可能性について検討した。

本論分は、これら一連の調査・研究について、既に公表した成果（高野，2003abc；2004；2007；高野・妹尾，2000；高野・山本，2000；2008；高野・安井，2004；高野ら，1998；2004；2005；2006；2007ab）に未発表の成果を含めて取りまとめたものである。本研究が、岡山県産モモのより一層の食味向上に役立てば幸である。

本論分の取りまとめに当たり、御懇篤なる御指導と御鞭撻を賜りました元岡山大学大学院自然科学研究科多田幹郎教授、岡本五郎教授、岡山大学大学院自然科学研究科久保田尚浩教授、村田芳行教授に深く感謝の意を表します。

青果物の流通技術に関して、多くの知見を御教示頂いた元農林水産省中国農業試験場流通技術研究室長太田英明博士に感謝の意を表します。

近赤外分光法に関して、多くの知見を御教示頂いた食品総合研究所非破壊評価研究ユニット河野澄夫博士、元山口県農業試験場吉松敬祐氏、和歌山県農林水産総合技術センター果樹試験場宮本久美博士、元愛知県農業総合試験場大竹良知博士、並びにプロジェクトNIR2001で近赤外分光法に関する勉学の機会をお与え頂いた関西学院大学理学部尾崎幸洋教授に感謝の意を表します。

完熟モモの流通に関する試験および近赤外分光法による非破壊測定に関する試験において、御支援頂いた元農業試験場化学部繁田充保氏、海野孝章氏、農業研究所作物・経営研究室妹尾知憲氏、並びに果実材料の提供を頂いた前果樹部の方々に感謝の意を表します。また、完熟モモの輸送試験に快く御協力頂いたヤマト運輸（株）に厚く御礼申し上げます。

果実の光学的評価に関する試験において、各種の測定機器を貸与頂いた（株）クボタ、新川電機（株）および浜松ホトニクス（株）に厚く御礼申し上げますとともに、御助言を頂いた（株）クボタ森本進博士に感謝の意を表します。

現地モモ園の生育調査と果実品質調査は、元JA玉島北故三宅明氏、元JA吉備路石田昭夫氏、前岡山県農業総合センター総合調整部技術普及課有吉俊明氏、片岡繁也氏、前倉敷農業改良普及センター渡辺

昭彦氏、佐伯一夫氏、原卓士氏、中山貴史氏、平松竜一氏、生本和浩氏、丸山安恒氏、仁科寿氏、倉藤祐輝氏、山下裕氏、前東備農業改良普及センター松澤秀之氏、前農業試験場果樹部木村剛氏、笹邊幸男氏、果樹研究室藤井雄一郎氏と共同で行ったことを記して、厚く感謝の意を表します（各氏の所属は調査時）。また、現地モモ園の気象要因の解析並びに栄養状態と土壌状態の実態調査は、共同研究者である農林水産総合センター普及推進課山本章吾氏および農業研究所環境研究室森次真一氏と共同で行ったことを記して、感謝の意を表します。研究の遂行に当たり御支援頂いた元農業試験場副場長依田征四氏、元化学部長柳井雅美氏、元場長沖和生氏、元化学研究室熊代幹夫氏並びに果樹研究室と前化学研究室の方々に心より御礼申し上げます。

本論分の取りまとめに当たり常に励ましの言葉を頂いた元副場長坂本定禧博士、（有）ひるぜんワイン植木啓司博士に感謝いたします。

最後に、現地モモ園の実態調査に当たり、多大なる御協力と御助言を頂いたモモ栽培農家の方々に、深く御礼申し上げます。

なお、本研究は「モモ・ブドウの新流通技術の確立（1989～1990年、岡山県単独事業）」、「内部品質を重視した地域農産物及びその加工製品の非破壊品質判定技術の開発（1994～1996年、農林水産省助成事業）」、「高糖度モモ生産のための栽培管理指標の策定（1997～2001年、岡山県単独事業）」、「土壌ならびに作物態の非破壊モニタリングシステムの開発（1999～2001年、岡山県単独事業）」、「県特産農産物の機能性評価（2002～2004年、岡山県単独事業）」、「高品質果実安定生産をめざした根圏環境改善技術の確立（2002～2006年、岡山県単独事業）」、「モモ・ブドウ等の食味と機能性の評価（2005～2007年、岡山県単独事業）」の一部として実施した。

第1章 糖度の高いモモを生産するための栄養診断技術開発

第1節 モモ果実糖度に日照時間と降水量が及ぼす影響

モモ果実の糖度は、成熟期の天候の影響を強く受け大きく変動する（加藤，1985；寿松木ら，1990；千々和ら，1985）。近年，近赤外分光法によるモモ果実糖度の非破壊測定が実用化され，これまで不明であったモモ産地全体での果実糖度の実態が明らかになった。選果場における非破壊測定糖度（以下，選果糖度）データを見ると，年次変動が認められるとともに，天候不順な年でも比較的糖度の高い生産者が存在する一方，天候に恵まれた年でも糖度の低い生産者が存在する。著者らは，この年次間差と生産者間差が何に起因するかを明らかにし，糖度の高いモモ生産のための栽培管理指標を策定するために，樹の生育状態，栄養状態並びに土壌の物理化学性など一連の現地調査を行った（岡山県農業総合センター，2003）。

本説では，選果糖度と日照時間，降水量との関連について解析した。

材料および方法

岡山県南部の栽培面積約120 haのモモ主産地において，‘清水白桃’の1993～1998年における光センサーによる選果糖度と，日照時間および降水量との関連を調査した。選果場における糖度の非破壊測定は，三井金属鉱業（株）の光センサー非破壊糖度選別システムにより行われた。気象データは，調査産地に最も近い岡山地方気象台・倉敷観測地点における，旬別の日照時間と降水量を用いた（表1-1）。解析は，選果場における総選果数に対する平均糖度（以下，選果平均糖度）について，日照時間と降水量との関連を，単回帰分析並びに重回帰分析で行った。ただし，1998年は成熟期が平年より極端に早まったので，日照時間と降水量の旬別データを1旬繰り下げて解析した。また，形状センサーにより測定された総選果数に対する16玉（4kg箱）以上の果実の割合（大きな果実の割合）を用いて，果実の大きさと日照時間および降水量との関連を解析した。

結果

1993～1998年において，調査産地における‘清水白

桃’の選果平均糖度（°Brix）の年次間差は最大で2.6°であった。一方，生産者別の選果糖度における年次別の最低値と最高値の差は，6年間の平均では4.6°であり，選果平均糖度の年次間差よりも大きかった（図1-1）。

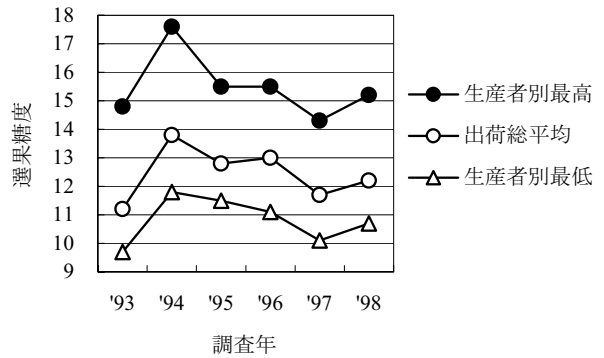


図1-1 ‘清水白桃’の選果糖度の年次推移

選果平均糖度と旬別の日照時間との相関を見ると，7月中旬～8月上旬，8月上旬，7月下旬～8月上旬の順で有意な正の相関が認められた（表1-2，図1-2）。また，

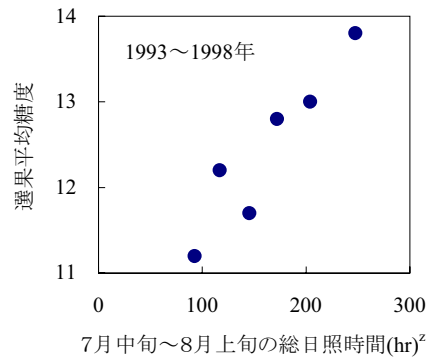


図1-2 ‘清水白桃’の年次別の選果平均糖度と日照時間との関係
² 1998年のみ7月上～下旬

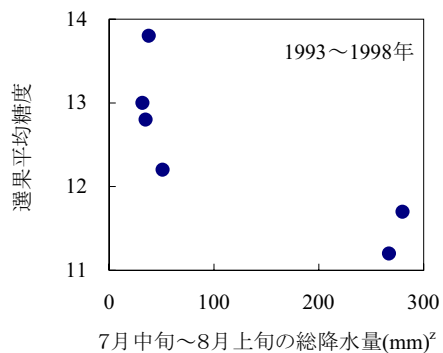


図1-3 ‘清水白桃’の年次別の選果平均糖度と降水量との関係
² 1998年のみ7月上～下旬

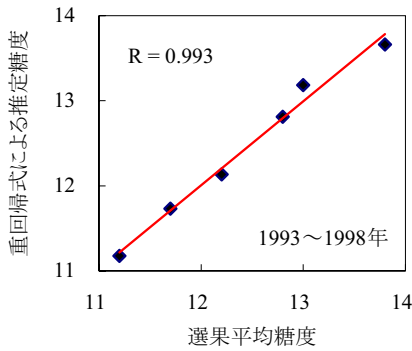


図1-4 1993～1998年の‘清水白桃’の年次別選果平均糖度を7月中旬～8月上旬^zの総日照時間と総降水量から重回帰分析で推定した値と、実際の選果平均糖度との関係
^z 1998年のみ7月上～下旬

選果平均糖度と旬別の降水量との相関を見ると、7月中旬～8月上旬、7月下旬～8月上旬並びに7月中～下旬との間に有意な負の相関が認められたが、選果平均糖度と降水量との相関係数は、日照時間との相関係数よりも低かった（表1-2、図1-3）。

選果平均糖度を従属変数、旬別の日照時間および降

水量を独立変数とした重回帰分析において、日照時間を選果平均糖度との単相関係数が最も高かった7月中旬～8月上旬に固定した場合に、旬別降水量の中で高い重相関係数を示したのは7月中旬、7月中～下旬並びに7月中旬～8月上旬であった（表1-3、図1-4）。重回帰分析において、7月中旬の降水量は、7月上旬、7月下旬および8月上旬の降水量に比べ偏相関係数が高いことから、選果平均糖度への影響が最も高いと考えられた。逆に、7月上旬の降水量は偏相関係数が0に近く、選果平均糖度に及ぼす影響は非常に低いと考えられた（表1-3）。

得られた重回帰式に1993～1998年における日照時間と降水量の最低値と最高値を代入し、日照時間と降水量それぞれによる選果平均糖度の変動幅を計算すると、1993～1998年における日照時間による変動幅が1.8°、降水量による変動幅が0.8°であり、日照時間による変動の方が大きかった（表1-4）。

また、果実の4kg箱詰めにおける16玉以上の果実の割合（大きな果実の割合）と日照時間との間には、有意な負の相関関係が認められ、日照時間が多い年ほど果実が小さい傾向にあり、その相関係数は降水量と16

表1-1 旬別の日照時間及び降水量と選果場における‘清水白桃’の出荷時期

年次	旬別降水量(mm)・(月旬)					旬別日照時間(hr)・(月旬)					選果平均果径 16玉以上(%)	収穫時期(月/日)		
	6下	7上	7中	7下	8上	6下	7上	7中	7下	8上		始	盛り	終
1993		144	64	145	58		13	27	52	15	79	7/19	欠調	8/13
1994		7	0	20	18		67	91	64	93	43	7/16	8/3-10	8/26
1995		276	11	24	0		33	29	54	89	72	7/18	7/30-8/10	8/25
1996		18	31	1	0		20	57	70	77	56	7/22	8/12	8/26
1997		92	164	68	48		42	51	58	37	74	7/13	7/25-8/6	8/17
1998	50	2	19	30	68	13	65	30	22	49	70	7/10	7/19-29	8/9

表1-2 1993～1998年における‘清水白桃’の選果平均糖度と旬別の日照時間及び降水量との相関^z

要因	選果平均糖度との単相関係数(月旬)							
	7上	7中	7下	8上	7中下	7下8上	7上中下	7中下8上
日照時間	0.63	0.68	0.43	0.90*	0.77	-0.83*	0.76	0.94**
降水量	-0.31	-0.62	-0.80	-0.80	-0.81*	-0.83*	-0.73	-0.83*

^z 1998年は成熟が早かったため気象データを1旬繰り下げて解析、相関係数の有意水準：*5%、**1%

表1-3 1993～1998年における‘清水白桃’の選果平均糖度を従属変数、日照時間と降水量を独立変数とする重回帰分析において、第1独立変数を7月中旬～8月上旬の総日照時間に固定した場合の、第2独立変数・降水量の旬別の相関^z

重相関係数	第2独立変数・旬別降水量(月旬)							
	7上	7中	7下	8上	7中下	7下8上	7上中下	7中下8上
日照時間	0.939	0.990	0.965	0.962	0.996	0.968	0.960	0.993
降水量	0.089	-0.917	-0.647	-0.615	-0.967	-0.680	-0.578	-0.942

^z 1998年は成熟が早かったため気象データを1旬繰り下げて解析

表1-4 1993～1998年における‘清水白桃’の選果平均糖度を従属変数、年次別の日照時間と降水量を独立変数とする重回帰分析での、重回帰式と各要因による糖度の変動幅

1993～1998年の気象データによる重回帰式 ^z	気象変動幅 ^y		糖度変動幅 ^x	
	日照時間 (hr)	降水量 (mm)	日照時間 (°Brix)	降水量 (°Brix)
選果平均糖度=10.98+0.0113×日照時間-0.0032×降水量	155	248	1.8	0.8

^z 日照時間、降水量は各年の7月中～8月上旬の総量、ただし1998年のみ7月上～下旬

^y 7月中旬～8月上旬の総日照時間と総降水量の1993～1998年における最高値と最低値との差

^x 重回帰式における各独立変数の係数に気象変動幅を乗算した値

表1-5 1993～1998年における‘清水白桃’の選果場における16玉(4 kg箱)以上の果実の割合(大きい果実の割合)と旬別の日照時間、降水量との相関^z

要因	16玉以上の割合との単相関係数(月旬)							
	7上	7中	7下	8上	7中下	7下8上	7上中下	7中下8上
日照時間	-0.65	-0.85*	-0.51	-0.72	-0.94**	-0.71	-0.88*	-0.92**
降水量	0.63	0.47	0.63	0.55	0.63	0.62	0.82*	0.63

^z 1998年は成熟が早かったため気象データを1旬繰り下げて解析、相関係数の有意水準: *5%, **1%

玉以上の果実の割合との相関係数よりも高かった(表1-5)。

考 察

モモ果実の糖度は、成熟期の天候の影響を強く受け、大きく変動する。加藤(1985)は白鳳の収穫前15日間の平均気温、降水量との関係を調査し、平均気温が高く降水量の少ない年は糖度が高いことを明らかにしている。寿松木ら(1990)は、収穫期の人工降雨処理により、糖度が降雨処理前より低下することを認めている。また、千々和ら(1985)は、降水量と日照時間による影響は品種により異なり、降雨の影響を強く受ける品種と、日照時間の影響を強く受ける品種があることを報告している。

本調査での1993～1998年における‘清水白桃’の選果平均糖度の年次間差は、最大2.6°であった(表1-1)。この6年間の中には、記録的な冷夏で梅雨明けが特定できなかった1993年と、記録的な猛暑であった1994年が含まれている。加藤(1985)が福島県果樹試験場で‘白鳳’について、1973～1983年における11年間の変動を調査した結果では、糖度の年次間差は最大2.8°であり、今回の調査とほぼ同じであった。

重回帰分析の結果、‘清水白桃’の年次別の選果平均糖度は、7月中旬から8月上旬の日照時間および降水量と高い重相関係数を示した。重回帰分析結果から選果平均糖度の年次変動に対する日照時間と降水量の影響を比較すると、選果平均糖度の年次間差2.6°の内1.8°が日照時間によるものと推定され、降水量よりも日照時間による影響の方が大きかった(表1-4)。日照時間は、光合成による糖の集積に関与するが、それ以

外に、モモ樹の水分状態への影響も無視できないのではないかと考えられる。16玉以上の大きさの果実割合と日照時間および降水量との関係を解析した結果では、選果場に出荷された果実の大きさは、降水量よりも日照時間との負の相関係数の方が高かった(表1-5)。同じ降水量でも日照時間が多い方が土壌の乾燥が進行すると考えられるし、葉や果実の蒸散も促進され、結果的に果実肥大の抑制と、果実への糖の集積が促進されるのではないかと考える。

糖度への降水量の影響は日照時間よりも低く、選果平均糖度の年次間差2.6°の内0.8°が降水量によるものと推定された(表1-4)。収穫期の降雨や過灌水により糖度が低下することは、各務ら(1985)や寿松木ら(1990)の試験からも明らかであるが、産地全体の糖度を多年時に渡って解析すると、‘清水白桃’では7月中旬の降雨の影響も大きかった(表1-3)。この時期は岡山県の梅雨明けの平年値が7月20日であることから、梅雨明けの早晚が影響するとも考えられる。7月中旬は、8月上旬に収穫盛期を迎える‘清水白桃’においては収穫2～3週間前に当たるが、この時期の乾燥は土壌中からのNの吸収を抑制し、新梢の遅伸びや再伸長を抑制すると考えられる。また、小橋(2000)が指摘したように、土壌が乾燥することにより、果実への糖の集積に関与するアブシジン酸(以下、ABA)の発現が早まることも考えられる。一方、収穫4週間前に当たる7月上旬の降雨は、各務ら(1985)が行った試験と同様に、糖度への影響は低いものと推察された(表1-3)。

モモ果実の糖度は、日照時間と降水量の影響を強く受けるが、降水量はシートマルチなどにより影響を軽

減することは可能である。また、果実成熟時の日照時間が少ない年でも糖度12.0°以上の果実生産者が存在することから、栽培方法の改善により、天候不順な年でも比較的糖度の高いモモを生産することは十分可能と考える。

第2節 モモ樹の栄養状態が果実品質に及ぼす影響

前節（第1章第1節）において、‘清水白桃’の選果糖度と気象条件との関係を解析した結果、糖度は日照時間が多く雨量が少ない年ほど高く、1993年以降の6年間における糖度の最高年と最低年との差は2.6°であった。一方、生産者別に糖度を比較すると、天候不順な年でも糖度の高い果実生産者が存在する反面、天候が良好な年でも糖度の低い果実生産者が存在し、同一年次における糖度の生産者間差は最大で約4.6°であり、気象要因以上に栽培環境要因による影響の方が大きいことが明らかになった（高野，2003c）。そこで、糖度の高いモモの安定生産技術を確立するために、岡山県南部における‘清水白桃’園の中で、糖度の高い果実を生産する園地と低い果実を生産する園地の樹の生育状態、栄養状態並びに土壌状態を比較調査した（岡山県農業総合センター，2003；高野，2003a）。その結果、糖度は樹冠下の相対照度（高野・山本，2000；高野，2003b）や土壌中の全窒素含量（山本，2002；2003）などと相関が高いことが明らかになった。

本節では、その中で糖度に最も大きな影響を及ぼすと推察された、樹体の窒素（N）およびカリウム（K）の栄養状態が果実品質に及ぼす影響について解析した。

材料および方法

1. 調査園地

(1) 現地園1

岡山県南部の倉敷市と総社市の丘陵地から水田転作地までの地域において、‘清水白桃’を対象に1997年は13園、1998年は前年の10園に新たに10園を加え、それぞれ13樹と27樹について、生育状態を調査するとともに葉、土壌および収穫果実（有袋栽培）の成分分析を行い、樹の栄養状態が果実品質（糖度、肥大、硬度）と生育状態に及ぼす影響を調査した。調査樹の樹齢は6～15年生で、園地によりせん定強度並びに着果量はやや異なった。調査樹の1997年および1998年の満開日はそれぞれ4月6～9日、4月5～8日、収穫日はそれぞれ

7月25～31日、7月13～30日であった。

1997年並びに1998年の現地調査園では、調査結果を生産者に随時報告し、NやKが過剰で糖度が低いと診断される園地には、肥料、堆肥、敷きわら並びに敷き草の過剰施用の是正を促した。その中の13園17樹については、1999年も継続して葉および果実の成分分析を行い、同一園地における樹の栄養状態の年次変化が糖度に及ぼす影響を調査した。

(2) 現地園2

岡山市と倉敷市の‘清水白桃’33園から、1995年に果実を採取し、糖組成を調査した。

(3) 農試圃場

赤磐市の農業試験場圃場（以下、農試圃場）において、1995年に、有袋（オレンジ無底）栽培された‘清水白桃’果実を採取し、果実のクロロフィル含量と果肉硬度との関係を調査した。また、11品種について果実の糖組成を分析し、品種別変動を調査するとともに、‘白鳳’については熟度別変動、‘白桃’については樹体栄養状態による変動を併せて調査した。1998年には、樹齢5～10年生の‘清水白桃’8樹において、果実肥大と葉中のNおよびK含量との関係を調査した。

2. 生育調査

現地園1において、満開60日後と90日後に、側枝単位で全葉芽数に対する伸長中の新梢数の割合（以下、伸長新梢率とする）を調査した。満開90日後には、樹内の全徒長枝（60 cm以上）数を調査した。落葉後（11月中旬）には、側枝単位で全新梢を花束状短果枝（2 cm未満）、短果枝（2 cm以上～10 cm未満）、中果枝（10 cm以上～30 cm未満）、長果枝（30 cm以上～60 cm未満）、徒長枝（60 cm以上）に区分し、新梢の長さ別割合を調査した。

満開120日後には、樹冠下の照度を照度計（LX-1332、カスタム製）で測定し、樹冠外の照度に対する相対値を算出した。樹冠下で照度を測定すると、木漏れ日を測定し、その影響を強く受けることがある。このため、光を散乱させる工夫が必要となる。今回の調査では、上面にコピー用紙を張ったブドウ2 kg箱の中にセンサーを入れ、主枝もしくは亜主枝の直下で地面より約1 mの高さ4～5か所の照度を測定し平均した。

3. 葉分析

現地園1および農試圃場で、満開約30、60、90、120および150日後に、結果枝先端の新梢長が平均的な枝において、基部のごく小さな1、2枚の葉を除いて、葉身の長さが5 cm以上の葉から先端側に3枚目（30日後）、6～10枚目（60日後以降）の葉を1樹当たり15～20枚採

取した。水洗後に70℃で通風乾燥し、粉碎機（サイクロンサンプルミル、UDY製）で粉碎した。この粉末試料について、1995年には、過酸化水素と硫酸を用いて湿式分解し、セミマイクロケルダール法でN含量、炎光光度法でK含量を測定した。1997年以降は、高野ら（1998）の方法に準じて近赤外分光光度計（6500型、NIRSystems製：以下、6500型近赤外分光計）を用いてNおよびK含量を測定した。

4. 土壌分析

現地園1において、満開90日後に、深さ0～40 cmの土壌を採取して、保温静置法（30℃、4週間）で可給態N含量を分析した。

5. 果実肥大調査

現地園1および農試圃場において、1樹当たり10果実にラベルを付し、経時的に果実の縦、横、側径をノギスで測定し、木村ら（1996）が作成した下記計算式から幼果重を推定した。収穫は、果頂部から果実赤道部まで果皮の緑色が退色し、梗あ部に緑色が残る状態に達した時点でを行い、果実重を計量した。

【果実重推定計算式】

3～20gの果実：推定果実重（g）＝ $-0.09+0.000481 \times$
縦径×横径×側径（mm）

20～95gの果実：推定果実重（g）＝ $-3.06+0.000558 \times$
縦径×横径×側径（mm）

95～200gの果実：推定果実重（g）＝ -3.72
 $+0.000542 \times$ 縦径×横径×側径（mm）

6. 果実分析

(1) 糖、酸、N含量

現地園1において、果頂部から果実赤道部まで緑色が消失し、梗あ部に緑色が残る果実を、1樹当たり10～30個採取した。そして、糖度を果実赤道部のほおの部分の果肉を果皮面から深さ2～3 cmに至るまでクサビ状に切り取り、手で搾汁して屈折計（No.95973、PIKA製）で測定した。また、1樹当たり5～10果からほおの部分の果肉を果皮面から核に至るまでクサビ状に切り取り、ビニル袋内で潰して得た果汁を紙ワイパー（キムワイプ、クレシア製）でろ過した。この果汁について、0.02 M 水酸化ナトリウム液を用いた中和滴定法により酸含量を、また、果汁10 mlに硫酸5 mlと過酸化水素（2 ml×5回）を加えて加熱分解した後、セミマイクロ蒸留法により全N含量を測定した。

(2) 果肉硬度

現地園1および農試圃場から採取した果実について、果実赤道部を剥皮し、果実硬度計（FT011、ITALTEST製）により直径8 mm（0.5 cm²）もしくは11 mm（1.0

cm²）の円柱プランジャーを用いて果肉硬度を測定した。

(3) クロロフィル含量

現地園1および農試圃場から採取した果実について、6500型近赤外分光計を用いて、400～1100 nmの波長域における反射スペクトルを果実と同軸光ファイバーを密着させずに3～5 mmの間隔を保った状態で測定し、678 nmにおける吸光度をクロロフィル含量の指標とした。

(4) 果実熟度

現地園1、現地園2および農試圃場から採取した果実について、熟度を次の4段階に分類した。0：未熟（果皮全体に緑色が残る状態）、1：機械選果熟度（果頂部の緑色が消失し、わずかに紅を差す状態）、2：手選果熟度（果頂部から赤道部まで緑色が消失し、梗あ部に緑色が残り、機械選果すると傷みが発生しやすい状態）、3：完熟（梗あ部の緑色が消失し、収穫の際に押し傷が発生しやすい状態）。

(5) 糖組成

現地園2および農試圃場から採取した果実について、高速液体クロマトグラフ（L-7000、日立製作所製）を用いて、ショ糖、ブドウ糖、果糖およびソルビトールを分別定量し、各糖の合計を全糖含量とした。分析は、脱塩水で100倍希釈し0.45 μのミリポアフィルターでろ過した果汁を用い、カラム：日立 GL-C611-SS、カラム温度：60℃、溶離液：10⁻⁴M-NaOH、流速：1 ml・min⁻¹、検出器：示差屈折計の条件下で行った。

結 果

1. 葉中NおよびK含量と糖度との関係

現地園1における調査では、収穫果実の糖度と葉中N含量との間に、1997年並びに1998年とも、負の相関が認められた（表1-6、図1-5）。糖度と葉中N含量との相関を生育時期別にみると、両年ともに生育初期の満開30～60日後の相関係数（r）の値が最も高く有意で、90日後、120日後と生育時期が進むにつれ低下する傾向にあった。葉中K含量にも両年ともに糖度との間に負の相関が認められ（表1-6、図1-5）、そのr値は1998年ではいずれの生育時期においても葉中N含量とのr値よりも高かった。糖度と葉中K含量との相関を生育時期別にみると、K含量はN含量に比べ満開60～150日後のr値の変動は小さかった。なお、満開60日後の葉中のN含量とK含量とは正の相関関係（r=0.730、0.1%水準で有意、1998年）にあった。

1998年に調査した27樹の葉中NおよびK含量の経時変

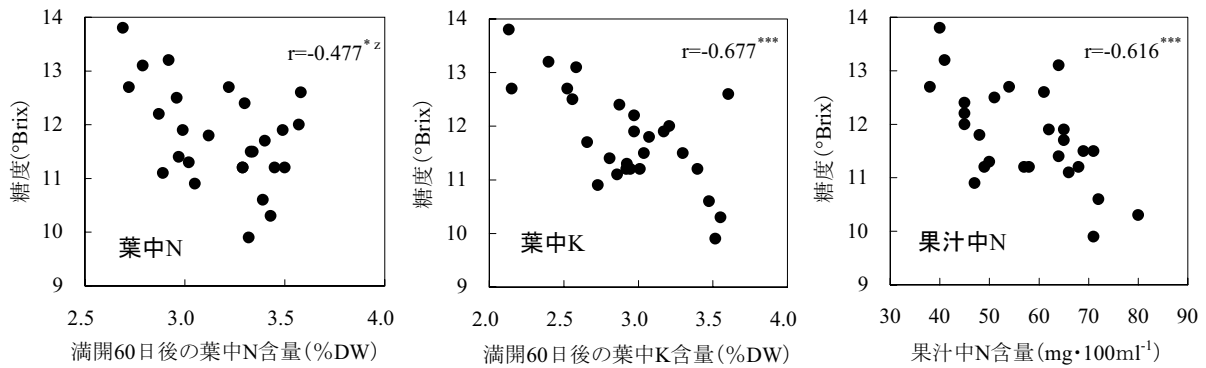


図1-5 ‘清水白桃’ 樹における収穫果実の糖度と葉中N及びK含量並びに果汁中N含量との関係(1998年)

^z 有意水準: *5%, **1%, ***0.1%, n=27樹

表1-6 ‘清水白桃’ 樹の生育時期別葉中N及びK含量と収穫果実の糖度^zとの相関係数^y

葉中成分	調査年	調査樹数	葉中成分含量と糖度との相関係数				
			満開30日後	60日	90日	120日	150日
N	1997年	13	-0.82 ***	-0.80 **	-0.74 **	-0.68 *	-0.46
	1998年	27	— ^x	-0.48 *	-0.39 *	-0.23	-0.44 *
K	1997年	13	-0.35	-0.66 *	-0.60 *	-0.68 *	-0.52
	1998年	27	— ^x	-0.68 ***	-0.61 ***	-0.51 **	-0.61 ***

^z 糖度の(最低値~最高値): 1997年(11.8~13.4), 1998年(9.9~13.8)

^y 相関係数の有意水準: *5%, **1%, ***0.1%

^x 未調査

化を1樹ごとに図1-6に示した。なお、27樹について、糖度が13.0°以上、12.0~12.9°、11.0~11.9°および11.0°未満の果実を生産する樹をそれぞれ太実線、細実線、極細実線および太点線で示した。葉中N含量は生育時期が進むにつれて減少したが、その速度には樹間差があり、満開60~120日後にかけて急激に減少する樹と緩やかに減少する樹が存在した。満開60日後の葉中N含量が多くても、その後の減少が大きい樹では比較的糖度が高かった。葉中K含量も生育時期が進むにつれ徐々に減少する傾向にあったが、満開60~150

日後にかけてほとんど減少しない樹や、満開90~120日後にかけて大きく減少する樹が存在した。

2. 果汁中N含量と糖度との関係

現地園1における調査では、果汁中N含量が多い果実ほど糖度が低い傾向が1997年 (r = -0.752, 1%水準で有意) および1998年 (r = -0.616, 0.1%水準で有意, 図1-5) とともに認められ、そのr値は1998年では満開60日後における葉中N含量とのr値よりも高く、満開60~90日後における葉中K含量とのr値と同程度であった。

1998年の調査では、果汁中N含量と満開60日後にお

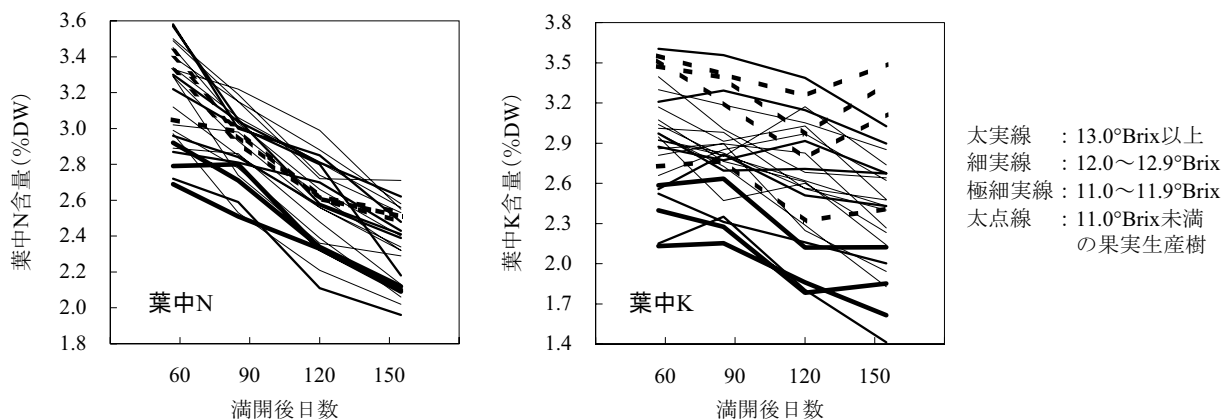


図1-6 ‘清水白桃’ 27樹の1樹ごとの葉中N及びK含量の経時変化(1998年)

ける葉中N含量並びに満開60~150日後における葉中K含量とは有意な正の相関関係（それぞれ $r=0.438$, $r=0.657\sim0.552$ ）にあった。果汁中N含量と葉中K含量との相関を、両者の r 値が最も高かった満開60日後において、糖度との関連をみるために糖度が 12.0° 以上の果実を生産する樹とそれ以下の樹に区分して図1-7に示した。葉中K含量が 2.6% 未満であるか、果汁中N含量が $47\text{ mg}\cdot 100\text{ ml}^{-1}$ 未満である樹では、糖度がすべて 12.0° 以上であり、逆に、葉中K含量が 2.6% 以上かつ果汁中N含量が $47\text{ mg}\cdot 100\text{ ml}^{-1}$ 以上の樹では、1樹を除いたすべての樹において糖度が 12.0° 未満であった。また、酸含量と糖度との間に負の相関（ $r=-0.554$, 1% 水準で有意）が認められ、酸含量と果汁中N含量との間には正の相関（ $r=0.522$, 1% 水準で有意）が認められたが、果実重と糖度との間に有意な相関（ $r=0.029$ ）は認められなかった（データ省略）。

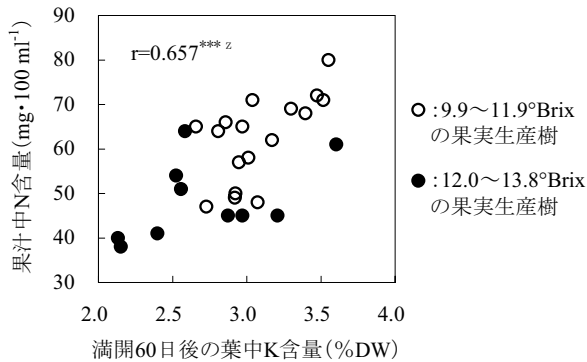


図1-7 ‘清水白桃’樹の葉中K含量と収穫果実果汁中N含量との関係(1998年)
^z 有意水準:***0.1%, n=27樹

3. 樹の栄養状態と生育状態との関係

現地園1における1998年の調査では、満開60~90日後の葉中N含量が多い樹ほど満開90日後の伸長新梢率が高く、11月中旬の長果枝および徒長枝割合が増加し、満開120日後の樹冠下の相対照度が低い傾向にあった(表1-7)。これらの生育状態と葉中N含量との相関にお

いて r 値は満開60日後が最も高く、その後は生育時期が進むにつれて低下した。葉中K含量も葉中N含量と同じ傾向を示したが、葉中K含量と伸長新梢率並びに長果枝および徒長枝割合との相関において、 r 値が最も高かったのは満開90日後であった。また、果汁中N含量も長果枝および徒長枝割合と正の相関を示したが、その r 値は満開60日後の葉中N含量および満開60~90日後の葉中K含量との r 値よりも低かった。そして、徒長枝の発生が多く満開120日後の樹冠下の相対照度が低い樹ほど糖度が低い傾向にあった(図1-8)。

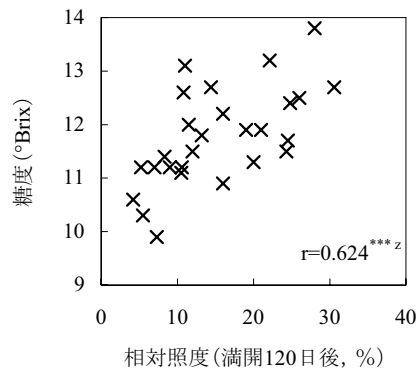


図1-8 ‘清水白桃’果実の糖度と樹冠下の相対照度との関係(1998年)
^z 有意水準:***0.1%, n=27樹

糖度と栄養状態並びに生育状態との関連をより明らかにするために、糖度 12° 以上の果実を生産した樹と、 12° 未満の果実を生産した樹に分類して、葉中NおよびK含量並びに果汁中N含量と伸長新梢率、徒長枝発生本数および30cm以上の新梢（長果枝と徒長枝）の割合との関係を図1-9に、樹冠下の相対照度と30cm以上の新梢の割合との関係を図1-10に示した。満開90日後の葉中N含量と30cm以上の新梢の割合との関係を示した散布図を見ると、葉中N含量が 3.3% 以上の樹では、30cm以上の新梢の割合が増加し、糖度 12° 未満の樹が多かった。一方、葉中N含量が 3.3% 未満の樹では、

表1-7 ‘清水白桃’樹の栄養状態及び光環境と生育状態との相関係数^z(1998年)

生育状態	糖度	果汁中N含量	葉中N含量			葉中K含量			樹冠下の相対照度
			満開60日後	90日	120日	満開60日後	90日	120日	
相対照度 ^y	0.62 ***	-0.56 **	-0.46 *	-0.25	-0.15	-0.70 ***	-0.60 ***	-0.37	1
伸長新梢率 ^x	-0.27	0.23	0.67 ***	0.54 **	0.40 *	0.46 *	0.64 ***	0.61 ***	-0.37
長果枝割合 ^w	-0.36	0.48 *	0.56 **	0.41 *	0.33	0.59 **	0.73 ***	0.49 **	-0.55 **
徒長枝割合 ^w	-0.55 **	0.42 *	0.60 ***	0.45 *	0.30	0.54 **	0.58 **	0.42 *	-0.58 **

^z 相関係数の有意水準: *5%, **1%, ***0.1%, n=27樹

^y 満開120日後

^x 満開90日後

^w 11月中旬

30cm以上の新梢の割合が低く、糖度12°以上の樹が増加した。しかしながら、葉中N含量が3.3%以上で30cm以上の新梢の割合が高い樹でも糖度12°以上の樹が存在し、逆に、葉中N含量が3.3%未満で30cm以上の新梢の割合が低い樹でも糖度12°未満の樹が存在した。そこで、調査樹を、葉中N含量が3.3%未満で30cm以上の新梢の割合が8%未満の樹において、糖度12°以上の樹をAグループ、12°未満の樹をBグループ、葉中N含量が3.3%以上で30cm以上の新梢の割合が8%以上の樹において、糖度12°以上の樹をCグループ、12°未満の樹をDグループに分類し(図1-9)、各調査項目を集計した値を表1-8に示した。糖度はA>C>B>Dグルー

プの順に高かった。葉中N含量が多く長果枝と徒長枝の発生が多くても糖度が12°以上のCグループと12°未満のDグループを比較すると、CグループはDグループより果汁中N含量が少なく、樹冠下の相対照度がやや高く、土壌中の可給態N含量が少なかった。一方、葉中N含量が少なく長果枝と徒長枝の発生が少なくても糖度が12°未満のBグループと12°以上のAグループを比較すると、BグループはAグループより葉中K含量と果汁中N含量がやや多いとともに土壌中の可給態N含量が多かった。また、Bグループの土壌中の可給態N含量はCグループよりも多かった。

4. 樹の栄養状態の年次変動と糖度との関係

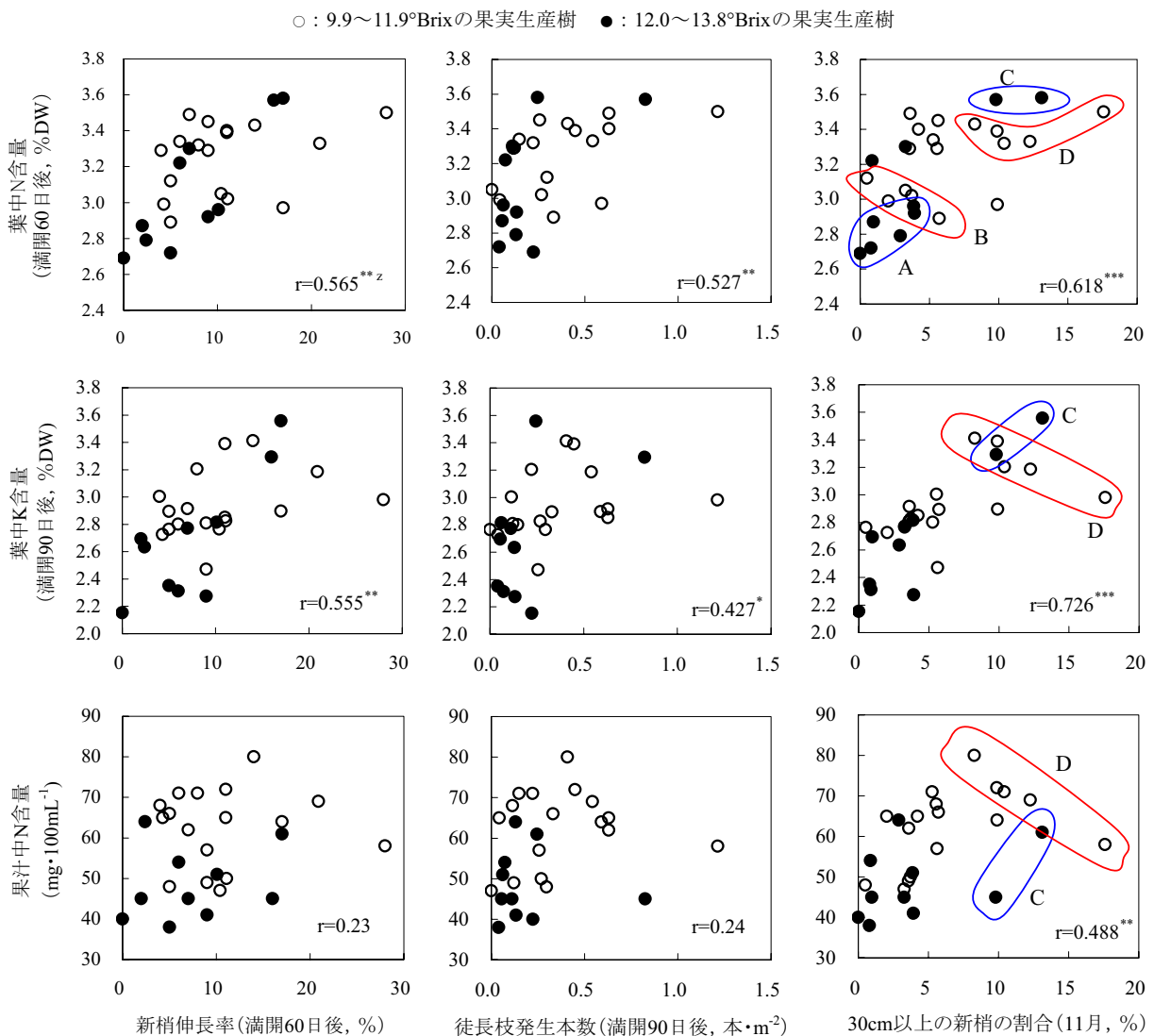


図1-9 現地モモ園での‘清水白桃’樹の葉中N及びK含量並びに収穫果実の果汁中N含量と生育状態との関係(1998年)

^z有意水準: *5%, **1%, ***0.1%, n=27樹

- Aグループ: 葉中N3.2%未満、30cm以上の新梢8%未満、糖度12.0以上
- Bグループ: 葉中N3.2%未満、30cm以上の新梢8%未満、糖度12.0未満
- Cグループ: 葉中N3.2%以上、30cm以上の新梢8%以上、糖度12.0以上
- Dグループ: 葉中N3.2%以上、30cm以上の新梢8%以上、糖度12.0未満

表1-8 葉中N含量と30cm以上の新梢割合との関係を示した散布図(図1-9)において分類した園地A~Dグループの各診断項目の平均値^z

分類	園地数	糖度 (°Brix)	葉中N (%DW)	葉中K (%DW)	果汁N (mg・100ml ⁻¹)	伸長 新梢率 (%)	徒長枝 発生本数 (本・m ⁻²)	30cm以上の 新梢割合 (%)	相対 照度 (%)	土壌 可給態N (mg・100g ⁻¹)
A	6	12.9	2.83	2.49	47	4.8	0.11	2.1	22.3	2.7
B	5	11.4	3.01	2.80	55	7.2	0.19	3.1	16.1	3.7
C	2	12.3	3.58	3.43	53	16.5	0.53	11.5	11.2	2.6
D	5	10.7	3.39	3.23	70	16.4	0.57	11.7	7.2	4.5

^z各診断項目の調査日 葉中N, 伸長新梢率:満開60日後, 葉中K, 徒長枝発生本数, 土壌可給態N:満開90日後
相対照度:満開120日後, 30cm以上の新梢割合:11月

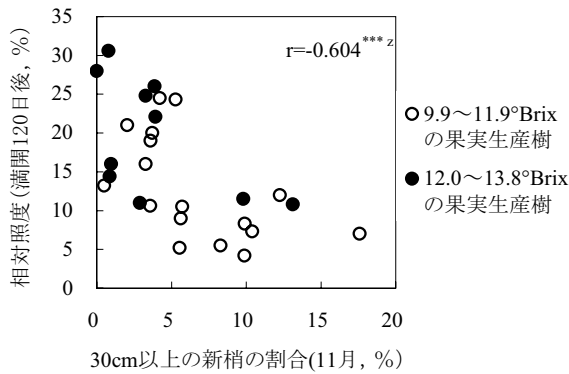


図1-10 ‘清水白桃’樹の樹冠下相対照度と30cm以上の新梢割合との関係(1998年)
^z有意水準:***0.1%, n=27樹

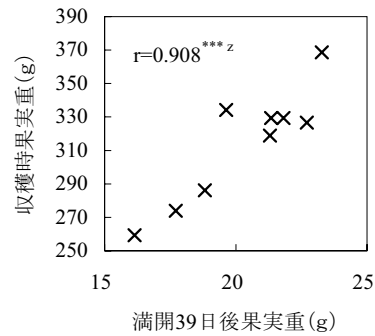


図1-12 農試圃場における‘清水白桃’果実の初期肥大と収穫果実重との関係(1998年)
^z有意水準:***0.1%, n=9樹

現地園1における継続調査樹の中には、前年よりも糖度が上昇した樹と低下した樹が存在した。この糖度の年次変動と樹の栄養状態との関係を1998年と1999年とで比較すると、満開90日後の葉中N含量が前年より減少した樹ほど糖度が前年よりも上昇する傾向が認められた(図1-11)。また、果汁中N含量でも同様な傾向

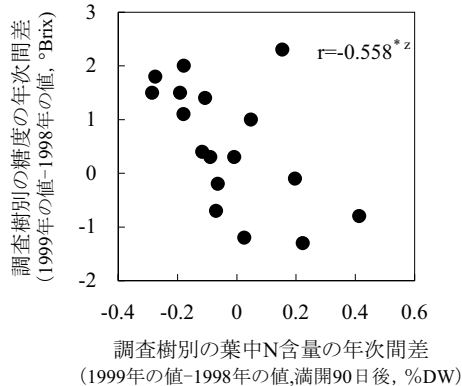


図1-11 ‘清水白桃’調査樹別の1998年に対する1999年の葉中N含量の年次間差と収穫果実の糖度の年次間差との関係
^z有意水準: *5%, n=17樹

が認められ、調査樹別の果汁中N含量の年次間差と糖度の年次間差とは負の相関 ($r = -0.62$, 1%水準で有意) を示した。なお、満開60日後の葉中K含量の年次間差と糖度の年次間差とのr値は -0.47 であった。

5. 葉中NおよびK含量と果実肥大との関係

(1) 初期肥大と収穫時の果実重との関係

農試圃場における調査では、満開39日後の幼果重が重い果実ほど、収穫時の果実重が重い傾向にあった(図1-12)。一方、現地園1における調査では、満開37日後の果実重と満開60日後および90日後の果実重との相関は高かったものの、収穫時の果実重との相関は低下した(図1-13)。なお、現地園1および農試圃場における調査で、満開37~39日後の幼果重と満開30日後の葉中N含量との間に有意な相関は認められなかった(データ省略)。

(2) 果実発育第3期の果実肥大と栄養状態との関係

現地園1における満開60日後から収穫時までの果実肥大率は、葉中NおよびK含量の多い樹ほど高い傾向にあった(図1-14)。葉中N含量と果実肥大率との相関は、8月の葉中N含量との相関係数が最も高く ($r = 0.87$)、7月 ($r = 0.74$)、6月 ($r = 0.65$) と早い生育時期ほど低か

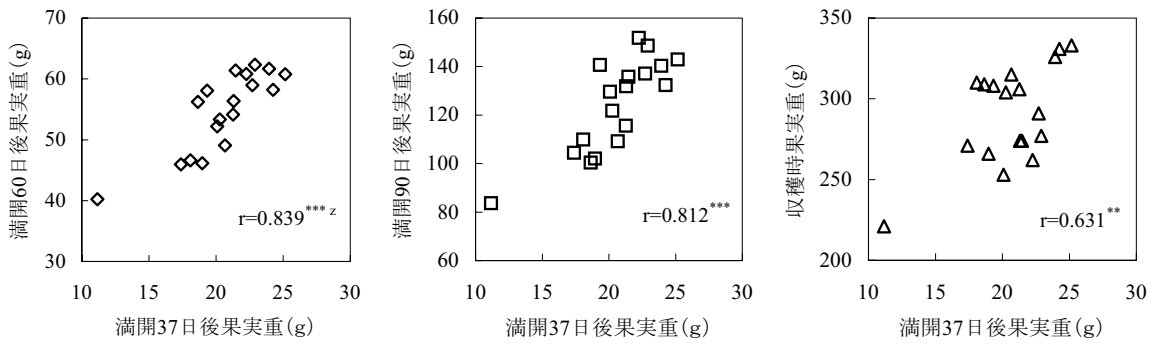


図1-13 現地モモ園における‘清水白桃’果実の初期肥大とその後の果実肥大との関係(1998年)

^z 有意水準: **1%, ***0.1%

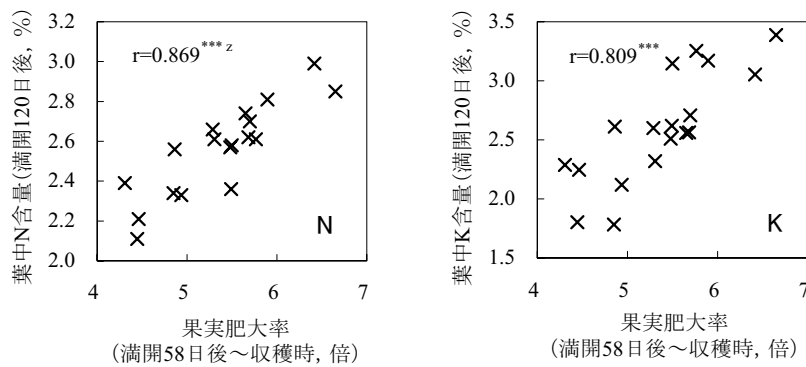


図1-14 現地モモ園における‘清水白桃’果実の果実発育第3期肥大と葉中N及びK含量との関係(1998年)

^z 有意水準: ***0.1%, n=18樹

った。

6. N栄養状態と収穫果実の果肉硬度との関係

クロロフィルの可視領域における吸収波長域はクロロフィルaとbでは若干異なるが、両成分とも420~470 nmと630~680 nmに吸収ピークを有する(石谷, 1995)。モモ果実でのクロロフィルの吸収ピークは、前波長域よりも後波長域の方が明瞭であり、熟度による変化量も大きく、今回の分析で認められた最大吸収波長であ

る678 nmにおける吸光度は熟度が進むにつれ低下した(図1-15)。

1995年に農試圃場から採取した‘清水白桃’果実では、678 nm吸光度と果肉硬度とは高い相関を示し、678 nm吸光度が低い果実ほど果肉硬度が低い傾向が認められた(図1-16)。一方、現地園において1997年に栽培者が異なる13園から採取した果実では、678 nm吸

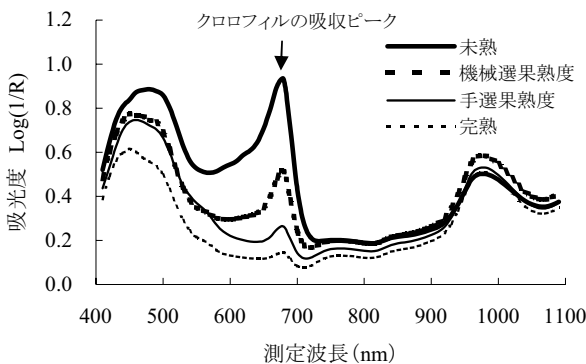


図1-15 ‘清水白桃’果実の熟度別の可視・近赤外吸光度スペクトル

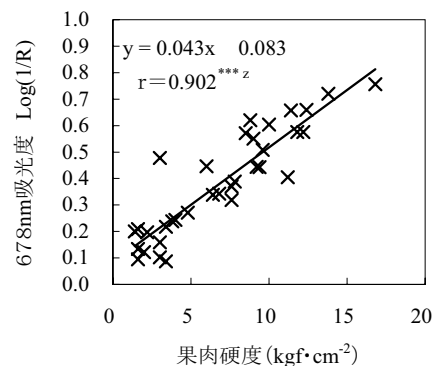


図1-16 農試圃場から採取した‘清水白桃’果実の果肉硬度と678 nm吸光度との関係(1995年)

^z 有意水準: ***0.1%, n=34果

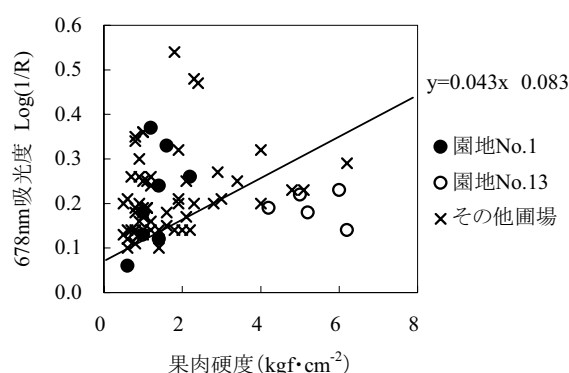


図1-17 現地13園から採取した‘清水白桃’果実の果肉硬度と678nm吸光度との関係(1997年)

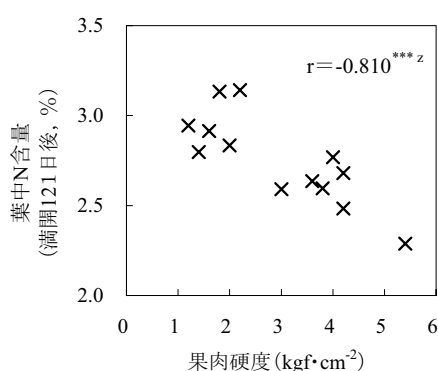


図1-18 678nm吸光度が同程度(0.19~0.20)の‘清水白桃’果実での、園地別の果肉硬度と葉中N含量との関係(1997年)

^z 有意水準:***0.1%, n=13樹

光度と果肉硬度との間に相関は認められず、園地によって678 nm吸光度が高くても果肉の軟化が進行している果実や、678 nm吸光度が低くても果肉が硬い果実が存在し、園地による差が大きかった(図1-17)。園地間差をより明確にするために、調査果実の中から678 nm

吸光度がほぼ同じ果実(0.19~0.21)を抽出して園地別に比較すると、果肉硬度は1.2~5.4 kgf·cm⁻²の範囲にあり、葉中N含量や果汁中N含量が少ない園地で生産された果実ほど、果実の678 nm吸光度が同じでも果肉が硬い傾向にあった(図1-18)。

7. モモ果実の糖組成の変動

(1) 糖組成の品種間差

農試圃場から採取した果実の果汁の糖組成は品種により異なり、晩生の品種ほど全糖に占めるショ糖の割合が減少しソルビトールの割合が増加する傾向にあった。全糖に占めるショ糖の割合は、‘八幡白鳳’が92%と最も高く、‘大和白桃’と‘白桃’が77%と最も低かった(表1-9)。

(2) 収穫時の果実熟度による変動

農試圃場から収穫した‘白鳳’では、熟度が進んだ果実ほど全糖に占めるショ糖の割合が増加し、ブドウ糖、果糖およびソルビトールの割合が減少した(表1-10)。全糖に占めるショ糖の割合は、機械選果熟度の果実で87%、完熟果実で90%であった。

(3) 園地間による変動

現地園2から採取した‘清水白桃’の糖組成は園地間で異なるとともに、全糖含量の少ない果実では、全糖に占めるショ糖の割合が減少しブドウ糖と果糖の割合が増加する傾向にあった(図1-19)。全糖に占めるショ糖の割合を手選果熟度(指数2)の果実で比較すると、最高は87%、最低は57%であった。全調査果実における全糖に対する各糖の割合の平均値(±標準偏差)は、ショ糖82.4(±5.3)%、ブドウ糖8.0(±2.5)%、果糖8.2(±2.9)%、ソルビトール1.4(±1.1)%であった。

(4) 樹勢による変動

農試圃場の‘白桃’において、樹勢が適正な樹と強

表1-9 モモ品種別の収穫果実の糖組成

品種	糖組成(%)				全糖含量(%)	糖度(°Brix)	全糖/糖度(%)
	ショ糖	ブドウ糖	果糖	ソルビトール			
八幡白鳳	92.2	3.6	4.2	0.0	11.2	12.5	90
加納岩白桃	91.3	3.6	5.1	0.0	12.1	13.5	90
白鳳	89.1	4.3	5.5	1.2	11.7	13.2	89
紅清水	87.7	5.3	6.3	0.7	10.5	12.0	87
浅間白桃	88.3	5.1	5.8	0.8	11.8	13.6	87
清水白桃	82.6	7.5	7.7	2.2	13.3	14.4	93
大和白桃	76.8	10.0	11.8	1.4	10.3	12.1	85
川中島白桃	83.8	5.3	5.9	4.9	13.7	14.9	92
白桃	77.2	9.3	9.4	4.0	10.9	12.8	85
白麗	78.2	6.8	7.9	7.0	14.9	15.9	94
ゴールデンピーチ	81.5	8.0	9.6	0.9	12.0	13.4	90

表1-10 ‘白鳳’果実の収穫時の熟度別糖組成(1995年)

果実熟度	糖組成(%)				全糖含量 (%)	糖度 (°Brix)	全糖/糖度 (%)
	ショ糖	ブドウ糖	果糖	ソルビトール			
未熟	81.7	6.5	7.9	4.0	9.3	10.4	89
機械選果	87.0	4.4	5.3	3.2	11.7	12.6	92
手選果	89.1	4.2	5.2	1.4	12.2	13.1	93
完熟	90.4	3.9	4.9	0.9	11.9	13.1	91

表1-11 樹勢が異なる‘白桃’樹から収穫した果実の糖組成(1995年)

樹No.	樹勢	糖度 (°Brix)	総酸 (%)	糖組成(全糖に占める割合)						葉分析値(満開90日後)		
				全糖 (%)	全糖/糖度 (%)	ショ糖 (%)	ブドウ糖 (%)	果糖 (%)	ソルビトール (%)	葉中N (%)	葉中K (%)	葉重 (g)
1	適	13.3	0.21	11.6	87	78.3	8.8	9.1	3.8	2.98	2.41	0.89
2	適	12.8	0.22	11.2	87	79.1	8.0	8.6	4.3	2.95	2.90	0.93
3	強	13.5	0.29	11.6	86	77.2	9.4	9.2	4.2	3.52	3.12	0.96
4	強	12.7	0.35	10.7	84	76.7	9.2	9.2	4.9	3.22	3.08	1.02
5	強	11.7	0.39	9.4	80	74.9	10.9	11.1	3.1	3.13	3.22	1.03

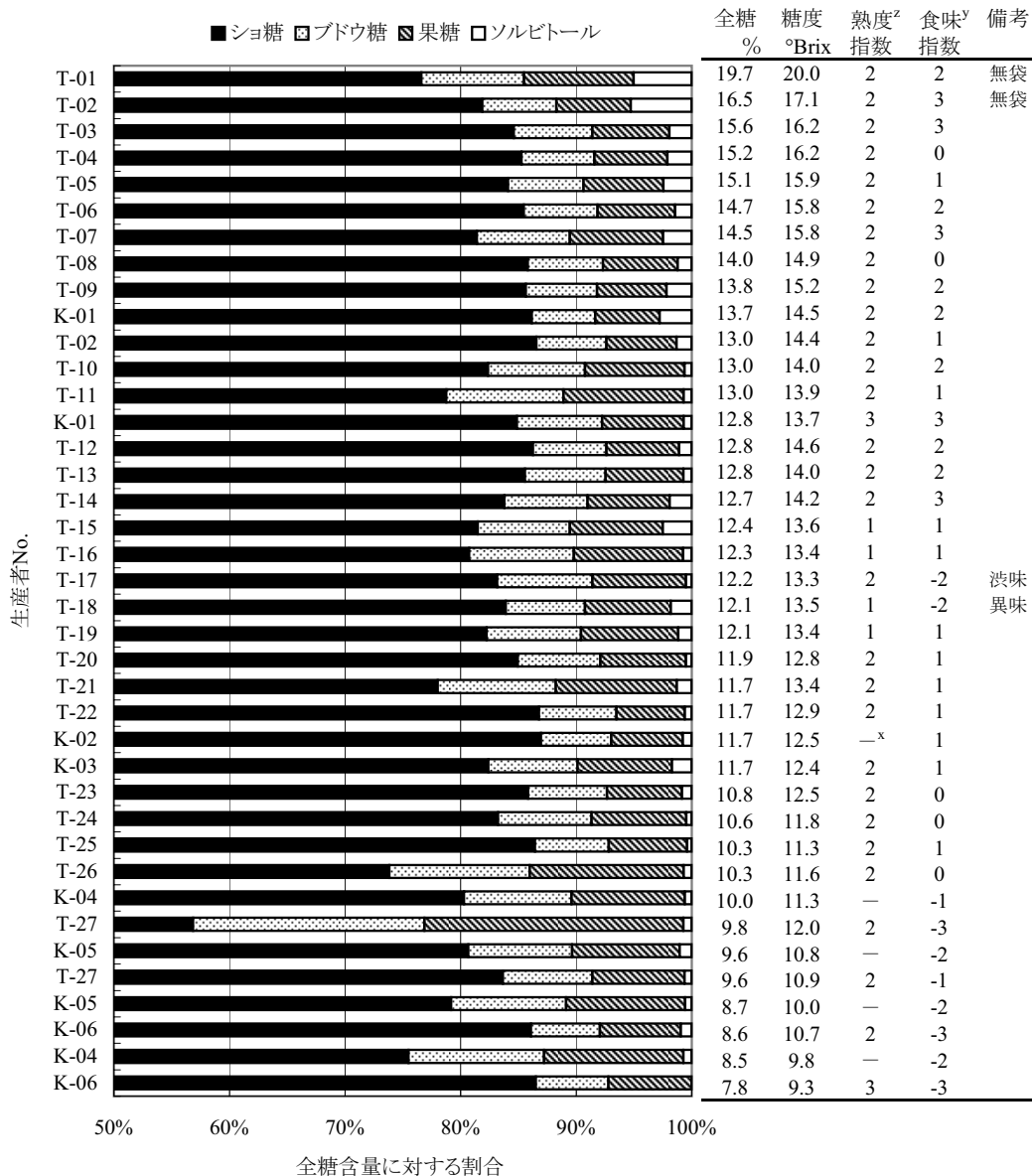


図1-19 生産者別の‘清水白桃’収穫果実の糖組成(1995年)

^z 機械選果熟度:1, 手選果熟度:2, 完熟:3

^y 7段階評価:-3~ 3

^x 未調査(熟度は1~2)

勢な樹の果実の糖組成を比較すると、葉中のNおよびK含量が高く強勢な樹の方が、全糖に占めるショ糖の割合と、糖度に対する全糖の割合が低下する傾向にあった。また、樹勢が強い樹ほど収穫果実中の酸含量が多かった（表1-11）。

考 察

肥料や堆肥を過剰に施用したモモ樹では、収穫果実の糖度が低い傾向にあることが報告されている（小池，1992；繁田ら，1991；渡辺，1960）。また、モモ樹の栄養状態に関して、樹体内のNやKの過剰な状態が果実への糖の蓄積を抑制することも報告されている（村田，1979；岡本ら，1989）。さらに、N過多は糖含量以外に肉質や香り、うまみ、日持ちにも影響し、モモの総合的な食味を大きく左右する（Jia et al., 1999, 2000；岡本，2001；Okamoto et al., 2001；高野ら，2004）。

‘清水白桃’における本調査でも、葉中や果汁中のN含量が多いと糖度が低い傾向が認められた（図1-5）。N過多になる原因には、肥料や堆肥、敷きわらなどの過剰施用があげられるが、特に有機物の過剰連用により土壌中の全Nおよび腐植含量が増加した園地では、夏期に土壌中の無機態Nが増加し、糖度が低くなる傾向にある（山本，2002；2003）。そして、N過多による糖度低下の原因には、新梢の遅伸びや再伸長による光合成産物である糖の果実への分配率低下や、徒長枝の多発による結果枝の日照不良（末澤・若林，1991）、果実肥大の促進による糖の希釈効果などがあげられる。

モモ樹のN栄養と糖度との関係を考える上では、生育時期別の栄養状態の影響も考慮する必要がある。本調査では、図1-6に示したように葉中N含量が果実成熟期にかけて大きく減少する樹と緩やかに減少する樹が存在した。これは、園地により夏期の土壌からのN無機化量が異なることや、土壌の水分条件により細根の吸収活性が異なるため、果実成熟期にN吸収量の少ない樹では、葉から果実などへのNの移行が進むためと推察された。岡本ら（1989）はモモ樹を種々の濃度の組合せで養液栽培し、生育初期の施肥量が多過ぎると糖度が低いことと、硬核期以降に施肥量を早く減量した区ほど糖度が高いことを報告している。本調査でも果実成熟期の葉中N含量の減少パターンにより糖度に差が認められたことから（図1-6）、収穫時の糖度には生育初期のNと果実成熟期のNが相互に影響するものと推察された。したがって、葉中N含量で樹体のN栄養状態を診断する場合は、生育初期のN含量とともに、そ

の後の減少パターンも考慮する必要がある。

村田（1979）は収穫果実の果肉中のN含量と糖度との間に極めて高い負の相関を認めている。本調査では、分析作業の省力化を図るために簡便に調整できる果汁をN分析に供したが、果汁中N含量と糖度との間にも負の相関が認められ、そのr値は葉中N含量と糖度とのr値よりも高かった（図1-5）。苦名（1975）が「樹体間の比較では葉分析の差異よりも果実成分の差異の方がはるかに大きい」と指摘しているように、糖度の高いモモを生産するうえでのN栄養状態の指標として、果実中Nは葉中N以上に有用な指標となり得る可能性がある。

‘清水白桃’の葉中K含量と糖度とは負の相関を示した（図1-5）。Kとモモ果実中の糖含量との関係について、Cummings and Reeves（1971）や福田・近藤（1957）はK施用量の増加により糖含量が低下することを認め、村田（1979）は収穫時の果肉中K含量と糖度との間に負の相関があることを認めている。モモ以外では、ナシ（佐藤ら，1995）やオウトウ（須藤ら，1995）でも葉中K含量と糖度との間に負の相関が認められている。また、サトウキビでも蔗汁中K含量と糖度との間に負の相関が認められている（平良ら，2004；平良，2009）。Kはデンプンなどの多糖類やタンパク質の合成を促進し（大平，1969）、Nとともに樹体の成長や果実肥大を促進する。したがって、Kの過剰は過度の新梢成長と果実肥大を招き、果実への糖集積を抑制するものと考えられた。園地間の比較においては、葉中N含量よりも、むしろ葉中K含量の方が糖度と高い相関を示し、診断に適しているのではないかと考えられた。調査園地に敷きワラ園が多いことから、他の産地においても普遍性を有するかは疑問であるが、土壌中のKが主として無機態で存在し、土壌Nのような夏期の有機態から無機態への変化が少ないために、調査園地の土壌の肥沃度を葉中Nよりも葉中Kの方が生育初期からの確に反映していたのではないかと考えられる。

NとKの相互関係について、オウトウではN施用量が少ない場合はK施用量の増加により糖度が低下するのに対し、N施用量が多い場合はK施用量の多少に関わらず糖度が低いことが認められている（須藤，1993）。‘清水白桃’における本調査では、葉中のN含量とK含量との相関が高く、糖度に対するNとKの影響を分けて判断することは難しいが、図1-7に示した糖度別の果汁中N含量と葉中K含量との関係から、モモでも糖度に対してNとKが相互に影響するものと考えられた。

収穫時の果実は、図1-12と図1-14に示したように、満開後40日までの初期肥大が優れ、果実発育第3期のNおよびK栄養状態が良好な樹ほど大きくなるものと推察された。幼果の肥大は、N欠乏状態にある樹を除いては、樹のN栄養状態よりも幼果の絶対数による影響の方が大きく、幼果数が少ないほど貯蔵養分の幼果への分配率の向上と、初期葉面積の増加により、幼果の栄養状態が良好となり肥大が進むものと考えられた。果実肥大の後期には、葉中NおよびK含量が多い樹ほど果実肥大は促進されたが(図1-14)、Nの遅効は伸長停止の遅れと、徒長枝の多発および新梢の再伸長を助長し、果実糖度の低下原因となり得る。再伸長の著しい園地では、一樹における総再伸長量は50~100 mに達した(岡山県農業総合センター, 2003)。したがって、糖度が高く果実重が300 g前後の商品価値の高いモモを生産するためには、Nの遅効を避け、初期肥大を良好にする栽培管理に努めるべきである。

モモでは果実の成熟末期に、ショ糖が急増する(Ishida, 1971)。本調査でも熟度が進んだ果実ほど全糖含量に対するショ糖含量の割合が増加した(表1-10)。しかし、‘清水白桃’の調査においては、全糖に占めるショ糖の割合は園地間で差が認められ、同じ熟度でも糖含量の少ない果実ではショ糖の割合が低下する傾向にあった(図1-19)。また、農試圃場における‘白桃’の調査でも、葉中のNおよびK含量が多く樹勢が強い樹から収穫した糖含量の少ない果実では、全糖に占めるショ糖の割合が低かった(表1-11)。壽松木ら(1990)も、‘八幡白鳳’において、糖含量の少ない果実は糖含量の多い果実に比べ、全糖に占めるショ糖の割合が低いことを示している。糖度の低下には種々の要因があるが、糖度の低い果実ではソルビトールから他の糖類へ代謝される過程において、各種代謝酵素の活性低下が糖の蓄積の劣る一因になっていることも考えられる。今後、壽松木ら(1990)が指摘しているように糖代謝酵素活性を左右する要因の解明が望まれるが、図1-5に示した収穫果実の糖度と果汁中N含量との間に認められた負の相関や、表1-11に示した糖含量の少ない果実での全糖に占めるショ糖割合の低下から推察して、樹体のN栄養状態もその一因と考えられ、今後の検討を要する。

樹別の糖度の年次変動解析から(図1-11)、糖度は樹体のN栄養状態の変動に敏感に反応することが推察された。糖度の低い果実を生産する園地の改善に当たっては、糖度が低い原因が栄養過多にあるのか、その他の栽培環境要因にあるのかを明確にし、栄養過多であ

れば、生育初期のN過多が原因なのか、果実成熟期のN過多が原因なのか、あるいはK過多が原因なのかを判断し、その改善に取り組むことにより糖度の向上を図ることが可能であると考ええる。一方、糖度の高い果実を生産する園地では、樹勢の低下を招くことのないよう適切な施肥や土壌改良を継続し、適正な樹体栄養状態を保つことにより、食味が優れる果実を毎年生産することが可能になると考える。

第3節 糖度の高い果実を生産するための栄養診断指標

前節(第1章第2節)で明らかにしたように、モモの果実品質と樹の栄養状態とは密接な関係にあり、樹体内のN並びにK濃度が高く徒長遅伸びする状態で成熟した果実は糖度が低い傾向にある。逆に、樹体内のN並びにK濃度が低く新梢の伸長停止が早い状態で成熟した果実は糖度が高い傾向にあるが、樹体内のN並びにK濃度が低すぎると、果実の肥大不良や樹勢の低下を招き生産力が低下する。したがって、糖度の高い果実を安定して生産するためには、樹の栄養状態を適正な水準に維持することが重要である。

本節では、一連の現地調査結果を基に、糖度の高いモモを安定生産するための栄養診断指標を策定した。

材料および方法

1. 葉中成分の採取時期と採取部位による変動

農試圃場において、1995年に‘白鳳’、‘清水白桃’、‘白桃’各5樹から、5月18日(満開約34日後)、6月15日(満開約62日後)、7月11日(満開約88日後)および8月15日(満開約123日後)に葉を採取し、葉厚、葉重、葉色および葉中無機成分含量の経時変化を調査した。また、各品種1樹から5月23日、6月20日、7月10日および8月24日に10~20 cmの新梢を1枝採取し、葉厚、葉色および葉中無機成分含量の葉位別変動を調査した。なお、1995年の満開日は‘清水白桃’が4月13日、‘白鳳’と‘白桃’が4月15日であった。

2. 葉中成分の経年変化

第2節で調査対象とした現地園1(倉敷市と総社市)並びに農試圃場の‘清水白桃’を対象に、1997年から2001年まで生育時期別に葉重、葉色および葉中無機成分含量を調査した。1997年は14園、1998年は前年の11園に14園を加えた25園、1999年は継続調査の14園、2000年は継続調査の13園、2001年は1園を加えた14園を調査し、各年の平均値を求めた。なお、複数樹を調

査した園地においては、調査園当たりの平均値を用いた。調査樹の樹齢は6～18年生で、園地によりせん定強度並びに着果量はやや異なった。調査樹の満開日は1997年が4月6～9日、1998年が4月5～8日、1999年が4月8～11日、2000年が4月12～15日、2001年が4月7～9日であった。

3. 糖度選果結果に基づく収穫後の園地診断

現地園1とは異なる倉敷市のモモ園（現地園3）において、2000年の‘清水白桃’の生産者別糖度選果データから、糖度の高い果実生産者と、糖度の低い果実生産者をそれぞれ6名抽出し、それぞれの生産者の代表的園地において、収穫後の2000年8月17日に、選果糖度と樹の生育状態および栄養状態との関係を調査した。

4. 葉中N含量が低い樹の果実品質

赤磐市の‘清水白桃’草生栽培園（現地園4）において、2000年に草種（ペレニアルライグラス、ケンタッキーブルーグラスおよびヘアリーベッチ）との養分競合によるモモ樹の葉中N含量の低下が果実品質に及ぼす影響を調査した。調査園地は水田転換畑で、樹齢5年生、N施肥量 $0.3 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ （前年10月施用）で、1区4樹を供試した。いずれの草種も前年の1999年10月25日にペレニアルライグラスが $0.3 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ 、ケンタッキーブルーグラスおよびヘアリーベッチが $0.4 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ 播種した。また、対照はモモ園に転換後に自然発生した雑草草生とした。

5. 糖度の低い果実を生産する園地の改善試験

1997年に調査を行った‘清水白桃’の現地園1の中で、糖度が低い果実を生産する1園地において、1997年の秋から施肥N量をa当たり年間約 0.9 kg から約 0.3 kg に減量するとともに、1999年の秋からはパーク堆肥と敷きわらの施用を中止し、葉中NおよびK含量と果実糖度の経年変化を2001年まで調査した。なお、1997年の秋には土壌物理性改善を目的に土壌改良機械（グロスガン、共立製）で圧搾空気を約2 m間隔で打ち込んだ。1999年からは初夏に樹冠内部の徒長枝の捻枝やせん定が行われ、日照条件の改善が図られた。2000年の秋には新梢の伸長状況と葉中N含量から判断して、施肥N量をa当たり約 0.4 kg に増量した。

6. 葉緑素計値と葉中N含量との関係

2000年に‘清水白桃’を対象に、倉敷市と総社市の12園12樹（現地園1）、赤磐市の1園5樹（現地園4）、高梁市の5園5樹（現地園5）並びに農試圃場の慣行せん定樹7樹（農試A）および超弱せん定樹8樹（農試B）について、葉緑素計値と葉中N含量および葉厚との関係

を調査した。

7. 葉重と葉中NおよびK含量並びに葉身長との関係

2001年に‘清水白桃’を対象に、現地園1の14園15樹、現地園4の5樹、並びに農試圃場の慣行せん定樹7樹および超弱せん定樹8樹について、葉重と葉中のNおよびK含量との関係を調査した。

2002年には、‘清水白桃’を対象に、満開約60日後には農試圃場の4樹から、満開約90日後と120日後にはそれぞれ現地1園の1樹を対象に、成葉を無作為に採取し、葉重と葉身長および葉幅との関係を調査した。

8. 葉分析

結果枝先端の新梢長が平均的な枝において、第2節と同様に葉を1樹当たり15～20枚採取した。採取した葉は、ビニル袋に入れ、保冷箱に入れて持ち帰り、天秤でビニル袋ごと秤量し、風袋を差し引いて1枚当たりの葉重を算出するとともに、葉緑素計（SPAD-502、ミノルタ製）で葉色を測定した。また、一部の試料についてはシックネスゲージ（No.547-313、Mitutoyo製）で1葉当たり5か所の葉厚を測定し平均した。なお、葉緑素計値は葉が厚いほど高くなるので、同じ厚さで比較するために、厚さによる補正を次式で行った。

$$0.20 \text{ mm厚さ補正葉緑素計値} = \text{葉緑素計値} \div \text{葉厚mm} \times 0.20 \text{ mm}$$

採取した葉は水洗後、70℃で通風乾燥し、粉碎機で粉碎した。この粉末試料について、1995年には、過酸化水素と硫酸を用いて湿式分解し、セミマイクロケルダール法で全窒素（N）、バナドモリブデン法でリン（P）、炎光度法でカリウム（K）、原子吸光法でカルシウム（Ca）およびマグネシウム（Mg）含量を分析した。

1997年以降は、高野ら（1998）の方法に準じて6500型近赤外分光計を用いてN、P、K、CaおよびMg含量を分析した。なお、葉位別の変動調査に当たって、採取した葉は中助を除いて半分に切り取り、70℃で通風乾燥し、粉碎せずに分析した。

結 果

1. 葉中成分の採取葉位による変動

‘清水白桃’の葉中成分の葉位別分析値を図1-20に示した。新梢の基部の葉と先端の葉を比較すると、葉緑素計値は、いずれの品種並びに生育時期においても、基部の葉が高く、先端の葉が低かった。葉厚も葉緑素計値と同様の傾向を示した。葉中N含量は、‘清水白桃’では、5～7月は葉位による変動は小さかったが、8月は先端の葉ほど多くなった。‘白鳳’と‘白桃’では6～8月の葉中N含量は先端の葉ほど多くなった（データ

省略). 葉緑素計値を厚さで補正した値は, '清水白桃' では葉位による変動は小さかったが, '白鳳' と '白桃' では先端の葉ほど高く (データ省略), 葉中N含量の変動傾向とほぼ一致した. 葉中P含量は先端の葉ほど多かったが, 特に5月は葉位による差が大きかった. 葉中K含量は調査時期によりやや変動するものの, 7月と8月はいずれの品種でも葉位による変動は小さかった. 葉中Ca含量は, いずれの品種並びに調査時期にお

いても, 基部の葉が多く先端の葉が少なかった. しかし, '清水白桃' では調査樹のCa含量が少なくその差はわずかであった. 葉中Mg含量は, '白鳳' と '白桃' では先端の葉ほど少なかったが (データ省略), '清水白桃' では差が無かった.

2. 葉中成分の経時変化

農試圃場における '清水白桃' の葉中成分の5~8月における経時変化を図1-21に示した. 葉緑素計値と葉

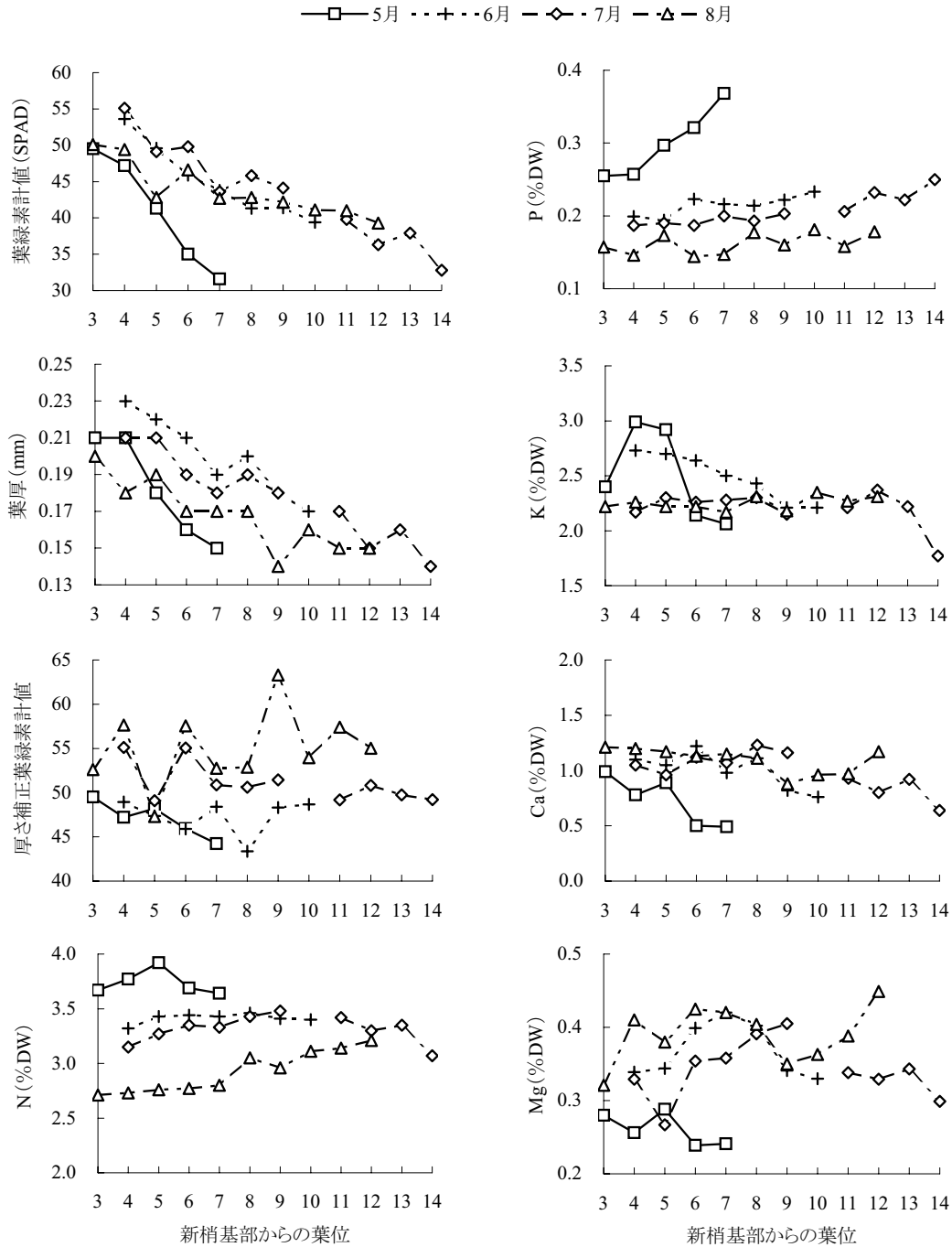


図1-20 '清水白桃' 樹での葉の採取位置による葉中成分の変動 (1995年)

厚は採取葉位により大きく異なるので、採取葉位が異なる5月と6月以降は分けて見る必要があるが、採取葉位がほぼ同じ6月以降の傾向を見ると、葉緑素計値はいずれの品種でも調査時期が進むにつれ上昇した。葉重は調査時期が進むにつれ増加する傾向に、葉厚は6月以降ほぼ横這いかやや低下する傾向にあった。葉中N含量とP含量は調査時期が進むにつれ徐々に減少した。葉中K含量は5月から6月にかけて増加した後、ほ

ぼ横這いで推移した。葉中Ca含量は徐々に増加した。葉中Mg含量は6、7月が最も高く、8月にやや減少した。これらの葉中成分の変動傾向は、‘白鳳’や‘白桃’でも同様であった（データ省略）。また、‘白桃’では葉中K含量が多い樹は葉中Mg含量が少なく、両成分間に拮抗関係が認められた（データ省略）。

3. 葉中成分の経年変化

‘清水白桃’園における5か年に渡る生育時期別の

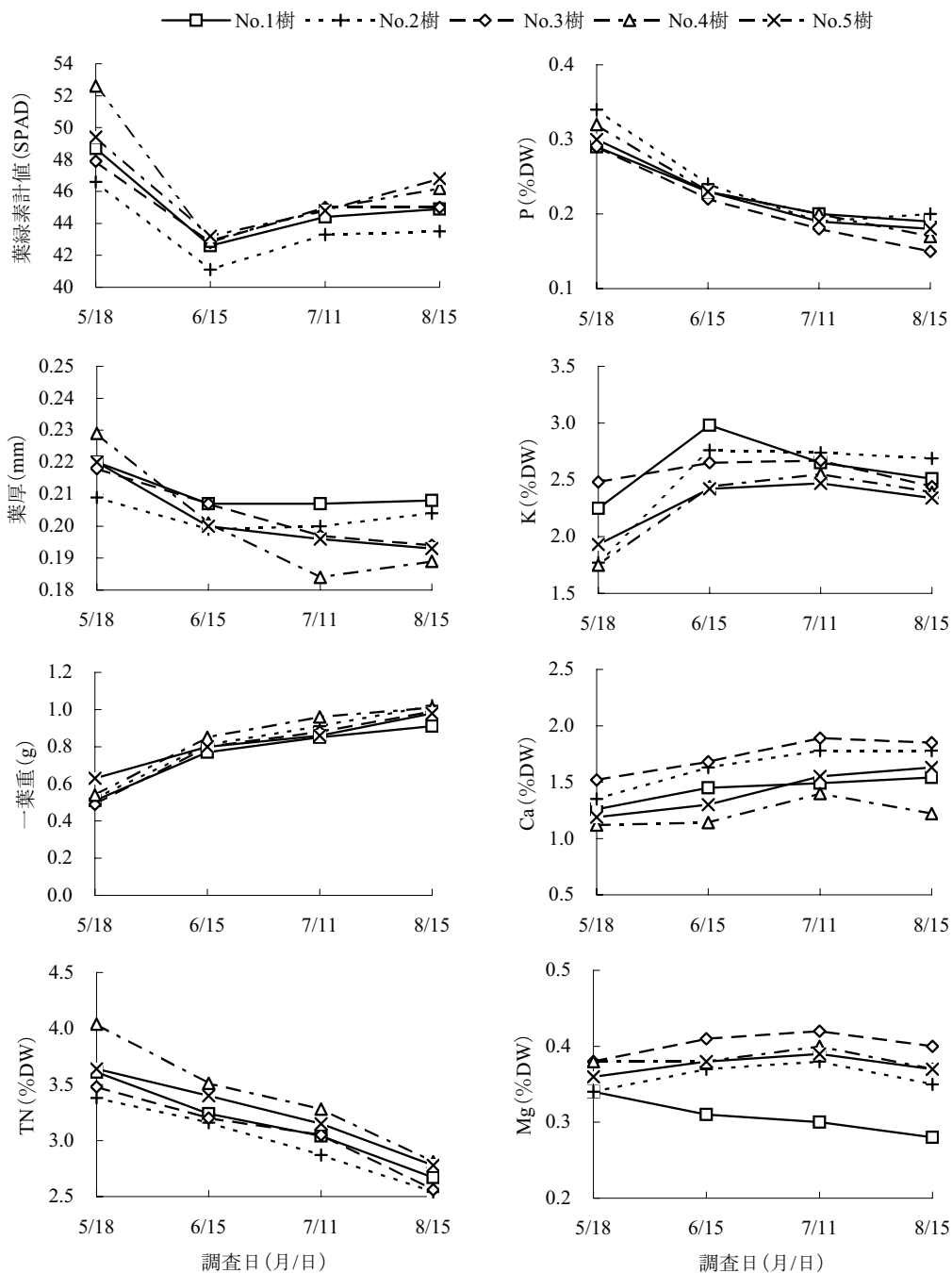


図1-21 ‘清水白桃’樹での葉中成分の経時変化(1995年)

葉中無機成分含量を表1-12に、葉緑素計値を表1-13に、葉重を表1-14に示した。葉中N含量は、いずれの年においても生育時期が進むにつれ徐々に減少したが、減少速度は年次により若干異なった。葉中K含量は、いずれの年においても満開30日後から60日後にかけて上昇し、満開60～120日後が最も高く、その後120日後から150日後にかけて減少した。満開60～120日後にかけての葉中K含量の変動量は、同時期の葉中N含量の変動量に比べると小さかった。いずれの年においても、生育

時期が進むにつれ、葉中P含量は徐々に減少し、葉中Ca含量は徐々に増加したが、葉中Mg含量の生育期間中の変動は小さかった。

葉緑素計値は、満開30日後が最も高かったが、この背景には葉中N含量が生育初期に最も多いことに加え、調査葉位が枝の基部の葉で、葉が厚いことが影響しているものと推察された。満開60日後以降は生育時期が進むにつれ、葉中N含量とは反対に徐々に上昇した。なお、葉緑素計値の調査樹間の変動は満開30日後が最

表1-12 ‘清水白桃’調査園の葉中無機成分含量と収穫果実の糖度の平均値^z

葉中成分	調査年	調査園地数	葉中成分含量(%DW)					糖度(°Brix)
			満開約30日後	60日	90日	120日	150日	
N	1997	14	3.57 ±0.26	3.06 ±0.28	3.01 ±0.30	2.76 ±0.24	2.44 ±0.20	12.5 ±0.55
	1998	25	3.44 ±0.16	3.14 ±0.26	2.90 ±0.20	2.57 ±0.22	2.29 ±0.20	12.0 ±0.84
	1999	14	— ^x	2.99 ±0.30	2.87 ±0.22	2.59 ±0.19	2.35 ±0.21	12.3 ±1.07
	2000	13	— ^x	2.90 ±0.19	2.75 ±0.20	2.64 ±0.20	2.46 ±0.13	13.5 ±0.95
	2001	14	3.31 ±0.27	2.88 ±0.18	2.86 ±0.17	2.61 ±0.13	2.36 ±0.15	13.7 ±1.40
	平均 ^y		3.44 ±0.23	2.99 ±0.24	2.88 ±0.22	2.63 ±0.20	2.38 ±0.18	12.8 ±0.96
	樹別最低～最高		2.94～3.92	2.51～3.58	2.32～3.40	2.11～3.14	1.90～2.68	9.6～17.6
K	1997	14	2.27 ±0.33	2.68 ±0.36	2.95 ±0.42	2.95 ±0.44	2.86 ±0.49	
	1998	25	2.41 ±0.51	2.93 ±0.40	2.87 ±0.38	2.60 ±0.49	2.29 ±0.44	
	1999	14	— ^x	2.72 ±0.46	2.69 ±0.37	2.41 ±0.43	2.22 ±0.39	
	2000	13	— ^x	2.50 ±0.26	2.58 ±0.35	2.55 ±0.38	2.45 ±0.43	
	2001	14	1.85 ±0.28	2.66 ±0.48	2.71 ±0.51	2.49 ±0.48	2.46 ±0.43	
	平均 ^y		2.18 ±0.37	2.70 ±0.39	2.76 ±0.41	2.60 ±0.44	2.46 ±0.44	
	樹別最低～最高		1.41～2.90	2.01～3.83	1.97～3.85	1.78～3.77	1.41～3.51	
P	平均 ^y		0.28 ±0.02	0.23 ±0.01	0.19 ±0.01	0.17 ±0.02	0.19 ±0.02	
	樹別最低～最高		0.24～0.34	0.18～0.28	0.15～0.25	0.12～0.22	0.13～0.23	
Ca	平均 ^y		1.36 ±0.25	1.53 ±0.21	1.71 ±0.23	1.80 ±0.22	1.79 ±0.22	
	樹別最低～最高		0.74～1.86	0.99～2.07	1.26～2.24	1.34～2.36	1.32～2.33	
Mg	平均 ^y		0.35 ±0.03	0.33 ±0.04	0.34 ±0.05	0.36 ±0.06	0.32 ±0.05	
	樹別最低～最高		0.25～0.40	0.15～0.43	0.21～0.49	0.21～0.55	0.15～0.46	

^z 平均値±標準偏差

^y 年次別の平均値と標準偏差の5か年の平均

^x 未調査

表1-13 ‘清水白桃’調査園における葉緑素計値の1997～2001年の年次平均^z

	葉緑素計値(SPAD502)				
	満開30日後	60日	90日	120日	150日
平均 ^y	46.4 ±2.4	42.7 ±1.5	43.6 ±1.4	44.8 ±1.3	44.0 ±1.6
樹別最低～最高	38.8～51.0	38.0～46.9	40.9～47.3	41.7～48.2	41.3～48.6

^z 平均値±標準偏差

^y 年次別の平均値と標準偏差の5か年の平均、各年次の調査園地数は13～25園、一部未調査月有

表1-14 ‘清水白桃’調査園における葉重の1997～2001年の年次平均^z

	葉重(g)				
	満開30日後	60日	90日	120日	150日
平均 ^y	0.56 ±0.06	0.93 ±0.09	1.01 ±0.09	1.03 ±0.11	1.07 ±0.11
樹別最低～最高	0.44～0.72	0.66～1.19	0.74～1.28	0.73～1.24	0.81～1.32

^z 平均値±標準偏差

^y 年次別の平均値と標準偏差の5か年の平均、各年次の調査園地数は13～25園、一部未調査月有

も大きかったが、これには採取した葉が新梢基部に近い
ため、葉位による変動が大きい事も影響している
と考えられた。

葉重の生育時期による変動を満開60日後以降で見ると、
生育時期が進むにつれ徐々に重くなる傾向にあったが、
満開90～120日後にかけての変動は極わずかであった。

4. 糖度選果結果に基づく収穫後の園地診断

当年の‘清水白桃’の糖度選果結果を基に、収穫後に園地調査を行った結果、糖度の高い果実を生産した園地は、樹冠下が明るく、日当たりが良好で、密植でなく、新梢の再伸長が少ない点が共通していたが、徒長枝の発生は園地により差がみられた。一方、糖度の低い果実を生産した園地は、樹冠下が暗く、密植で、

樹勢が強く、徒長枝の発生や再伸長が多かった(表1-15)。

葉中の無機成分を比較すると、糖度の低い果実を生産した園地は、糖度の高い果実を生産した園地に比べ、葉中のN含量とK含量がともに多く、葉重が重い傾向にあった(図1-22, 1-23)。一方、糖度の高い果実を生産した園地では、葉中のN含量とK含量がともに少ない園地や、N含量は多いがK含量が少ない園地、逆にK含量は多いがN含量が少ない園地など、葉中無機成分含量の変動が大きかった(図1-22)。

5. 葉中N含量が低い樹の果実品質

イネ科のペレニアルライグラス区とケンタッキーブルーグラス区では、‘清水白桃’の葉中N含量が生育初期から低く推移するとともに、葉色は薄く、葉は小さ

表1-15 当年の糖度選果結果に基づいて分類した‘清水白桃’園の収穫後の園地診断結果

園地 No.	園地 分類	選果データ(7/25~8/15)		樹齢	樹冠下 ^z 明るさ	園地の ^z 日当たり	栽植 ^z 密度	樹勢 ^z	再伸長 ^z	徒長枝 ^z	土壌 管理	敷藁
		平均糖度	選果個数									
1	高糖度	15.7	1950	9	1	1	1	1	1	1	清耕	有
2	高糖度	15.5	2596	4	1	1	1	2	0	3	清耕	有
3	高糖度	15.2	4722	10	1	1	2	1.5	1	1	清耕	有
4	高糖度	15.0	1051	8	1	1	2	2	0	2.5	草生	無
5	高糖度	15.0	8481	10	1	1	2	2	1	2	清耕	有
6	高糖度	14.7	5563	11	1	1	2	2	1	1	清耕	有
7	低糖度	13.8	4482	12	2	3	3	2.5	3	2	清耕	有
8	低糖度	13.0	9714	12	2	1	2	2.5	3	0	清耕	有
9	低糖度	13.0	13201	7	3	2	2	3	1	3	清耕	有
10	低糖度	12.6	8035	12	2	2	2	3	2	3	清耕	有
11	低糖度	12.5	10305	15	3	2	3	3	1	3	清耕	有
12	低糖度	12.4	6585	10	3	2	3	3	1	3	清耕	有
平均	高糖度	15.2	4061	9	1.0	1.0	1.7	1.8	0.7	1.8		
	低糖度	12.9	8720	11	2.5	2.0	2.5	2.8	1.8	2.3		

評価値	
0	無
1	明るい 良 粗植 弱勢 無 少
2	適 適 適 適勢 中 中
3	暗い 悪 密植 強勢 多 多

^z 2000年8月17日に表下部の評価基準で調査

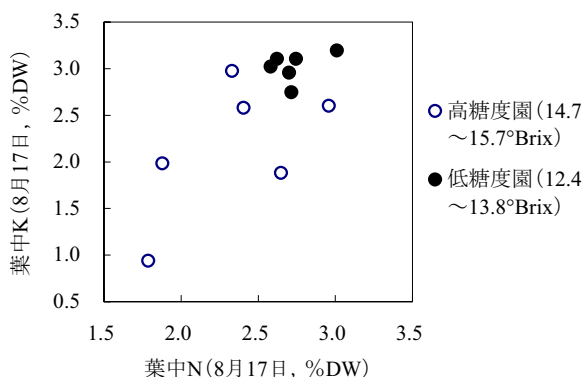


図1-22 当年の糖度選果結果に基づいて分類した‘清水白桃’園における、葉中のN含量とK含量との関係(2000年)

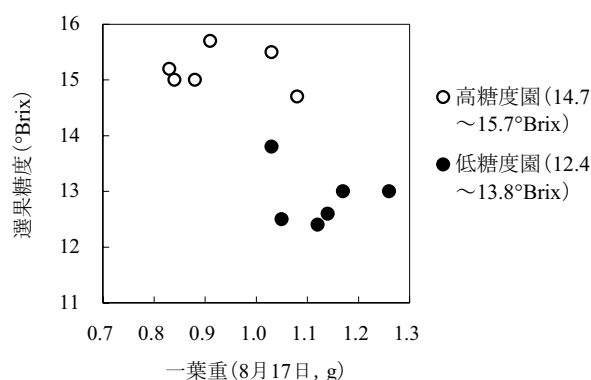


図1-23 当年の糖度選果結果に基づいて分類した‘清水白桃’園における、選果糖度と葉重との関係(2000年)

表1-16 草生栽培園における‘清水白桃’の果実品質と葉分析値(2000年)

試験区 ^z	着果数 (果/樹)	果実重 (g)	果実糖度 (°Brix)	果汁N (mg・100ml ⁻¹)	渋味 ^y (0~3)	食味 ^x (-3~+3)	葉中N ^w (%DW)	葉中K ^w (%DW)	葉色 ^w (SPAD)	葉重 ^v (g)
ペレニアルライグラス	255	226	13.4	33	2	0	1.82	2.13	37.4	0.75
ケンタッキーブルーグラス	288	224	13.3	30	2	0	2.17	2.15	38.2	0.89
ヘアリーベッチ	419	307	13.4	59	0	1.7	3.29	2.75	43.1	0.95
ヘアリーベッチ(刈込)	425	307	13.0	67	0	2	3.30	2.60	44.2	0.91
雑草(対照)	237	237	13.3	35	1	1	2.28	2.25	37.7	0.83

^z ペレニアルライグラス区とケンタッキーブルーグラス区は6月12日と7月2日に草刈, ヘアリーベッチ区は6月下旬に自然枯死, ヘアリーベッチ(刈込)区は4月下旬に草刈.

^y 官能検査値 0:なし, 1:わずかに渋味を感じる, 2:明らかな渋味を感じる, 3:強い渋味を感じる

^x 官能検査値 7段階評価(不良:-3~良:+3)

^w 満開59日後

^v 満開118日後

く、樹勢が極端に弱かった。両区の収穫果実は、果実重が約220 gと小さく、栄養状態が良好なマメ科のヘアリーベッチ区と糖度に差は無いものの、明らかな渋味とえぐ味を感じ、食味が劣った(表1-16)。生育が劣った原因には、施肥量が少なかったことに加え、草種との養分競合があげられた。

6. 糖度の低い果実を生産する園地の改善試験

収穫果実の糖度は、施肥削減2年目の1999年以降、徐々に上昇し、2000年に最も高くなった(表1-17)。施肥削減に伴い、葉中N含量は1997年から2000年にかけていずれの時期でも徐々に減少する傾向を示し、2000年が満開60、90、120日後のいずれの時期とも最低を示した。一方、施肥量を増やした2001年には2000年に比べいずれの時期とも葉中N含量が増加した。満開60日後の葉中N含量と年次別の糖度との間には有意な負

の相関関係が認められた。また、葉中K含量は、いずれの生育時期においても糖度が最も高かった2000年が最も少なく、糖度が最も低かった1998年が最も多かった。

7. 葉緑素計値と葉中N含量との関係

生育時期が進むにつれ、葉中N含量が減少するのに対し葉緑素計値は上昇し、生育期間を通して見ると両者の相関は低かった。生育時期別に見ると両者の相関は高まったものの、満開60~90日後における葉中N含量2.5~3.5%での両者の相関は低かった(図1-24)。葉中N含量の異なる樹で、葉緑素計値と葉厚との関係を見ると、葉が厚いほど葉緑素計値が高く、同じ葉厚では葉中N含量が多い樹が高い葉緑素計値を示した(図1-25)。葉緑素計値を葉厚で補正すると、葉中N含量との相関が高まった(図1-26)。

表1-17 糖度の低い‘清水白桃’園における施肥量の削減と敷きわらの中止が、その後の葉中N及びK含量と収穫果実の糖度に及ぼす影響

調査項目		調査年度					糖度との 相関係数 ^z
		1997	1998	1999	2000	2001	
糖度	(°Brix)	11.8	10.3	12.3	14.3	14.1	1
果実重	(g)	320	266	347	314	327	0.576
葉中N	満開60日後(%DW)	3.34	3.43	3.40	2.83	3.01	-0.905*
	満開90日後	3.22	2.96	2.78	2.61	2.80	-0.656
	満開120日後	2.83	2.61	2.77	2.52	2.60	-0.442
葉中K	満開60日後(%DW)	2.88	3.55	3.40	2.87	3.26	-0.527
	満開90日後	3.33	3.41	3.08	2.86	3.31	-0.641
	満開120日後	3.52	3.25	3.17	3.12	3.26	-0.383
【施肥管理方法】							
N施用量 ^y	(kg・a ⁻¹)	0.92	0.32	0.32	0.30	0.42	
敷きわら	(kg・a ⁻¹)	100	100	100	0	0	
パーク堆肥	(kg・a ⁻¹)	40	40	40	0	0	
【調査園の平均糖度】							
調査園数		14	25	14	13	14	
平均糖度		12.5	12.0	12.3	13.5	13.7	

^z 有意水準:*5%

^y 施肥はN,P,K 3要素を含む肥料を前年の秋季に施用

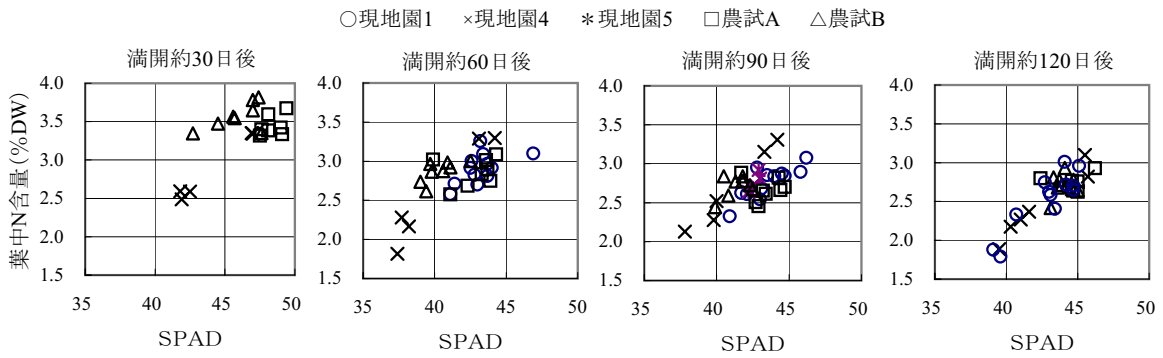


図1-24 ‘清水白桃’樹の葉中N含量と葉緑素計値(SPAD)との関係(2000年)

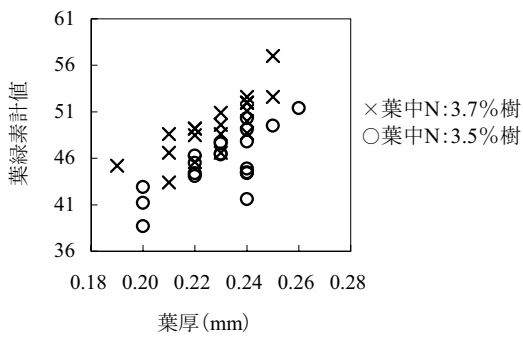


図1-25 葉中N含量が異なる‘清水白桃’2樹における満開30日後の葉厚と葉緑素計値との関係(2000年)

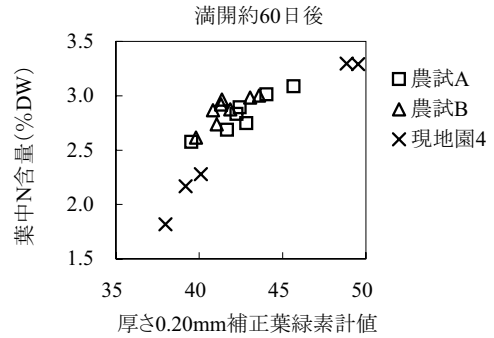


図1-26 ‘清水白桃’での葉の厚さを補正した葉緑素計値と葉中N含量との関係(2000年)

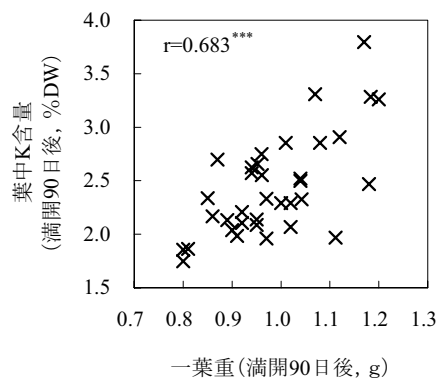
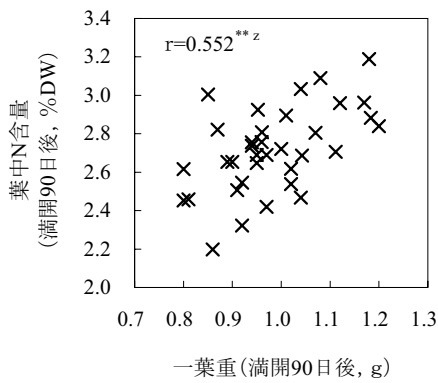


図1-27 ‘清水白桃’樹の葉重と葉中N及びK含量との関係(2001年)

^z 有意水準: **1%, ***0.1%, n=35樹

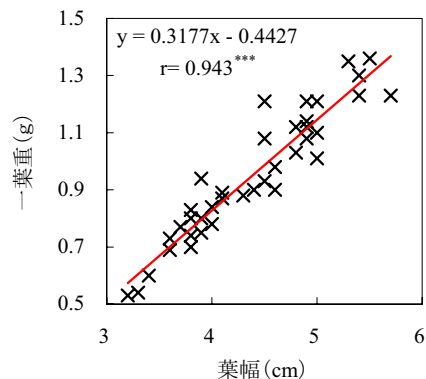
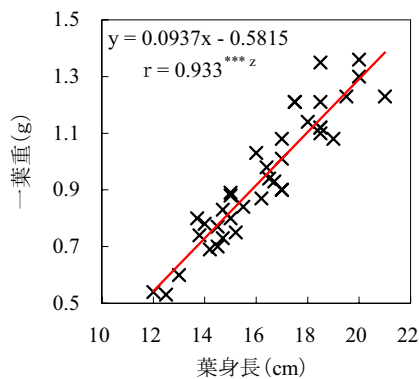


図1-28 ‘清水白桃’樹の葉重と葉身長及び横幅との関係(2002年)

^z 満開60~120日後, 有意水準: ***0.1%, n=38葉

8. 葉重と葉中NおよびK含量並びに葉身長との関係

満開約30, 90および150日後の葉重と葉中N含量との間に、それぞれ相関係数 (r) 0.56, 0.55, 0.52の有意な相関が認められた。また、満開約60日後の葉中N含量と満開約90日後の葉重並びに満開約90日後の葉中N含量と満開約120日後の葉重との間にも、それぞれr = 0.60, 0.58の有意な相関が認められた。一方、満開約60, 90, 120日後の葉中K含量と葉重との間にも、それぞれr = 0.48, 0.68, 0.58の有意な相関が認められた。また、満開約60日後の葉中K含量と満開約90日後の葉重並びに満開約90日後の葉中K含量と満開約120日後の葉重との間にも、それぞれr = 0.61, 0.63の有意な相関が認められた。葉重とのr値は、葉中N含量よりも葉中K含量の方が全般に高かった (図1-27)。

葉重は葉身長並びに葉幅と高い相関関係にあり、葉身長または葉幅から葉重の推定が可能であった。得られた回帰式から、'清水白桃'では、葉重1.0 gの葉は葉身長17.0 cm, 葉幅4.5 cmと推定された (図1-28)。

考 察

現地園および農試圃場での調査結果から推察された、糖度の高い果実を安定生産するための'清水白桃'樹の葉中N含量と葉緑素計値の生育時期別指標を表1-18に、葉中K含量, 収穫果実果汁中N含量, 葉重および葉身長の指標を表1-19に示した。

1. 葉中N含量の診断指標

前節 (第1章第2節) で示した葉中N含量と果実糖度との関係 (図1-5), 葉中N含量の経時変化 (図1-6), 葉中N含量と生育状態との関係 (図1-9) 並びに本節で示した葉中N含量の経年変化 (表1-12), 糖度の低い果実

を生産する園地の改善試験 (表1-17), 糖度選果結果に基づく収穫後の園地診断結果 (図1-22) から、葉中N含量の適正值の上限は、徒長枝の発生が増加し糖度の低い園地の割合が増加する、満開30, 60, 90, 120および150日後が、それぞれ3.6, 3.2, 3.0, 2.7, 2.5 %付近と推察された (表1-18)。

一方、2000年に行った草生栽培園 (現地園4) の調査結果から、葉中N含量の不足は果実の肥大不良と渋味の発生を招くことが明らかになった (表1-16)。葉中N含量の低下による渋味の発生は、Proebsting et al. (1957) も認めており、9月10日頃に収穫期を向かえるモモ 'Elberta' において、7月11日における葉中N含量が2.2%を下回る樹では収穫果実中のタンニン含量が増加し、缶詰加工した果実の渋味が増加することを報告している。また、2000年に行った当年の糖度選果結果に基づく収穫後の園地診断結果 (図1-22) から、糖度の高い果実を生産する園地には、適正な葉中N含量を維持した園地と、葉中N含量が低く樹勢の低下が懸念される園地が存在することが明らかになった。これらの結果から、葉中N含量の適正值の下限は、満開30, 60, 90, 120および150日後が、それぞれ3.0, 2.6, 2.5, 2.2, 2.0 %付近と推察された。なお、葉中N含量が適正值より多くても糖度の高い園地が存在することは、前節で示したとおりであり、園地間の比較においては、園地の土壌条件や葉中N含量の経時変化などを総合して評価する必要がある。ただし、同一園地における年次間の比較においては、糖度の低い果実を生産する園地の改善試験結果 (表1-17) が示すように、葉中N含量が明確な改善指標になり得た。

2. 葉中K含量の診断指標

表1-18 糖度の高い果実を安定生産するための'清水白桃'樹の葉中N含量と葉色の指標²

項目	満開後日数				
	30日	60日	90日	120日	150日
葉中N含量 (%DW)	3.0~3.6	2.6~3.2	2.5~3.0	2.2~2.7	2.0~2.5
葉緑素計値 (SPAD502)	44 以上	40 以上	41 以上	42 以上	41 以上

² 採取葉位: 葉身の長さが5 cm以上の葉の葉位から先端側に3枚目 (満開30日後), 6~10枚目 (60日以降)

表1-19 糖度の高い果実を安定生産するための'清水白桃'樹の葉中K含量, 葉重, 葉身長及び収穫果実果汁中N含量の指標²

項目	適正範囲
葉中K含量 (満開60~120日後, %DW)	2.0~2.9
葉重 (満開90~150日後, g・FW)	0.9~1.1
葉身長 (満開90~150日後, cm)	15.0~18.0
果汁中N含量 (収穫期, mg・100ml ⁻¹)	40~60

² 採取葉位: 葉身の長さが5cm以上の葉の葉位から先端側に6~10枚目

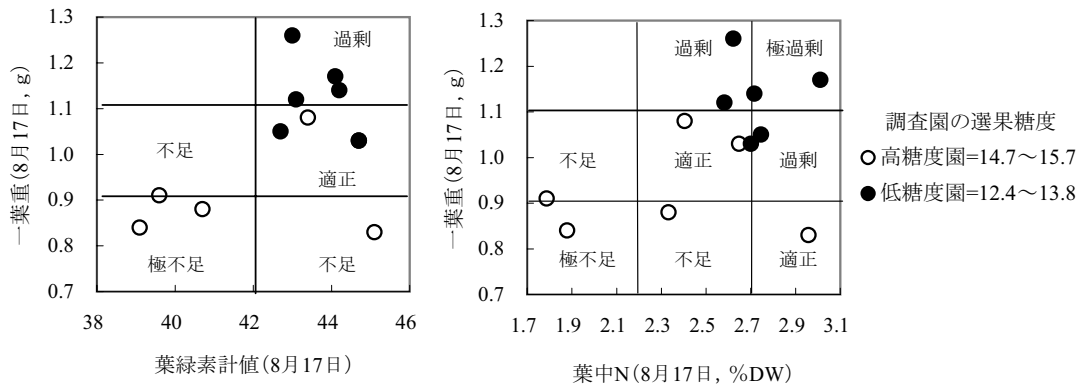


図1-29 ‘清水白桃’における樹別の葉重と葉色並びに葉中N含量による園地の栄養診断(2000年)
現地園の糖度選果結果に基づき、高糖度園と低糖度園に分けてプロットした

前節(第1章第2節)での調査結果(図1-5, 図1-6, 図1-7, 図1-9)並びに本節の調査結果(表1-12, 表1-17, 図1-22)から、満開60~120日後における葉中K含量の適正值の上限は、徒長枝の発生が増加し糖度の低い園地の割合が増加する2.9%付近と推察された(表1-19)。一方、葉中K含量の低下が樹の生育や果実品質に及ぼす影響については、今回の一連の調査からは明らかにできなかったが、現地調査園の葉中K含量の実態から2.0%を仮の下限値に設定した。Lilleland et al. (1962)は、モモ‘Halford’の葉中K含量が1.0%を下回ると果実肥大が劣ることを報告している。今後、‘清水白桃’に関しても果実肥大の面から葉中K含量の下限値の検討が必要と考える。

3. 収穫果実の果汁中N含量の診断指標

前節での調査結果(図1-5, 図1-7, 図1-9)並びに本節の2000年に行った草生栽培園の調査結果(表1-16)から、収穫果実の果汁中N含量の適正值は40~60 mg・100 ml⁻¹と推察された(表1-19)。

4. 葉緑素計値の診断指標

Nの不足は葉緑素計値でも簡便に診断可能である。図1-24に示した葉緑素計値と葉中N含量との関係から、葉中N含量の適正值の下限に対応する葉緑素計値は、満開30, 60, 90, 120および150日後が、それぞれ44, 40, 41, 42, 41以上と推察された(表1-18)。なお、葉緑素計の直読値からNの過剰を診断することは困難であるが、図1-26で示したように葉緑素計値を葉の厚さで補正することにより、Nの過剰が診断可能になるのではないかと考えられた。

5. 葉の大きさの診断指標

生産者自らが栄養診断を行う目安としては、葉重や葉身長が手軽な指標になり得る。各務ら(1984)の報

告には、‘白鳳’の葉幅と果実糖度との間に有意な負の相関関係が存在することが示されている。今回の一連の現地調査から、‘清水白桃’における適正な栄養状態の葉の大きさは、葉重0.9~1.1 g, 葉身長16.0~17.0 cmであり、18.0 cm以上は栄養過多、15.0 cm未満は栄養不良と推察された(表1-19)。さらに、葉重と葉緑素計値や葉中N含量との組合せにより、栄養状態のより細かな診断が可能と考えられた。その例を、2000年に行った糖度選果結果に基づく収穫後の園地診断結果にあてはめて見ると(図1-29)、葉重が軽く葉緑素計値や葉中N含量が低い樹は明らかな栄養不良と診断されるのに対し、葉重が軽くても葉緑素計値や葉中N含量が高い樹は適正な栄養状態と診断されるのではないかと考えられた。また、葉重が重く葉緑素計値や葉中N含量が高い樹は明らかな栄養過剰と診断されるものと考えられた。

第4節 近赤外分光法によるモモ葉分析の簡易迅速化

葉分析による栄養診断においては、従来の硫酸分解による分析では技術と時間を要し、生産現場での指導には十分に活かされていない。生産農家を支援し、樹の栄養状態の改善による果実品質の向上を産地全体で推進するためには、簡易迅速な栄養診断方法の開発が不可欠である。

栄養診断の簡易迅速な方法としては、近赤外分光法(岩元ら, 1994; 尾崎・河田, 1996)が最も有望視されている。この方法で、牧草(Pavlov et al., 1996; Saiga et al., 1989; Shenk et al., 1981)、水稻、メロン(堀内ら, 1991)、カキ(新川・松村, 1995)およびミ

カン（夏秋ら，1991）などの乾燥粉碎した葉の近赤外反射スペクトルから無機成分含量の推定が行われ，NのみならずKやCa等の推定も可能であることが明らかにされている．さらに，水稻（池田，1997；今井・日置，1996；吉川ら，1991；吉松，1993）やミカン（宮本，2008；大倉・宮本，2003）では，生葉の近赤外透過スペクトルから葉中N含量の推定が可能なが報告されている．

本節では，葉分析による栄養診断を迅速化するために，近赤外分光法による葉中無機成分の分析法を開発した．

材料および方法

1. 乾燥粉碎した葉の近赤外反射スペクトルの測定

農試圃場並びに倉敷市の農家において，‘白鳳’，‘清水白桃’，‘大和白桃’，‘白桃’，‘瀬戸内白桃’および‘ゴールドンピーチ’の葉を，1994年から3か年に渡り，満開約30，60，90，120および150日後に第2節と同様に採取した．採取した葉はブラシで1枚ずつ水洗した後に70℃で一夜通風乾燥し，直ちに粉碎機で0.5 mmメッシュのスクリーンを用いて粉碎した．

粉碎試料2.0 gをマイクロ反射カップに充填し，6500型近赤外分光計を用いて400 nmから2500 nmまで2 nmおきに反射スペクトルを測定した．測定時のリファレンスには白色セラミック板を用い，1測定当たりの走査回数を32回，Gainを1とし，室温20～25℃の条件下で1試料につき2カップ測定した．

2. 生葉の近赤外透過スペクトルの測定

農試圃場において，‘白鳳’，‘清水白桃’，‘大和白桃’，‘白桃’，‘瀬戸内白桃’および‘ゴールドンピーチ’から生育時期別に様々な葉位の葉を，1994年から3か年に渡り採取した．

採取した葉は中助を除いて半分に切り取り，6500型近赤外分光計を用いて400 nmから2500 nmまで2 nmおきに透過スペクトルを測定した．透過スペクトルの測定は吉松（1993）の方法に準じて，可動式の高油水分セルに6 mm×60 mmのスリットのあるスパーサーを設

置して行った．測定時のリファレンスには厚さ0.7 mmの白色セラミック板を用い，1測定当たりの走査回数を32回，Gainを10とした．

3. 葉の無機成分の硫酸分解法による分析（従来法）

葉中のN，P，K，CaおよびMgについて，水野・南（1980）の方法により分析した．

乾燥粉碎した葉の近赤外反射スペクトルから無機成分含量を推定する試験においては，粉碎試料0.3 gを硫酸と過酸化水素を用いて分解し100 mlに定容した．その10 mlをセミマイクロ蒸留装置を用いて40%NaOHで中和後に蒸留し，ホウ酸で捕集したアンモニアを0.02規定の硫酸で滴定し全Nを分析した．また，硫酸過酸化水素分解液の原液もしくは適宜希釈した溶液を用いて，バナドモリブデン法でP，炎光光度法でK，原子吸光度法でCaとMgを分析するとともに，粉碎試料1 gを105℃で4時間乾燥し水分含量を測定した．

生葉の近赤外透過スペクトルから無機成分含量を推定する試験においては，葉厚をシクネスゲージで測定した後，70℃で一夜通風乾燥して生葉の水分含量を測定し，風乾試料全量（50～150 mg）を用いて，乾燥粉碎した葉と同様に無機成分を分析した．

4. 検量線の開発

検量線の作成および精度の評価には，各成分値の頻度分布が均等になるように任意に2つの試料群を抽出し，検量線作成用試料および検量線精度評価用試料として用いた（表1-20，表1-21）．

近赤外スペクトルの解析にはNSASソフトウェア（NIRSystems製）を用いて，変数増加法による重回帰分析で検量線を作成した．波長の選択に当たっては安定した検量線を得るために，各波長に対する重相関係数プロットのピーク幅が広く，感度プロット（重回帰式における係数）が低く安定した波長を選択するように努めた．また，第1波長の選定に当たっては相関スペクトル（葉中成分と各波長の吸光度との相関係数に試料葉の平均吸光度を掛けて得られる）のピークも考慮した．

作成した検量線の精度は，従来法と近赤外分光法と

表1-20 モモ乾燥粉碎葉の近赤外反射スペクトルの測定に供した試料の構成²

調査項目	検量線作成用試料			検量線評価用試料				
	n	最低(%)	最高(%)	平均(%)	n	最低(%)	最高(%)	平均(%)
N	87	2.04	4.03	2.94	78	2.23	3.91	2.91
P	86	0.13	0.36	0.21	73	0.13	0.33	0.19
K	82	1.09	3.83	2.56	95	1.61	3.55	2.73
Ca	96	0.82	2.78	1.72	71	1.08	2.65	1.74
Mg	83	0.20	0.62	0.37	71	0.22	0.61	0.36
水分	104	1.72	4.42	2.64	94	1.79	3.74	2.59

² 測定単位は乾燥粉碎物%

表1-21 モモ生葉の近赤外透過スペクトルの測定に供した試料の構成

調査項目	検量線作成用試料				検量線評価用試料			
	n	最低 ^z	最高 ^z	平均 ^z	n	最低 ^z	最高 ^z	平均 ^z
N	91	2.12	4.06	3.22	83	2.43	4.13	3.22
P	69	0.14	0.37	0.21	61	0.15	0.26	0.20
K	70	1.56	3.56	2.62	77	1.77	3.52	2.56
Ca	74	0.34	2.19	1.27	72	0.50	2.33	1.26
Mg	95	0.21	0.53	0.36	96	0.22	0.51	0.35
水分	114	53.0	70.1	62.2	102	53.4	70.3	62.4
厚さ	114	0.14	0.26	0.20	93	0.14	0.25	0.20

^z各無機成分含量は風乾物%で、水分は生鮮物%で、厚さはmmで示した

の相関係数、推定誤差並びに水野ら（1988）が提唱した試料の成分値の幅に対する誤差の割合を示す評価指数EI値（evaluation index）で評価した（表1-22）。

乾燥粉碎した葉では、2次微分スペクトルを用いて、乾燥粉碎物中の無機成分含量を推定する検量線を作成した。乾物当たりの無機成分含量は乾燥粉碎物中の水分含量から算出する方式とした。

生葉では、2次微分スペクトル並びに原スペクトルを用いて、生葉の厚さ、水分含量並びに葉中の風乾物当たりの無機成分含量を推定する検量線を作成した。

表1-22 EI値による検量線の評価基準(水野ら, 1988年)

EI ^z	階級	精度	実用性
<12.4	A	とても高い	とても良い
12.5~24.9	B	高い	良い
25.0~37.4	C	やや高い	十分
37.5~49.9	D	低い	乏しい
50.0<	E	とても低い	乏しい

^z EI=(2×SEP/Range)×100(%)

結果

1. 乾燥粉碎した葉の近赤外反射スペクトルからの葉中無機成分含量の推定

各成分ともに数種類の検量線を作成し、その精度を検量線評価用試料で評価し、従来法と近赤外分光法との標準誤差（SEP：Bias corrected standard error of prediction）が最も小さい検量線を、各成分測定用の検量線に決定した。決定した各検量線の選定波長と測定精度を表1-23に、検量線の定数を表1-24に示すとともに、これらの検量線による各成分含量の従来法と近赤外分光法との相関を図1-30に示した。

各検量線の精度を成分間で比較すると、最も精度が優れたのはNで、次いでCa、K、Mgの順であり、Pの精度が最も劣った。

検量線の作成において、葉中N含量と各波長における2次微分吸光度との単相関係数（r）が0.8以上を示した波長は、相関係数の高い順に1504 nm（r = - 0.91）、2180 nm（r = - 0.89）、1692 nm（r = - 0.88）、2056 nm（r = - 0.86）、1744 nm（r = - 0.81）の5波長であった。これらの波長を第1波長候補として数種類の検量線を作成し、その精度を検量線評価用試料で評価した。その結果、第1波長候補の中で感度プロットが最小で相関スペクトルが最大の波長であった2056 nmを第1波長とし、1412 nm（第2波長）、1278 nm（第3波長）、1226 nm（第4波長）の4波長を選択した検量線の精度が最も高く、SEPは0.051%であった。

P含量と際立って相関の高い波長は存在しなかったが、相関係数の高い順に2342 nm（r = - 0.78）と1754 nm（r = - 0.77）それぞれを第1波長候補として数種類の検量線を作成し、その精度を評価した。その結果、2342 nmを第1波長とし、1870 nm、2202 nmの3波長を選択した検量線の精度が最も高く、SEPは0.029%であった。

K検量線の作成において、近赤外原スペクトルの2次微分処理におけるSegment Sizeは20より10の方が精度が向上した。K含量と最も相関が高かった波長は1626 nm（r = - 0.88）であり、相関が比較的高くて相関スペクトルのピークと一致した波長は1410 nm（r = - 0.71）であった。これらの波長を第1波長候補として数種類の検量線を作成し、その精度を評価した。その結果、1626 nmと1410 nmいずれの波長を第1波長に選択してもほぼ同じ精度の検量線が得られ、SEPは0.220%であった。

Ca検量線の作成においても、2次微分処理のSegment Sizeは20より10の方が精度が向上した。Ca含量と非常に相関の高い波長が1958 nm（r = - 0.94）と2000 nm（r = - 0.91）の2波長存在し、この2波長は相関スペクトルのピークとも一致した。これらの波長を第1波長

表1-23 モモ乾燥粉碎葉の近赤外反射スペクトルによる検量線の作成と評価

成分	検量線作成						検量線評価				
	λ_1^z	λ_2	λ_3	λ_4	R^y	SEC^x	r^w	SEP^v	$Bias^u$	EI^t	
N	2056 ^m	1412	1278	1226	0.98	0.067	0.99	0.051	0.004	6	
P	2342 ^m	1870 ^m	2202		0.89	0.022	0.75	0.029	0.006	29	
K	1410 ^m	1626	1220	2424	0.93	0.219	0.89	0.220	-0.062	23	
Ca	1958	1922 ^m	2424	1890 ^m	0.96	0.110	0.94	0.120	-0.018	15	
Mg	1968	2248 ^m	1904	2044 ^m	0.84	0.048	0.79	0.047	0.004	24	
水分	1930 ^m	1976 ^m	1762		0.92	0.214	0.90	0.208	0.012	21	

^z n番目の選定波長(mm)
^y 重相関係数
^x キャリブレーション時の標準誤差(乾燥粉碎物%)
^w 単相関係数
^v プレディクション時のバイアス補正済み標準誤差(乾燥粉碎物%)
^u 近赤外推定値と従来法による分析値との残差平均(乾燥粉碎物%)
^t Evaluation index (%)
^m マニュアル選定, その他の波長はコンピューターによる自動選定

表1-24 モモ乾燥粉碎葉の近赤外反射スペクトルによる葉中無機成分推定検量線の定数^z

調査項目	2次微分		検量線の定数				
	Segment	Gap	K(0)	K(1)	K(2)	K(3)	K(4)
N	20	0	1.819	-147.845	-154.824	-1563.283	360.385
P	20	0	-0.204	-67.704	7.399	-24.711	
K	10	0	2.502	-6164.550	-1001.858	1340.979	541.147
Ca	10	0	2.238	-411.891	249.973	-260.009	218.957
Mg	20	0	1.214	-93.902	-42.792	22.879	-9.114
水分	20	0	2.517	-96.792	-116.901	508.464	

^z 葉中成分含量(乾燥粉碎物%) = $K(0) + K(1)d^2 \text{Log}(1/R(\lambda_1)) + K(n)d^2 \text{Log}(1/R(\lambda_n))$

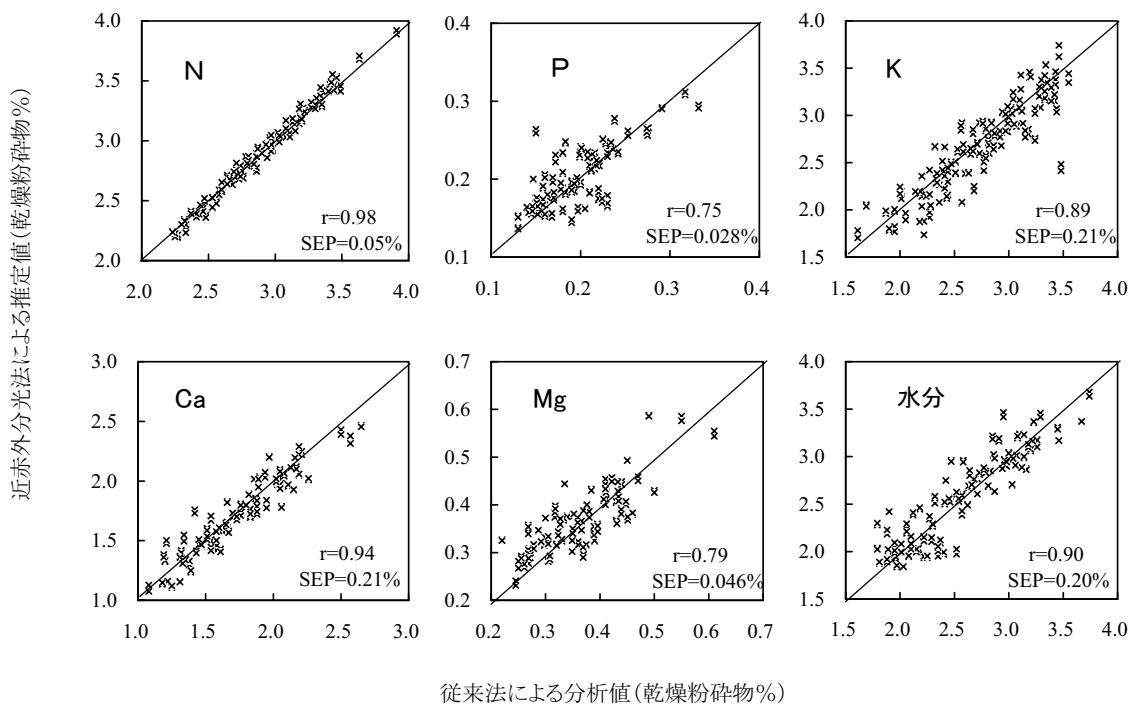


図1-30 モモの乾燥粉碎した葉の近赤外反射スペクトルからの葉中無機成分含量の推定精度

候補として数種類の検量線を作成し、その精度を評価した。その結果、1958 nmと2000 nmいずれの波長を第1波長に選択してもほぼ同じ精度の検量線が得られ、SEPは0.120%であった。

Mg含量と際立って相関の高い波長は存在しなかったが、相関係数の高い順に1968 nm ($r = -0.74$) と1996 nm ($r = -0.67$) を第1波長候補にして数種類の検量線を作成し、その精度を評価した。その結果、1968 nm を第1波長とし、2248 nm, 1904 nm, 2044 nmの4波長を選択した検量線の精度が最も高く、SEPは0.047%であった。

水分含量と最も相関の高かった波長は1930 nm ($r = -0.88$) であり、他に有望な第1波長候補は見当たらなかった。1930 nmを第1波長として数種類の検量線を作成し、その精度を評価した。その結果、第2波長に1976 nm, 第3波長に1762 nmを選択した検量線の精度が最も高く、SEPは0.208%であった。

2. 生葉の近赤外透過スペクトルからの葉中無機成分含量の推定

各成分ともに検量線作成用試料を用いて数種類の検量線を作成し、その精度を検量線評価用試料で評価した。各成分の推定精度は原スペクトルよりも2次微分スペクトルから作成した検量線の方が優れた。この中で従来法と近赤外分光法との誤差の標準偏差 (SEP) が最も低かった検量線の選定波長と精度を表1-25に、

その定数を表1-26に、従来法と近赤外分光法との相関を図1-31に示した。

得られた検量線の精度が最も優れたのは水分含量で、次いで葉厚、N含量の順であり、従来法と近赤外分光法との相関係数はいずれも0.96以上であった。その次に精度が優れたのはCa ($r = 0.85$), P ($r = 0.84$), K ($r = 0.73$) の順で、Mg ($r = 0.64$) の精度が最も劣った。

検量線の作成において、生葉の厚さは1波長だけでも精度の高い推定が可能であった。2次微分スペクトルで葉厚と相関の高かった波長は、水の吸収に帰属する波長域の1920 nm ($r = -0.96$), 1436 nm ($r = -0.97$), 986 nm ($r = -0.96$) と、単位面積当たりの乾物量との相関が高い波長域の1782 nm ($r = -0.95$), 1172 nm ($r = -0.96$) であった。一方、原スペクトルでは1922 nm ($r = 0.96$) が高い相関を示した。

水分の検量線では、第1波長に相関スペクトルで最大のピーク波長であり、水の吸収に帰属する1910 nm ($r = -0.32$) をまず選定し、次いで1910 nm吸光度を他の波長の吸光度で割算 (以下、割算マス) した値が水分含量と最も相関の高くなる波長2380 nmを選定した。この1910 nm/2380 nm ($r = -0.96$) と他の3波長で作成した検量線の精度が最も優れ、SEPは0.65%であった。一方、原スペクトルでも1930 nm, 2308 nm, 1986 nm, 1902 nmの4波長で $r = 0.97$, SEP=0.87%の精度の

表1-25 モモ生葉の近赤外透過スペクトルによる検量線の作成と評価^z

調査項目	検量線作成				検量線評価					
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	R	SEC	r	SEP	Bias	EI
N	2188 / 1920	2132 / 1920	1750 / 1920	2000 / 1920	0.97	0.118	0.96	0.109	-0.004	13
P	2226 ^m / 1920	2336 / 1920	2052 / 1920	1938 / 1920	0.88	0.020	0.84	0.016	0.007	27
K	1902 ^m / 1920	1394 / 1920	2342 / 1920	1986 / 1920	0.85	0.287	0.73	0.295	0.060	34
Ca	2004 ^m / 1920	2234 / 1920	1600 / 1920	1700 / 1920	0.93	0.154	0.85	0.193	0.007	21
Mg	2002 / 1920	1896 / 1920	1734 / 1920		0.68	0.057	0.64	0.046	0.001	32
水分	1910 ^m / 2380	2074 / 2380	2298 / 2380	1636 / 2380	0.99	0.55	0.99	0.65	0.08	8
厚さ	1920 ^m	2392			0.98	0.006	0.96	0.007	0.001	13

^z SEC, SEP, Biasの測定単位は無機成分が風乾物%, 水分が生鮮物%, 厚さがmm

表1-26 モモ生葉の近赤外透過スペクトルによる葉中無機成分推定検量線の定数^z

調査項目	2次微分		検量線の定数				
	Segment	Gap	K(0)	K(1)	K(2)	K(3)	K(4)
N	20	0	-0.101	124.092	-116.567	94.457	-20.353
P	20	0	0.308	3.979	9.342	5.812	0.982
K	20	0	7.346	3.557	42.431	-112.496	38.569
Ca	20	0	18.343	135.785	-48.700	267.777	-83.378
Mg	20	0	3.232	20.791	-2.037	15.824	
水分	20	0	52.883	-0.218	24.876	4.974	-23.798
厚さ	20	0	-0.033	-0.470	4.516		

^z 葉中成分含量 = $K(0) + K(1)d^2 \text{Log}(1/T(\lambda_1)) + K(n)d^2 \text{Log}(1/T(\lambda_n))$

測定単位は無機成分が風乾物%, 水分が生鮮物%, 厚さがmm

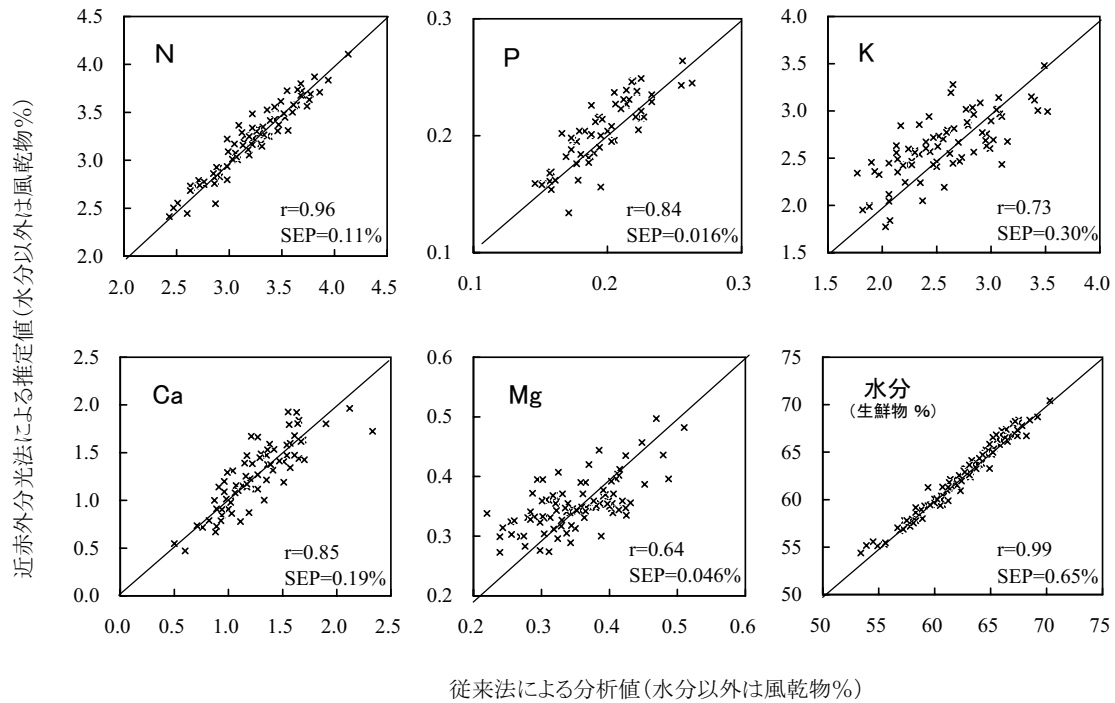


図1-31 モモ生葉の近赤外透過スペクトルからの葉中無機成分含量の推定精度

高い検量線が得られた。

Nの検量線では、割算マス波長として葉厚と相関の高い1920 nmを選定し、この波長との組合せで最も相関の高くなる2188 nm/1920 nm ($r=0.86$)を第1波長に選定した。この2188 nm/1920 nmと他の3波長で作成した検量線の精度が最も優れ、SEPは0.109%であった。また、第1波長には蛋白の吸収波長である2050 nm/1920 nm ($r=0.61$)を選定した検量線も高い精度を示し、SEPは0.118%であった。一方、原スペクトルの解析では、2180 nm, 2258 nm, 2146 nm, 1120 nmの4波長で $r=0.88$, SEP=0.174%の検量線が得られた。

Caの検量線では、N検量線作成時と同様に1920 nmを割算マス波長として、この波長との組合せで正の相関が最も高くなる2004 nm/1920 nm ($r=0.63$)を第1波長に選定した。この2004 nm/1920 nmと他の3波長で作成した検量線の精度が最も優れ、SEPは0.193%であった。一方、原スペクトルの解析では、2004 nm, 1984 nm, 2022 nm, 2434 nmの4波長で $r=0.79$, SEP=0.216%の検量線が得られた。

考 察

1. 乾燥粉碎した葉による分析精度

今回作成した検量線の精度を、水野ら(1988)が提

唱した試料の成分値の幅に対する誤差の割合を示すEI値で表1-22の基準に従って評価すると、NはAランク、Ca, KおよびMgはBランク、PはCランクであった。このEI値と図1-30に示した従来法と近赤外分光法との相関図から実用性を判断すると、Nは精度が高く定量分析が可能であり、Ca, KおよびMgは栄養診断における過不足の判定が可能であるが、Pについては精度がやや劣り栄養診断への実用性については更に検討を要すると考えられた。

葉中N含量が近赤外分光法により高い精度で測定可能なことは、今回行ったモモ以外に、メロン(堀内ら, 1991)、カキ(新川・松村, 1995)、ミカン(夏秋ら, 1991)並びに牧草(Pavlov et al., 1996; Shenk et al., 1981)などで明らかになっている。今回の試験で、モモ葉中のN含量と相関の高かった波長は1504 nm, 1692 nm, 1744 nm, 2056 nm並びに2180 nmであり、いずれの波長を第1波長に選定してもSEPが0.1%以下の検量線が作成可能であった。その中で、2056 nmを第1波長に選定した検量線の精度が今回の試験では最も良好で(表1-23)、ついで2180 nmを第1波長に選定した検量線の精度が優れた(データ省略)。これらの波長はKamishikiryo et al. (1991)が行った牛血清アルブミンの2次微分スペクトルにおける鮮明な吸収領域とほぼ

一致した。また、米やビール麦の近赤外分光法による蛋白質測定用の検量線の第1波長に2056 nm近辺か2180 nm近辺の波長が選択されることから考えて、上記波長はモモ葉中の蛋白質の吸収を反映したものであると推察された。

近赤外分光法で安定した検量線を作成するためには、測定対象成分の吸収に由来し、しかも他の成分の影響を受けにくい波長を第1波長に選定することが重要である。Kamishikiryo et al. (1991) は蛋白質の測定においては2170 nmが温度や他の成分による影響を受けない安定した波長であると報告している。モモの葉中N含量の測定において、第1波長に2056 nmを選定した検量線と2180 nmを選定した検量線のどちらが様々なサンプルに対して安定した精度を示すか、今後も検討する必要がある。

N以外の葉中無機成分についても精度に差はあるものの近赤外分光法により実用的な測定が可能であることが、モモ以外のマメ科牧草やメロンでも明らかになっている。Pavlov et al. (1996) がマメ科牧草で行った試験において、EI値を算出し実用性を評価すると、Ca, K, PがBランク、MgがCランクであった。堀内ら(1991) がメロンで行った試験では、MgがBランクで、その他の成分はCランクであった。これらの元素自身は近赤外領域の波長を吸収しないことから、基本的には測定は不可能である。しかし、生体内では各種有機態の構成元素として存在したり、吸収を示す官能基と結合した状態で存在するために、近赤外分光法による測定が可能になると推測される。

葉中Ca含量は1958 nmと2002 nmとの相関が非常に高かった。太田ら(1970) は、Caは植物体中で塩化物を主体とした無機塩、水溶性有機酸塩、ペクチン酸塩、しゅう酸塩などの形態で存在すると予想している。無水塩化Caの近赤外スペクトル(尾崎・河田, 1996)を見ると、上記2波長とほぼ同じ位置に明瞭な吸収を示しているが、モモの葉でみられた吸収が塩化Caに由来するものかどうかは更に検討を要する。

2. 生葉による分析精度

生葉での近赤外分光法による無機成分測定の可能性をEI値で評価すると、今回作成した検量線の精度は、水分が実用性の最も高いAランク、次いで葉厚、NおよびCaがBランクで、P, KおよびMgはCランクであった。このEI値と図1-31に示した従来法と近赤外分光法との相関図から判断して、水分とNについては精度の高い分析が可能であり、Caについても比較的精度が高く十分に実用性を有するが、P, K並びにMgについては精

度がやや劣り更に検討を要すると考えられた。

今回作成した検量線の精度を吉松(1993)が水稻生葉で作成した検量線の精度と比較すると、水稻生葉ではN含量のSEPが0.20%であったのに対し、今回のモモ生葉ではSEPが0.11%と水稻での試験よりも精度が高かった。一方、モモの乾燥粉碎した葉で作成した検量線の精度と比較すると、乾燥粉碎した葉ではN含量のSEPが0.05%であり、生葉での測定の方が推定誤差は大きかった。生葉が乾燥粉碎した葉に比べて精度が劣った原因には、乾燥粉碎した葉では微粉碎した均質な試料を測定対象としているのに対し、生葉では測定対象が乾燥粉碎した葉に比べ不均質で高水分であることや、近赤外スペクトルの測定面積が6 mm×60 mmのスリットでは分析に供試した葉の面積の約1/4に過ぎない点などがあげられる。

生葉の透過スペクトルから乾物当たりの成分含量を求めようとする、葉の厚さや水分含量の影響を受けるため、吸光度と成分含量の相関は低くなり、何らかの補正を検量線の中で行う必要が生じる。この補正は、測定対象成分の帰属波長が判明している場合は、その波長を第1波長に選定して検量線を作成することにより、第2波長には自動的に補正波長を選出してくる場合が多い。今回の解析ではこの方法でも比較的良好的な精度を有する検量線の作成が可能であったが、葉厚との相関が高く水の吸収波長域である1920 nmを補正波長として割算マスをを行うと精度は更に向上した。補正波長としては1920 nmが今回の解析では最も優れたが、最適な補正波長については更に検討を要する。

生葉でのNの測定においては、乾燥粉碎した葉での解析と同様に、タンパク質の吸収領域である2180 nm近辺か2050 nm近辺の波長を第1波長に選定した検量線の精度が最も優れた(表1-25)。吉松(1993)が水稻生葉の反射スペクトルから作成したN検量線の第1波長にも2058 nmが選定されており、2050 nm, 2180 nm近辺の波長域が葉中N測定においては重要な波長になるものと推察された。

CaはNに次いで精度が高かったが、生葉での測定で第1波長に選定した2004 nmは、乾燥粉碎した葉での解析においてCaと相関が非常に高かった波長域と一致する。2000 nm近辺の吸収が何に由来するかは明らかでないが、この波長域がCa測定においては重要な波長になるものと推察された。

P, K, Mgに関しては重要な波長を特定することはできず、今後、更に検討を要するが、乾燥粉碎した葉の検量線と生葉の検量線で重複した波長を捜すと、P

では2340 nm, Kでは1400 nm近辺の波長が存在した。

以上の結果から、N以外の成分に関しては測定の背景が十分に解明されているわけではないが、近赤外分光法は栄養診断に利用できることが明らかになった。近赤外分光法では乾燥粉碎した葉の測定時間は1検体当たり約3分で多成分の同時測定が可能であり、従来

法に比べ非常に簡易であり迅速に葉中成分含量を推定できる。多少精度が劣っても葉中の無機成分含量の過不足を迅速に判定できることを考えると、生産現場で近赤外分光法による葉分析が利用可能な体制を整えれば、品質向上を目的としたモモ樹の栄養状態の改善指導に力を発揮するものと考えられる。

第2章 高品質なモモの出荷技術の開発

第1節 モモの渋味の非破壊評価

環境条件や栽培条件により、モモ果実が時として強烈な渋味を呈することはよく知られている。渋味の発生要因として、品種特性のほか果実発育第3期の土壤乾燥や低温があげられ、特にこの時期の乾燥が密接に関係する（久保田ら、1990；1992）。渋味の発生程度は園地の土性や灌水設備の有無により差があるが、強烈な渋味は、久保田・岩瀬（1993）の報告にもあるように、病害虫や日焼けによる幹や枝の損傷による影響が最も大きいと考えられる。したがって、渋味の強いモモの発生防止には、病害虫や日焼けによる幹の損傷を防止する栽培管理を行うことが重要であるが、既に損傷が激しい樹に対しては、速やかな改植が必要となることもある。しかし、改植時期は生産者個々の判断にゆだねられているため、強烈な渋味を有する果実が出荷されることもある。ところが、現在の出荷システムでは、いったん果実が出荷され共同選果に移されると、渋味の強いモモを外観から判断することは不可能である。このため渋味の強いモモを非破壊的に選別できる出荷システムの開発が強く望まれている。

本節では、モモの渋味の近赤外分光法と紫外分光法による非破壊評価法について検討した。

材料および方法

1. モモの渋味の官能評価

1994年に農試圃場から採取した‘白鳳’27果の渋味を官能検査により以下の5段階で評価し、果実のポリフェノール含量と渋味との関係を調査した。無(0)：渋味を感じない、微(1)：わずかに渋味を感じる、中(2)：明らかに渋味を感じる、強(3)：強く渋味を感じる、甚(4)：渋柿のような強烈な渋味を感じる。

2. 果実の成熟に伴うポリフェノール含量の推移

1990年に、農試圃場において、‘清水白桃’果実を収穫期の約3週間前から経時的に2～3果採取し、ポリフェノール含量の推移を調査した。

3. ポリフェノール含量の果実内での変動

1990年に、農試圃場から採取した‘清水白桃’果実を果頂部から梗基部にかけて縦に三日月状に8等分し、果実内でのポリフェノール含量の変動を調査した。

4. 近赤外分光法によるモモの渋味の評価

(1) 可視・近赤外領域におけるポリフェノールの吸収
ポリフェノールの吸収波長域を明らかにするため、モモ果実のポリフェノールの主要な構成成分である(+)-カテキンとクロロゲン酸（中林、1968；1995；Tomas-Barberan et al., 2001）の標品（東京化成製）の0, 50, 100, 150および200 mg・100 ml⁻¹水溶液の透過スペクトルを、6500型近赤外分光計により、400～1100 nmでは光路長20 mm, 1100～2500 nmでは光路長2 mmの石英セルを用いて測定した。

(2) モモ果汁の可視・近赤外分光分析

1995年に農試圃場並びに倉敷市と岡山市のモモ園で有袋栽培された‘白鳳’、‘清水白桃’、‘白桃’、‘勘助白桃’、‘白麗’、‘白陽’131果を用いて、果汁の透過スペクトルを6500型近赤外分光計により、400～1100 nmでは光路長10 mm, 1100～2500 nmでは光路長2 mmの石英セルを用いて測定した。その中から、検量線作成用にポリフェノール含量の度数分布が平滑になるように53サンプルを抽出して検量線を作成するとともに、残りの78サンプルで検量線の評価を行った。なお、スペクトルの測定には、酸化褐変を防止するために果肉約50 gを電子レンジで沸騰するまで加熱処理し、-30℃で冷凍保存後、自然解凍して搾汁し、紙ワイパー（キムワイプ、クレシア製）でろ過した果汁原液を用いた。

(3) モモ果実の可視・近赤外分光分析

1) 400～1100 nm

1994年に農試圃場および倉敷市のモモ園から採取した‘都白鳳’、‘白鳳’、‘清水白桃’、‘白桃’151果の400～1100 nmにおける反射スペクトルを、6500型近赤外分光計により同軸光ファイバー（NIRSystems製）を用いて暗箱内で測定した。そして、全サンプルを用いて検量線を作成するとともに、品種別に‘白鳳’50果と‘清水白桃’45果の検量線を作成した。

2) 1100～2500 nm

1996年に農試圃場および岡山市のモモ園から採取した‘清水白桃’、‘白陽’、‘まさひめ’78果の1100～2500 nmにおける反射スペクトルを、山口県農業試験場に設置されている6250型近赤外分光計により、同波長域が測定可能な同軸光ファイバー（KDDI製）を用いて暗箱内で測定した。そして、43サンプルを用いて検量線を作成するとともに、35サンプルで検量線の評価を行った。

(4) 検量線の作成

回帰分析には何れも2次微分スペクトル（Segment=20, Gap=0）を用い、重回帰分析はNSAS（NIRSystems

製) で4波長を上限に, PLS回帰分析はThe Unscrambler (Camo製) でFull cross validation 法により行った. 検量線評価時の標準誤差 (SEP) は, パイアス補正済みの標準誤差 (従来法による分析値と近赤外推定値との残差の標準偏差) で表した.

5. 紫外分光法によるモモの渋味の評価

(1) モモ果汁の紫外分光分析

2005年に農試圃場および総社市のモモ園から採取した‘白鳳’21果と‘清水白桃’10果を用いて, 果汁の紫外スペクトルを分光光度計 (U-2810, 日立製) により光路長10 mmのフローセルを用いて測定した. スペクトルは240~380 nmの波長域を0.5 nm間隔でスキャン速度400 nm・min⁻¹で測定し, 2次微分処理をスムージング次数2, データ点数40で行った. また, ポリフェノールの紫外領域での吸収を明らかにするために, (+)カテキンの4~30 ppm溶液と, クロロゲン酸の2~12 ppm水溶液を果汁と同様に測定した. なお, スペクトルの測定には, 果肉約100gを電子レンジで沸騰するまで加熱処理した後に搾汁し, 紙ワイパーでろ過して冷凍保存した果汁を, 100倍に希釈して用いた.

(2) モモ果実の紫外分光分析

2006年に農試圃場から採取した‘白鳳’と‘清水白桃’の200~400 nmにおける果実の紫外反射スペクトルと果皮および果肉切片の紫外透過スペクトルを, 紫外分光器 (C10082CA, 浜松ホトニクス製) により出力30Wの紫外・可視ファイバー光源 (L7893, 浜松ホトニクス製) を用いて測定した. 果実の紫外反射スペクトルの測定は, 照射および受光ファイバーの先端にコリメートレンズを装着し, 果実とファイバー間の距離0~1 cm, 照射ファイバーと受光ファイバーの角度45~90°で行った. 果皮と果肉切片の紫外透過スペクトルの測定は, コリメートレンズを装着せずに照射ファイバーと受光ファイバーを直列に配置し, 光ファイバー間に試料を挟んで行った. 果肉はナイフで薄く切り (約1 mm) 食品用ラップフィルムに包んだ. 測定時のデータ蓄積時間は100 msecとし, リファレンスとしてラップフィルム2枚の透過スペクトルを測定した.

6. ポリフェノールの分析

モモ果実のポリフェノールの分析には, 果皮と核を除いた果肉10 gを, 酸化褐変を防止するために電子レンジで沸騰するまで加熱して冷凍保存し, 解凍後に脱塩水約50 mlを加え磨砕し100 mlに定容後, No.5Cろ紙でろ過した果汁を, 10倍に希釈して用いた. ポリフェノールの分析は, フォーリン・デニス法 (中林, 1995) により久保田ら (1988) の方法に準じて行った. すな

わち, 上述のサンプル抽出液5 mlに, フェノール試薬 (キシダ化学製) の5倍希釈液5 mlを加えた後, 10%炭酸ナトリウム溶液5 mlを加えて攪拌した. そして, 1時間以上静置後に700 nmの吸光度を測定し, (+)カテキン水溶液による検量線から算出した値を全ポリフェノール含量とした.

8等分した果実のポリフェノール含量の分析においては, 抽出液を除タンニン処理した後に同様の分析を行い, ここで得られた値を全ポリフェノール含量から引算し, これを高分子ポリフェノール含量とした. 除タンニン処理は, 農芸化学実験書 (京都大学農学部農芸化学教室編, 1965) に準じて, 抽出液25 mlに2%ゼラチン水溶液7.5 mlを加えて攪拌し, 酸性飽和食塩水で50 mlに定容した後, カオリンを葉さじで半さじ (約2 g) 加え攪拌し, ろ過することにより行った.

モモ果汁のポリフェノールの分析においては, 果汁原液を100倍希釈液して, 果肉と同様に全ポリフェノール含量を分析した.

なお, 果実の採取に当たっては, 渋味の強い果実を入手するために, 幹の損傷の大きい樹や, 久保田ら (1993) の報告を参考にして人為的に果実発育第2期に環状剥皮処理を施した樹からも採取した.

結果

1. モモ果実のポリフェノール含量と渋味との関係

モモの渋味は果肉中の全ポリフェノール含量が高いほど強く感じる傾向にあり, ‘白鳳’の場合には両者の間に渋味官能検査値=1.64×Ln(全ポリフェノール含量)-5.35の対数近似式が成り立った (図2-1). 官能検査値と比較すると, 全ポリフェノール含量が果肉100 g当たり50 mg未満では渋味をほとんど感じないが, 50 mg以上~80 mg未満ではわずかに渋味を感じ, 80 mg以上~110 mg未満では明らかな渋味を, 110 mg以上~

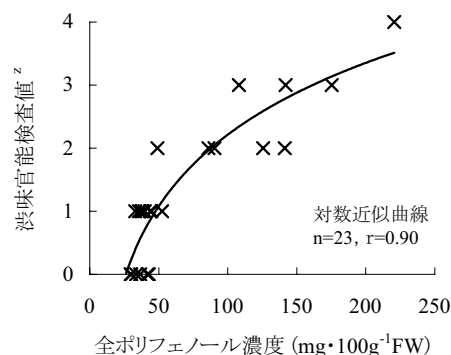


図2-1 モモ‘白鳳’のポリフェノール含量と渋味との関係

^z 渋味 0:無, 1:微, 2:中, 3:強, 4:甚

200 mg未満では強い渋味を感じ、さらに200 mg以上では強烈な渋味を感じた。

2. 果実の成熟に伴うポリフェノール含量の推移

‘清水白桃’の果実発育第3期における果実100 g当たりの全ポリフェノール含量は、8月上旬収穫の約4週間前に当たる7月上旬には約180 mgであったが、果実の成熟に伴って徐々に減少し、収穫期には約50 mgに低下した。この間、果実重は115 gから310 gに増加した。これらの値から、1果実当たりの全ポリフェノール含量は、7月上旬が207 mg、8月上旬が155 mgと推定された（図2-2）。

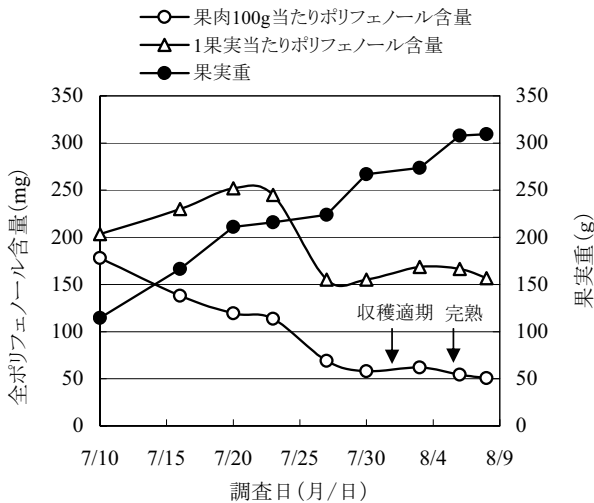


図2-2 モモ‘清水白桃’果実の成熟に伴うポリフェノール含量²の推移（1990年）
² 2~3果の平均

3. 果実の部位別ポリフェノール含量

果実の縫合線に対し左右の肥大に差がある果実では、肥大が勝る面に比べ、肥大が劣る面の果肉には全

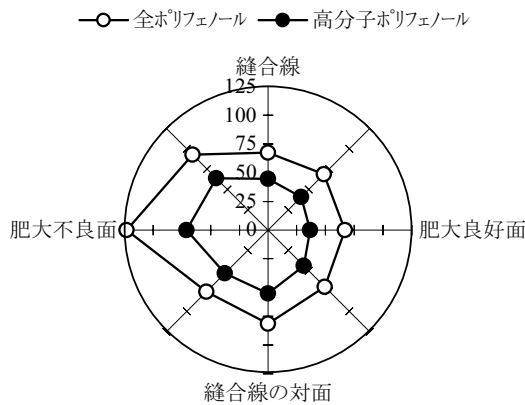


図2-3 モモ‘清水白桃’果実の部位別のポリフェノール含量²
² 2果の平均, mg・100g⁻¹FW

ポリフェノール含量並びに高分子ポリフェノール含量がともに多かった（図2-3）。

4. 近赤外分光法によるポリフェノール含量の推定

(1) 可視・近赤外領域におけるポリフェノールの吸収
モモ果実のポリフェノールの主要な構成成分であるカテキンとクロロゲン酸の吸収波長を、それぞれの水溶液で解析した結果、カテキン水溶液の400~1100 nm透過スペクトルでは、水溶液の褐色を反映したものと推察される500 nm付近に相関の高い波長域が認められた。1100~2500 nm透過スペクトルにおいては、カテキンでは1664 nm付近の波長域との相関が最も高く、この他に1546 nm, 1738 nmおよび2154 nm付近の波長域との相関が高かった（図2-4）。クロロゲン酸では1664 nmと1734 nm付近の波長域との相関が最も高く、この他に1428 nmと2148 nm付近の波長域との相関が高かった（図2-5）。

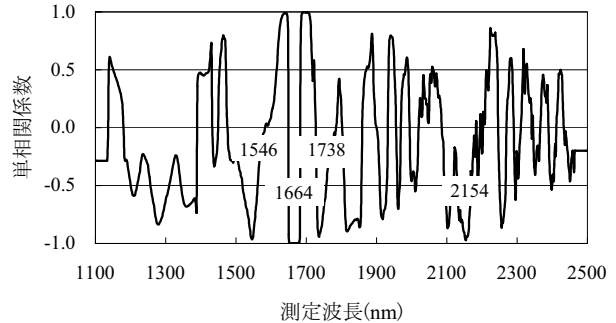


図2-4 カテキン水溶液の2次微分吸光度とカテキン含量との単相関係数プロット

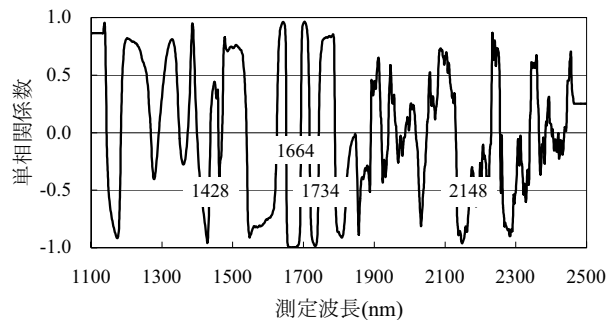


図2-5 クロロゲン酸水溶液の2次微分吸光度とクロロゲン酸含量との単相関係数プロット

(2) モモ果汁での近赤外分光法による解析

モモ果汁の透過スペクトルから全ポリフェノール含量を推定する検量線を作成した結果、400~1100 nmの波長域では、全ポリフェノール含量の推定精度は、924 nm, 798 nm, 988 nmおよび764 nmの4波長で相関係数 $r=0.77$ 、標準誤差 SEP=15.3 mgであった（表2-1、

表2-1 モモ果汁の2次微分透過スペクトルによる全ポリフェノール含量の重回帰分析による推定

波長域(nm)	選定波長 (nm)	R ^z	SEC ^y	r ^x	SEP ^w	Bias ^v
400~1100	924 ^m , 798 ^m , 988	0.831	15.6	0.688	17.3	0.56
〃	924 ^m , 798 ^m , 988, 764	0.878	13.6	0.769	15.3	-0.55
1100~2500	1664 ^m , 1744, 2272	0.884	13.1	0.844	12.6	-1.51
〃	1664 ^m , 1744, 2272, 2090	0.923	10.9	0.808	14.3	-3.51

^z 検量線作成時の重相関係数, n=53
^y 検量線作成時の標準誤差, mg・100ml⁻¹
^x 検量線評価時の単相関係数, n=78
^w 検量線評価時の標準誤差, mg・100ml⁻¹
^v 近赤外推定値と実測値との残差平均
^m マニュアルで選択, その他の波長は自動選択

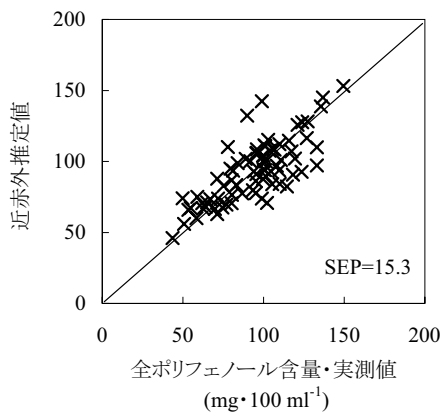


図2-6 モモ果汁の400~1100 nmの2次微分透過スペクトルからの全ポリフェノール含量推定値^zと実測値との関係

^z 検量線波長: 924, 798, 988, 764 nm

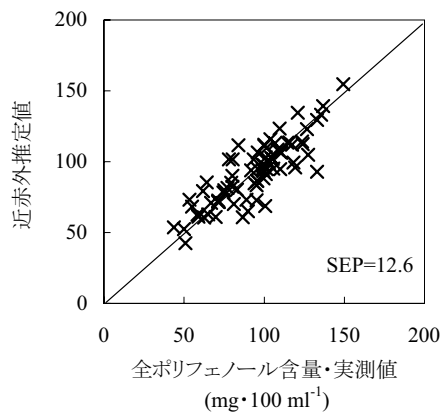


図2-7 モモ果汁の1100~2500 nmの2次微分透過スペクトルからの全ポリフェノール含量推定値^zと実測値との関係

^z 検量線波長: 1664, 1744, 2272 nm

図2-6).

一方, 1100~2500 nmの波長域では, カテキンやクロロゲン酸と相関の高い1664 nmにおける2次微分吸光度とポリフェノール含量との単相関は低かったものの, 第1波長に1664 nmを選定することにより検量線の推定精度は向上した. 第1波長に1664 nmを選定した検量線の第2波長には, クロロゲン酸水溶液の解析で高い相関が認められた波長域に近い1744 nmが選択され, 第3波長2272 nmとの組合せによる検量線の推定精度は, 検量線評価時の相関係数 $r=0.84$, 標準誤差 SEP=12.6 mg と高かった (表2-1, 図2-7).

(3) モモ果実での近赤外分光法による解析

モモ果実の反射スペクトルから全ポリフェノール含量を推定する検量線を作成した結果, 400~1100 nmの

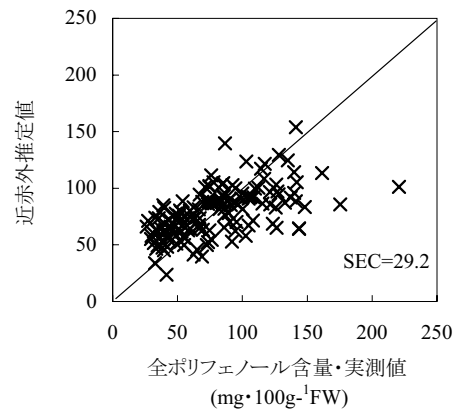


図2-8 モモ果実の400~1100 nmの2次微分反射スペクトルからの全ポリフェノール含量推定値^zと実測値との関係

^z 検量線波長: 858, 480, 946, 1022 nm

表2-2 モモ果実の400~1100nmの2次微分反射スペクトルによる全ポリフェノール含量の重回帰分析による推定

品種	試料数	選定波長 (nm)	R	SEC	Range ^z
全品種	151	858, 480, 946, 1022	0.595	29.2	26-221
白鳳	50	934 ^m , 478, 860, 576	0.642	34.2	26-221
清水白桃	45	500, 654, 580, 488	0.646	18.4	33-148

^z サンプルのポリフェノール含量の最小値-最大値, mg・100g⁻¹FW

表2-3 モモ果実の1100~2500 nmの2次微分反射スペクトルによる全ポリフェノール含量の重回帰分析による推定

選定波長 (nm)	R	SEC ^z	r	SEP ^y	Bias
1664 ^m , 1720, 1950	0.878	15.0	0.785	15.8	-3.1
1720, 1950, 1794	0.909	13.1	0.786	15.4	-3.3
1720, 1950, 1794, 2368	0.919	12.5	0.800	14.7	-3.0

^z n=43, mg・100g⁻¹FW

^y n=35, mg・100g⁻¹FW

表2-4 モモ果実の1100~2500 nmの2次微分反射スペクトルによる全ポリフェノール含量のPLS回帰分析による推定

使用波長域 (nm)	f ^z	検量線作成(n=43)			検量線評価(n=35)		
		R	SEC	SECV ^x	SEP	Bias	
1150-1350, 1450-1800	4	0.879	14.4	20.9	0.858	12.5	-5.2
1150-1800	4	0.847	16.1	22.0	0.825	13.1	-4.1
1150-2000	6	0.945	9.9	17.6	0.794	15.3	-2.4
1150-2100	8	0.967	7.6	19.7	0.807	15.3	-2.4

^z PLS回帰分析時の因子数

^x フルクロスバリデーション時の標準誤差, mg・100g⁻¹FW

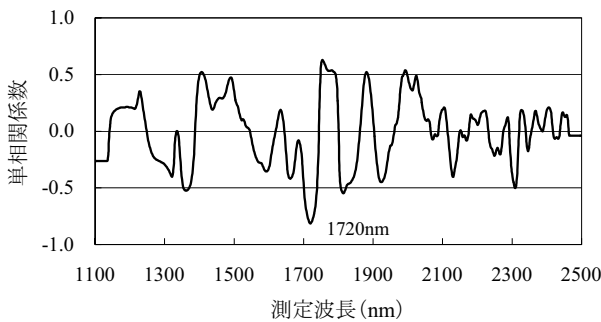


図2-9 モモ果実の2次微分吸光度と全ポリフェノール含量との単相関係数プロット

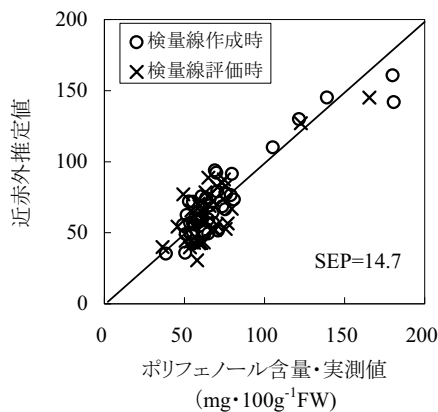


図2-10 モモ果実の1100~2500 nmの2次微分反射スペクトルからの全ポリフェノール含量推定値^zと実測値との関係

^z 検量線波長: 1720, 1950, 1794, 2368 nm

波長域では、全品種を用いて重回帰分析により作成した検量線の推定精度は低く、重相関係数 R=0.60、標準誤差 SEC=29 mgであり (図2-8)、品種別に解析して

も精度はさほど向上しなかった (表2-2)。

一方、1100~2500 nmの波長域では、1720 nmにおける2次微分吸光度と全ポリフェノール含量との間に高い相関関係 $r = -0.81$ が認められ (図2-9)、この1720 nmと1950 nm, 1794 nmおよび 2368 nmとの組合せにより重回帰分析で作成した検量線の推定精度は、検量線作成時の重相関係数 $R=0.92$ 、標準誤差 $SEC=12.5$ mg、検量線評価時の標準誤差 $SEP=14.7$ mgであった (表2-3, 図2-10)。また、Full cross validation 法によるPLS回帰分析でも重回帰分析と同等な推定精度が得られた。PLS回帰分析では、水分の吸収域を除外して1150~1350 nmと1450~1800 nmの波長域で解析した方が検量線評価時の標準誤差は小さかった (表2-4)。

5. 紫外分光法によるポリフェノール含量の推定

(1) 紫外領域におけるポリフェノールの吸収

モモ果汁の紫外領域における透過スペクトルには280 nmと324 nm付近に吸収ピークが認められた (図2-

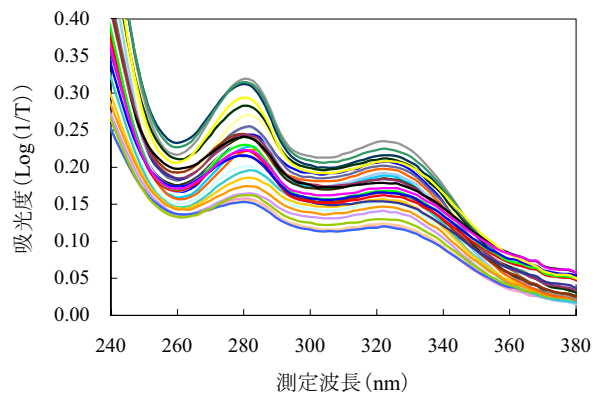


図2-11 モモ果汁100倍希釈液の紫外吸光度スペクトル n=31果

11). 280 nmにおける吸収ピークはカテキン水溶液の吸収ピークと、324 nmにおける吸収ピークはクロロゲン酸水溶液の吸収ピークとほぼ一致し、カテキン水溶液とクロロゲン酸水溶液の合成スペクトルはモモ果汁のスペクトルと類似した形を示した (図2-12).

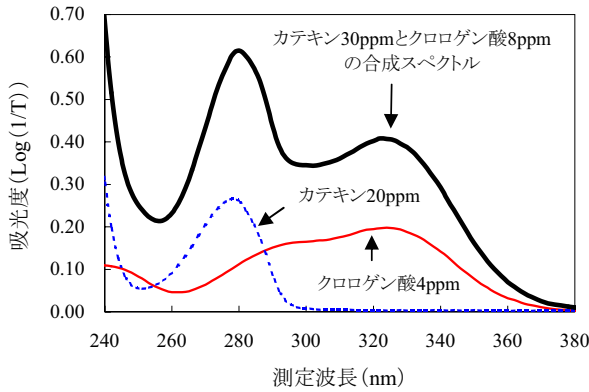


図2-12 クロロゲン酸とカテキン水溶液の紫外スペクトル

(2) モモ果汁での紫外分光法による解析

モモ果汁中のポリフェノール含量は282 nmにおける吸光度との相関係数 (r) が0.97と最も高く、324 nmにおける吸光度との r 値は0.90と劣った。284 nmにおける2次微分吸光度とは更に相関係数が高く r 値は0.99であり (図2-13), 紫外吸光度からモモ果汁中のポリフェノール含量の推定が可能であった。

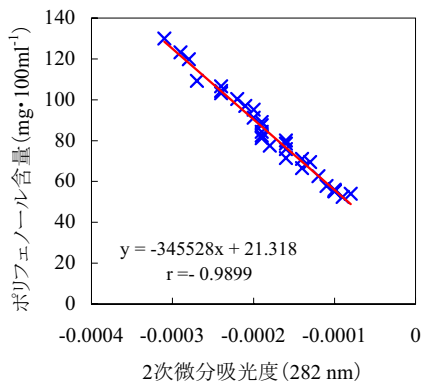


図2-13 モモ果汁のポリフェノール含量と282 nmにおける2次微分吸光度との関係

(3) モモ果実での紫外分光法による解析

モモ果実の紫外反射スペクトルは、照射ファイバーと受光ファイバーの角度を変えるなど様々な方法で計測したが、紫外領域での吸収量が大きく、今回の30 Wの光源出力では、モモ果汁の解析で認められた280 nmと324 nmの吸収ピークを検出することは不可能であっ

た。ただし、厚さ0.1 mmの果皮や厚さ1.0 mm以下の果肉切片の紫外透過スペクトルでは、280 nmと324 nm付近の吸収ピークの検出が可能であった (第2-14図)。

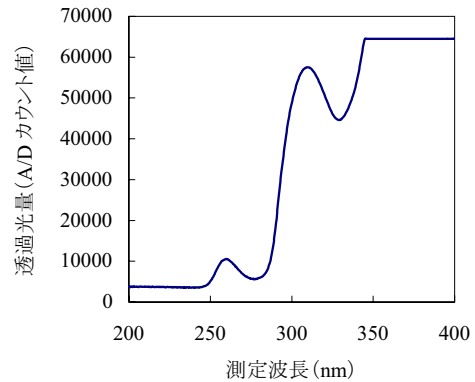


図2-14 モモ果肉切片の紫外透過スペクトル
清水白桃, 果肉厚さ0.6 mm

考 察

モモの渋味成分は、カテキン類、クロロゲン酸類並びにこれらが重合したプロアントシアニジンなどであり、これらのポリフェノールの重合度が高いほど渋味が強く、カテキンやクロロゲン酸の単量体は渋味よりも苦味を呈するといわれている (中林, 1968; 1995)。したがって、モモの渋味を正確に評価するには、カテキンやクロロゲン酸が重合した高分子ポリフェノールの評価が必要であるが、モモ果実の全ポリフェノール含量と高分子ポリフェノール含量との相関は高く (Kubota et al., 2000; 久保田ら, 1992), 全ポリフェノール含量を渋味の指標としても問題はないと考えられる。ただし、官能検査における全ポリフェノール含量と渋味との間には、Kubota (1995) の報告と同様に、本試験でも有意な相関が認められるものの、個体差が大きいのも事実である (図2-1)。個体差の原因には、渋味の強いモモを試食した後はしばらく舌が収斂し次サンプルの評価に影響が出やすいことも考えられるが、それ以外に、栽培環境や気象条件並びに品種によりポリフェノールの重合度が変化することも考えられ、この点については今後の検討が必要である。

モモ果実中のポリフェノール含量は、果実発育第2期に最も高く、その後は成熟とともに徐々に低下する (Kubota et al., 2000)。本試験でも果実発育第3期にはポリフェノール含量の低下が認められたが (図2-2), これは果実肥大に伴う希釈効果による影響が大きかった。したがって、久保田・岩瀬 (1993) も認めているように、成熟時にポリフェノール含量が著しく多

い果実は、果実発育第2期の含量も多いものと推測される。このことは、モモ果実のポリフェノール含量の非破壊による測定が樹上で可能となれば、収穫時に著しい渋味を有すると予想される果実を第2期の時点で選別可能であることを示唆している。

近赤外分光法によるポリフェノールの分析に関して、後藤ら（2001）はチャ生葉の400～2310 nmの反射スペクトルからカテキン類の含量をPLS回帰分析で推定したところ、全波長域を利用した検量線の推定精度が相関係数 $r=0.89$ で最も優れ、次いで1610～2310 nmの波長域での推定精度が $r=0.87$ と優れ、400～700 nmの波長域でも推定精度が $r=0.81$ と比較的高い精度で測定が可能であることを明らかにしている。

現在、モモ選果場に導入されている糖度センサーや携帯型の果実糖度測定装置は、ほとんどが500～1100 nmの可視・近赤外光を利用している。したがって、この波長域でモモ果実中のポリフェノール含量が測定できれば、渋味の強い果実の選別も可能になる。しかし、本試験での果実の400～1100 nmの反射スペクトルからのポリフェノール含量の推定は誤差が大きく不可能であった。ただし、モモ果汁の400～1100 nm透過スペクトル解析では、1100～2500 nmの波長域に比べ精度は劣るものの、ポリフェノール含量の推定が可能であったこと、後藤ら（2001）のチャのカテキン類含量の推定が400～700 nmの波長域で可能であったことを併せて考えると、再検討の余地が残されているものと思われる。また、伊藤ら（1997）はカキ‘西村早生’の渋果の判別が710～1010 nmの透過スペクトルで可能なことを報告している。‘西村早生’の渋果の判別が可能なのは、自然脱渋によって褐変したタンニン細胞が増加することにより、透過スペクトルが大きく変化するためと考えられる。モモの場合にも渋味の強い果実の中には、果皮に小さな褐色斑点を形成するものがある。表2-2に示した果実の400～1100 nmの反射スペクトルから作成した検量線の、第1もしくは第2波長に選定された480～500 nmの波長域は褐色を反映したものであることから、果皮色と渋味の関係に基づく非破壊判別の可能性も残されているのではないかと考えられる。

一方、1100～2500 nmの波長域の解析では、果汁の透過スペクトル並びに果実の反射スペクトルから全ポリフェノール含量の推定が可能であった（図2-7、図2-10）。(+) カテキン水溶液とクロロゲン酸水溶液の透過スペクトルの解析では、両物質の相関の高い波長域はやや異なるものの、両物質とも1664 nm付近の波長域との相関が最も高く、1730 nmと2150 nm付近の波長

域とも相関が高かった（図2-4、図2-5）。1664 nmと2150 nm付近の吸収はベンゼンの吸収と一致し、1664 nmは芳香族のCH伸縮運動の第1倍音、2150 nmは=CH伸縮+C=C伸縮運動の結合音領域と推察される。また、1730 nmはメチレン基（-CH₂）のCH伸縮運動の第1倍音領域と推察される（尾崎・河田，1996）。モモ果実の反射スペクトルには色々な成分による吸収が含まれるが、糖に比べ含量の少ないポリフェノールは他の成分の吸収に影響されやすい。その中で、1720 nm付近における2次微分吸光度はモモ果実中のポリフェノール含量と高い相関を示し、他の成分の影響を受けにくい波長域と推察された。検量線の精度に測定温度や年次間差が及ぼす影響など検討課題は多く残されているが、全ポリフェノール含量を基に渋味の強い果実を非破壊選別できる可能性は高いと考える。なお、本試験では有袋栽培を行った果皮と果肉が白いモモを供試したが、無袋栽培の果皮の赤いモモや果肉が赤いネクタリンなどは、果皮や果肉にポリフェノール成分としてアントシアニンを豊富に含むので、本試験の結果は適用できない可能性があり、この点については更に検討する必要がある。

今後、渋味の非破壊判別技術を選果場で実用化するには、1100 nm以上の波長域が測定可能な光センサーの開発が望まれるが、現在既に1100 nm以上の波長域の測定が可能な小型の装置も販売されているので、これらを利用したモモの渋味判別装置の開発が可能と考えられる。光線透過度が低い1100～2500 nmのスペクトル測定においては、果実表面の情報に依存する割合が高くなるが、モモ果実中のポリフェノール含量が果肉よりも果皮の方が多い（久保田ら，1992；Tomas-Barberan et al., 2001）ことを勘案すると、モモのポリフェノールの分析にはむしろ好都合とも考えられる。選果場における全量検査は無理にしても、これらの装置により生産者別の抜き取り検査を実施する際に、近赤外分光法によるモモの渋味の非破壊判別の実用化は可能と考えられる。

なお、紫外領域ではカテキンやクロロゲン酸は強い吸収を示し、モモ果汁中のポリフェノール含量の測定が一波長（282 nm）で可能であった（図2-13）。しかし、吸収が強すぎるためモモ果実の紫外反射スペクトルを測定することは困難であり、モモ果実の渋味の紫外分光法による非破壊判別の可能性は低いと考えられる。

第2節 樹上での果実のクロロフィル含量の非破壊測定による熟度判別

モモは樹上で成熟するにつれ糖含量が増加し品質が向上する。その反面、果肉硬度が低下し傷みやすくなる(高野ら, 2006)。このため、流通形態に応じて傷みの発生しない最適な熟度で収穫することが、高品質な果実を出荷する上で重要である。モモは成熟するにつれ果皮のクロロフィルが減少する。岡山県における有袋栽培の白桃生産においては、果実外観からクロロフィルの退色度合が判別可能であるため、実際の収穫に当たっては果皮の緑色の退色度合を基に収穫されている。しかしながら、果皮色の判断には個人差があり、さらに、果皮色と果肉硬度との関係は、園地により差が認められ、栽培年の天候によっても影響を受けると考えられるが、実態は明らかでない。

果実のクロロフィル含量の変化は、660 nm近辺の光の吸収が測定可能な分光器であれば、果実表面の色調に影響されることなく、簡単に捕らえることが可能である。本節では、近年、樹上で果実のクロロフィル含量を非破壊的に測定できる機器が開発されたので、その実用性を評価するとともに、果実のクロロフィル含量による熟度判別方法について検討した。

材料および方法

1. 樹上での果実のクロロフィル含量の減少経過

(1) 農試圃場

2001年に、燐硝酸加里肥料をN成分で1.7 kg・a⁻¹(多肥樹)および0.5 kg・a⁻¹(少肥樹)施用した‘清水白桃’樹(6年生)を用い、樹上の各2果実について果実赤道部のクロロフィル含量の変化を収穫約3週間前から、果実が過熟になるまでほぼ毎日調査した。

2002年には、‘山手清水’および‘ゴールデンピーチ’各1樹(10~15年生)を用い、樹上の各3果実について果実赤道部のクロロフィル含量の変化を収穫約1か月前から、果実が過熟になるまで約3日おきに調査するとともに、約1週間おきに3~9果を採取し果肉硬度を調査した。

(2) 現地園

総社市の‘清水白桃’1樹(12年生)において、樹上における果実のクロロフィル含量の減少経過並びに収穫果実のクロロフィル含量と果肉硬度との関係を2004年から3か年継続して調査し、年次変動を解析した。

2. クロロフィル含量の測定

新川電機(株)が試作した発光ダイオード2波長測

定方式の携帯型クロロフィル計を用いて、果実赤道部のクロロフィル含量を測定した。

2007年には、農試圃場から採取した‘白鳳’および‘清水白桃’果実のクロロフィル含量を、前記機器とともに可視・近赤外連続スペクトル測定方式の青果物品質評価装置(フルーツセレクターBA100, クボタ製)を用いて測定し、両測定機の互換性を検討した。

3. 果実調査

果肉硬度は、果実硬度計(FT011, ITALTEST製)を用い、直径8 mm(0.5 cm²)もしくは11 mm(1.0 cm²)の円柱プランジャーにより、果実赤道部を剥皮して測定した。果実熟度は第1章第2節に準じて5段階に分類した。0:未熟, 1:機械選果熟度, 2:手選果熟度, 3:完熟, 4:過熟(果肉褐変や食味低下が認められる状態)。

なお、葉中N含量は、第1章第2節に準じて分析した。

結果

1. 樹上での果実のクロロフィル含量の減少経過

中生種の‘山手清水’では、樹上で果実が完熟する時期の約3週間前から果実のクロロフィル含量の減少が認められた(図2-15)。晩生種の‘ゴールデンピーチ’では、調査開始時点(樹上で完熟する時期の5~6週間前)ですでにクロロフィル含量の減少が始まっており、‘山手清水’よりもクロロフィル含量の減少が緩やかに進行した(表2-5, 表2-6)。クロロフィル含量の減少を果実肥大と合わせて見ると、クロロフィル計値に果実重を掛けた値は、果実が未熟な段階ではほぼ一定で、その後、収穫期の間近になって大きく減少した(表2-5, 表2-6)。同一樹から採取した果実では、クロロフィル計値は果肉硬度と高い相関関係を示した(図2-16)。ま

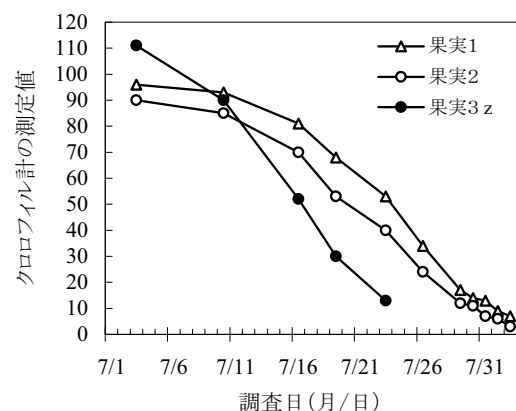


図2-15 ‘山手清水’の樹上における、果実別のクロロフィル含量の経時変化(2002年)
z 果実3は早期落果

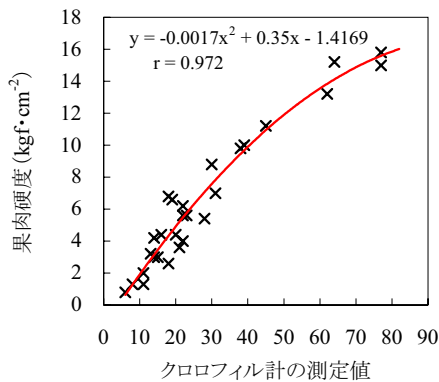


図2-16 同一樹から採取した‘ゴールデンピーチ’果実のクロロフィル含量と果肉硬度との関係(2002年)

た、図2-15に示した果実3は早期落下した果実であるが、正常に成熟した他の2果実に比べ、クロロフィル含量の急激な減少が認められた。

2. モモ樹のN栄養状態がクロロフィル含量の減少経過に及ぼす影響

モモ樹のN栄養状態が果実のクロロフィル含量の減少に及ぼす影響を見ると、多肥で葉中N含量が多い樹の果実は、少肥で葉中N含量が少ない樹の果実に比べて、樹上でのクロロフィル含量の減少が遅れた(図2-17)。

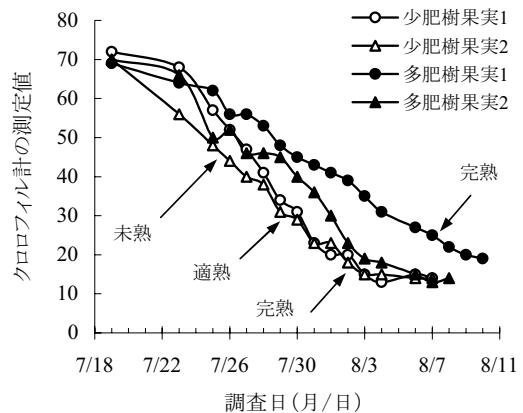


図2-17 施肥量が異なる‘清水白桃’樹²における、樹上での果実別のクロロフィル含量の経時変化
²2001年8月上旬の葉中N含量は 少肥樹 2.21%, 多肥樹 2.79%

3. クロロフィル含量の減少経過の年次間差

現地園において同一樹を3か年継続して調査した結果、樹上での果実のクロロフィル含量の減少経過には年次間差が認められ、2004年は2005年と2006年に比べクロロフィル含量の減少速度が速かった。また、収穫果実のクロロフィル含量と果肉硬度との関係をクロロフィル計の測定値が20以下で比較すると、2004年は2005年と2006年に比べクロロフィル計値が同じ値でも果肉硬度が低い果実が多かった(図2-18)。

表2-5 ‘山手清水’の採取日別の果実品質(2002年)

採取日 (月/日)	調査数 (果)	果実重 (g)	熟度 指数 ^z	クロロフィル計 測定値	果肉硬度 (kgf·cm ⁻²)	糖度 (°Brix)	果実重×クロロフィル計測定値
7/3	3	94	0	94	20.4	6.3	8867
7/16	5	186	0	80	12.6	未調	14827
7/23	5	245	0	45	8.2	11.4	10967
7/30	9	257	1	21	5.4	10.7	5464
8/1	5	305	2	13	4.3	12.8	4090
8/5	4	289	3	5	1.3	11.1	1515
8/5	4	323	4	4	1.0	12.8	1290

^z 未熟:0, 機械選果:1, 手選果:2, 完熟:3, 過熟:4

表2-6 ‘ゴールデンピーチ’の採取日別の果実品質(2002年)

採取日 (月/日)	調査数 (果)	果実重 (g)	熟度 指数 ^z	クロロフィル計 測定値	果肉硬度 (kgf·cm ⁻²)	糖度 (°Brix)	果実重×クロロフィル計測定値
8/5	3	141	0	79	15.4	12.2	11092
8/12	4	173	0	63	15.2	12.7	10883
8/19	4	208	0	57	13.2	12.6	11879
8/26	5	259	0	42	10.6	13.5	10774
9/2	6	298	1.2	26	6.8	13.3	7806
9/6	6	313	2.1	22	4.9	13.7	6834
9/9	6	308	3.2	16	3.6	14.0	4766
9/17	4	321	3.8	10	1.9	15.4	3132

^z 未熟:0, 機械選果:1, 手選果:2, 完熟:3, 過熟:4

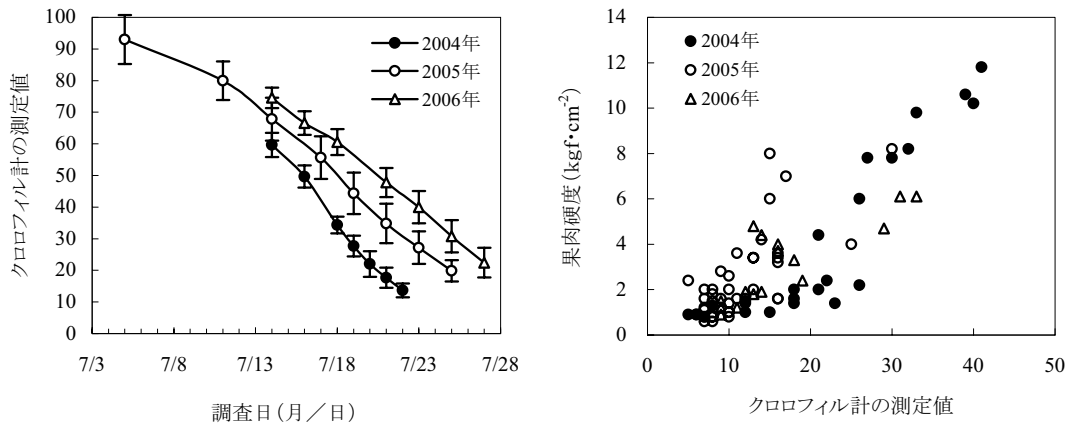


図2-18 現地‘清水白桃’同一樹における年次別の樹上での果実のクロロフィル含量の減少経過並びに収穫果実のクロロフィル含量と果肉硬度との関係

図中バーは標準誤差

クロロフィル含量の減少経過調査果実数は2004年:3果, 2005年:6果, 2006年:9果

4. 測定機器間の互換性

フルーツセクターで670 nmにおけるクロロフィルの吸収ピークを明瞭に測定することが可能であった。また、670 nmにおけるクロロフィルの吸収ピークは、530 nmに吸収ピークを有するアントシアニンの影響を受けず、果皮の赤い果実でもクロロフィルの測定が可能であった。

クロロフィル計による測定値と、フルーツセクターによる670 nmにおける吸光度並びに二次微分吸光度との間には、それぞれ $r=0.90$, $r=0.92$ の高い相関が認められた(図2-19)。また、フルーツセクターにより670 nmとベースライン補正のための860 nmの2波長でクロロフィル計測定値を推定した場合、実測値との重相関係数は $R=0.91$ であった(データ省略)。

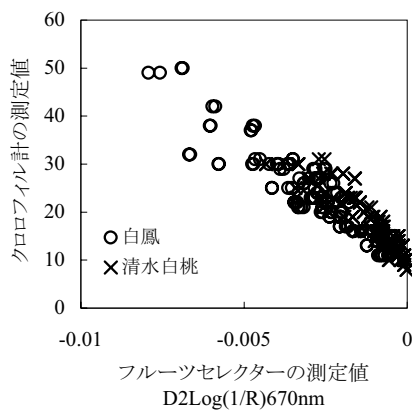


図2-19 モモ果実のフルーツセクターによる670nmにおける二次微分吸光度とクロロフィル計の測定値との関係(2007年)

白鳳:n=118果, 清水白桃:n=140果

考 察

モモの熟度判別に関して鈴木ら(1981)がカラーチャートによる方法を示しているが、果実のクロロフィル含量を直接計測できれば、カラーチャート以上に果実熟度の正確な診断が可能となる。果実のクロロフィル含量が非破壊的に測定可能なことは、既に中馬ら(1974, 1976)や岩本ら(1979)が報告している。本試験で使用した新川電機(株)製のクロロフィル計は、屋外でも日光の影響を受けずに、果実の成熟にともなうクロロフィル含量の変化を明確に捕捉することが可能であり、モモ果実の熟度判別に有用と考えられた(図2-15, 2-17)。さらに、果皮が赤く着色し地色の緑色を外観から判断することが難しい果実でも、670 nm近辺の吸収が測定可能な分光器であれば、530 nm近辺に吸収ピークを有するアントシアニンの影響を受けずにクロロフィルの測定が可能であり、この点はカラーチャートに無い利点である。

樹上において、モモ果実のクロロフィル含量は果実の成熟に伴い徐々に減少するが、表2-5と表2-6に示した果実重×クロロフィル計の測定値から見て、果実が未熟な段階でのクロロフィル含量の減少は果実肥大に伴う希釈効果によるものであり、果実が樹上で完熟する約2週間前からのクロロフィル含量の減少はクロロフィルの分解を伴ったものと推察される。Haji et al.(2004)の報告を見ると、樹上での果実からのエチレン発生時期は、溶質タイプの‘櫛形白桃’では果実が樹上で完熟する約19日前、‘あかつき’では約16日前である。したがって、今回の試験で認められた樹上で完熟する約2週間前からのクロロフィル含量の減少は、樹上での果実からのエチレン発生に起因するものと推

察される。

多肥栽培樹の果実は少肥栽培樹の果実に比べ、樹上でのクロロフィル含量の減少が遅れる傾向にあった(図2-17)。しかしながら、第1章第2節の図1-18で示したように、葉中N含量の高い樹の果実は葉中N含量の低い樹の果実に比べクロロフィル含量が同じでも果肉の軟化が進行していることから、多肥栽培樹の果実と少肥栽培樹の果実の肉質的な差は見た目よりも小さいと考えられる。そして、この点はOkamoto et al. (2001)も指摘するところである。

樹上でのクロロフィルの減少経過には年次間差が認められ、2004年は樹上でのクロロフィル含量の減少が早く、果実が一気に熟する傾向にあった(図2-18)。果実が一気に熟すると収穫作業上の大きな問題となる。原因は未解明であるが、2004年の5～6月は降水量が多く、根の傷みも一因に考えられる。今後、過湿や過乾燥による根の傷みが樹上での果実の軟化に及ぼす影響について、樹上での果実からのエチレン発生時期と発生量の面から検討が必要と考える。

表2-7 ‘清水白桃’果実における熟度別の果肉硬度とクロロフィル計測定値の目安

果実熟度	果肉硬度 (kgf・cm ⁻²)	クロロフィル計測定値	
		適勢樹	強勢樹
完熟	2.0以下	15以下	20以下
手選果	2.0～5.0	15～25	20～30
機械選果	5.0～9.0	25～35	30～40
未熟	9.0以上	35以上	40以上

以上の結果、同一樹から採取した果実においては、クロロフィル含量と果肉硬度との相関は高く、果実のクロロフィル含量から樹上での果実熟度の判別が可能と考えられる。しかし、樹のN栄養状態によりクロロフィル含量と果肉硬度との関係は変動するので、実際にクロロフィル含量で熟度判別を行う場合には、表2-7に示したように施肥量や樹勢に応じて判別基準に幅を持たせた方が良いと考えられる。また、樹上で未熟な段階から経時的に果実のクロロフィル含量を測定することにより、収穫適期日の予測が可能である。今回の試験に使用した新川電機製のクロロフィル計は現在市販されていないが、クボタ製のフルーツセレクターで互換でき(図2-19)、次式で推定可能である。

$$\text{クロロフィル計の測定値} = 9 - 5339.7 \times (\text{フルーツセレクターによる} 670 \text{ nm における} 2\text{次微分吸光度})$$

第3節 収穫果実の日持ち性の光学的評価

収穫したモモは傷みやすく、日持ち性の向上は流通上の重要な課題である。モモの日持ち性は品種により大きく異なり、収穫後のエチレン発生量の少ない品種ほど、果肉の軟化が遅く、日持ち性が優れる(吉田, 1976; Haji et al., 2001; 2004)。同一品種では、収穫時に熟度の進んだ果実ほど日持ち性が劣り、収穫後の保存温度が低いほど日持ち性が勝る(高野ら, 2006)。しかし、同一品種でも栽培年や産地により日持ち性に差があることが市場から指摘されているが、日持ち性の差が何に起因するかは明確にされていない。また、日持ち性の評価は、外観と食味による評価が一般的であるが、個人の主観に頼らない客観的な非破壊評価法の開発が望まれる。客観的な評価法として果実に交流電流を流した時の抵抗(インピーダンス)から鮮度を評価する研究が行われ、インピーダンス特性から果実の鮮度が評価できることが示されている(加藤, 1993)。これ以外の方法としては、近赤外分光法によるスモモ果実の果実硬度と追熟過程の解析が行われ、1100～2500 nmにおける近赤外線吸収特性の変化から果肉硬度の推定が可能なが示されている(恩田ら, 1996)。

本節では、モモやブドウの果実の非破壊糖度測定に急速に普及しつつある携帯型の可視・近赤外分光装置を用いて、500～1000 nmにおける果実の光透過性の変化から日持ち性の評価を試みた。

材料および方法

1. 供試果実

(1) 現地園

1999年に、赤磐市の栽培者が異なる‘清水白桃’4園(A～D)から、収穫盛期にそれぞれ約30果を採取し、6500型近赤外分光計で678 nm吸光度を測定した。その中から熟度のそろった17果を日持ち試験に供試し、残りの果実は収穫当日に果実硬度計を用いて果肉硬度を調査した。日持ち試験では果実を25℃の室内に置き、収穫1, 2, 4, 7および11日後に各園地1日当たり3果の硬度と食味を調査した。また、各園地5果については果実の内部拡散反射スペクトル、外観および重量の変化を収穫後11日間調査した。

(2) 農試圃場

2000年に、農試圃場において施肥量が異なる‘清水白桃’(10～15年生)2樹から果実を採取し、6500型近赤外分光計で678 nm吸光度を測定した。その中から熟度のそろった各樹3果を25℃の室内に置き、果実の内

部拡散反射スペクトル, 外観および重量の変化を収穫後9日間調査した. 供試樹の施肥量は, 多肥樹が磷硝安加里肥料をN成分で1.0 kg・a⁻¹とパーク堆肥を300 kg・a⁻¹, 少肥樹が磷硝安加里肥料のみをN成分で0.6 kg・a⁻¹であった.

2. 果実の内部拡散反射スペクトルの測定

果実の500~1000 nmにおける内部拡散反射スペクトルの測定には, 青果物非破壊品質評価装置 (フルーツセレクターBA500, クボタ製) を用いた. スペクトルは果実と同軸光ファイバーを密着させて果実表面からの反射光や散乱光を感知しない状態で測定し, 吸光度変換前の測定電圧を解析に用いた. 各測定波長における測定電圧は, 果実の吸収が少ないほど高い. すなわち, 果実が軟化し透過光量が増加するにつれ上昇する. そこで, 内部拡散反射スペクトル測定時に最高値を示した波長における測定電圧 (以下, 最高電圧とする) を果実の光透過性の指標とした.

なお, 供試樹の葉中N含量並びに冷凍保存した収穫果実から搾汁した果汁中N含量は, 第1章第2節に準じて分析した.

結果

1. 現地園から収穫した果実の日持ち試験

収穫後の果実の内部拡散反射スペクトルを見ると,

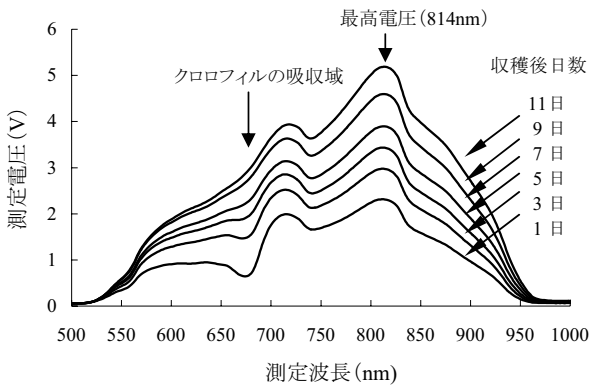


図2-20 収穫後の‘清水白桃’果実における内部拡散反射光測定時の電圧スペクトルの経時変化 (1999年)

日数が経過するにつれ測定電圧は全波長域において上昇し, クロロフィルの吸収域である680 nm近辺の負のピークが徐々に消失した (図2-20).

園地別に収穫後の最高電圧の変化を見ると (図2-21), 最高電圧の上昇は, 果実の大きい園地BとCの方が果実の小さい園地AとDよりもやや早かった. また, 果実重がほぼ等しく満開130日後の葉中N含量が異なる園地BとCを比較すると, 葉中N含量が多い園地Cの果実の方が, 最高電圧の上昇が早く, 日持ち日数がやや短い傾向が見られた (表2-8). 一方, 果肉硬度の収穫後の経時変化を見ると (図2-21), いずれの園地の果実も果肉硬度は収穫後急激に低下し, 3日後以降の変化量は極わずかであった. なお, 腐敗果の発生は, 園地A, BおよびDの果実では収穫11日後以降に認められたのに対し, 園地Cの果実では収穫9日後に認められた. 果実重は1日当たり約1%の割合で減耗したが, 減耗速度に園地間での差は認められなかった (データ省略). 官能評価では, 園地Cの果実の肉質は荒かったのに対し, 園地Dの果実の肉質は緻密であった.

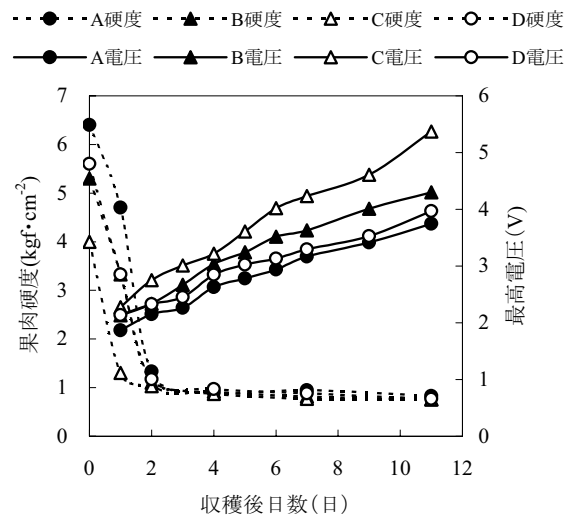


図2-21 現地‘清水白桃’園(A~D)から収穫した果実の内部拡散反射スペクトル測定時の最高電圧と果肉硬度の経時変化 (1999年)
電圧 (実線) は5果の平均, 硬度 (破線) は3果の平均

表2-8 園地別の‘清水白桃’樹のN栄養状態と, 日持ち試験に供試した果実の収穫時の果実品質並びに日持ち日数 (1999年)

園地	葉中N含量 (%DW)		果汁N (mg・100ml ⁻¹)	果実数 (果)	果実重 (g)	糖度 (°Brix)	678nm吸光度 Log(1/R)	日持ち日数 ² (日)
	満開97日後	満開130日後						
A	2.60	2.34	40	5	318	12.9	0.55	8.4
B	2.50	2.26	42	5	365	12.3	0.42	8.0
C	2.58	2.51	47	5	372	12.6	0.33	6.8
D	2.74	2.35	46	5	290	13.1	0.37	9.6

² 収穫日から日持ちの限界と観察された日までの日数 (果実の沓え, 変色などから判断), 園地CとDの平均値の差は5%水準の危険率で有意 (T検定)

2. 農試圃場から収穫した果実の日持ち試験

収穫後の果実の内部拡散反射スペクトル測定時における最高電圧の経時変化を、収穫時の果実の678 nm吸光度がほぼ同じ果実 (0.29) で比較すると、多肥樹の果実は少肥樹の果実に比べて収穫時における内部拡散反射スペクトル測定時の最高電圧が高いとともに、果実の外観から日持ちの限界の目安と推察された最高電圧4 Vに達する時期も早かった。そして、果実の外観から判断した日持ち日数は、多肥樹の方が少肥樹に比べ劣る傾向が見られた (表2-9, 図2-22)。

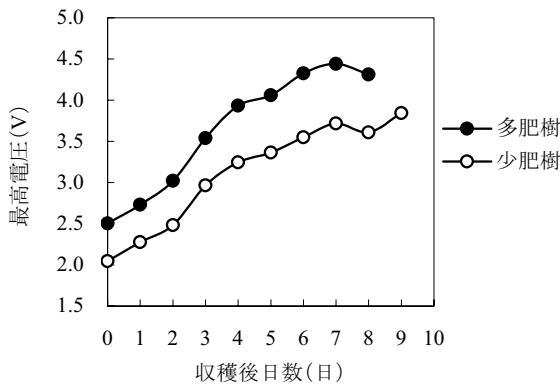


図2-22 施肥量が異なる‘清水白桃’樹から収穫した果実の内部拡散反射スペクトル測定時の最高電圧の経時変化(2000年)
^z 678 nm吸光度がほぼ同じ果実3果の平均

考 察

モモ果実の内部拡散反射スペクトル測定時の電圧は、収穫後徐々に上昇した。測定電圧は、照射した光が果実内部で拡散反射し、センサーが感知した光の量を電圧 (V) に変換した値であり、中馬ら (1976) が行った温州ミカンの反射分光強度測定時の出力値 (V) に相当する。したがって、内部拡散反射スペクトル測定時の電圧の上昇は、果実の光透過性の増大を意味する。図2-21に示したように‘清水白桃’果実は収穫後急激に硬度が低下するが、急激に低下した後の硬度変化は小さく、通常の手持ち硬度計でその変化を捉えることは難しい。しかしながら、物理的な貫入抵抗値の

変化が減少した後も、果実の光透過性は継続して上昇しており、日持ち性の評価に有効と考えられる。この光透過性の増大は、真部ら (1976) や吉岡 (1992) が示しているペクチンなどの果肉成分の代謝に由来するものと考えられる。

農試圃場に栽植された施肥量が異なる樹から収穫した果実を供試して、収穫時の678 nm吸光度がほぼ同じ果実で日持ち性を比較した場合、日持ち性は多肥樹よりも少肥樹の果実の方が優れる傾向が見られた (表2-9)。果実の光透過性を比較すると、収穫時の最高電圧は多肥樹の方が高く、その後も常に少肥樹よりも高い傾向で推移していることから、多肥樹の方が果肉の軟化が先行していたものと推察される (図2-22)。

一方、栽培者が異なる園地から採取した果実の日持ち性を調査すると、園地間で日持ち性が異なるとともに、内部拡散反射スペクトル測定時の最高電圧の上昇速度もやや異なった。(表2-8, 図2-21)。最高電圧の上昇速度は園地A, Dよりも果実重が重い園地B, Cの方が大きく、果実重がほぼ同じ園地BとCを比較すると、日持ち期間が最も短かった園地Cの方がより上昇が早かった。園地BとCの相違点は、園地Cの方が収穫果実の果汁中N含量が多く、7月から8月にかけての葉中N含量の減少が少なくNの遅効が推察される点である (表2-8)。したがって、果実の日持ち性の差には収穫時の果肉硬度の差とともに、果実の大きさと果実成熟時の樹体のN栄養状態も関与するのではないかと考えられる。

樹体のN栄養状態が果実の成熟に及ぼす影響について、Okamoto et al. (2001) は‘白鳳’を異なるN濃度で栽培した結果、高N区の果実は低N区の果実に比べ、果皮色の変化が遅れるものの、果肉硬度の低下とエチレンの発生はほぼ同じ速度で進行したと報告している。前節 (第2章第2節) の調査でも、多肥樹の果実は少肥樹の果実に比べ、クロロフィル含量の減少が遅れた (図2-17)。第1章第2節で示した現地調査からも、葉中N含量や果汁中N含量が多い樹から収穫された果実ほど、クロロフィル含量が同程度でも果肉が柔らかい傾向が認められている (図1-18)。また、第1章第2節で示

表2-9 施肥量が異なる‘清水白桃’樹のN栄養状態と、日持ち試験に供試した果実の収穫時の果実品質並びに日持ち日数(2000年)

樹	葉中N含量(%DW)		果実数 (果)	果実重 (g)	糖度 (°Brix)	678nm吸光度 Log(1/R)	日持ち日数 ^z (日)
	満開87日後	満開118日後					
多肥	2.82	2.93	3	323	15.0	0.29	5.7
少肥	2.65	2.66	3	298	14.6	0.29	8.3

^z 多肥と少肥の平均値の差は5%水準の危険率で有意(T検定)

したように、収穫期の葉中N含量が高い樹の果実は低い樹の果実に比べ、果実発育第3期の肥大率が優れるが、果実の第3期肥大は果肉細胞の肥大によることから、第3期の肥大期間が長く、肥大率の優れる果実ほど果肉細胞が大きいと考えられる。したがって、図2-21の園地Cの果実において、光透過性の指標となる最高電圧の上昇が最も早かったのは、他の園地の果実よりも果肉細胞が大きいと推測される点も影響しているのではないかと考えられる。また、経験的に、収穫期に雨が多い年には日持ち性が悪いとされる。この一因にも収穫期の土壌水分の増加による果肉細胞の過度の肥大が考えられ、今後の検討が必要である。

以上の結果から、モモ果実の収穫は果皮色を目安に行われるため、果皮のクロロフィルの退色度合が同じでも、N過多の樹の果実は軟化が進んでおり、園地間で日持ち性に差が生じるのではないかと推察される。N過多の樹の果実の日持ち性を向上させるためには、果皮色がやや青めの時期に収穫すると良いが、根本的には、N過多の樹の果実は糖度が低く（高野，2003）、香りや食味も不良であるため（Jia et al., 1999；2000）、適正なN栄養状態に改善することが重要である。

第4節 完熟モモ流通のための収穫適期、鮮度保持および輸送方法の検討

モモは成熟末期の果実肥大と糖含量の増加が著しく、熟度が進むほど果実品質が向上する（青柳ら，1976；垣内ら，1981；繁田ら，1980）。その半面、熟度の進行に伴って果肉硬度が低下し、傷みややすくなるとともに、収穫後の日持ち性が低下する。モモの日持ち性を決定する収穫後の果実の軟化速度には品種間差があり、収穫後急激に軟化する品種から、緩やかに軟化する品種、軟化しない品種が存在する（Haji et al., 2004；吉田，1976）。収穫後の軟化が早い品種では、完熟した果実の流通は現行の常温流通体系では傷みが発生するため困難であり、本来の味を呈する熟度よりも2～5日前に収穫せざるを得ないのが現状である。これまでに、モモ果実の品質は低温下で良好に保持されることが明らかにされている（青柳ら，1976；加納，1972；北野ら，1993）が、完熟した果実が実際に流通されるまでには至っていない。しかし、最近の流通環境の変化は著しく、低温流通のための環境もかなり整備されてきた。また、従来の市場出荷以外にインターネット販売などによる生産者から消費者への直接販売も増加し、完熟した果実の流通の可能性が高まったと

考えられる。

本節では、完熟モモの出荷技術を確認するために、完熟した果実の収穫適期、低温条件下での鮮度保持効果、低温障害の発生時期を検討し、実際にトラックによる完熟モモの低温輸送を試みた。

材料および方法

1. 完熟モモの収穫適期

完熟モモの収穫適期を明らかにするために、1989年から2か年、農試圃場において収穫時まで有袋（オレンジ無底）栽培した‘白鳳’と‘清水白桃’を供試して、果実の発育に伴う果実の外観・品質の変化と収穫後の果実の軟化経過を調査した。果実の外観・品質は、収穫初期に1樹内の全果実を大きさで果皮の緑色の退色度合を目安にして熟度別にラベルを付した後、ラベルごとに経時的に収穫して熟度、硬度、糖度、酸度並びに色調を調査した。果実熟度は第1章第2節に準じて、極未熟（果実が小さく果皮の緑色が濃い状態）、未熟、機械選果熟度、手選果熟度、完熟の5段階に分類した。果実硬度は万能引張圧縮機（PSS2K，今田製作所製）を用い、直径2 mmの円柱プランジャーにより、果実赤道部の果面の果皮をつけたもの（果皮硬度）と除いたもの（果肉硬度）の貫入抵抗値を測定した。酸度は果汁10 mlを0.1 M NaOHで滴定し、リンゴ酸換算した。色調は色差計（ND-101DP，日本電色工業製）で果実赤道部を測定した。また、果実肥大は、樹上で同一果実の側径を未熟な段階から過熟になるまで調査した。

2. 完熟モモの鮮度保持

貯蔵温度別の果実の日持ち性を明らかにするために、1989年に‘武井白鳳’の手選果熟度で収穫した果実（以下、手選果熟度果）を室温（平均26℃）、20、15、10、5℃で、‘清水白桃’の手選果熟度果を室温（平均26℃）、10、0℃でそれぞれ8日間貯蔵し果実の軟化経過を調査した。また、低温条件下での貯蔵可能日数を明らかにするために、‘清水白桃’の完熟状態で収穫した果実（以下、完熟果）、手選果熟度果、機械選果熟度で収穫した果実（以下、機械選果熟度果）を0℃で1か月間貯蔵し、10日ごとに果実硬度、色調、変色やピットングの発生などの外観を調査した。

1989年の調査で、0℃で貯蔵した果実に低温障害の発生が認められたので、1990年には‘清水白桃’の機械選果熟度果を0℃で貯蔵し、1週間ごとに10～12果を出庫し、室温での果実の軟化経過を調査した。また、‘白鳳’と‘清水白桃’の貯蔵温度別の呼吸量を調査し、呼吸量のアレニウスプロットから低温障害発生温

度を解析した。呼吸量は容量5 Lのデシケーターにモモ4果を入れ、デシケーター内の炭酸ガス濃度をガス検知管（北川式）で測定した。

長期冷蔵試験では、蒸散防止のため、袋の角を切って約1 cm²の通気孔を2か所設けたポリプロピレン製の防曇袋で果実を個装し、インキュベーター（CR32型、日立製）で貯蔵した。

3. 完熟モモの輸送試験

1989年に岡山から大阪と京都に‘清水白桃’の完熟果を常温、5℃、0℃の設定温度のトラックで往復輸送し、果実品質を調査した。5℃および0℃輸送区では、果実温を6℃以下に予冷し輸送した。輸送時の包装形態は、通常4 kg詰め段ボール箱で果実にフルーツキャップを2重に被せ、上下にエアークッションを敷いて梱包した。いずれの温度区とも1箱（4kg）を供試し、箱内には自記温度計（COX RECORDER, TRANSIT SERVICES INC. 製）を同梱し、輸送中の温度を記録した。輸送後は果実を室内（平均気温約26℃）に保持した。

結果および考察

1. 完熟モモの収穫適期

‘清水白桃’果実の樹上での側径の経時変化を図2-23に、果実品質の経時変化を表2-10に示した。果実の成熟に伴って果実糖度は上昇し、果肉硬度と酸度は低下した。果皮色は果実の成熟に伴って緑色が果頂部から徐々に退色し、果実肥大のピーク時には梗あ部まできれいに退色する一方、光の当たる果頂部は赤く着色した。肥大停止後の果実は、徐々に果肉の褐変や粉質化、アルコール臭が認められるようになり、食味が不良となった。果実は肥大がピークに達した後しばらくして自然落下した。肥大停止後の果実は過熟状態であったことから、果実肥大がピークに達した時点が完熟と考えられるが、その時期は、‘白鳳’、‘清水白桃’

ともに現行の機械選果の収穫熟度から4～6日後、手選果の収穫熟度から2～3日後であった。

完熟時には、果実肥大と果実硬度の低下により梗あ部に枝が食い込み、その部分が軟化した。完熟時には、‘清水白桃’では収穫直後に剥皮が可能であったが、‘白鳳’では収穫直後の剥皮は不可能であった。また、完熟に近づくとモモの甘い香りが強まり、夜蛾や鳥の被害が増大し、その対策が不可欠と考えられた。

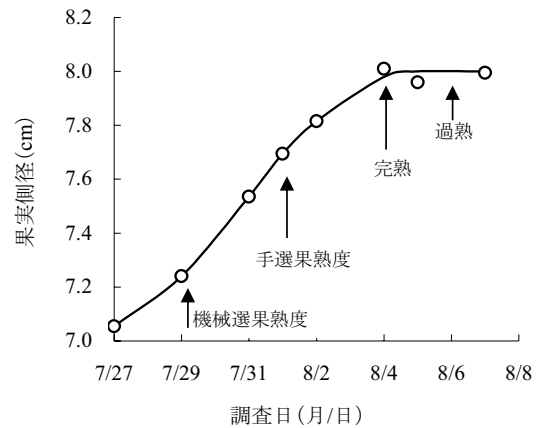


図2-23 ‘清水白桃’果実の肥大様相(1989年)
2果の平均

1樹内での果実の成熟過程を調査した結果、日照条件の良好な樹冠周囲の果実ほど成熟が早い傾向にあり、成熟の遅れた果実が完熟するには成熟の早い果実が完熟してから約10日間を要した（図2-24）。1990年に調査した‘白鳳’では、収穫期が好天に恵まれ、成熟の遅れた果実でも完熟するまで糖度が上昇し、完熟時には成熟の早い果実の糖度と大差なかった（図2-24）。これに対し品種が異なるものの1989年に調査した‘清水白桃’では、収穫期に雨が多く、成熟の遅れた果実は糖度が上昇せず、成熟の早い果実ほど糖度が高かった（図2-25）。青柳ら（1976）も指摘したように、完熟モモの一番の特質は糖度の高さである。収穫を2～4日

表2-10 果実発育第3期における‘清水白桃’の果実品質(1990年)²

項目	採取日(月/日)									
	7/10	7/16	7/20	7/23	7/27	7/30	8/1	8/3	8/6	8/8
熟度	未熟	未熟	未熟	未熟	未熟	未熟	機械選果	手選果	完熟	過熟
果実重 (g)	115	157	198	204	212	260	254	281	293	287
糖度 (°Brix)	10.0	11.0	11.3	12.1	11.9	13.3	13.8	14.2	15.1	15.2
総酸 (リンゴ酸換算%)	0.66	0.45	0.28	0.29	0.29	0.29	0.24	0.18	0.15	0.14
果皮硬度 (kgf)	1.31	1.13	0.96	1.19	0.90	0.72	0.62	0.44	0.35	0.35
果肉硬度 (kgf)	0.66	0.69	0.57	0.64	0.43	0.27	0.22	0.15	0.06	0.05
剥皮の難易 ^y	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○

² 2～3果の平均, 7/30以降の果実重と糖度は11～15果の平均

^y ×: 手で剥皮不可能, ○: 手で剥皮可能

遅らせることにより、天候がよければ1~2度の糖度の上昇が期待できる。しかし、収穫期の天候が不良であったり、日当たりが悪かったりすると、収穫を遅らせても糖度の上昇は望めず、完熟モモ出荷の利点はない。また、N過多の樹は果実糖度が低い傾向にあり(高野, 2003)、完熟モモを収穫する前から、糖度の高い果実を生産するための栽培管理を行う必要がある。

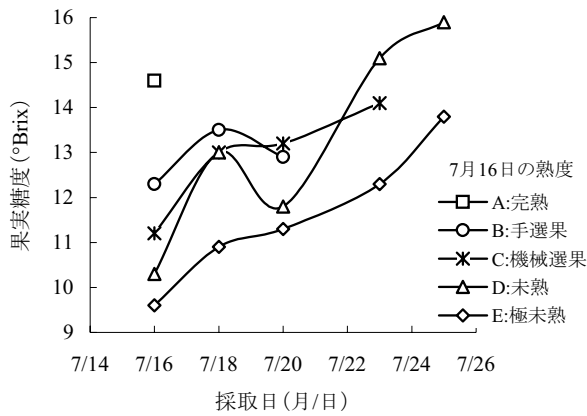


図2-24 1樹内で収穫初期(7月16日)に熟度別にラベルした‘白鳳’果実におけるグループ別の糖度の推移(1990年)
ラベルCは15果, その他は2~3果の平均

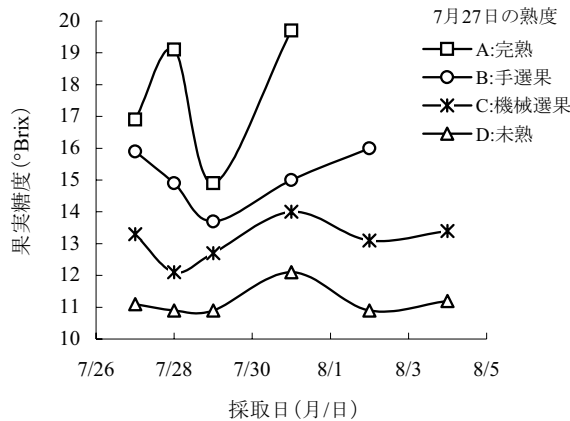


図2-25 1樹内で収穫初期(7月27日)に熟度別にラベルした‘清水白桃’果実におけるグループ別の糖度の推移(1989年)
2~3果の平均

‘白鳳’と‘清水白桃’における果実硬度の成熟に伴う変化と収穫後の変化を調査したところ、両品種ともに硬度は成熟に伴って徐々に低下し、完熟時には果皮硬度が0.4 kgf以下、果肉硬度が0.1 kgf以下に低下した(図2-26, 図2-27)。しかし、樹上では完全に軟化することはなく、完熟してもある程度の硬度を保持した。

収穫後は機械選果熟度の果実でも急速に軟化し、収穫1~2日後には果肉硬度が0.1 kgf以下になり、収穫直後の完熟果よりも軟らかくなった。完熟果の食味を良好に保持できる期間は、‘白鳳’、‘清水白桃’ともに室温(平均温度約26℃)で収穫後約2日間であった。

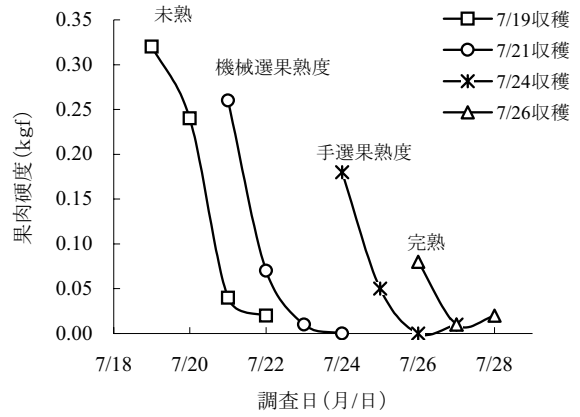


図2-26 異なる熟度で収穫した‘白鳳’果実における収穫後の果肉硬度の変化(1989年)
1~2果の平均, 室温

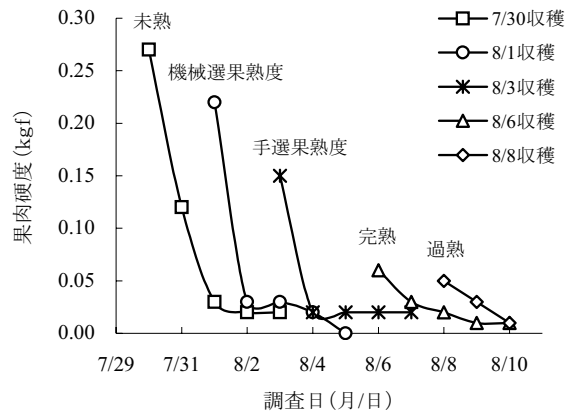


図2-27 異なる熟度で収穫した‘清水白桃’果実における収穫後の果肉硬度の変化(1990年)
表2-10に対応, 3果の平均, 室温

2. 完熟モモの鮮度保持

収穫後の果実の軟化は温度が低いほど抑制され、5℃貯蔵の‘武井白鳳’(データ省略)、0℃貯蔵の‘清水白桃’では果実硬度の低下が認められなかった(図2-28)。この結果から、完熟モモの軟化を抑制し鮮度保持期間を延長するには、5℃以下の低温条件下での流通が有効と考えられる。

1989年に‘清水白桃’の完熟果、手選果熟度果、機械選果熟度果を0℃で1か月間貯蔵した結果では、いず

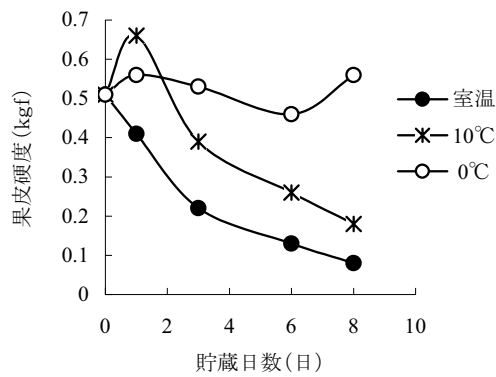


図2-28 異なる貯蔵温度での‘清水白桃’果実の果皮硬度の変化(1989年)
2果の平均

れの熟度の果実でも冷蔵に伴う低温障害の発生が認められた。0°C貯蔵の完熟果においては、貯蔵10日後の果実は出庫当日並びに出庫3日後ともに異常が認められず食味も良好であった。しかし、貯蔵20日後には外観は良好であったが果肉がややゴム質の食感を呈し変質がわずかに認められ、31日後には果実が黒ずみ果肉が褐変し明らかな低温障害の発生が認められた。貯蔵31日後の果実に認められた低温障害の症状は、手選果熟度果や機械選果熟度果よりも完熟果の方が重かった(表2-11)。また、1990年に‘清水白桃’の機械選果熟度果を0°Cで貯蔵し、1週間ごとに在庫して室温での果実の軟化経過を調査した結果では、貯蔵15日後までは果実の外観と食味に異常は認められず出庫後も正常に

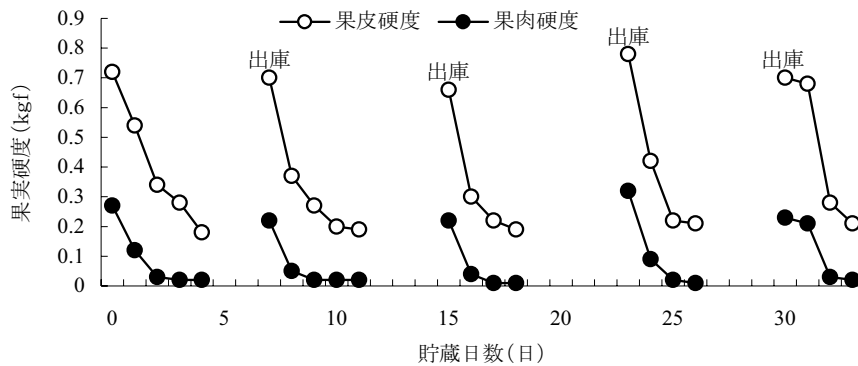


図2-29 0°Cで貯蔵した‘清水白桃’果実の室温における果実硬度の経時変化(1990年)
2~3果の平均, 供試果実の平均果実重250 g

表2-11 ‘清水白桃’果実における0°C貯蔵下での果実品質の変化(1989年)^z

果実 ^y 熟度	冷蔵 日数	出庫後 日数	糖度 (°Brix)	色調			果実硬度(kgf)		減量率 ^x (%)	外観 ^w
				L値	a値	b値	果皮	果肉		
完熟	0		16.9	81.1	0.6	28.0	0.36	0.06	0.5	○
	10	0	16.1	81.2	-0.1	27.7	0.34	0.06	0.7	○
	20	0	16.5	80.7	0.4	28.0	0.41	0.09	0.8	○
	31	0	15.7	78.6	1.5	25.3	0.33	0.06	0.8	×
手選果	10	3	14.1	77.4	4.1	28.9	0.12	0.01	3.1	○
	31	3	16.5	80.9	8.2	17.2	0.25	0.04	3.5	×
	0		15.9	82.9	-1.2	28.1	0.47	0.11	0	○
	10	0	14.6	82.0	-1.3	27.4	0.48	0.08	0.2	○
機械選果	20	0	14.4	82.5	-2.4	26.1	0.45	0.09	0.4	○
	31	0	13.9	83.0	-1.2	26.0	0.44	0.09	0.4	△
	10	3	14.1	79.7	1.6	28.4	0.12	0.02	2.3	○
	31	3	12.6	72.2	7.9	21.3	0.39	0.06	2.5	×
	0		13.3	79.4	-6.9	28.8	0.88	0.48	0	○
	10	0	12.5	79.8	-5.5	27.6	1.00	0.63	0	○
	20	0	14.7	79.0	-2.3	29.0	0.72	0.30	0.2	○
	31	0	12.1	82.3	-4.0	26.9	1.04	0.55	0.1	○
10	3	12.6	80.9	-0.5	29.4	0.22	0.03	2.9	○	
31	3	12.8	83.5	1.0	27.0	0.48	0.09	2.9	△	

^z 2果の平均

^y 供試果実の平均果実重:完熟=264 g, 手選果=264 g, 機械選果=210 g

^x 貯蔵期間中の果実重の減量割合。ただし、出庫3日目の減量率は出庫後の減量割合

^w ○:果実の外観が正常, △:やや異常, ×:明らかに異常

軟化した。23日後には果肉がややゴム質の食感を呈し、出庫後は軟化の進行がやや遅れた。貯蔵30日後には外観は正常であったが果肉がゴム質の食感を呈し、出庫後は軟化が遅れ、果面にピッチングが生じ果肉は褐変・粉質化した(図2-29)。

邨田ら(1980)の方法に準じて、果実の温度別呼吸量のアレニウスプロットを作図したところ、'白鳳'、'清水白桃'ともに0~25℃の温度範囲内では、14℃付近に直線の折れ曲がり認められた(図2-30)。北野ら(1993)の'白鳳'の呼吸量データからアレニウスプロットを作図しても14℃付近に直線の折れ曲がり認められることから、モモ果実では約14℃以下の温度で果実代謝に異常が生じるものと推測される。

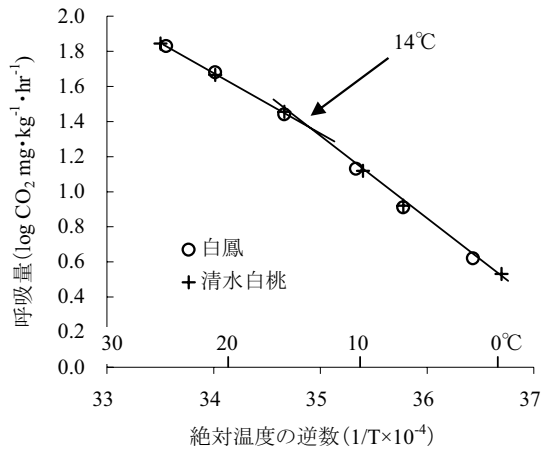


図2-30 モモ果実における呼吸量のアレニウスプロット

完熟モモを流通するためには、果実の軟化を抑制し輸送中の荷傷みの発生を防止するために0~5℃で輸送

することが望ましいと考えるが、この温度範囲ではモモは低温障害が発生する(梶浦, 1972; 梶浦・岩田, 1971; 垣内, 1981a; 加藤・佐藤, 1975ab; 小曾戸ら, 1962)。しかし、低温障害が発生するまでの時間は青果物の種類により異なり、温度が危険ラインを下回ると短期間で障害を起こすものや比較的障害が起こりにくいものがある(緒方, 1977; 樽谷・北川, 1982)。「清水白桃」の完熟果を用いて0℃で貯蔵したところ、10日間の貯蔵では低温障害の発生は認められず、良好な食味が保持された。したがって、2~3日間の低温輸送では低温障害の危険性は無いと考えられ、良好な品質を保持した完熟モモの流通が可能であると考えられる。

3. 完熟モモの輸送試験

大阪への輸送試験結果を表2-12に、京都への輸送試験結果を表2-13に示す。低温輸送区の箱内の気温は、両輸送試験とも設定温度より高く推移し、荷の積み替えが原因と推測される一時的な温度上昇が認められた(データ省略)。輸送中の荷傷みは常温輸送の完熟果のみに発生し、大阪への輸送時よりも京都への輸送時の方が多く発生した。傷みは果実赤道部と梗あ部に発生し、収穫時の梗あ部の枝による押し傷はさらに拡大、変色した。5℃設定と0℃設定の低温輸送では荷傷みは発生せず、収穫時の梗あ部の押し傷もそのままであった。輸送終了時の果実品質は、果実重の減耗率が常温区で約3%、低温区で約1%であった。果皮色は常温区では黄化して色差計のa値とb値が上昇したのに対して、5℃設定と0℃設定の低温区では収穫時の乳白色のままにa値、b値ともに変化はみられなかった。果実硬度は常温区では低下したが、低温区では収穫時の硬度を保持した。食味は、常温区では既に限界に達しており、

表2-12 '清水白桃' 完熟果実における岡山-大阪間の往復輸送前後の果実品質(1989年)^z

輸送時温度 設定 実測平均	調査日(月/日)	減量率 (%)	色調			果実硬度(kgf)		糖度 (°Brix)	傷み ^y (果/果)	商品性 ^x
			L値	a値	b値	果皮	果肉			
常温 27℃ (25~32℃)	輸送前 (7/31)	0	79.1	1.7	28.1	0.31	0.04	17.3		
	輸送終了日 (8/3)	3.0	80.7	1.2	29.9	0.14	0.03	16.8	2/6	△
	輸送終了1日後 (8/4)		78.6	2.2	30.3	0.13	0.02	16.4		×
	輸送終了2日後 (8/5)		76.4	2.8	31.2	0.09	0	12.3		×
5℃ 6℃ (2~16℃)	輸送終了日 (8/3)	1.0	81.8	0.3	27.1	0.34	0.06	15.5	0/5	○
	輸送終了1日後 (8/4)		81.9	1.3	28.6	0.25	0.05	16.7		○
	輸送終了2日後 (8/5)		77.9	2.6	28.6	0.16	0.02	14.1		○
0℃ 3℃ (0~17℃)	輸送終了日 (8/3)	1.2	81.7	0.5	27.8	0.34	0.06	14.7	0/5	○
	輸送終了1日後 (8/4)		78.9	2.8	28.9	0.22	0.02	14.8		○
	輸送終了2日後 (8/5)		82.1	0.5	28.6	0.15	0.03	16.6		○

^z 輸送期間:7月31日~8月3日, 輸送前は5果の平均, 輸送終了日の減量率および果皮色は5~6果の平均, 輸送後のその他の項目は1~2果の平均, 供試果実の平均果実重250g

^y 輸送中に傷みが発生した果実の割合(傷み発生果/調査果実数)

^x ○:外観と食味から判断して品質良好で販売可能なもの, △:外観は傷んでいるが食味は良好なもの, ×:販売不可能なもの

表2-13 ‘清水白桃’完熟果実における岡山—京都間の往復輸送前後の果実品質(1989年)^z

輸送時温度		調査日(月/日)	減量率 (%)	色調			果実硬度(kgf)		糖度 (°Brix)	傷み ^y (果/果)	商品性 ^x
設定	実測平均 (最低~最高°C)			L値	a値	b値	果皮	果肉			
		輸送前 (8/7)	0	79.8	1.5	28.0	0.22	0.02	13.8		
常温	28°C	輸送終了日 (8/10)	2.6	77.2	3.4	30.3	0.08	0.01	14.7	4/6	×
	(25~30°C)	輸送終了1日後 (8/11)		75.6	4.0	29.2	0.06	0	12.7		×
5°C	8°C	輸送終了日 (8/10)	1.0	80.7	1.7	27.3	0.25	0.03	13.5	0/7	○
	(2~17°C)	輸送終了1日後 (8/11)		78.0	2.5	25.5	0.18	0.03	14.7		○
0°C	4°C	輸送終了日 (8/10)	0.7	79.6	2.3	27.0	0.22	0.03	16.4	0/6	○
	(-1~12°C)	輸送終了1日後 (8/11)		79.1	5.3	25.2	0.23	0.05	15.3		○

^z 輸送期間:8月7日~10日, 輸送前は3果の平均, 輸送終了日の減量率および果皮色は5~6果の平均, 輸送後のその他の項目は2~4果の平均, 供試果実の平均果実重300 g

^y 輸送中に傷みが発生した果実の割合(傷み発生果/調査果実数)

^x ○:外観と食味から判断して品質良好で販売可能なもの, △:外観は傷んでいるが食味は良好なもの, ×:販売不可能なもの

1日後には過熟気味で食味が劣ったのに対し, 低温区では輸送直後はやや繊維質が感じられる肉質であったが, 1日後には滑らかな肉質で繊維質も感じられず良好であった。

以上の結果, 完熟モモの出荷は, 収穫果実を速やかに予冷し低温輸送することにより, 岡山~京都間の往復450 km以上の輸送が可能と考えられた。本試験では輸送中に箱内の気温が一時的に15°Cを超えたが, 果実品温の上昇は気温の上昇よりも遅れることと, 輸送中

の果肉硬度の低下が認められなかったことから, 果実品温は概ね5°C設定区では10°C以下, 0°C設定区では5°C以下を維持できたのではないかと推測する。輸送温度は, 今回の試験結果から見て, 2~3日の輸送期間であれば実際の果実品温が10°C以下に維持できれば問題ないと考えられる。また, 低温輸送では段ボール箱が吸湿して強度が低下し, 果実の振動が増大するとともに, 外観も汚れて不良であるので, 低温流通専用容器の開発が必要と考えられる。

第3章 総合考察

1. モモ果実への糖の集積に影響を及ぼす要因

モモ果実への糖の集積について考察すると、糖度の高い果実を生産する第一の条件には日照条件があげられる。第1章第1節で示したように‘清水白桃’の糖度は日照時間が多く降水量が少ない年ほど高くなり、産地全体の平均で見ると1993～1998年における糖度(°Brix)の年次間差は最大で2.6°であった。一方、生産者別に見ると、樹冠下の相対照度が低い園地では糖度が低く、糖度の生産者間差は最大で4.6°であった。このことから、モモ果実が成熟する時期の天候が糖度に大きな影響を及ぼすことは間違いないが、糖度の年次間差以上に生産者間差の方が大きいのが事実である。個々の園地において、結果枝に十分な日が当たるような樹相に改善することにより、日照量が少ない気象条件下でも、比較的糖度の高い果実を生産することは可能と推察される。

樹冠下の相対照度が低下する原因には、密植と徒長枝の多発があげられる。徒長枝が多発する一番の原因はNやKの過剰であり、施肥量や土壌からの地力Nの発現が多い園地では徒長遅伸びし、その傾向は密植で樹冠の拡大が制限されると一層強まる。また、新梢の伸長停止が早くてもNが遅効する園地では再伸長が著しく、一樹における総再伸長量は50～100 mに達する(岡山県農業総合センター, 2003)。徒長枝の多発による結果枝への日照量の低下と、新梢の伸長停止の遅れや再伸長による果実への光合成された糖分の分配率の低下が、果実への糖の集積を阻害する。

第1章第2節における、現地実態調査においては、徒長枝の発生が多いほど樹冠下が暗く糖度が低い傾向にあったが、例外として、徒長枝の発生が少なくても糖度の低い園地が存在するとともに、葉中N含量が多く徒長枝の発生が多くても比較的糖度の高い園地も存在した。両園地の相違点を見ると、前者は土壌中の可給態N含量が多いとともに収穫果実の果汁中N含量が多く、Nの遅効が推察される園地であるのに対し、後者は生育初期の葉中N含量が多く初期生育は旺盛なもの、土壌中の可給態N含量が少ないとともに果汁中N含量も少なく、Nの遅効が認められない園地であるという点である。また、果実の糖組成を分析すると、糖度の低い果実を生産する樹では、収穫果実中の全糖に占めるショ糖の割合が低下し、ブドウ糖と果糖の割合が増加する傾向が認められた(第1章第2節)。これらの

結果は、単に日照条件や果実への糖の分配率といった問題だけではなく、糖の代謝生理も果実への糖の集積に深く関与していることを示唆している。

モモではソルビトールを主な転流糖とし(石田ら, 1985)、果実内において、ソルビトールはソルビトール脱水素酵素とソルビトール酸化酵素により、それぞれ果糖とブドウ糖に変換され、ショ糖合成酵素やショ糖リン酸合成酵素によりショ糖に変換される(森口, 1995)。小橋(2000)は、成熟期のモモ果実へのABA処理によって、ソルビトール代謝酵素活性が果実内で増加することと(Kobashi et al., 1997)、適度な水ストレス下でも同様なソルビトール代謝の変化が起こることを示している(Kobashi et al., 2000)。イネでは、Nを多く与えることにより体内のジベレリンとサイトカイニンが増加し、ABAおよびエチレンが減少することが知られている(太田, 1987)。岡本(1996)がN施肥の過剰は植物体内のホルモンバランスの点でも、果実の成熟に極めて好ましくない状況を生み出すと考えているように、モモでも、成熟期の果実のNレベルが糖代謝生理に及ぼす影響について今後の解明が必要と考える。また、モモの無袋果実は有袋果実に比べ糖度が高いことが一般的に知られているが、果実そのものの光合成は葉に比較して非常に少ないことが石田ら(1982)により指摘されている。朝倉ら(2004)は樹上でのブドウ果実の乾燥処理により、果実内のABAの増大と、糖度の向上を示していることから、モモでも無袋栽培による糖度の上昇は、果実の光合成以外に、果実の蒸散量の増加が糖の集積を促進した結果ではないかと考えられ、今後、検討を要する。

2. モモ樹の栄養状態の改善による果実の糖度向上

糖度の高い果実を安定して生産するためには、適正な栄養状態を維持することが重要である。NやKの過剰は徒長枝の多発と伸長停止の遅れを招き糖度の低下に繋がる。一方、NやKの不足は、果実の肥大不足、収量の低下、果実の渋味の増加などに繋がる。葉中N含量と糖度との間には有意な負の相関が存在するものの、葉中N含量が多くても伸長停止が早く徒長枝の発生が少なく、比較的糖度の高い果実を生産する樹も存在する。園地の排水性や土壌からの地力Nの発現量の違いにより、葉中N含量と生育状態との関係に差が生じるものと推察され、葉中N含量で園地間の比較を行う場合には注意を要する。しかし、同一園地においては、葉中N含量により樹の栄養状態を的確に判断できることは、第1章第3節で示した糖度の低い果実を生産する

園地の改善試験や園地別の糖度の年次変動解析結果から明らかであり、葉中N含量は樹体栄養状態を管理する上で優れた指標になり得る。

園地間の比較においては、葉中N含量よりも、むしろ葉中K含量の方が糖度と高い相関を示し、診断に適しているのではないかと考えられる。調査園地に敷きわら園が多いことから、他の産地においても普遍性を有するかは疑問であるが、土壌中のKが主として無機態で存在し、土壌Nのような夏期の有機態から無機態への変化が少ないために、調査園地の土壌の肥沃度を葉中Nよりも葉中Kの方が生育初期からの確に反映していたのではないかと考えられる。

葉中無機成分含量の分析による栄養診断を普及推進するためには、分析の迅速化が必要である。第1章第4節で開発した近赤外分光法による葉中無機成分含量推定検量線は、NやKなどの成分を同時に分析することが可能であり、従来の硫酸分解法による分析と比べ非常に簡易迅速である。生産現場で近赤外分光法による葉分析が利用可能な体制を整えれば、その効果は大きい。さらに、生葉でも近赤外分光法により葉中無機成分の推定が可能で（宮本，2008；大倉・宮本，2003；高野・妹尾，2000）、将来、携帯型の測定機器が開発されれば、園地でのリアルタイムな栄養診断が可能になる。

近赤外分光法で問題となるのは、安定した検量線を作成しようとする、年次、品種、産地、生育時期などが異なる幅広い試料を収集する必要があることである。これには、多大の労力と時間を要するため、各地域で同じ対象作物の検量線を別々に作成するのは非効率的である。検量線をすべて公開した報告は少ないが、開発した検量線は公開し、各地域で相互に利用できれば研究の効率化が図れる。さらに、近赤外分光法による栄養診断の簡易迅速化も推進されるものと考えられる。検量線の作成の効率化を図るために、作物別ではなく多種の作物で使用可能な汎用性の高い検量線の作成の可能性を検討する必要はあるが、Nに関してはその可能性が大きい（高野，2002）。

果実中Nの方が葉中Nよりも糖度とより高い相関を有し、樹の栄養状態を的確に反映していることは村田（1979）や苔名（1975）も指摘している。果実中のN含量の非破壊計測に関する報告はこれまでに見当たらないが、その可能性はあると考える。将来、糖度選果に実用化されている近赤外波長域で、果実中のN含量の推定が可能となれば、選果ライン上で出荷果実のN含量の非破壊計測ができ、N栄養診断の飛躍的な進展が

図られるのではないかと考える。また、果実のクロロフィル含量を果実のN含量で補正できるようになれば、果肉硬度の推定精度が高まることも予想される。

園地で簡便に栄養診断を行う方法としては、葉緑素計の利用がある。Nの不足は葉緑素計測定値での確に診断可能である。一方、Nの過剰は葉緑素計測定値から判断することは困難である。しかし、第1章第3節で述べたように葉の厚さで補正することにより葉緑素計測定値と葉中N含量との相関が向上することから、厚さ補正機能を葉緑素計に組み込むことにより、診断精度の向上が見込まれる。また、生産者自らが栄養診断を行う目安としては、葉の大きさが手軽な指標になり得る。

NやKの過剰がモモ果実への糖の集積を抑制することを第1章第2節に示した。NやKが過剰な園地ではその是正に努める必要があるが、それぞれの園地により、土性や地力は異なり、適正な施肥量は異なる。それぞれの園地において樹の栄養状態に応じて施肥量を加減することが重要であるが、施肥量の過度な削減は、新梢の伸長量の低下を招き、樹勢の低下や果肉障害の発生に繋がりやすい。生育初期の適正な伸長量を確保し、なおかつ糖度の高い果実を生産するためには、安易に施肥量を削減するのではなく、Nの遅効き防止に重点を置いた肥培管理を心掛けることが最も重要である。

3. モモの出荷上における課題

モモは樹上で熟度が進むにつれ果実が肥大し糖度が向上する（第2章第4節）。したがって、前述したモモ樹の栄養状態を適正に保つことに加えて、より完熟に近い状態で収穫することが、糖度の高いモモを生産するうえで重要な課題となる。

モモは樹上で熟度が進むにつれ果肉硬度が低下し傷み易くなるため、それぞれの生産者の出荷方法に応じて最適な熟度は異なる。コンベア式の機械選果では果実の受ける衝撃が最も大きく、その衝撃に耐えうる果肉硬度を有する時期が収穫適期となる。次いでフリートレー方式の機械選果、手選果の順により熟度の進んだ果実の出荷が行われている。さらに、常温輸送では不可能である完熟した果実の出荷も、農家から消費者への冷蔵宅配といった輸送形態であれば可能なことは、第2章第4節で示したとおりである。

熟度が進むにつれ糖度は上昇するものの、収穫適期が遅れると過熟となり商品価値は無くなる。生産者は収穫作業に追われるのが実際であり、収穫適期の見極めが極めて重要となる。第2章第2節で示した果実のク

クロフィル含量の非破壊測定は、モモ樹のN栄養状態によりクロフィル含量と果肉硬度との関係が変動する点には注意を要するが、同一園地においては両者間の相関は高く、クロフィル含量の樹上での減少経過を調査することで、その園地の収穫適期日の予測が可能である。さらに、クロフィル含量から間接的に果肉硬度を推定するのではなく、第2章第3節で示した果実の光透過性や、中村ら(2007)が示したドップラー計などにより、直接的な果肉硬度の評価が可能になれば、園地間に関係なく更に正確な収穫適期日の予測が可能になると考えられ、今後の研究と安価な機器の開発が望まれる。

熟度が進んだ果実は日持ち性が劣るため、低温流通が望ましい。しかし、モモは低温障害が発生することが知られている(梶浦, 1972; 梶浦・岩田, 1971; 垣内, 1981a; 加藤・佐藤, 1975ab; 小曾戸ら, 1962)。低温障害が発生せず良好な品質を保持できる期間は、第2章第4節に示した‘清水白桃’の完熟果の調査では0℃で約10日間であり、Ben-Arie et al. (1970)がモモ‘Elberuta’で示した0℃ 2週間、小曾戸ら(1962)が‘大久保’で示した0~1℃で2週間、加藤・佐藤(1975a)が‘大久保’で示した0℃で約10日間とほぼ一致する。また、低温で貯蔵するとオフフレーバーが生じることが報告されている(加藤・佐藤, 1975b; 小曾戸ら, 1962)。田中ら(2004a b)は、冷温高湿庫に‘あかつき’を貯蔵し、冷蔵2週間を過ぎると香り成分の組成が単純化し、3週間貯蔵するとヘッドスペースのモモ

の香りは失われると報告している。しかし、田中ら(2004ab)のデータを見ると冷蔵1週間後でも香り成分の組成変化が認められる。第2章第4節における完熟モモの2~3日間の低温輸送試験では香りの悪化は官能的に認めていないが、香りの面から低温での品質保持期限の再検討が必要であろう。

完熟とはいかないまでも完熟に近いモモを収穫し出荷している産地は存在する。品質的に優れるが、傷みやすい点は否めない。完熟に近いモモの品質を保持して大規模に流通させるには、垣内(1981b)も指摘するように、コールドチェーンの現状からみて15~20℃で流通させるのが最良と考えられる。この温度帯では常温より品質保持期間が2~3倍に延び、消費者により美味しいモモを提供できる。また、適熟で収穫したモモでも、収穫後は急速に軟化し1~2日後には収穫直後の樹上で完熟した果実より果肉硬度が低下するので、追熟果実は傷みやすいことを念頭において出荷作業にあたる必要がある。

以上の結果、糖度が高く、渋味が無く、日持ちの良いモモを生産するためには、Nの遅効を避け、モモ樹を過不足の無い適正な栄養状態に維持し、出荷方法に応じた適正な熟度で収穫することが重要である。さらに、吉田(1971, 1980)が述べているようにモモ樹の地下部と地上部のバランスをとることが重要であり、肥培管理のみならず、せん定方法や土壌の物理性の改善といった栽培管理が総合されて初めて、真に美味しいモモの生産が可能になると考える。

摘 要

岡山県産モモの食味向上を目的に、樹の栄養状態と果実品質との関係を現地調査するとともに、より熟度の進んだ果実を収穫、出荷する方法について検討した。得られた知見の概要は以下のとおりである。

1. 糖度の高いモモを生産するための栄養診断技術開発

(1) モモ果実糖度に日照時間と降水量が及ぼす影響

岡山県南部の糖度センサーを導入した産地において、1993～1998年における‘清水白桃’の糖度(°Brix)と日照時間および降水量との関係を解析した。選果場における平均糖度は、日照時間が多く降水量の少ない年ほど高く、年次間差は最大で2.6°であった。一方、同一年次における糖度の生産者間差は最大で4.6°であり、気象要因以上に栽培環境要因による影響の方が大きいことが明らかになった。年次別の平均糖度と日照時間および降水量との重回帰分析において、平均糖度と高い重相関係数(R)を示したのは、7月中旬～8月上旬の日照時間と降水量であった(R=0.994)。日照時間と降水量が選果場における平均糖度の年次間差2.6°に寄与する割合は、得られた重回帰式から推定して、日照時間による変動が最大1.8°、降水量による変動が最大0.8°であり、降水量よりも日照時間による変動の方が大きかった。

(2) モモ樹の栄養状態が果実品質に及ぼす影響

モモ樹のNおよびK栄養状態が、収穫果実の糖度、果肉硬度、並びに果実肥大に及ぼす影響を岡山県南部の‘清水白桃’園で調査した。収穫果実の糖度と葉中NおよびK含量並びに果汁中N含量との間にはそれぞれ有意な負の相関が認められた。満開60日後の葉中NおよびK含量が多い樹ほど新梢の伸長停止が遅く、徒長枝の発生が増加し、糖度が低い傾向にあったが、満開60日後の葉中N含量が多くても、その後の葉中N含量の減少が大きい樹では比較的糖度が高かった。逆に、満開60日後の葉中N含量が少なめで徒長枝の発生が少ない樹でも、土壌中の可給態N含量が多く、Nの遅効が推察される園地では糖度が低かった。また、満開120日後(果実収穫期)の葉中NおよびK含量が多い樹ほど、果実発育第3期の肥大率が優れ、収穫果実の軟化が進行している傾向にあった。モモ樹の栄養状態の年次変動と糖度の年次変動との関係を解析した結果では、当年の葉

中N含量や果汁中N含量が前年よりも減少した樹ほど糖度が上昇する傾向が認められた。これらの結果から、収穫果実の糖度には、生育初期と果実成熟期の栄養状態が相互に影響しているものと推察された。

(3) 糖度の高い果実を生産するための栄養診断指標

‘清水白桃’について糖度が高い果実を生産する園地と糖度が低い果実を生産する園地の実態調査並びに糖度の低い果実を生産する園地の改善試験結果から、糖度が高い果実を安定して生産するための栄養診断指標を作成した。葉中のNやK含量並びに収穫果実果汁中のN含量が多い樹では糖度が低く、少ない樹では糖度が高い傾向にあったが、NやKが少な過ぎると果実の肥大不良や渋味の発生が認められた。糖度の高い果実を安定して生産するための目安は、葉中のN含量が満開60日後頃で2.6～3.2%、120日後頃で2.2～2.7%、K含量が満開60～120日後頃で2.0～2.9%、収穫果実中のN含量が果汁100 ml当たり40～60 mgの範囲にあると推察された。また、葉緑素計値でNの過剰は診断できないが、Nの不足は診断可能であり、適正な葉緑素計値は満開60～150日後頃で40以上と推察された。生産者自らが栄養診断を行う目安としては、葉の大きさが手軽な指標となり、適正な栄養状態の葉の大きさは、重さ約1.0 g、葉身の長さ16.0～17.0 cmで、18.0 cm以上は栄養過多、15.0 cm以下は栄養不良と診断されると考えられた。

(4) 近赤外分光法によるモモ樹の栄養診断の迅速化

近赤外分光法によるモモ葉分析の簡易迅速化について検討した。園地、品種および生育時期の異なる葉を3か年に渡り採取し、生葉と乾燥粉碎した葉の近赤外スペクトル(1100～2500 nm)を測定し、葉中無機成分含量を推定する検量線を、2次微分スペクトルを用いた重回帰分析により作成した。乾燥粉碎した葉の近赤外反射スペクトルから作成した検量線の精度は、Nが相関係数(r) 0.99と最も高く、次いでCa(r=0.94)、K(r=0.89)、Mg(r=0.79)、P(r=0.75)の順であり、Nは実用性が非常に高く、Ca、KおよびMgについても十分な実用性があると判断された。一方、生葉の近赤外透過スペクトルから作成した検量線の精度は、水分含有率がr=0.99と最も高く、次いで葉の厚さ(r=0.98)、N(r=0.96)、Ca(r=0.85)、P(r=0.84)、K(r=0.73)、Mg(r=0.64)の順であり、水分、N、Caについては実用性が高いと判断された。近赤外分光法によるN分析時の標準誤差(SEP)は乾燥葉、生葉それぞれ、

0.05%、0.11%であった。検量線の作成において、乾燥葉並びに生葉ともに、Nではタンパク質の吸収に帰属する2180 nmか2050 nm近辺の波長を第1波長に選定することにより検量線の精度が向上した。

2. 高品質なモモの出荷技術開発

(1) モモの渋味の非破壊評価

モモ果実の渋味の近赤外分光法による非破壊測定の可能性について検討した。モモの渋味は果肉中の全ポリフェノール含量と相関が高く、全ポリフェノール含量が100 g当たり約110 mg以上で強い渋味を感じた。そこで、モモ果実中の全ポリフェノール含量の推定を400~1100 nmの反射スペクトルから試みたが、誤差が大きく測定不可能と考えられた。しかし、モモのポリフェノールの主要な構成成分であるカテキンとクロロゲン酸水溶液の1100~2500 nmの透過スペクトルを解析すると、1664 nmと1730 nm付近に相関の高い波長域が存在した。そこで、モモ果実の1100~2500nmの反射スペクトルによる解析を行ったところ、1720 nm付近に全ポリフェノール含量と相関の高い波長域が存在し、重回帰分析による全ポリフェノール含量の推定精度は、 $r=0.80$ 、 $SEP=14.7 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}\text{FW}$ と比較的高く、モモ果実の渋味を非破壊的に判別できる可能性が高いと考えられた。

(2) 樹上での果実のクロロフィル含量の非破壊測定による熟度判別

樹上でのモモ果実のクロロフィル含量の非破壊測定による熟度判別の可能性について検討した。モモ果実は成熟するにつれ果皮のクロロフィル含量が低下するとともに果肉硬度が低下し、同一樹から収穫した果実では両者間に高い相関関係が認められた。この相関関係はモモ樹のN栄養状態により変動する点に注意を要

するが、携帯型のクロロフィル計により樹上での果実熟度の判別が可能と考えられた。

(3) 収穫果実の日持ち性の光学的評価

果実の日持ち性を光学的に評価し、モモ樹のN栄養状態と日持ち性との関係を調査した。収穫後、果実の内部拡散反射スペクトル測定時の電圧は徐々に上昇し、果実の光透過性の増大が観察された。この収穫後における果実の光透過性の変化は、果実が軟化し物理的な貫入抵抗値の変化を評価できなくなった後も継続しており、果実の日持ち性の評価に有効と考えられた。葉中N含量が高い樹から収穫した果実は、葉中N含量が低い樹から収穫した果実に比べ、果実のクロロフィル含量が同程度でも、内部拡散反射光測定時の電圧が高く、果肉硬度が低く、日持ち期間が短かった。

(4) 完熟モモ流通のための収穫適期、鮮度保持および輸送方法の検討

完熟したモモの出荷技術を確認するために、成熟に伴う果実品質および果肉硬度の変化、収穫時の熟度と貯蔵温度が収穫後の日持ち性に及ぼす影響について検討を行い、実際にトラック輸送を試みた。完熟モモの収穫適期は、果実肥大がほぼピークに達し、果皮の緑色が梗あ部まできれいに退色した時期であり、その時期は現行の機械選果用に収穫する熟度に達してから4~6日後、手選果用に収穫する熟度に達してから2~3日後に相当した。収穫後、完熟モモは室温下で容易に軟化したが、5℃以下の温度条件下では軟化が抑えられた。完熟モモの食味を良好に保持できる期間は室温では約2日間、0℃では約10日間であった。上述で定めた時期に収穫した完熟モモを、5℃以下の温度設定で、岡山から大阪と京都へ往復輸送した結果、完熟モモの硬度と風味は十分に維持され、果実の傷みもなかった。

引用文献

- 青柳光昭・牧野 朗・佐藤治郎 (1976) モモ果実の品質保持に対する低温流通の効果. 園学雑, 45 : 89-96.
- 朝倉利員・児下佳子・土田靖久・福田浩幸 (2004) ブドウの糖度, 着色は果房を低湿度条件にすることにより促進される. 園学雑, 73 (別1) : 237.
- Ben-Arie, R., S. Lavee and S. Guelfat-Reich (1970) Control of wooly breakdown of 'Elberta' peaches in cold storage by intermittent exposure to room temperature, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 95: 801-803.
- 千々和浩幸・林 公彦・牛島孝策 (1995) モモの果実糖度に関する年次気象適応性の品種間差異と気象要因. 福岡農総試研報, 14 : 146-149.
- 中馬 豊・キョウセイイン・岩元睦夫 (1974) 果実の光学的性質とその選別工程への利用 (第1報) 温州ミカン表皮色の判定に適する透過分光波長. 農機誌, 35 : 416-423.
- 中馬 豊・河野澄夫・キョウセイイン (1976) 果実の光学的性質とその選別工程への利用 (第2報) 温州みかんの光反射特性. 農機誌, 37 : 587-592.
- Cummings, G. A. and J. Reeves (1971) Factors influencing chemical characteristics of peaches. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 96: 320-322.
- 土橋一男 (1991) 非破壊検査導入の狙いと経緯. 食品流通技術, 20 (9) : 50-59.
- 福田 照・近藤権一 (1957) 桃樹の栄養に関する研究 (第4報) 結果樹に及ぼす3要素施用濃度および比率の影響. 京都大園芸学集録, 8 : 16-23.
- 古井シゲ子・渡辺登志彦・藤原多見夫・平田克明 (1982) 果樹栄養診断に関する研究 第1報ブドウ・デラウェアの高生産樹特性. 広島果試研報, 8 : 23-29.
- 後藤 正・小柳津 勤・中村順行・夏賀元康 (2001) 近赤外法によるチャ生葉のカテキン類含量の定量. 非破壊計測シンポ講要, 17 : 188-189.
- Haji, T., H. Yaegaki and M. Yamaguchi (2001) Changes in ethylene production and flesh firmness of melting, nonmelting and stony hard peaches after harvest. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 70: 458-459.
- Haji, T., H. Yaegaki and M. Yamaguchi (2004) Varietal differences in the relationship between maturation characteristics, storage life and ethylene production in peach fruit. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 73: 97-104.
- 堀内正美・佐藤克昭・佐藤展之・鈴木義彦 (1991) 近赤外分光分析法による温室メロンの生育中の葉中成分含有率及び果実糖度の簡易測定. 静岡農試研報, 36 : 47-55.
- 池田彰弘 (1997) 土壌・栄養診断に基づいた水稻の合理的施肥管理. 農業および園芸, 72 : 999-1005.
- 今井克彦・日置雅之 (1996) セロハンテープを貼付した水稻生葉の近赤外分光計による栄養診断. 愛知農総試研報, 28 : 43-46.
- 今井克寿 (1991) 非破壊検査導入のインパクトと産地の变化. 食品流通技術, 20 (10) : 50-55.
- Ishida, M., A. Inaba and Y. Sobajima (1971) Seasonal changes in the concentration of sugars and organic acids in peach fruits. *Sci. Rep. Kyoto Pref. Univ. Agr.*, 23: 18-23.
- 石田雅士・稲葉昭次・傍島善次 (1982) モモ果実の光合成による¹⁴C¹⁴O₂の取り込みについて. 京都府大学報農学, 34 : 6-10.
- 石田雅士・稲葉昭次・傍島善次 (1985) モモにおける同化物質の枝梢及び果実への転流と蓄積について. 京都府大学報農学, 37 : 163 - 171.
- 石原正義 (1982) 果樹の栄養生理. 農文協, 東京, 370p.
- 石谷孝佑 (1995) クロロフィルの変色, 食品の変色の化学 (木村 進・中林敏郎・加藤博通 編). 光琳, 東京, pp.159-185.
- 伊藤 茂・大竹良知・鬼頭勇夫 (1997) 近赤外分光法による不完全甘ガキ「西村早生」の渋果判別. 愛知農総試研報, 29 : 213-218.
- 岩元睦夫・早川 昭・河野澄夫・木村 進 (1979) 色むらのあるトマト表皮色の色彩判定について. 日食工誌, 26 : 156-161.
- 岩元睦夫・河野澄夫・魚住 純 (1994) 近赤外分光法入門. 幸書房, 東京, 168p.
- Jia, H., K. Hirano and G. Okamoto (1999) Effects of fertilizer levels on tree growth and fruit quality of 'Hakuho' peaches (*Prunus persica*). *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 68: 487-493.
- Jia, H., G. Okamoto and K. Hirano (2000) Effect of amino acid composition on the taste of 'Hakuho' peaches (*Prunus persica* Batsch) grown under different fertilizer levels. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 69: 135-140.
- 垣内典夫 (1981a) モモの貯蔵と加工 [1]. 農及園, 56 : 193-197.
- 垣内典夫 (1981b) モモの日持ち性と今後の流通技術

- 上の課題. 食品工業, 24 (14) : 42-47.
- 垣内典夫・時田哲二・田中敬一・松田好祐 (1981) モモ果実の熟度と呼吸, エチレン生成及び諸成分との関係. 果樹試報A, 8 : 57-77.
- 各務裕史・片岡正治・繁田充保・海野孝章 (1984) 開発果樹園 (ブドウ・モモ) の生産性向上技術 [4] モモの生育適正化技術①. 農業および園芸, 59 : 1500-1504.
- 各務裕史・岡本康博. 成熟期の土壌水分がモモの品質に及ぼす影響 (1985) 園学要旨, 昭60秋 : 50-51.
- 梶浦一郎 (1972) モモの低温貯蔵障害に及ぼす温度と貯蔵前追熟処理の影響. 日食工誌, 19 : 31-33.
- 梶浦一郎・岩田正利 (1971) 果実に及ぼすガス濃度の影響 (第2報) 白肉桃大久保果実に及ぼす酸素濃度の影響. 園学雑, 40 : 85-93.
- Kamishikiryo, H., K. Hasegawa and T. Matoba (1991) Stability of 2170 nm as a key wavelength for protein analysis by near infrared spectroscopy. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 38: 850-857.
- 加納純孝 (1972) モモの流通と低温利用について. 岡山農試時報, 632 : 147-151.
- 加藤宏郎 (1993) 高周波インピーダンスによる農産物の非破壊鮮度判定 (第3報) 浸漬比較法による青果物の非破壊内部品質判別. 農機誌, 55 : 75-82.
- 加藤公道 (1984) 果実品質を左右する条件, 農業技術体系果樹編6モモ基本技術編. 農文協, 東京, pp.43-48.
- 加藤公道・佐藤良二 (1975a) モモの予冷と低温貯蔵. 福島園試研報, 5 : 11-22.
- 加藤公道・佐藤良二 (1975b) 異なる温度での白肉桃の追熟生理. 園学雑, 44 : 89-97.
- Kawano, S., H. Watanabe and M. Iwamoto (1992) Determination of sugar content in intact peaches by near infrared spectroscopy with fiber optics in interreflectance mode. J. Japan. Soc. Hort. Sci., 61: 445-451.
- 木村 剛・依田征四・高木伸友 (1996) モモの果実糖度及び果実重に及ぼす着果位置, 受光量などの樹内要因の影響. 近畿中国農研, 91 : 75-79.
- 北野欣信・前坂和夫・藤本欣司・山下重良 (1993) モモ果実の予冷による品質保持効果と長距離航空輸送の実証. 和歌山園試研報, 9 : 44-53.
- 小橋謙史 (2000) 水ストレス, アブシジン酸 (ABA) とモモ果実の糖集積. 農業および園芸, 75 : 487-495.
- Kobashi, K., H. Gemma and S. Iwahori (1999) Sugar accumulation in peach fruit as affected by abscisic acid (ABA) treatment in relation to some sugar metabolizing enzymes. J. Japan. Soc. Hort. Sci., 68: 465-470.
- Kobashi, K., H. Gemma and S. Iwahori (2000) Abscisic acid content and sugar metabolism of peaches grown under water stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 125: 425-428.
- 小池 明 (1992) 堆肥の施用が新規開園土壌の理化学性並びにモモ樹の生育と果実品質に及ぼす影響. 徳島果試研報, 20 : 11-22.
- 小曾戸和夫・飯野久栄・数見秀次郎・黒田儀三郎・松岡徹夫・蔀 花雄 (1962) 白桃の冷蔵貯蔵に関する研究 (第1報) 冷蔵障害について. 日食工誌, 9 : 162-166.
- Kubota, N. (1996) Phenolic content and L-phenylalanine ammonia-lyase activity in peach fruit. In. Modern Methods of Plant Analysis (H. F. Linskens and J. F. Jackson eds.), Vol. 18, Fruit Analysis, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 81-95.
- 久保田尚浩・岩瀬広繁 (1993) モモ '白桃' 果実における渋味発生と主枝の生育異常との関係. 岡山大農学報, 81 : 37-42.
- 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並びに気温の影響. 生物環境調節, 28 : 141-146.
- 久保田尚浩・工藤正吾 (1992) モモ果実の渋味とポリフェノール含量に及ぼす土壌乾燥の影響. 園学雑, 61 : 31-37.
- 久保田尚浩・三村博美・島村和夫 (1988) 土壌の乾燥と湛水がモモ果実のフェノール含量に及ぼす影響. 岡山大農学報, 71 : 17-21.
- Kubota, N., H. Mimura and K. Shimamura (2000) Differences in phenolic levels among mature peach and nectarine cultivars and their relation to astringency. J. Japan. Soc. Hort. Sci., 69: 35-39.
- 久保田尚浩・三村博美・薬師寺浩子・島村和夫 (1992) モモ果実における渋味発生の果樹園, 樹体および果実内部による差異. 岡山大農学報, 79 : 45-51.
- 久保田尚浩・高木真吾・工藤正吾 (1993) モモ果実のポリフェノール含量に及ぼす樹勢の影響. 園学雑, 62 : 83-88.
- 京都大学農学部農芸化学教室編 (1964) 新改版農芸化学実験書 (増補) 第三巻. 産業図書, 東京, 1093p.
- Lilleland, O., K. Uriu, T. Muraoka and J. Pearson (1962) The relationship of potassium in the peach leaf to fruit growth and size at harvest. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.,

- 81: 162-167.
- 真部正敏・金谷昌敏・樽谷隆之 (1976) 果実・そ菜の肉質に関する研究 (第2報) モモ果実の追熟に伴う肉質とペクチン質との関係について. 園学雑, 45: 97-102.
- 宮本久美 (2008) 可搬型近赤外分光器による葉中窒素測定と栄養診断法, カンキツ連年安定生産のための技術マニュアル. 近中四農研セ, pp.8-1~8-6.
- 水野和彦・石栗敏機・近藤恒夫・加藤忠司 (1988) 近赤外線反射率測定法による乾草の成分および栄養価の推定 I 成分および栄養価の推定精度とその評価. 草地試研報, 38: 35-47.
- 水野直治・南松雄 (1980) 硫酸-過酸化水素による農作物中N, K, Mg, Ca, Fe, Mn定量のための迅速前処理法. 土肥誌, 51: 418-420.
- 森口卓也 (1995) 果実の糖集積機構の解明. 研究ジャーナル, 18 (5): 11-18.
- 村田隆一 (1979) モモの施肥と品質に関する研究. 滋賀農試特研報, 12: 1-95.
- 邨田卓夫・辰巳保夫・岩本光弘・西本敏治 (1980) 本邦産果実の低温耐性と呼吸との関係について. 静岡大農研報, 30: 23-27.
- 中林敏郎 (1968) 果実およびそ菜類のタンニン成分 (第1報) バラ科果樹果実のタンニン成分. 日食工誌, 15: 73-78.
- 中林敏郎 (1995) ポリフェノール成分と変色. 食品の変色の化学 (木村 進・中林敏郎・加藤博通 編). 光琳, 東京, pp.1-157.
- 中村 準・米田健一・大沢 旭・堀田武夫 (1989) 糖度評価による果実等級選別装置の開発. 三菱重工技報, 26 (3): 1-6.
- 中村ゆり・羽山裕子・立木美保・藤路 陽・櫻井直樹 (2007) 振動法を利用したモモの非破壊硬度測定法の開発. 園学研, 6 (別1): 536.
- 夏秋道俊・柴田 萬・末次信行・藤田博行 (1991) カンキツ樹体管理のための近赤外分光法の利用 (第1報) 温州ミカンの葉中チッソ濃度の推定. 園学雑, 60 (別2): 42-43.
- 新川 猛・松村博行 (1995) 近赤外分光分析法によるカキの葉中窒素含有量の推定. 岐阜農総研セ研報, 8: 51-58.
- 岡本五郎 (1996) 果実の発育とその調節. 養賢堂, 東京, 224p.
- 岡本五郎 (2001) モモの味・香りを低下させる過剰施肥. 農及園, 76: 349-354.
- 岡本五郎・藤井雄一郎・島村和夫 (1989) ユスラウメ台モモ樹の生育と果実品質に及ぼす培養液濃度の影響. 生物環境調節, 27: 83-87.
- Okamoto, G., H. Jia, A. Kitamura and K. Hirano (2001) Effect of different fertilizer application levels on texture of 'Hakuho' peach (*Prunus persica* Batsch). J. Japan. Soc. Hort. Sci., 70: 533-538.
- 岡山県農業総合センター編 (2003) 糖度の高いモモ生産のための栽培管理指標. 岡山県農業総合センター, 岡山, 62p.
- 緒方邦安 (1977) 青果保存汎論. 建帛社, 東京, 302p.
- 恩田 匠・小宮山美弘・乙黒親男 (1996) 近赤外分光法によるスモモ果実の追熟過程の時系列分析. 日食工誌, 43: 382-387.
- 小野良允・黒田喜佐雄 (1986) カキの高品質果生産樹の栄養診断指標および葉色による簡易迅速診断法について. 奈良農試研報, 17: 11-18.
- 大倉 力・宮本久美 (2003) 農業用可搬小型近赤外分光分析装置の開発 - 生葉中の窒素・水分迅速診断への応用. 非破壊計測シンポ講要, 19: 123-128.
- 大平幸次 (1969) 必須元素, 作物栄養学 (高橋英一編著). 朝倉書店, 東京, pp.59-80.
- 太田安定・山本和子・出口正夫 (1970) カルシウム供給量, 葉位, 個体の生育段階の違いが水稻生葉内カルシウムの化学的形態別分布におよぼす影響. 土肥誌, 41: 19-26.
- 太田保夫 (1987) 農業技術体系土壌肥料編2. 作物栄養IV. 農文協, 東京, pp.12-14.
- 尾崎幸洋・河田 聡編 (1996) 近赤外分光法. 学会出版センター, 東京, 224p.
- Pavlov, D., S. Atanassova and A. Ilchev (1996) Possibilities for near infrared reflectance spectroscopy prediction of mineral content in perennial legumes by using multivariate calibrations. Analytical Laboratory, 5: 245-250.
- Proebsting, E. L., Jr., G. H. Carter, D. W. Ingalsbe and A. M. Neubert (1957) Relationship between leaf nitrogen and canning quality of Elberta peaches. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 69: 131-140.
- Saiga, S., T. Sasaki, K. Nonaka, K. Takahashi, M. Watanabe and K. Watanabe (1989) Prediction of mineral concentrations of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) with near infrared reflectance spectroscopy. J. Japan. Grassl. Sci., 35: 228-233.

- 佐藤康一・斎藤 隆・中西政則・平沢秀弥 (1995) 山形県における日本ナシ園の土壌特性と果実品質. 東北農研, 48 : 181-182.
- Shenk, J. S., I. Landa, M. R. Hoover and M. O. Westerhasus (1981) Description and evaluation of a near infrared reflectance spectro-computer for forage and grain analysis. *Crop Sci.*, 21: 355-358.
- 繁田充保・海野孝章・高野和夫 (1990) ガラス質ブドウの品質に関する研究 (第4報) 土壌中の窒素とマスカット・オブ・アレキサンドリアの品質について. 岡山農試研報, 8 : 65-67.
- 繁田充保・海野孝章・依田征四・岩田信一・大森 正 (1980) モモ果実の品質に関する研究 (第1報) 葉果比が果実の肥大及び呼吸強度並びに品質 (糖, 酸など) に及ぼす影響. 近畿中国農研, 59 : 32-35.
- 繁田充保・海野孝章・依田征四 (1991) モモの果実品質に関する研究 (第2報) 栽培条件の相違が果実肥大及び品質 (糖, 酸) に及ぼす影響. 岡山農試研報, 9 : 69-74.
- 末澤克彦・若林義則 (1991) モモの果実品質に及ぼす光条件の影響. 香川農試研報, 42 : 33-39.
- 鈴木勝征・山崎利彦・村瀬昭治・宮川久義・野方俊秀・水戸部 満・森田 章 (1981) 果実の成熟度判定のためのカラーチャートの作成とその利用に関する研究 (第3報) 成熟と果皮色との関係. 果樹試報A, 8 : 85-100.
- 寿松木 章・村上ゆり子・間苧谷 徹 (1990a) モモ果実のうまさと甘味に関係する要因. 果樹試報, 17 : 91-98.
- 寿松木 章・小川勝利・松永茂治・柴田雄喜・黒柳栄一・小田切克治・間苧谷 徹 (1990b) 収穫前降雨によるモモ果実の品質低下要因. 園学雑, 59 (別2) : 108-109.
- 須藤佐蔵 (1993) 農業技術体系果樹編4. オウトウ基本技術編. 農文協, 東京, pp.47-51.
- 須藤佐蔵・山口金栄・梅津英樹 (1995) オウトウ '佐藤錦' の生育診断技術に関する研究. 山形園試研報, 11 : 1-16.
- 平良栄三・上野正実・川満芳信・前田建二郎・孫麗亜 (2004) サトウキビの糖度向上に関する作物, 土壌, 生産システム学的研究第14報NIR-GIS結合システムによる糖度向上の支援. 日作記, 73 (別2) : 318.
- 平良栄三 (2009) 近赤外法を利用したサトウキビの高度生産管理システムの実用化. 近赤外フォーラム講要, 25 : 77-80.
- 高野和夫 (2002) 生葉の近赤外透過スペクトルからの葉中窒素含有率の推定. 非破壊計測シンポ講要, 18 : 170-172.
- 高野和夫 (2003a) うまいモモづくりのために「高糖度モモ生産のための栽培管理指標」から①. 果樹, 57 (1) : 8-11.
- 高野和夫 (2003b) うまいモモづくりのために「高糖度モモ生産のための栽培管理指標」から②モモの樹の生育診断と栄養診断のポイント. 果樹, 57 (2) : 12-15.
- 高野和夫 (2003c) モモの糖度選果データに基づく園地診断から明らかになったこと. 季刊肥料, 94 : 55-61.
- 高野和夫 (2004) 近赤外分光法によるモモの渋味の判別. 非破壊計測シンポ講要, 20 : 144-145.
- 高野和夫 (2007) 糖含量の高いモモの生産と鮮度保持に関する研究. 岡山大学大学院博士論文, 79p.
- 高野和夫・妹尾知憲 (2000) 近赤外分光法によるモモ生葉中無機成分の非破壊測定. 岡山農試研報, 18 : 29-33.
- 高野和夫・山本章吾 (2000) 味のよいモモ栽培のために (現地合同調査). 果樹, 54 (1) : 16-19.
- 高野和夫・安井淑彦 (2004) 携帯型クロロフィル計による果実の熟度判別. 園芸学会中四国支部 (講要), 43 : 15.
- 高野和夫・山本章吾 (2008) 高糖度モモ生産のための総合的栄養診断, 最新農業技術果樹vol.1. 農文協, 東京, pp.237-246.
- 高野和夫・森次真一・山本章吾 (2004) モモの樹の栄養状態と果実の日持ち性との関係. 園学雑, 73 (別2) : 539.
- 高野和夫・妹尾知憲・村西久美・海野孝章 (1998) 近赤外分光法によるモモ葉中無機成分の迅速測定. 近畿中国農研, 96 : 26-30.
- 高野和夫・山本章吾・森次真一・多田幹郎 (2005) 糖度の高いモモ生産のための栄養診断指標. 園学雑, 74 (別2) : 129.
- 高野和夫・繁田充保・久保田尚浩・多田幹郎 (2006) 完熟モモ流通のための収穫適期, 鮮度保持および輸送方法の検討. 園学研, 5 : 179-184.
- 高野和夫・木村 剛・山本章吾・森次真一・岡本五郎 (2007a) '清水白桃' 樹の窒素およびカリウム栄養状態と果実糖度との関係. 園学研, 6 : 515-519.
- 高野和夫・妹尾知憲・海野孝章・笹邊幸男・多田幹郎 (2007b) 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.
- 竹下 修・倉中将光・沢田真之輔・村上英行 (1975) 島根県海岸砂地地帯におけるデラウェアブドウの栄養診断に関する研究 (第3報) 生育, 果実品質, 葉内無機成分および土壌特性相互間の相関関係について. 島根農試研報, 13: 93-110.
- 田中敬一・高野 剛・野口真己・上田祐紀子 (2004a) 冷温高湿貯蔵におけるモモの香りの消失・保持 (第2報) ヘッドスペースGC-MS法による香りの測定. 園学雑, 73 (別1) : 168.
- 田中敬一・高野 剛・野口真己・上田祐紀子 (2004b) 冷温高湿貯蔵におけるモモの香りの消失・保持 (第3報) Micro Purge & Trap法による香りの測定. 園学雑, 73 (別2) : 241.
- 樽谷隆之・北川博敏 (1982) 園芸食品の流通・貯蔵・加工. 養賢堂, 東京, pp.138-144.
- 千葉 勉編 (1982) 果樹園の土壌管理と施肥技術. 博友社, 東京, 461p.
- Tomas-Barberan, F. A., M. I. Gil, P. Cremin, A. L. Waterhouse, B. Hess-Pierce and A. A. Kader (2001) HPLC-DAD-ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums. *J. Agric. Food Chem.*, 49: 4748-4760.
- 苦名 孝 (1975) 果実の生理. 養賢堂, 東京, 301p.
- 山田正純 (1978) 香川県における柑橘の栄養に関する研究 (第2報) 香川県内温州ミカン園の生育, 収量および葉分析調査成績について. 香川農試研報, 30: 13-29.
- 山本章吾 (2002) 高糖度モモ生産と土壌要因. 農耕と園芸, 57 (12) : 176-179.
- 山本章吾 (2003) うまいモモづくりのために「高糖度モモ生産のための栽培管理指標」から③モモの土壌診断のポイント. 果樹, 57 (3) : 6-10.
- 吉田賢児 (1971) モモ栽培の新技术—樹勢を基本にした管理—. 農文協, 東京, 199p.
- 吉田賢児 (1980) モモ栽培の実際. 農文協, 東京, 376p.
- 吉田雅夫 (1976) モモの品質に関する育種学的研究 III 肉質と日持ち性. 果樹試報A, 3: 1-16.
- 吉川年彦・永井耕介・須藤健一 (1991) 近赤外分光法による水稻葉の窒素, マグネシウム, カリウムの非破壊分析. 土肥誌, 62: 641-642.
- 吉松敬祐 (1993) 生葉の近赤外分光スペクトルによる稲体栄養診断. 非破壊計測シンポ講要, 9: 90-95.
- 吉岡博人 (1992) 果実・野菜組織の軟化とペクチン及びペクチン分解酵素. 日食工誌, 39: 733-737.
- 渡辺照夫 (1960) 桃の施肥法. 農及園, 35: 1909-1912.

Delicious Peach Fruit Production and Shipping Technology

Kazuo Takano

Summary

To improve the quality of peach fruit produced in Okayama Prefecture, we analyzed the relation between the quality of peaches and peach tree nutrient conditions in the fields of farmers. Then we examined the methods of shipping of the peaches that had been harvested at the fully ripe stage. Results show the following.

1. Technical development of diagnosis of nutrient condition for producing peaches with high sugar contents

(1) Influence of duration of sunshine and precipitation on the sugar contents of peach fruit

In the production region of southern Okayama, which adopted light sensors to measure sugar contents, we analyzed the correlation between sugar contents (Brix) in 'Shimizu-Hakuto' peaches and the duration of sunshine and precipitation during 1993-1998. The average Brix was quite expensive in that year because there were many periods of sunshine with little precipitation. The difference of fruit Brix between years was as high as 2.6° . However, the annual difference of fruit Brix among farmers was as high as 4.6° , which clarified that cultivation environmental factor aside from weather factors are strongly influential. Multiple regression analysis of fruit Brix, duration of sunshine and precipitation for six years, and the duration of sunshine and precipitation of a term from mid-July to the beginning of August showed a high multiple coefficient of determination ($R=0.994$) to fruit Brix. The annual changes of fruit Brix by duration of sunshine and precipitation were, respectively, 1.8° and 0.8° , as presumed from the obtained multiple regression equation. Furthermore, its change by the duration of sunshine was greater than that attributable to precipitation.

(2) Effect of peach tree nutrient conditions on fruit quality

We investigated the effects of nutrient conditions of N and K of peach trees on fruit Brix, flesh firmness, and enlargement of 'Shimizu-hakuto' peach fruits in southern Okayama. Significant negative correlation were shown between fruit Brix and leaf N content, leaf K content, and fruit juice N content. At 60 days after full bloom, a tree with many leaf N and K contents showed a tendency toward delayed stoppage of shoot elongation, increase of succulent shoots, and decrease of fruit Brix. However, even if the leaf N contents were high at 60 days after full bloom, the fruit Brix was comparatively high in a tree with large reduction of leaf N contents from 60 days after full bloom. Conversely, even if there were few leaf N contents and few succulent shoots on the tree at 60 days after full bloom, the fruit Brix was low in a part with high N contents in soil and where late response of N was expected. Moreover, at 120 days after full bloom, the tree with much leaf N and K contents showed a tendency toward an increased rate of enlargement of fruit on the 3rd growth of fruit, and decreased flesh firmness at harvesting time. The analysis of the relation between annual changes of fruit Brix and nutritional status of peach trees revealed that fruit Brix increased in trees where leaves or fruit juice N contents decreased than those in previous years. From these results, it was inferred that the nutrient conditions in the early growing period and maturation period mutually influenced the fruit Brix.

(3) Diagnostic indicator of nutrient condition for producing the peach with a high sugar contents

Using a nutritional diagnostic indicator based on results from investigations of fields producing fruits with a high sugar contents, and of fields which produce fruits with low sugar contents, and examination of improvements of fields which produce fruits with low sugar contents. The indicator for producing fruits with a high sugar contents, at leaf N contents on 60 and 120 days after full bloom will be 2.6-3.2%DW, 2.2-2.7%DW, respectively, at leaf K contents at 60-120 days after full bloom will be 2.0-2.9%DW, at fruit juice N contents on the harvesting time will be 40-60 mg · 100g⁻¹FW. Moreover, although

the excess of N could not be judged from chlorophyll leaf contents, a shortage of N can be judged if the chlorophyll-meter measured value drops below 40 at 60-150 days after full bloom. Furthermore, the leaf size is a simple index of nutritional diagnosis that the farmer can perform independently. The proper leaf size was diagnosed with weight of about 1.0 g, length of 16.0-17.0 cm; more than 18.0 cm signals an excess of nutrition. Less than 15.0 cm signifies malnutrition.

(4) Application of near infrared spectroscopy to determination of mineral contents in peach leaves

We employed NIRSystems 6500 to obtain the near infrared spectroscopic parameters in order to estimate mineral contents in peach leaves. The calibration equations were obtained by the multiple regression analysis of data of second derivative spectra from 1100 nm to 2500 nm. The calibration equations were obtained for the dry leaf, where the highest predicted correlation coefficients (r) were 0.99 (N), 0.94 (Ca), 0.89 (K), 0.79 (Mg), and 0.75 (P). On the other hand, the calibration equations were obtained for the flesh leaf, where the highest predicted correlation coefficients were 0.96 (N), 0.85 (Ca), 0.73 (K), 0.64 (Mg), and 0.84 (P). The bias-corrected standard errors of prediction (SEP) for N in dry and flesh leaf were 0.05% and 0.11% (dry weight), respectively. The correlation coefficient between fresh leaf thickness and absorbance at 1920 nm was high. Therefore, the accuracy of the calibration equations was improved with quotient mathematics by absorbance at 1920 nm. The accuracy was better at wavelength of 2180 nm or 2050 nm in N and 2004 nm in Ca, when selected as the first wavelength in the calibration.

2. Development of shipping technology of delicious peach fruit

(1) Distinction of astringency in peach fruit using near infrared spectroscopy

To establish a nondestructive method of measuring astringency in peach fruit, near infrared spectroscopy (NIRS) was attempted. In the organoleptic test, significant correlation existed between astringency and polyphenol concentration which ranged from 30 mg to 220 mg \cdot 100g⁻¹FW. Strong astringency was sensed when the polyphenol concentration in the fruit was higher than 110 mg \cdot 100g⁻¹FW. In analysis of the model solution of catechin and chlorogenic acid which are the main components of polyphenol in fruit using the second derivative transmittance spectra from 1100 nm to 2500 nm, it was found that there was a high correlation between absorbance around 1664 nm and 1730 nm and concentration of the solution. Then measurement of intact fruit by NIRS was performed using the second derivative reflectance spectra scanning from 1100 nm to 2500 nm. As a result of performing multiple regression analysis, the absorbance at 1720 nm showed high correlation with polyphenol. In the calibration equation development, the highest predicted correlation coefficient (r) was 0.80 and the bias-corrected standard error of prediction (SEP) was 14.7 mg \cdot 100g⁻¹FW for polyphenol. It can be concluded that NIRS is a promising method for determining the astringency of peach fruit.

(2) Distinction of fruit maturity by nondestructive measurement of chlorophyll contents in peach fruit on a tree

To establish a nondestructive measurement of maturity based on chlorophyll contents in peaches, visible-NIR spectroscopy was attempted. Chlorophyll contents and flesh firmness decreased as the peach fruit ripened. Each showed a high correlation in peaches that had been harvested from same tree. Although this correlation demands caution because points differed according to peach tree N nutrient conditions, it was thought that distinction of fruit maturity was possible using a portable type chlorophyll meter on a tree.

(3) Optical evaluation of the keeping quality of peach fruit

The keeping quality of peach fruit was evaluated optically and the correlation between N nutrient condition of tree and the keeping quality of fruit was examined. Postharvest, the voltage at the time of internal diffusion reflectance spectrum measurement of fruit increases gradually. Increased optical permeability of fruit was observed. This change of optical permeability of fruit postharvest increased continuously; as fruit softened, it became impossible to evaluate the change of physical flesh firmness. Nevertheless, optical permeability was considered to be effective for evaluation of the keeping quality

of fruit. When peaches harvested from a tree with high leaf N contents were compared with those harvested from a tree with low leaf N contents, even when the chlorophyll contents in fruit were the same, the voltage at the time of internal diffusion reflectance spectrum measurement of fruit was high, and the flesh firmness was low. The period during which they retained high quality was short.

(4) Examination of harvesting stage, freshness retention and transportation method for the purpose of distribution of peaches harvested at full ripe stage

To establish the optimal transportation method for peach fruit harvested at the fully ripe stage, we examined changes in fruit size, quality and flesh firmness during maturation, and the influence of harvesting ripeness and storage temperature on fruit keeping quality. In addition, we investigated truck transportation. The harvesting stage for fully ripened fruit transportation would be just before reaching the peak of fruit enlargement, indicated by fading of the green color of the peach skin in the stalk cavity. The time was comparable to the fourth to sixth day after the harvest time for machine sorting of fruit, and on the second to third day after the harvest time for hand sorting. The fully ripened fruit softened quickly at room temperature, but retained flesh firmness when stored at less than 5°C. The freshness retention period of the fully ripened fruit was about two days at room temperature, and about ten days at 0°C. When the fully ripened fruit harvested at the optimum time noted above were transported between Okayama and Kyoto under a low-temperature condition such as 5°C or less, the firmness and taste of fruits were sufficiently maintained and were not spoiled.