

ウンシュウミカン果実の果皮内成分の
動向と着色の難易に関する研究

(課題番号 61560032)

昭和62年度科学研究費補助金(一般研究C)

研究成果報告書

静岡大学附属図書館



030850135 2

昭和63年3月

研究代表者 高木敏彦

(静岡大学農学部)

目 次

緒 言	---	1
第1章 自然条件下における着色の進行と果皮内成分の動向	---	2
第1節 着色の進行に伴う果皮内成分の経時的变化	---	2
第2節 産地間、品種間における着色の早晚と果皮内成分の関係	---	5
第3節 自然条件下の着色と果皮内成分の関係	---	8
第2章 数種環境要因と着色の進行	---	11
第1節 生育期の温度要因と着色	---	11
第2節 収穫後の温度要因と着色	---	14
第3節 光要因とくに光質と着色	---	17
第4節 N, P施用と着色	---	19
第3章 果皮培養における培養条件と着色の進行	---	20
第1節 培地中の糖、Nレベルと着色	---	20
第2節 温度条件と着色	---	26
第3節 光質と着色	---	28
第4節 数種植物ホルモンレベルと着色	---	29
第1項 果実発育に伴う果皮中のホルモンレベルの変化	---	29
第2項 ホルモン剤処理による樹上果実及び培養果皮の着色	---	31
総 括	---	34
引用文献	---	37

緒 言

ウンシュウミカンの着色に関する問題は、ふるくは西南暖地における着色遅延や秋季における異常気温による着色不良などがあげられる。さらに近年、ハウス栽培の普及や極早生品種の導入等によって、果実の着色期が従来の栽培体系より大幅に前進し、高気温時に遭遇する機会が多い。このため、果実の着色遅延、不良の問題が多く発生している。

これまでに、ウンシュウミカンの着色に関しては、光、温度、土壌水分、施肥などの影響が数多く報告されている。とくに気温、樹体温、地温などの温度要因の影響が強く、高温で着色の抑制がみられ、低温で促進されると考えられている。しかし、夏季の高温時に着色する促成栽培果実の着色は、温度要因を始めとする環境要因だけの説明では不十分であり、果実の成熟生理面から検討する必要がある。

そこで、本研究では、同一品種の果実部位間、産地間及び着色期の異なる品種間の着色に伴う果皮中成分の動向を調査すると共に、それら成分の変化が着色に付随した結果なのか、或いは要因であるのかについて果皮培養実験を通じて検討した。なお、本研究は科学研究費一般C（課題番号61560032）の助成を受けて行ったものである。

研究組織

研究代表者 高木 敏彦（静岡大学 農学部助教授）

研究経費

昭和61年度	1,000千円
昭和62年度	800千円
計	1,800千円

研究発表

- (1) 学会雑誌等 未発表
- (2) 口頭発表

高木敏彦、鈴木鉄男、増田幸直：ウンシュウミカン果実のクロロフィルの消失と果皮内成分の関係。園芸学会 昭和61年4月5日

高木敏彦、増田幸直、鈴木鉄男：温度要因がカンキツ果実の着色及び果皮内糖含量に及ぼす影響。園芸学会 昭和62年4月3日

- (3) 出版物 なし

第1章 自然条件下における着色の進行と果皮内成分の動向

白石らはウンシュウミカンの着色に伴い、果汁、果皮中の糖含量が増加し、着色との間に高い相関がみられることを報告している。また、窒素の遅そ効き、高リン酸レベルによる着色不良は知られているところである。本章では、これらの成分と着色との関わりについて、着色時期が異なる果実部位別、産地別及び品種別に検討した。

第1節 着色の進行に伴う果皮内成分の経時的変化

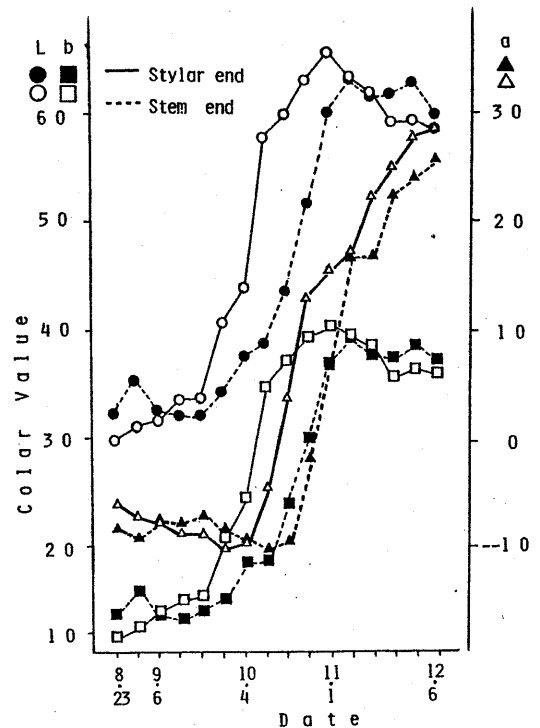
材料及び方法

静岡大学研究圃場に植栽中の宮川早生成木樹を供試し、8月下旬より1週間間隔で果実を採集した。果実は赤道面を境にして、果頂部側と果梗部側に分類し、それぞれの果皮色を測色色差計（日本電色工業社製）で果皮色を測定した。両部の果皮は乾燥後、糖、窒素及び無機成分含量の定量に供した。また、10月2日、26日に着色程度の異なる果実をそれぞれ20果採集し、果皮色および果皮中のクロロフィル、糖、窒素含量を定量し、相互間の回帰分析を行った。

実験結果

果皮の着色の進行に伴う色差計示度の変化をみると、L値、b値は脱緑開始期（9月下旬）までほぼ一定の低い値を示すが、その後急激に上昇し11月初旬にピークを示し、以後漸減した。一方、a値は10月上旬までほぼ一定の値を示し、その後収穫時まで上昇を続けた（第1図）。これらの色差計示度と着色初期におけるクロロフィル含量の関係を見ると、いずれも1%レベルで相関が認められたが、とくにb値、L値との間に高い相関係数が得られた（第1表、第2図）。

果実の部位による着色の早晚をみると、果頂部側が果梗部側に比べて1週間程度早く脱緑を開始した（第1図）。果皮中成分の動向は、着色の進行に伴いN、P、K、Mg含量は低下する傾向がみられ、一方、糖含量は著しく増加した。また、果実の部位による比較では、着色の



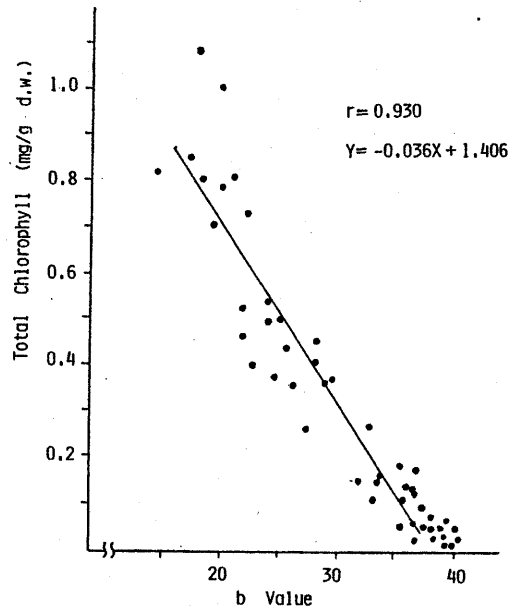
第1図 果実着色に伴う色差計示度の変化

第1表 クロロフィル含量と色差計示度の
の相関

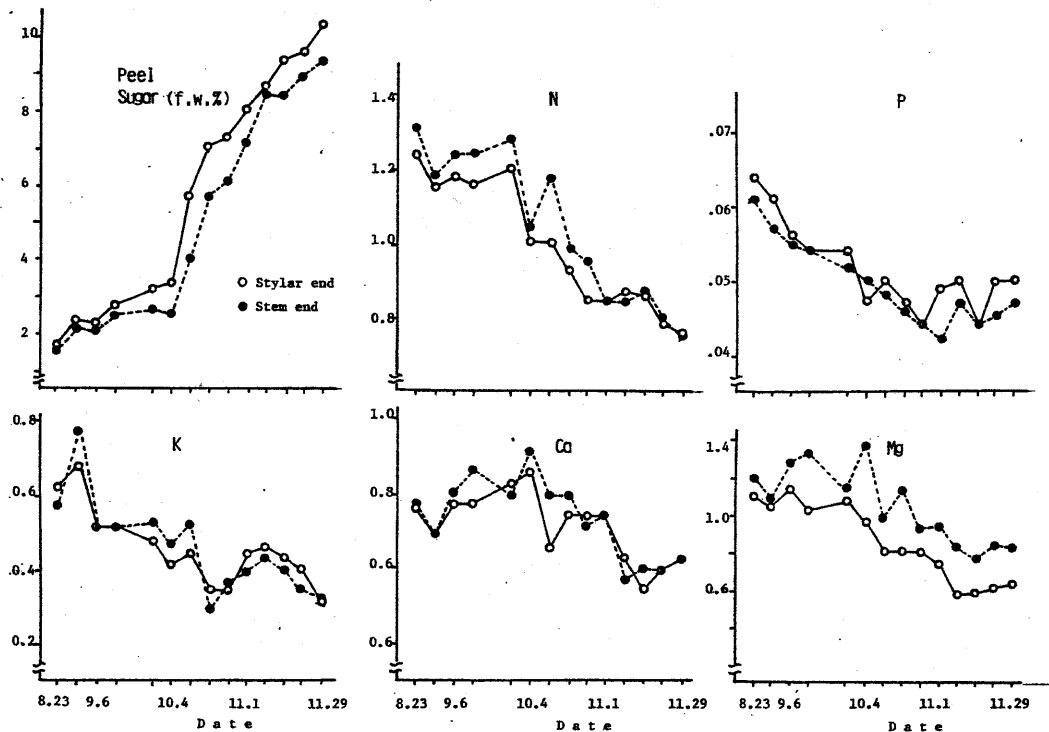
要 因	相 関 係 数 *
クロロフィル— L	-0.929
〃 — a	-0.723
〃 — b	-0.930
〃 — $\frac{a}{b}$	-0.839
〃 — $\sqrt{a^2+b^2}$	-0.908

* いずれも1%レベルで有意 $n=50$

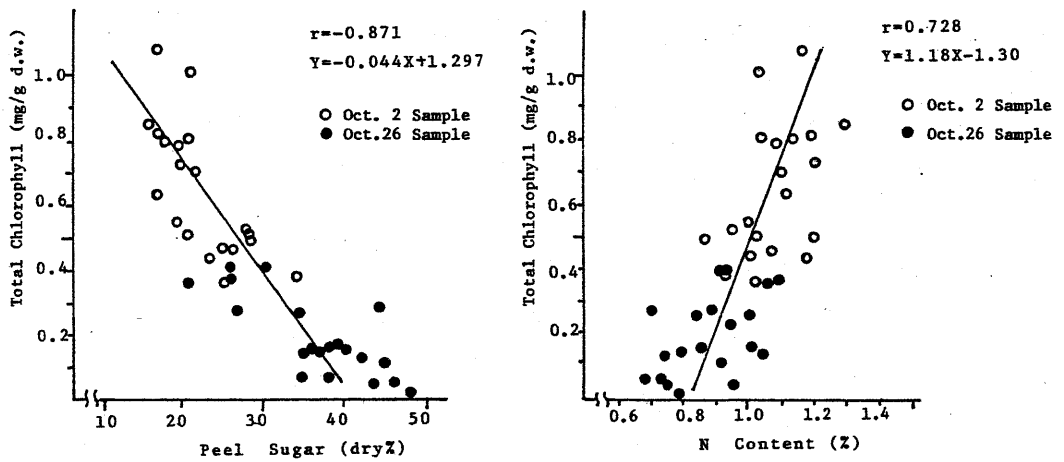
早かった果頂部側で糖含量が高く、N、Mg含量の低い傾向がいずれの時期にも認められ、とくに糖、N含量の増減パターンと着色パターンの一致がみられた(第3図)。果皮中の糖、N含量とクロロフィル含量の関係を第4図に、色差計示度との関係を第2表に示した。いずれも1%レベルで高い相関が認められた。



第2図 色差計示度b値とクロロフィル含量の相関図



第3図 着色に伴う果頂部側、果梗部側果皮の体内成分の経時的変化



第4図 果皮中の糖、窒素レベルとクロロフィル含量の相関

第2表 果皮中の糖、窒素レベルと色差計示度の相関

X項	Y項	相関係数*	回帰式
果皮全糖	L	0.895	$Y = 1.55X + 18.59$
	a	0.866	$Y = 1.68X - 37.16$
	b	0.903	$Y = 1.25X - 1.68$
	$\frac{a}{b}$	0.711	$Y = 0.04X - 1.00$
	$\frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$	0.895	$Y = 1.20X + 3.94$
果皮 N	L	-0.804	$Y = -47.32X + 95.56$
	a	-0.715	$Y = -46.05X + 42.88$
	b	-0.819	$Y = -37.00X + 64.60$
	$\frac{a}{b}$	-0.691	$Y = -1.41X + 1.20$
	$\frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$	-0.821	$Y = -38.17X + 67.55$

* いずれも1%レベルで有意 n = 50

第2節 産地間、品種間における着色の早晚と果皮内成分の関係

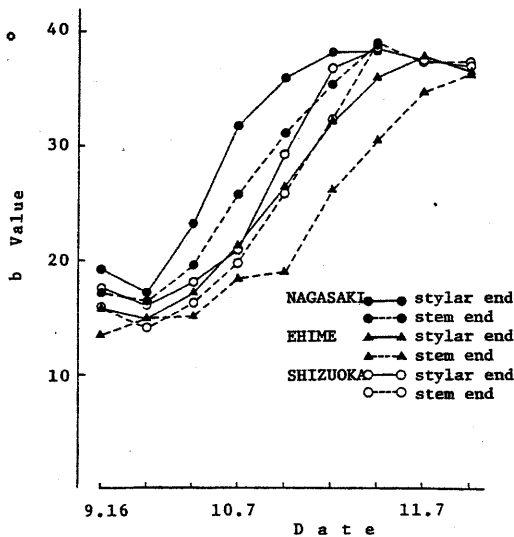
材料及び方法

— 産地間 — 長崎県果樹試験場、愛媛大学付属農場及び静岡大学実験圃場に栽植中の宮川早生成木を供試し、'87年9月16日より成熟期まで1週間間隔で果実を採集した。果実は赤道面を境に果頂部側と果梗部側に2分して、果汁成分及び果皮色、果皮内糖、N、P含量を分析した。

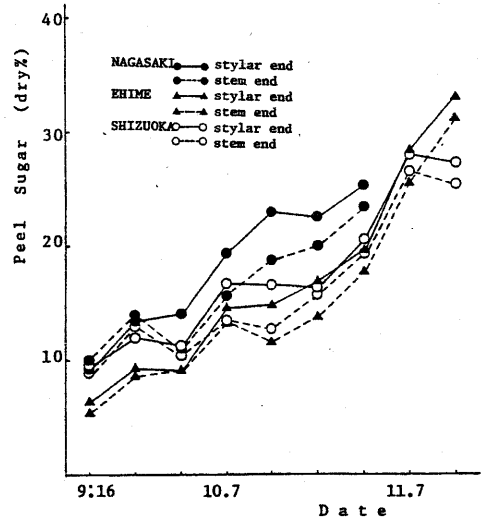
— 品種間 — 静岡大学付属農場に栽植中の極早生ウンシュウ（品種；山川、崎久保）、早生ウンシュウ（宮川、興津）及び普通ウンシュウ（大津4号、青島）について'86年8月1日より成熟期まで10日間隔で色彩色差計（ミノルタ社製）を用いて果皮色の経時変化を調査した。同時に果実を採集して、果汁成分及び果皮色、果皮内糖、N、P含量を分析した。

実験結果

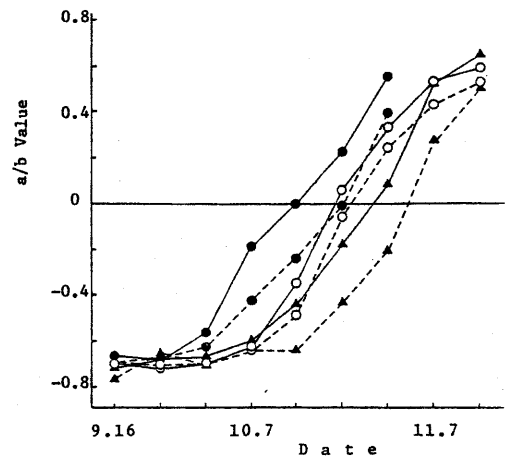
— 産地間 — 三地区の果実着色を色差計示度で比較すると、長崎で最も早く着色が進行し愛媛で遅れた。また、果実部位別ではいずれの地区も果頂部側で着色が進行した（第5図）。果皮中の糖含量は着色の遅速と良く一致しており、長崎>静岡>愛媛の順に高含量を示し、また、果頂部側で高含量であった（第6図）。逆に、N、P含量は長崎<静岡<愛媛の順に高く、またNについては果頂部側で低い値を示した（第7図）。

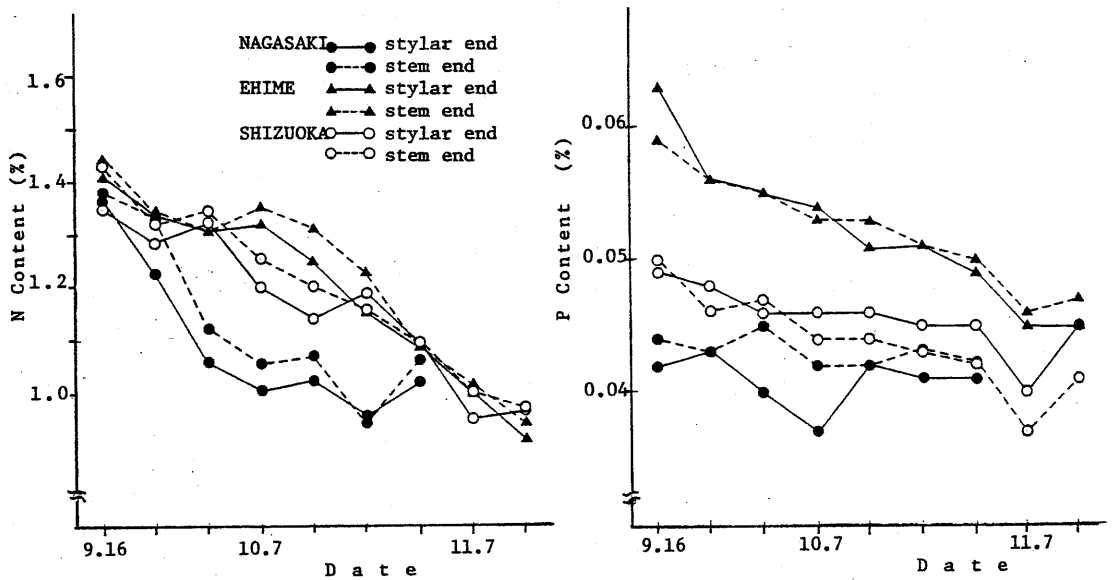


第5図 長崎、愛媛、静岡産の宮川早生果実の着色（b、a/b値）の進行



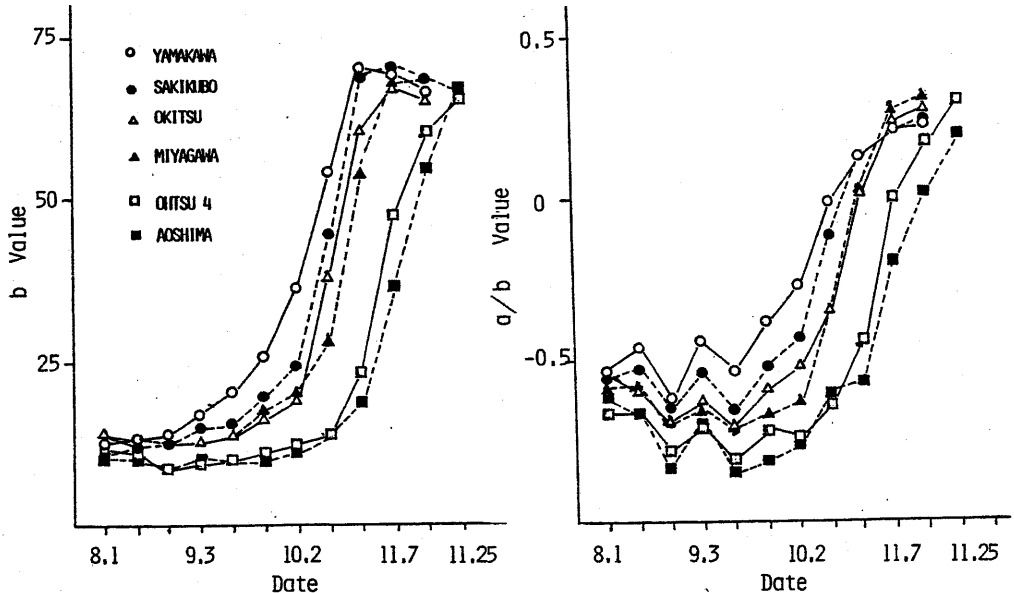
第6図 産地間における果皮中糖含量の経時変化





第7図 長崎、愛媛、静岡産の宮川早生果実の果皮内N、P含量の経時変化

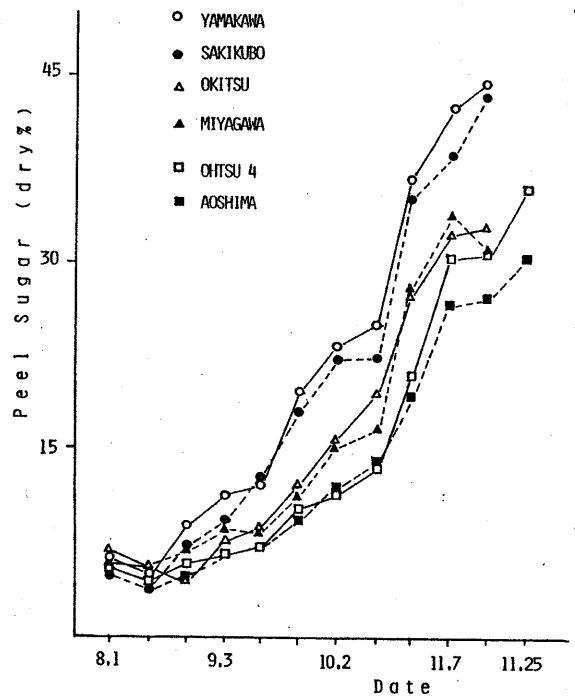
— 品種間 — 極早生> 早生> 普通の順で脱緑が開始し、それぞれ約20日の着色時期のズレが見られた(第8図)。



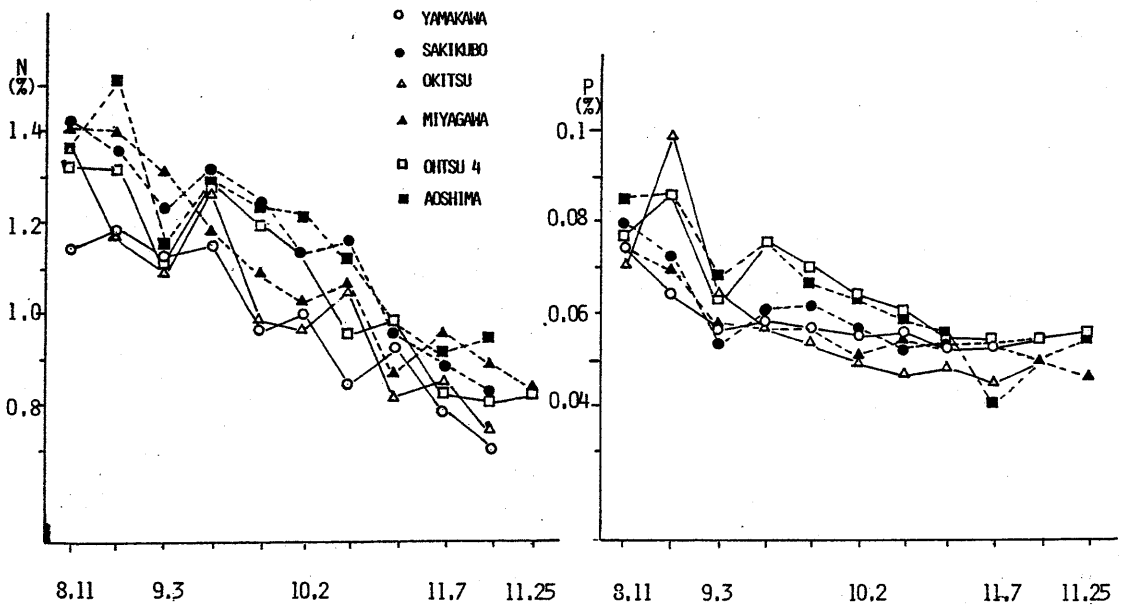
第8図 極早生、早生、普通品種の果実着色(b、a/b値)の進行

果皮中の糖含量は山川で最も早く上昇を始めたのに対して大津4号、青島で最も遅れ、着色の遅速の順序とよく一致した。また、乾物%で約13~14%の糖含量の時期

に脱緑が開始した（第9図）。
 N含量は着色の進行に伴い低下し、
 崎久保を除いて、着色の早いもの
 ほど低含量であった。P含量も、
 着色の進行に伴い低下するもの
 の着色の遅速とは一致しなかった
 （第10図）。



第9図 極早生、早生、普通品種の果皮内糖含量の経時変化



第10図 極早生、早生、普通品種の果皮内N、P含量の経時変化

第3節 自然条件下の着色と果皮内成分の関係

材料及び方法

第1章第1節及び第2節に供試した果実の果皮、果汁中の糖、酸含量及び果皮中のN、P含量と色差計示度の回帰分析を行い、それぞれの相関関係を調査した。また、産地間については、'86年10月9～13日にわたり、熊本県、和歌山県のカンキツ専業農家、愛媛大学付属農場、徳島県果樹試験場及び静岡大学付属農場（藤枝市）、研究圃場の各地より採集した宮川早生果実の分析結果についても回帰分析を行った。

実験結果

同一産地で同一品種の場合、第1章第1節の第2表に示したように、果皮中の糖含量のほうがN含量より色差計示度との間に高い相関が認められ、とくに黄色の指標であるb値との間に最も高い相関係数を示した。

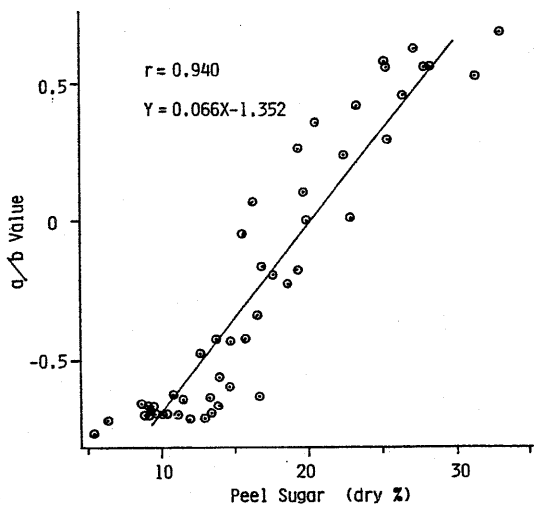
産地間については、着色前期にあたる10月中旬の調査でも、同様に果皮中の糖含量のほうがN含量より色差計示度との間に高い相関が認められ、糖含量が高いほど着色が進行した（第3表。9月中旬より成熟時までに範囲を広げた場合も同様の傾向であるが、Nとの相関が前者より上昇した。また、b値のほかに赤色の指標であるa値及び色相の指標となるa/b値との間にも高い相関係数が認められた（第3表、第11、12図）。ほぼ同時期（9月3日から成熟時）における品種間の場合についても果皮中の糖含量との間に最も相関が高く、次いで、N含量、P含量の順であった（第3表、第13、

第3表 産地、品種の異なる果実の色差計示度と果皮・果汁中の成分の相関

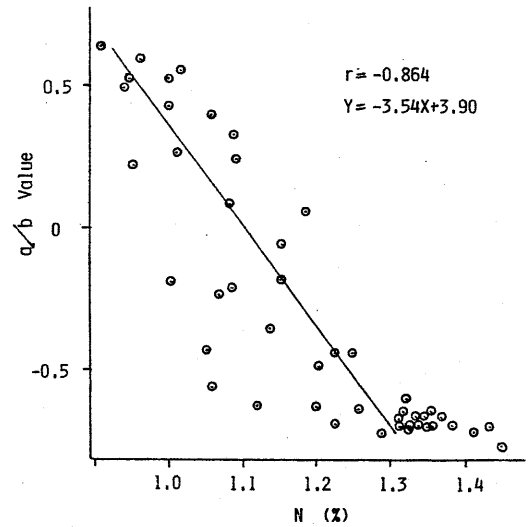
果実成分	色差計示度	相 産地間*	関 産地間**	係 数 品種間
果皮全糖	a	n=120 0.555	n=50 0.900	n=51 0.838
	b	0.734	0.881	0.947
	a/b	0.715	0.940	0.938
果皮 N	a	-0.188	-0.774	-0.719
	b	-0.408	-0.889	-0.815
	a/b	-0.306	-0.864	-0.832
果皮 P	a		-0.434	-0.416
	b		-0.576	-0.601
	a/b		-0.513	-0.639
果汁全糖	a		0.623	0.799
	b		0.799	0.842
	a/b		0.718	0.873
果汁 酸	a		-0.636	-0.514
	b		-0.830	-0.730
	a/b		-0.747	-0.732

* 1986年10月採集果実、 ** 1987年9～11月採集果実

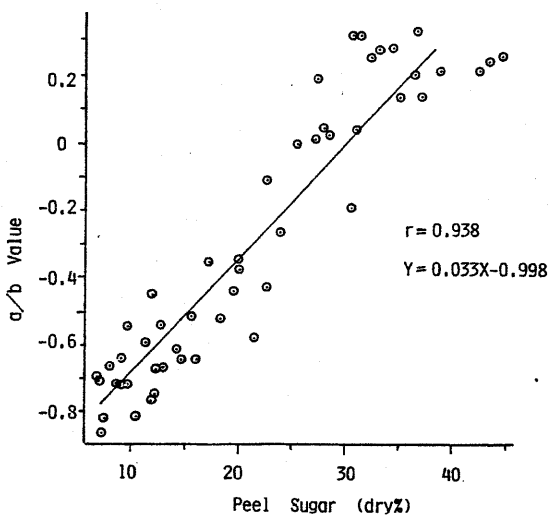
14図）。果汁中の糖、酸含量との間にも産地間、品種間で高い相関が認められたが、果皮中の糖含量と比較すると、明らかに低い相関係数を示した（第3表、第15、16図）。



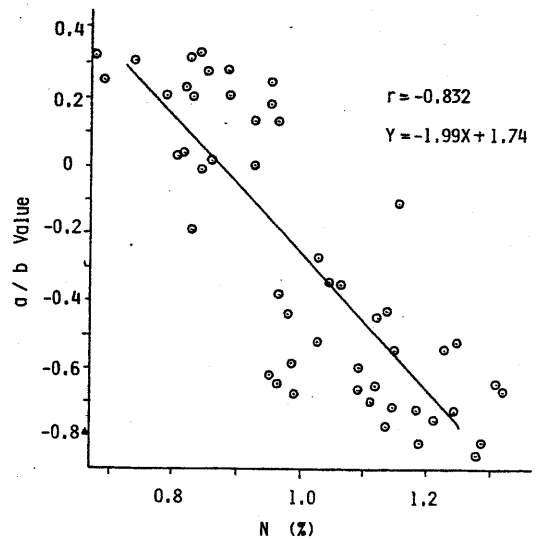
第11図 産地間における色差計示度
a/b値と果皮中糖含量の相関



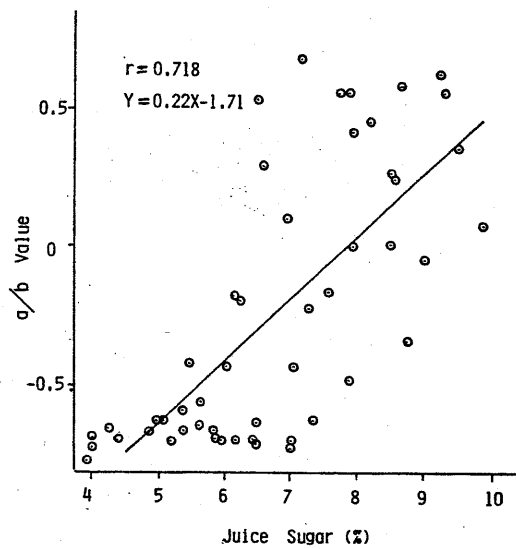
第12図 産地間における色差計示度
a/b値と果皮中N含量の相関



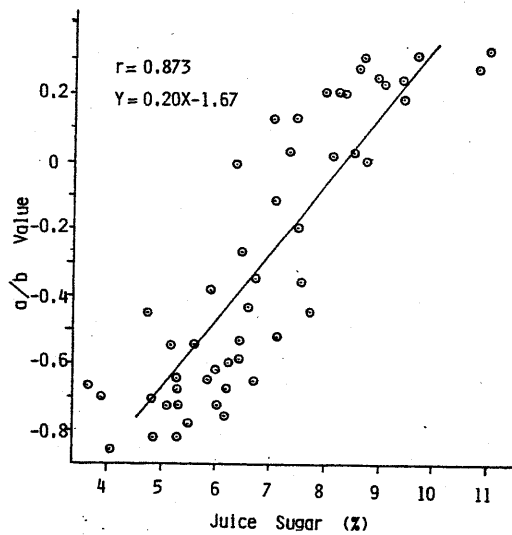
第13図 品種間における色差計示度
a/b値と果皮中糖含量の相関



第14図 品種間における色差計示度
a/b値と果皮中N含量の相関



第15図 産地間における色差計示度
a/b値と果汁中糖含量の相関



第16図 品種間における色差計示度
a/b値と果汁中糖含量の相関

第2章 数種環境要因と着色の進行

第1章において、ウンシュウミカンの着色の進行と果皮内成分との間に強い関わり合いがあることを明らかにした。本章では、着色に影響を及ぼすと考えられる環境要因を取り上げ、それら要因が着色に影響、ならびに果皮中の成分とくに糖含量及ぼすに及ぼす影響を調査した。

第1節 生育期の温度要因と着色

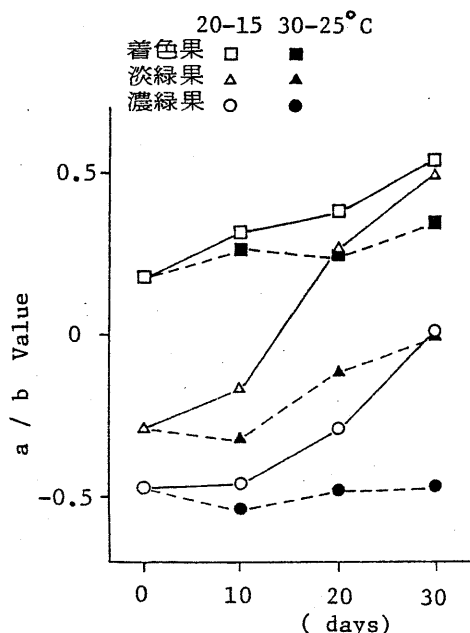
材料及び方法

— 四季橘 — ポット植え四季橘を供試し、果皮色を基準として濃緑果、淡緑果、着色果を選抜してラベルした後、'86年6月27日から7月26日までファイトトン内に搬入した。温度条件は昼温-夜温を30-25℃、及び20-15℃とした。搬入後10日間隔で果実を採取して果皮色、果皮内糖含量を測定した。

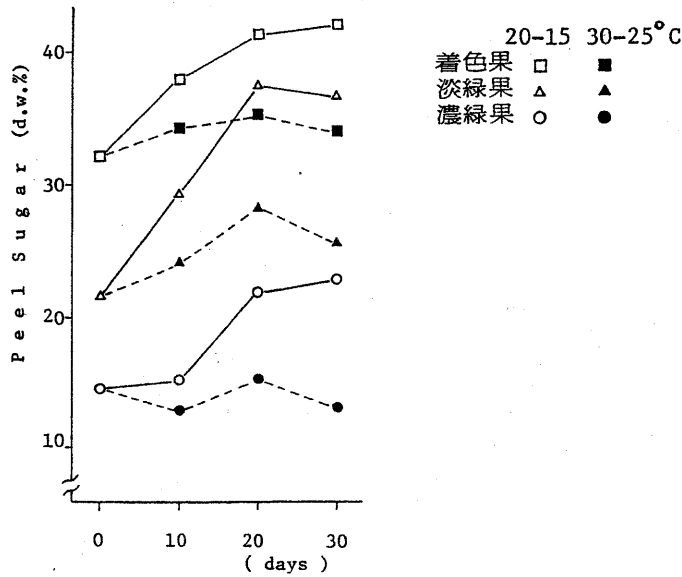
— ウンシュウミカン — ポット植え興津早生を供試し、昼温-夜温を30-25℃、及び20-15℃に設定したファイトトン内に搬入した。処理期間は'86年9月3日-10月29日までの全期間、及び9月3日-9月24日、9月24-10月16日、10月16日-10月29日の各期間搬入する区を設けた。なお処理期間以外は野外で管理した。果皮色は1週間間隔で色彩色差計を用いて測定し、果皮、果汁中の全糖含量は、9月24日、10月16日、11月11日に採取して定量した。

実験結果

— 四季橘 — ファイトトン搬入10日後には果皮色に差が認められ、いずれの発育ステージの果実も昼温-夜温が20-15℃の区で着色が促進された。その促進効果は処理終了時まで続いた。また、促進程度は搬入時淡緑果であったもので最も著しく、次いで濃緑果、着色果の順であった(第17図)。果皮中の糖含量に及ぼす影響をみると、昼温-夜温が20-15℃区ではいずれの果実も糖含量の増加がみられ、淡緑果で著しかった。一方、30-25℃区では淡緑果で僅かの増加がみられた以外ほとんど搬入時と同レベルであった(第18図)。

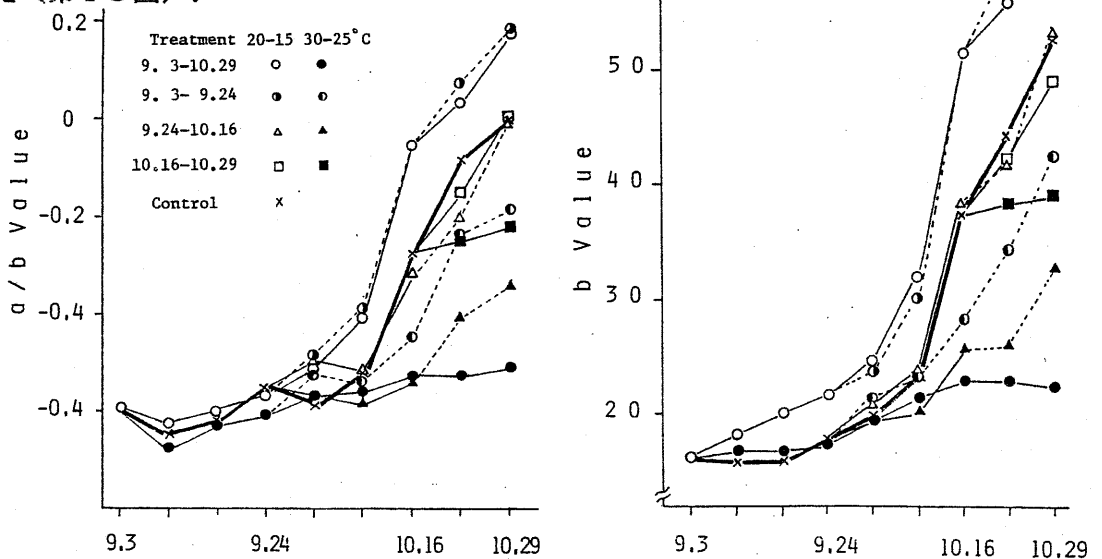


第17図 四季橘の果皮色に及ぼす温度の影響



第18図 四季橘の果皮中の糖含量に及ぼす温度の影響

— ウンシュウミカン — 30-25°C区では処理期間中ほとんど着色の進行がみられず、処理終了後野外に戻してから着色が進行したものの対照区の着色には及ばなかった。一方、20-15°C区ではいずれの時期に搬入したものでも着色が進行し、特に、9月3日からの処理区で顕著であった(第19図)。



第19図 興津早生の着色(a/b値、b値)に及ぼす温度の影響

果皮中の糖含量の増加は、対照区と比較して、30-25℃区ではいずれの時期も抑制されており、特に初期の処理では搬入時よりも減少した。一方、20-15℃区では処理期間中の糖含量の増加が著しかった。その結果11月の収穫時における果皮中全糖含量は20-15℃区で高く、30-25℃区で低かった（第4表）。果汁中の糖含量についても果皮の場合とほぼ同様の傾向であった（第5表）。

第4表 興津早生の果皮中の糖含量に及ぼす温度の影響

処 理 処理期間 処理温度		果 皮 (対乾物%)			
		一定期間中の全糖含量の増減			終了時の 全糖含量
		9/3-9/24	9/24-10/16	10/16-11/11	
9/3 - 30-25℃	-0.46	2.95	5.67	15.96	
10/29 20-15℃	3.73	10.65	5.51	27.69	
9/3 - 30-25℃	-0.46	6.80	12.85	26.99	
9/24 20-15℃	3.73	9.25	9.85	30.63	
9/24 - 30-25℃		2.80	5.75	18.59	
10/16 20-15℃		11.12	9.39	30.55	
10/16 - 30-25℃			1.38	19.94	
10/29 20-15℃			5.01	23.57	
Control	2.24	8.52	7.67	26.23	

第5表 興津早生の果汁中の糖含量に及ぼす温度の影響

処 理 処理期間 処理温度		果 汁 (%)			
		一定期間中の全糖含量の増減			終了時の 全糖含量
		9/3-9/24	9/24-10/16	10/16-11/11	
9/3 - 30-25℃	0.13	0.57	0.64	7.09	
10/29 20-15℃	1.03	2.35	1.30	10.43	
9/3 - 30-25℃	0.13	1.59	1.89	9.36	
9/24 20-15℃	1.03	1.89	2.22	10.89	
9/24 - 30-25℃		0.64	0.82	7.79	
10/16 20-15℃		1.88	1.62	9.83	
10/16 - 30-25℃			0.94	8.45	
10/29 20-15℃			1.90	9.41	
Control	0.58	1.18	2.11	9.62	

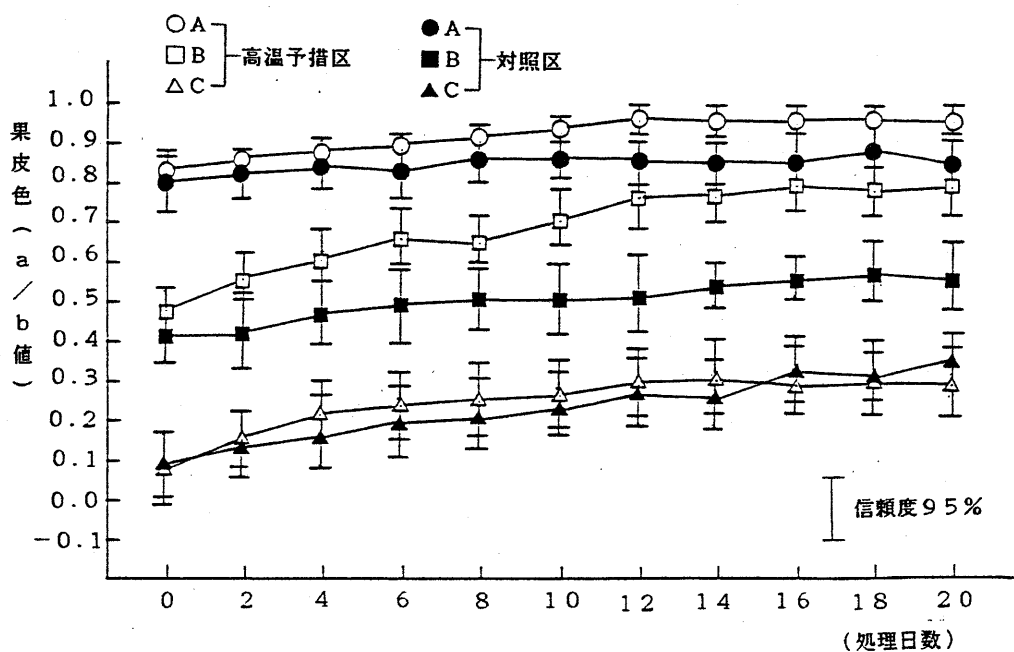
第2節 収穫後の温度条件と着色

材料及び方法

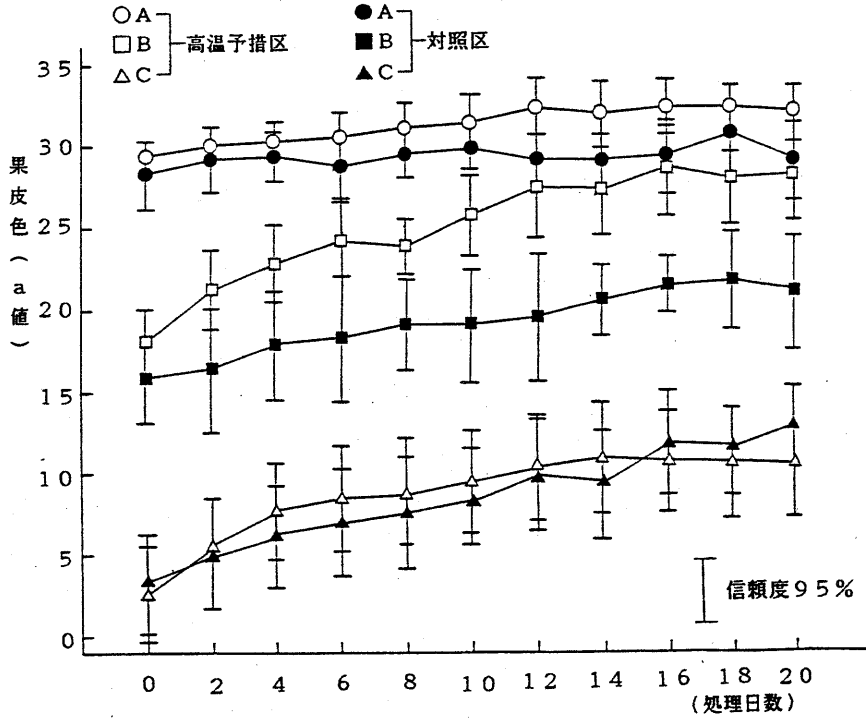
圃場栽植中の青島温州を供試し、果実を11月26日に採取し、その着色程度によって着色良好果（A：9分着色）、普通果（B：7分着色）及び不良果（C：3分着色）の3段階に区分した。果実の半数は、20℃、79%RHの恒温室に搬入し10日間の高温予措を行った後、5℃、90%RHの低温室で貯蔵した（高温予措区）。残りの半数は、対照区として5℃、90%RHの低温室で20日間貯蔵した。減量歩合及び果皮色を2日間隔で調査した。果皮色の測定には測色色差計を用いて、果実赤道面のラベルした部位の経時的变化を調査した。また、処理終了時には果皮中の糖含量、果実品質についても調査を行った。

実験結果

高温予措区では、貯蔵中にいずれの果実も着色が進行したが、とくに収穫時の着色程度が普通果（B）の場合にその効果が著しく、対照区の着色良好果（A）と同程度まで着色が促進された。一方、対照区では、着色普通果（B）及び不良果（C）において僅かに着色が進行したが、着色良好果（A）は収穫時と同程度であった。高温予措による着色促進効果は着色普通果で最も著しく、次いで着色良好果であり、着色不良果は対照区とほとんど変らなかつた（第20、21図）。



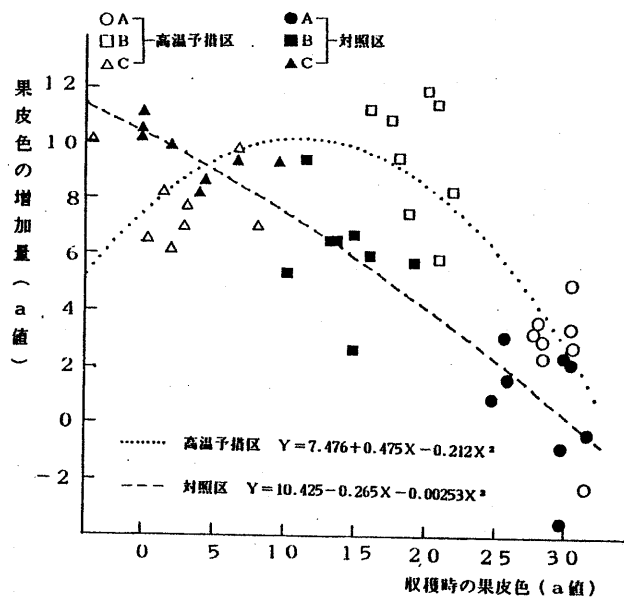
第20図 収穫後の高温予措（20℃）が果皮色（a/b値）に及ぼす影響



第21図 収穫後の高温予措（20℃）が果皮色（a値）に及ぼす影響

また、この促進効果は黄色（色差計b値）より赤色（色差計a値）の改善に依るところが大であり、回帰分析の結果、収穫時の果皮色がa値で1.1付近の場合に最大となった（第22図、第6表）。

果実の減量歩合は貯蔵庫内の湿度を反映し、高温予措区で明らかに大きくなったが着色程度による差は認められなかった。果汁中の糖含量は着色良好果、普通果では高温予措によって増加する傾向が見られた（第6表）。着色と各成分の関係をみると、果皮中



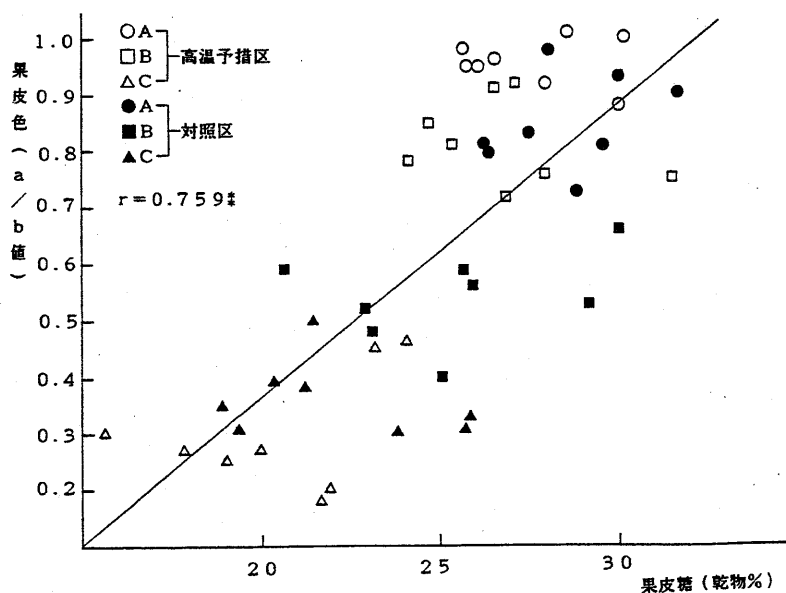
第22図 高温予措による果皮色（a値）の促進効果

の糖含量との間に最も相関が高く、次いで果汁中の糖含量であり、酸含量との間には有意な相関は認められなかった（第23図）。

第6表 高温予措が果実品質に及ぼす影響

処理区		果皮色				減量歩合 (%)	果汁糖 (%)	クエン酸 (%)
		L	a	b	a/b			
高温予措区	A	55.9c ^z	32.1a	33.6d	0.96a	6.7a	9.44a	0.73b
	B	58.6bc	28.9b	35.5bc	0.81b	6.6a	9.05abc	0.77ab
	C	59.4b	10.5d	35.3bc	0.30d	6.4a	8.31e	0.80ab
対照区	A	57.2c	29.2b	34.4cd	0.85b	3.0b	8.86bcd	0.83ab
	B	62.1a	20.3c	37.6a	0.54c	2.6b	8.78cd	0.81ab
	C	59.4b	12.8d	35.7b	0.36d	2.7b	8.41de	0.86a

^z 表中の欄の列の数字は括弧の文字が異なる場合、果型による有意差(ダンカンの多量検定、5%)があることを示す。



第23図 処理終了時における果皮中の糖含量と果皮色(a/b値)との関係

第3節 光要因とくに光質と着色

材料及び方法

— 実験1 — 本学圃場に栽植中の宮川早生を供試し、10月9日に各種着色ビニル袋（青、緑、黄、赤、黒、無色）で果実を被覆した。ビニル袋は袋内の温度上昇を避けるために穴をあけ、また、果実は樹冠外側中段のものを用いた。11月5日に収穫し、果皮色及び果汁成分について調査を行った。

— 実験2 — ポット植え興津早生を供試し、光質の異なる単色蛍光ランプ（NEC社製、白色光、青色光、緑色光、赤色光ランプ、いずれも20W）を9月9日よりそれぞれ2本樹冠上1mから補光した。照明は24時間連続照明とし、11月26日までガラス室内で管理し、1区あたり4樹とした。果皮色は色彩色差計を用いて1週間間隔で、また果実品質は11月26日に調査した。

— 実験3 — ガラス室内で管理していた興津早生の果実を11月6日に採取し、上記単色蛍光ランプ（近紫外光、青色光、緑色光、赤色光ランプ）1本を白色光ランプ1本に補光し24時間連続照明の下で11月26日まで処理を行った。温度条件は20℃とした。果皮色を5日間隔で調査した。

実験結果

— 実験1 — ビニル袋の被覆により、果皮色及び果汁成分は無被覆より劣る傾向が認められた。光質間の比較では、黄色袋が赤味（a値）の点で、また黒色袋は黄色味（b値）の点で抑制されたが、青、緑、赤色袋は無色袋とほぼ同程度の果皮色を示した。果汁の糖含量は緑、黄、黒色袋で低含量であった（第7表）。

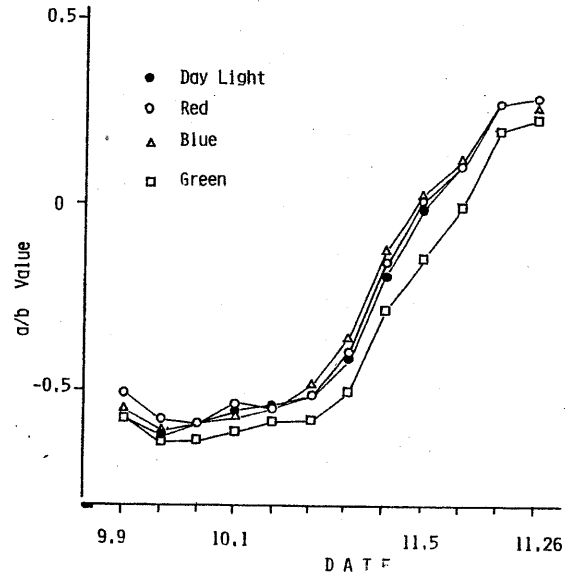
第7表 着色ビニル袋被覆が果皮色、果汁成分に及ぼす影響

	果皮色			果汁成分	
	L	a	b	糖(%)	酸(%)
Cont.	67.64ab†	13.56a	64.33bc	10.07ab	0.82a
ビニル青	68.85a	13.27a	66.94ab	10.17a	0.81a
緑	68.42ab	11.77a	66.84ab	9.77b	0.78a
黄	68.06ab	8.57b	65.78ab	9.77b	0.85a
赤	68.94a	11.90a	67.30a	9.93ab	0.81a
無黒	68.43ab	12.07a	66.12ab	9.87ab	0.79a
黒	67.24b	3.17c	62.24c	9.77b	0.81a

*縦の列の数字は右列の文字が異なる場合、5%レベルで有意差

— 実験2 — 樹上果実への青色光及び赤色光の補光により僅かに白色光より着色が促進する傾向がみられたのに対して緑色光は抑制された(第24図)。

— 実験3 — 収穫果実に対する光質の影響は、赤色光で最も着色が進行したのに対して、他の近紫外光、青色光、緑色光では進行しなかった(第8表)。



第24図 樹上果実への単色蛍光ランプの補光が着色に及ぼす影響

第8表 収穫果実への単色蛍光ランプの補光が着色に及ぼす影響

ランプ種類	果皮色 (処理後20日)			
	L	a	b	a/b
近紫外光	57.5	-0.7	33.7	-0.023
青色光	53.8	-2.7	30.8	-0.088
緑色光	56.1	-0.8	32.6	-0.012
赤色光	61.2	9.7	36.4	0.266
暗黒	62.5	6.6	36.8	0.179

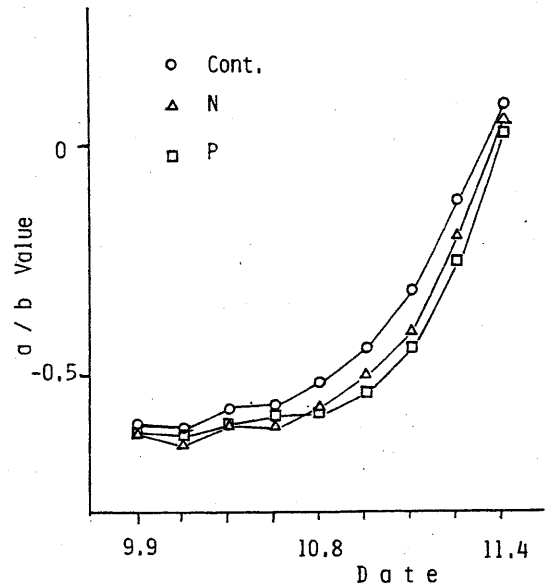
第4節 N、P施用と着色

材料及び方法

ポット植え興津早生を供試し、9月8日より1週間間隔で尿素0.5%溶液及びリン酸2アンモン1.0%溶液（いずれも展着剤として Tween20 加用）を3回葉面散布した。反復数は区あたり4樹とした。果皮色は色彩色差計を用いて1週間間隔で収穫時（11月4日）まで調査を行い、収穫果実については、果皮中の糖、N、P含量、及び果汁中の b r i x、酸含量を分析した。

実験結果

N、P各処理区ともに対照区に比べ着色の進行に遅延がみられ、収穫時の果皮色も赤味の低い果実となった（第25図）。P施用区では、果皮、果汁中の糖含量が低く、果皮中のN、P含量が高かった（第9表）。



第25図 N、P施用が着色に及ぼす影響

第9表 N、P施用が着色及び果皮、果汁中の成分に及ぼす影響

処理区	果皮色			果皮中成分 (Dry%)			果汁成分 (%)	
	L	a	b	糖	N	P	Brix	クエン酸
N散布	65.1	3.2	60.3	29.9	1.08	0.051	9.3	0.68
P散布	65.7	1.6	60.7	26.6	1.18	0.064	8.6	0.68
Control	67.8	5.1	64.4	30.0	1.06	0.050	9.7	0.74

第3章 果皮培養における培養条件と着色の進行

第1章、第2章において、自然条件下での着色と果皮内成分の関係及び、数種環境要因が着色及び果皮内成分に及ぼす影響を検討した結果、果皮内の糖、窒素及びリン含量と果実着色との間に高い相関が認められることを明らかにした。本章においては、これら成分の動向が着色に伴う結果であるのか、或いは原因であるのかを明らかにするために、果皮培養の手法を用い、培養条件を変えることによって検討を加えた。あわせて、果皮中のホルモンレベルと着色の関わりについても調査した。

第1節 培地中の糖、Nレベルと着色

材料及び方法

— 実験1 — ガラス室内に春季より搬入したポット植え興津早生樹を供試し、8月、9月、10月各月上旬に果実を採集した。果実は70%アルコール及び1%次亜塩素酸ナトリウムで殺菌後、果皮を10mm径のコルクボーラーで打ち抜き、糖、窒素組成の異なる培地に置床した。培地は糖、窒素及びホルモン類を抜いたMS培地を基本培地とし、糖は Sucroseで300mM, 150mM, 15mMの三段階、窒素については硝酸アンモニウム、硝酸カリウムをそれぞれ20.6mM, 18.8mMを加える区及びそれらを欠く区の二段階を設けた(第10表)。なお、培地の塩類濃度を均一にして、培地の浸透ポテンシャルを一定にするために、糖については mannitolで、窒素については炭酸水素カリウムで補正した。また、培地には殺菌剤として Benomylを添加した。培養は20°C 下で暗黒及び4800luxの連続照明のもとで行った。果皮色は置床時及び置床後5、10、15、20日に測色色差計で測定し、また果皮中の糖、窒素含量についても適時定量した。

第10表 処理区の培地組成

培地 No			1	2	3	4	5	6
培地	糖	Sucrose	300mM	150mM	15mM	300mM	150mM	15mM
		Mannitol	0	150	285	0	150	285
組成	窒素	NH ₄ NO ₃	20.6			0		
		KNO ₃	18.8	同	同	0	同	同
		KHCO ₃	0	左	左	39.4	左	左

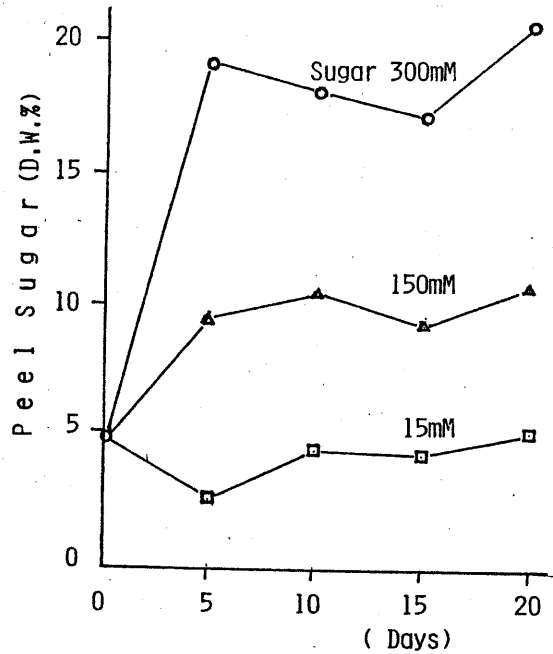
— 実験2 — 果皮切片におけるエチレン生成を抑制する目的で、ACC合成酵素の阻害剤であるアミノオキシ酢酸(AOA)を2mMの濃度で培地に添加し、他の培地組成は実験1と同様とし、20°C、暗黒下で培養を行った。

エチレン測定には、730ml容のポリエチレンボックスに、果皮を置床したシャーレ3個を封入し、一定時間ごとに容器中のガスを採取してガスクロでエチレン濃度を定量した。

実験結果

培地組成の違いによる果皮中への糖、窒素の取り込みをみると、糖は置床後、すみやかに果皮に取り込まれ5日後には培地の糖レベルを反映していた(第25図)。また、N含量についても、1~3区の窒素成分を含んだ培地の場合、2.67~2.97%の含量を示したのに対して、4~6区の窒素成分を欠いた培地では0.88~1.08%と低含量であった(10月置床区)。

置床後の果皮の着色の進行は、照明条件下より暗黒条件下のほうがいずれの時期も促進された(第11表)。



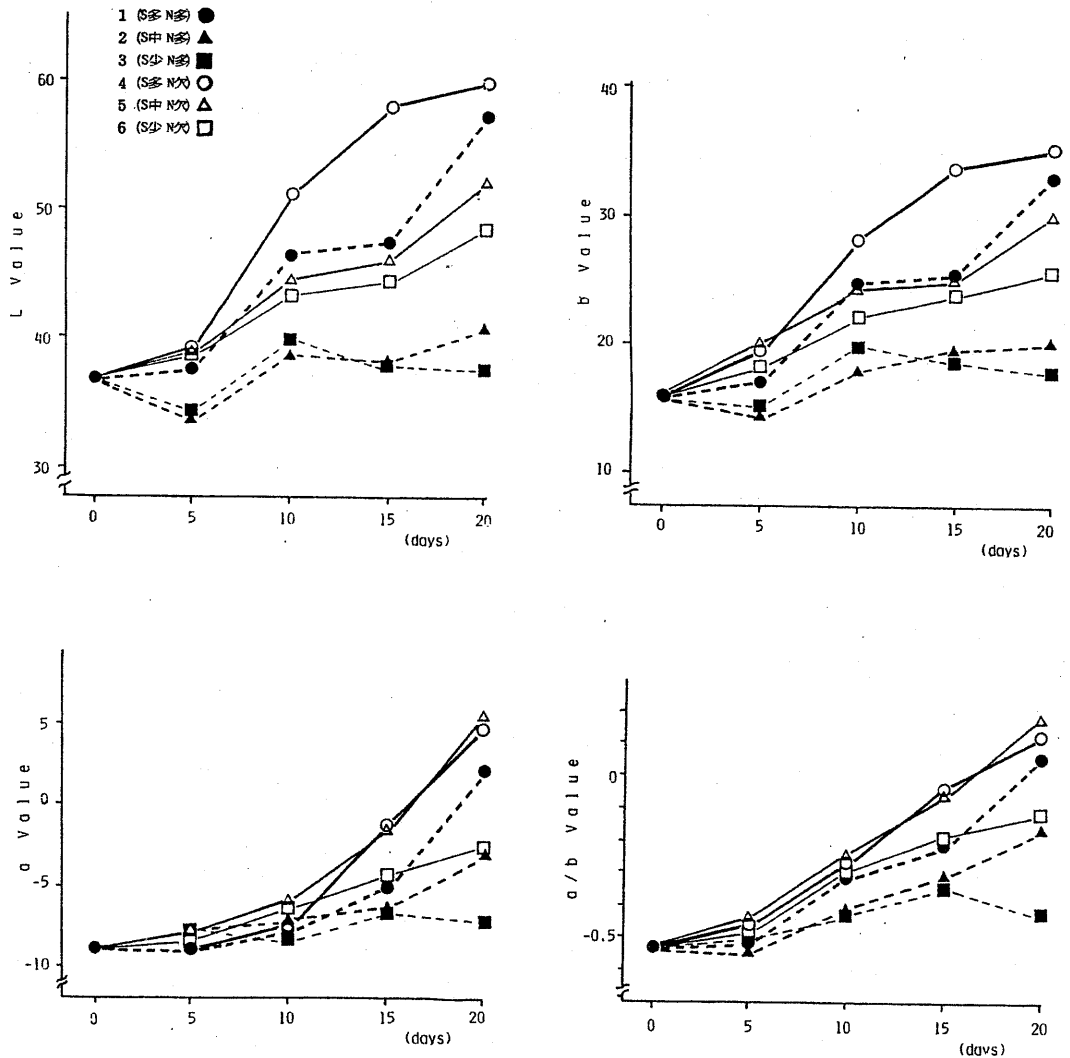
第25図 培地組成の違いによる果皮中糖含量の変化(20℃、暗黒)

第11表 培地組成、照明の有無及び置床時期の違いが着色に及ぼす影響
(置床20日後における色差計示度)

Medium No	Dark						Light						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Aug.	L	44.3	32.1	27.7	64.2	41.7	36.9						
	a	-2.07	-4.98	-3.97	-0.41	-1.47	-4.77						
	b	22.3	13.0	10.6	37.5	20.4	17.1						
Sep.	L	52.9	33.2	30.2	51.9	49.2	41.6	36.6	30.8	33.6	35.2	38.9	35.3
	a	0.50	-4.57	-4.85	2.16	3.78	-2.13	-5.55	-4.34	-5.03	-5.36	-6.13	-4.84
	b	29.2	14.2	13.9	29.0	27.5	20.9	17.0	12.5	15.6	15.6	18.8	16.9
Oct.	L	57.3	40.9	37.7	59.9	52.2	48.5	47.0	38.7	35.8	46.4	44.0	41.2
	a	1.90	-3.37	-7.52	4.48	5.47	-2.97	-5.20	-6.48	-6.05	-4.53	-5.09	-4.19
	b	33.2	20.2	17.9	35.3	30.0	26.0	25.3	18.3	16.7	24.6	23.0	21.1

* Medium NO の内容は第10表に示す

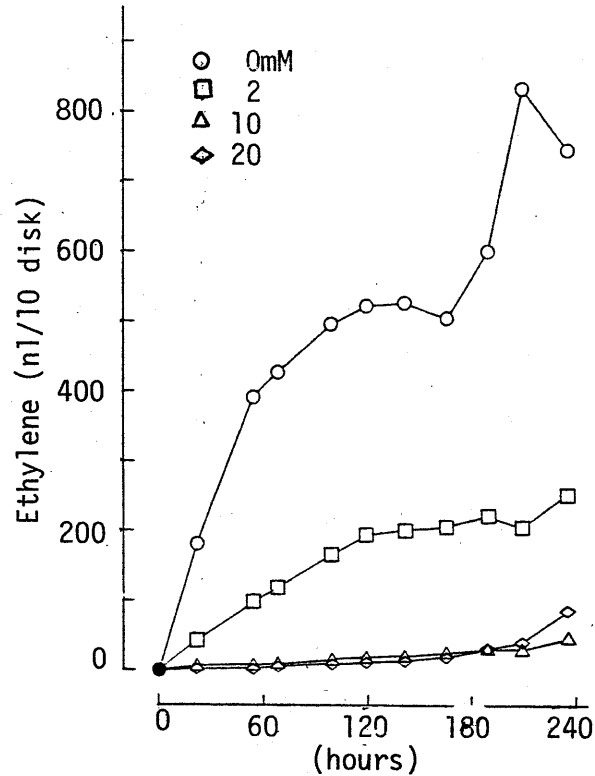
暗黒条件下では、いずれの時期においても、クロロフィルの消失はN成分を欠いた培地で早く、また、糖濃度が高い条件ほどはやく着色が進行した（第26図、第11表）。一方、照明条件下でも同様の傾向が認められたものの、全般的に着色が抑制された（第11表）。これら着色の進行は第1表に示したように、初期の変化はL、b値が良く反映しており、培養後半になってa値の変化が現れた（第26図）。



第26図 培地中の糖、N濃度が着色の進行に及ぼす影響（10月置床、20℃、暗黒条件）

— 実験 2 — 培養実験の際に果皮切片からのエチレン発生が考えられたので、この影響を軽減するためにエチレン合成阻害剤の添加について考慮した。AOAの培地への添加によってエチレン発生は抑制されたが、高濃度のものは果皮の褐変が認められたため2mMを実験に用いた(第27図)。

N成分を欠いた培地及び糖濃度の高い培地ほど、AOA添加の有無にかかわらず着色が促進された(第12、13表)。



第27図 AOAレベルが果皮のエチレン発生に及ぼす影響(6月24日置床)

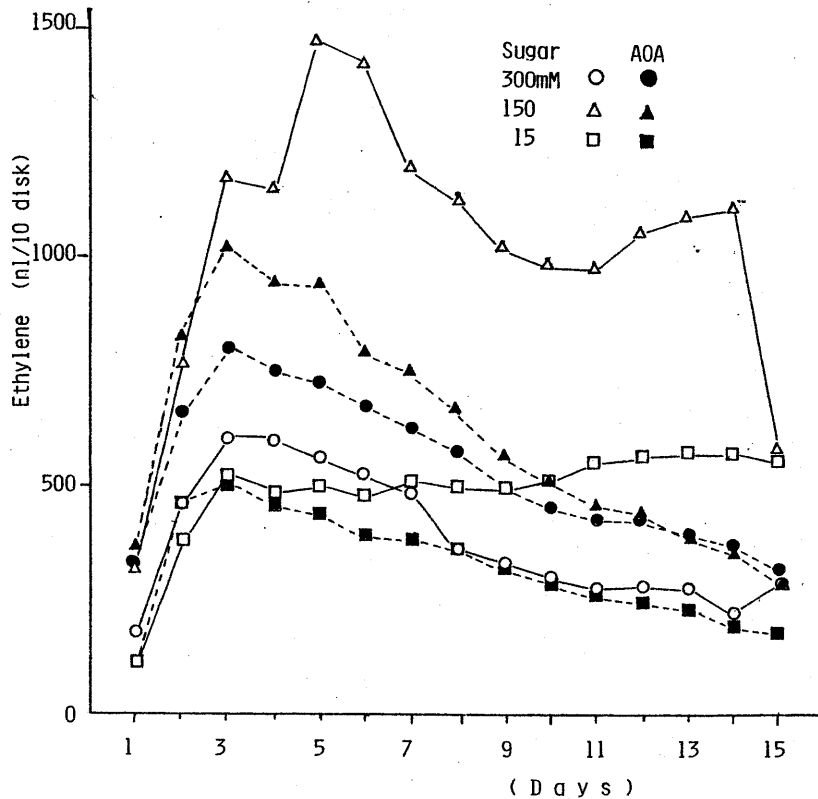
第12表 N成分を欠いた培地における糖濃度、AOA添加の有無が着色に及ぼす影響(置床20日後測定; 9月23日置床、20℃、暗黒条件)

培地組成		置床後20日の果皮色			
Sugar	AOA	L	a	b	a/b
15mM	0mM	47.8	0.3	25.8	0.012
15	2	39.0	-5.3	18.3	-0.290
150	0	49.7	3.3	26.4	0.125
150	2	57.5	6.5	33.1	0.196
300	0	61.9	6.1	35.9	0.170
300	2	58.3	5.8	33.7	0.172

第13表 N成分を含んだ培地における糖濃度、AOA添加の有無が着色に及ぼす影響（置床20日後測定；9月23日置床、20℃、暗黒条件）

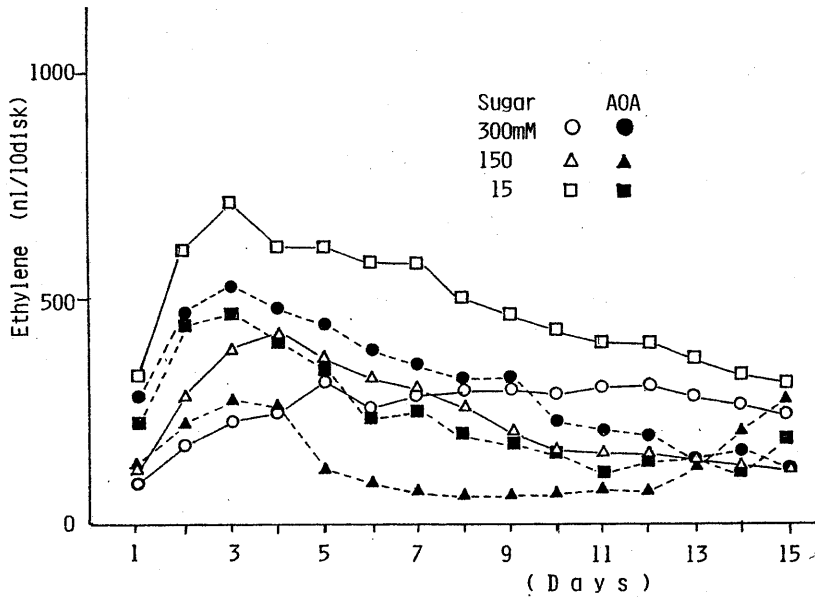
培地組成		置床後20日の果皮色			
Sugar	AOA	L	a	b	a/b
15mM	0mM	29.6	-6.3	10.5	-0.886
15	2	34.0	-6.5	14.1	-0.461
150	0	33.9	-7.9	13.9	-0.568
150	2	36.9	-7.0	16.9	-0.414
300	0	45.1	-8.5	23.1	-0.368
300	2	47.3	-9.7	24.4	-0.398

果皮からのエチレン発生は置床後3～5日にかけてピークが認められ、Nを欠いた区のほうがNを含んだ区より多く発生する傾向がみられた。一方、糖レベルの違いによる影響はNの添加の有無によって傾向が異なり、Nを欠いた区では糖150mM区で、またNを含んだ区では糖15mM区で最もエチレン発生が多かった。



第28図 N成分を欠いた培地における糖濃度、AOA添加の有無が果皮からのエチレン発生に及ぼす影響（9月23日置床、20℃、暗黒条件）

また、AOA添加による影響は糖濃度によって異なり、糖150mM及び15mM区では添加によりエチレン発生が抑制されたが、300mM区では逆に促進された(第28、29図)。これら果皮からのエチレン発生量と着色の遅速のとの間には一定の関係が認められなかった。



第29図 N成分を含んだ培地における糖濃度、AOA添加の有無が果皮からのエチレン発生に及ぼす影響(9月23日置床、20℃、暗黒条件)

第2節 温度条件と着色

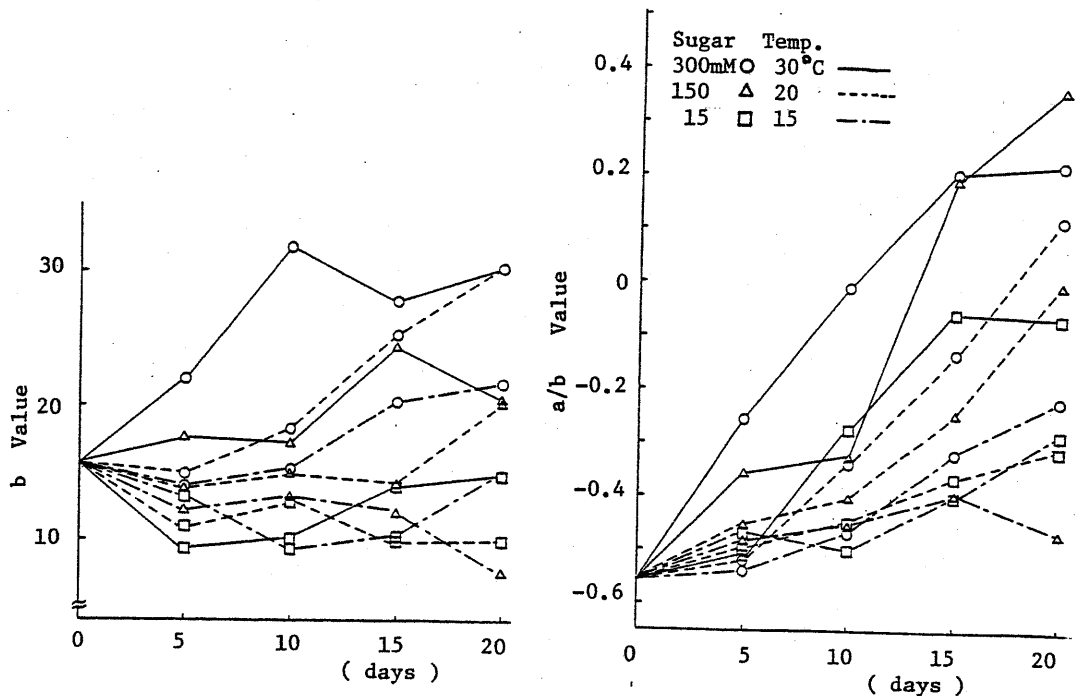
材料及び方法

— 実験1 — ガラス室内に春季より搬入したポット植え興津早生果実を10月14日に採取した。果実は殺菌後、果皮をコルクボーラーで打ち抜き、第3章第1節の実験1に用いた培地組成のうち、窒素成分を欠いた、糖3段階の培地に置床した。培養温度は30℃、20℃、15℃とし暗黒条件下で培養を行った。置床後5、10、15、20日に取り出し、果皮色を測色色差計で測定した。

— 実験2 — 興津早生果実を9月19日に採取し、常法で殺菌した後、糖300mM、N成分を欠いた培地にAOA2mMを添加する区及び無添加の区をもうけた。培養温度は30℃、20℃、15℃とし暗黒条件下で培養を行った。置床後5、10、15、20日に取り出し、果皮色を測色色差計で測定した。また、同時に果皮からのエチレン発生を、第3章第1節の実験2の方法で調査した。

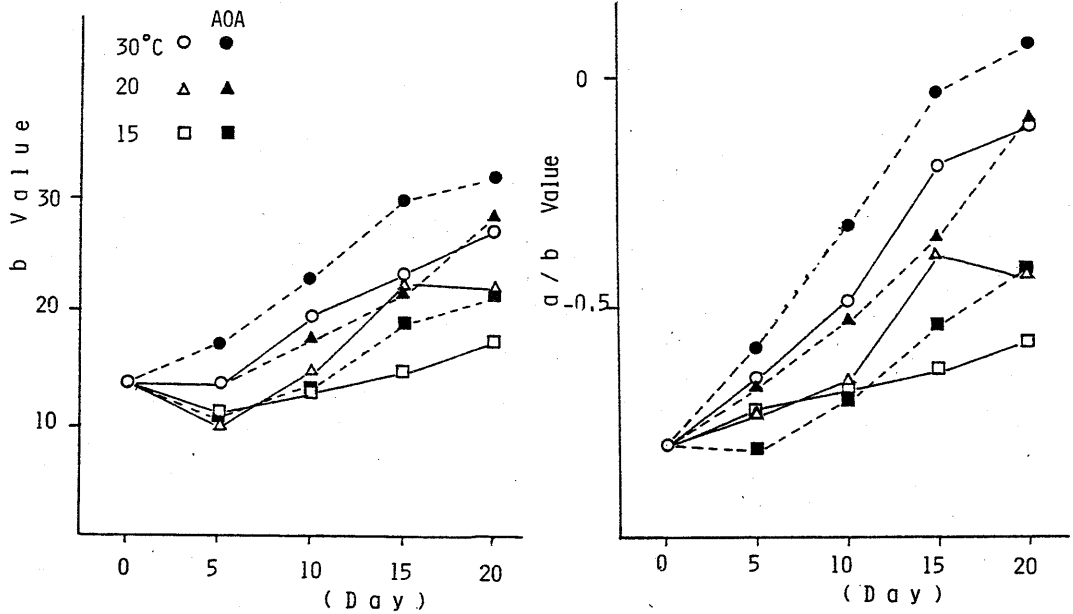
実験結果

— 実験1 — 糖濃度が着色に及ぼす影響は前節の結果と同様に、濃度が高いほど着色が促進された。温度条件の影響は、いずれの糖濃度区においても、30℃区で最も着色が促進され、15℃区では抑制された(第30図)。これらの傾向は、果実の生育ステージを違えて置床した場合においても同様であった。



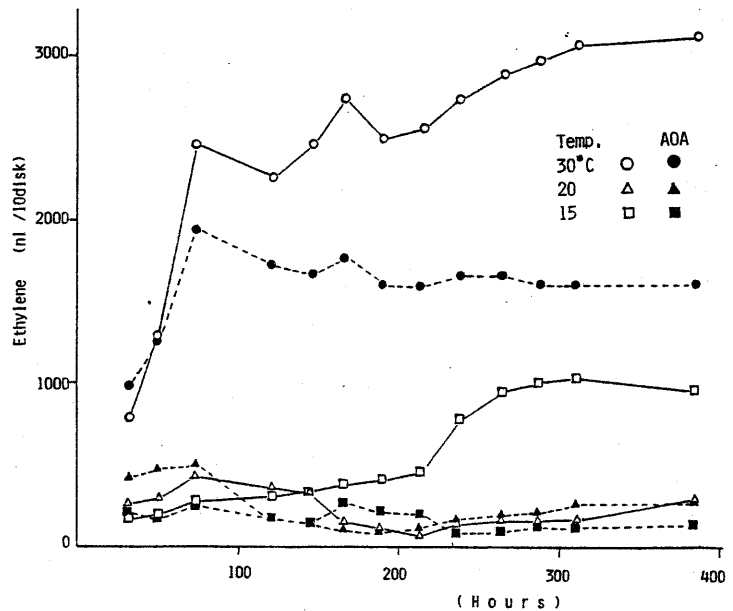
第30図 培養温度及び培地中の糖濃度が果皮の着色に及ぼす影響(暗黒条件下)

— 実験2 — AOAの添加の有無にかかわらず、実験1の結果と同様に高温区ほど着色が進んだ。また、いずれの温度区においても、AOAを添加した培地で着色が促進された（第31図）。



第31図 培養温度、AOA添加の有無が果皮の着色に及ぼす影響

培養果皮からのエチレン発生は、AOA添加により、いずれの培養温度においても抑制された。また、AOA添加の有無に関係なく、30°C区で最も発生が多く、次いで15°C・AOA無添加区の順であり、その他の処理区ではエチレン発生はごく僅かであった（第32図）。これら果皮からのエチレン発生量と着色の遅速との間には一定の関係が認められなかった。



第32図 培養温度、AOA添加の有無とエチレン発生

第3節 光質と着色

材料及び方法

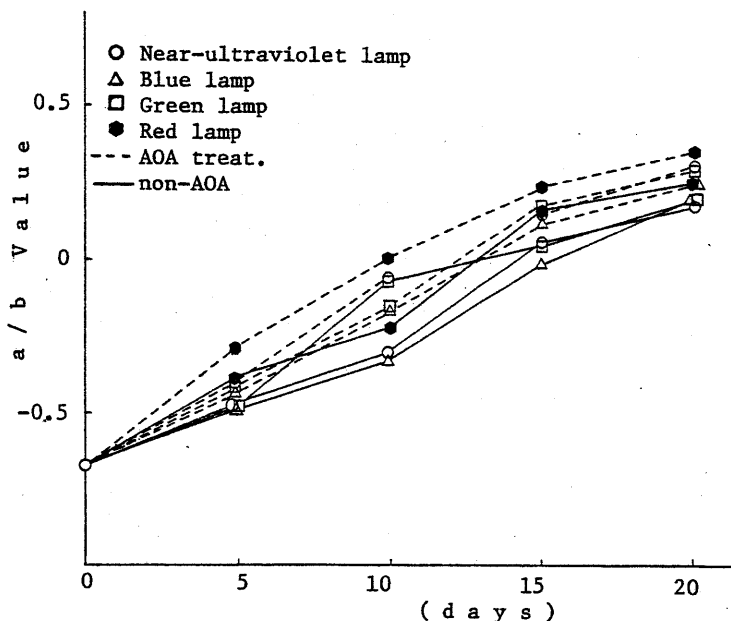
ガラス室内に春季より搬入したポット植え興津早生果実を10月13日に採取した。果実は殺菌後、果皮をコルクボーラーで打ち抜き、糖濃度300mMで、N成分を欠いたMS培地に、AOA 2mMを添加する区及び無添加の区を設けて置床した。

これらを光質の異なる単色蛍光ランプ（近紫外光、青色光、緑色光、赤色光ランプ、いずれも20W）1本を白色光ランプ1本に補光した恒温器内に搬入した。培養温度は20℃とし、置床後5、10、15、20日に果皮色を測色色差計で測定した。また、果皮からのエチレン発生についても第3章第1節の方法で調査した。

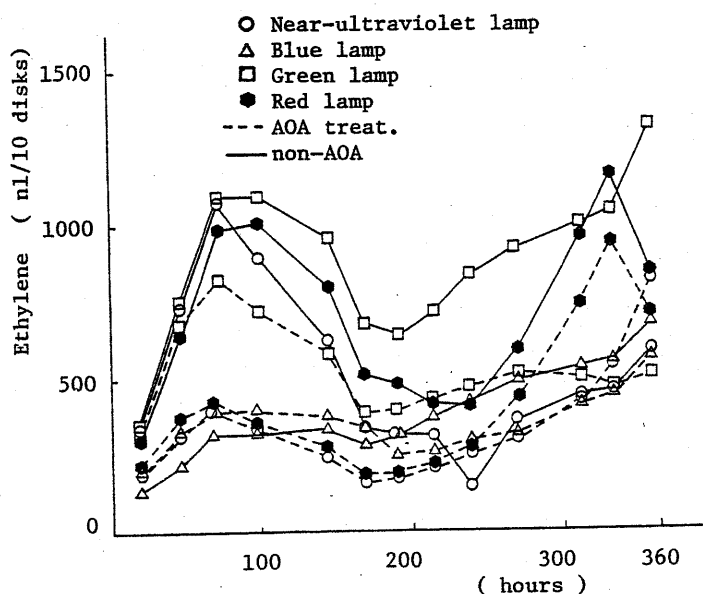
実験結果

AOAの添加の有無にかかわらず、赤色光ランプで最も着色が進み、青色光ランプで遅れた。またAOA添加区のほうが着色が進行した（第33図）。

果皮からのエチレン発生は、緑色光、赤色光及び近紫外光ランプでその発生が多く、青色光ランプで少なかった。またAOAを添加したほうがエチレンの発生が少なく、着色の遅速とは一致しなかった（第34図）。



第33図 各種単色蛍光ランプが着色に及ぼす影響



第34図 光質及びAOA添加がエチレン発生に及ぼす影響

第4節 数種植物ホルモンレベルと着色

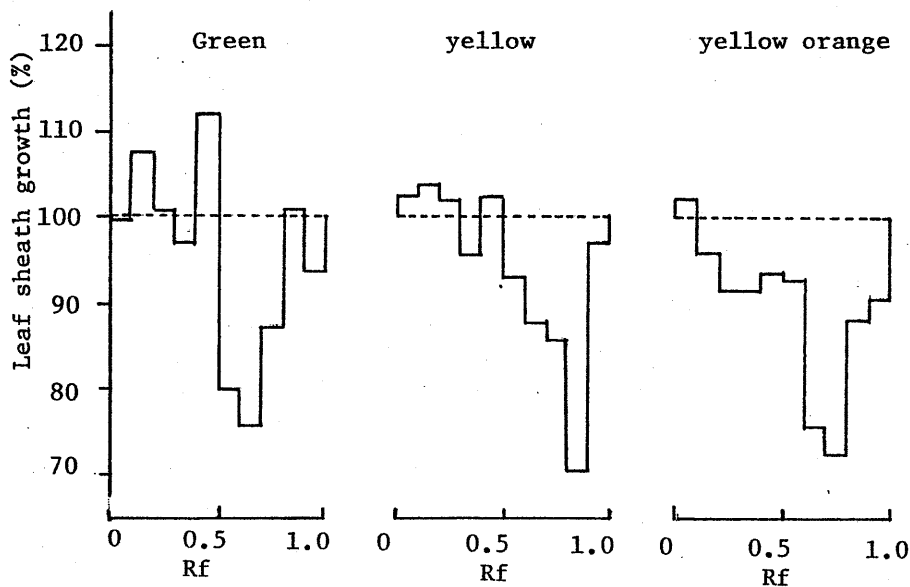
第1項 果実発育に伴う果皮中のホルモンレベルの変化

材料及び方法

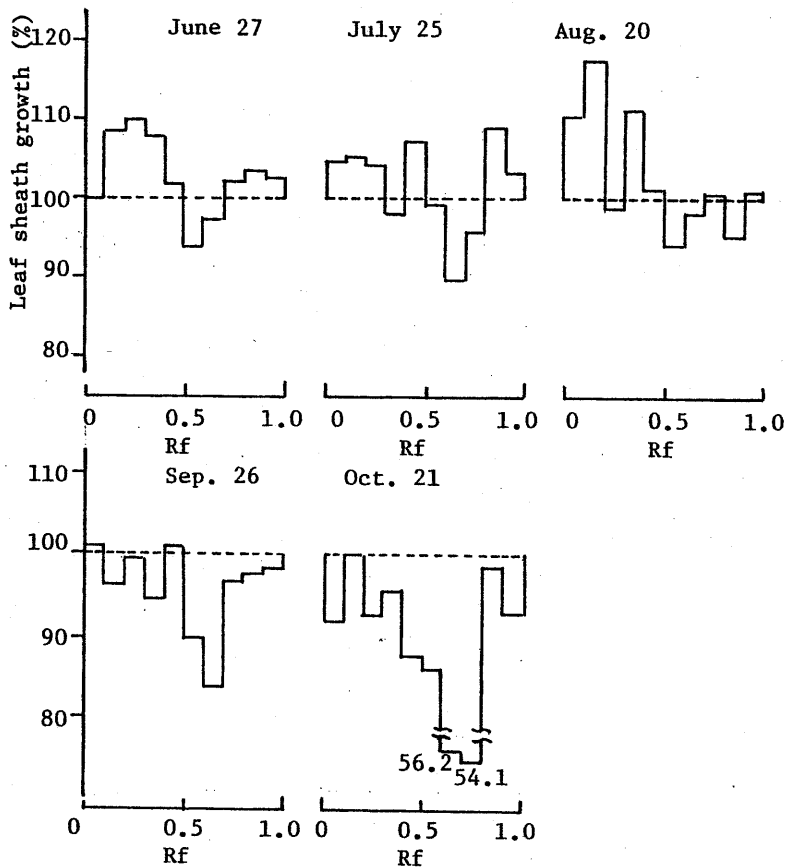
本学実験圃場に栽植中の宮川早生を用い、6月から10月にかけて毎月下旬に果実を採取し、その果皮中のジベレリン様物質及び抑制物質の活性を調査した。また、10月26日には果実の着色程度により果実を黄橙色、黄色及び緑色果に分類した。検定方法は常法に従い、乾燥果皮を80%メタノールで抽出後、乾物1g相当の酸性酢エチ画分について Rice seedling test (品種;短銀坊主)に供した。活性は、H20での第2葉鞘の長さを100としてそれぞれの比数で表示した。果実からのエチレン発生調査のため、7月31日、9月5日及び9月22日に果実を採取し、デシケータに密封した後、経時的にガスクロでエチレン量を定量した。

実験結果

GA3はRf 0.2~0.3、ABAはRf 0.7~0.8の部分に活性のピークが見られた。果皮中のジベレリン様物質の活性は幼果時は比較的高い活性を示したが、脱緑開始時期の9月下旬には殆ど認められなかった。一方、ABAと考えられる抑制物質の活性が9月時より急激に増加した(第35図)。また、着色程度の違いによる活性の程度は、緑色果で僅かにジベレリン様物質の活性が認められるが、着色が進むにつれて抑制物質の活性が増加した(第36図)。

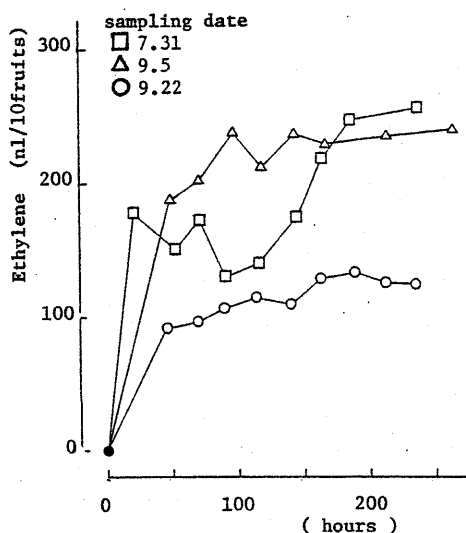


第36図 着色程度の異なる果皮中のジベレリン様物質及び抑制物質の活性



第35図 果皮中のジベレリン様物質及び抑制物質の活性の季節的变化

Intact 果実からのエチレン発生は果皮切片からの発生と比較すると、極めて微量であり、1果あたり10~25nlであった。また、脱緑期直前の果実で最も発生が少なかった(第37図)。



第37図 採取時期の異なる果実からのエチレン発生

第2項 ホルモン剤処理による樹上果実及び培養果皮の着色

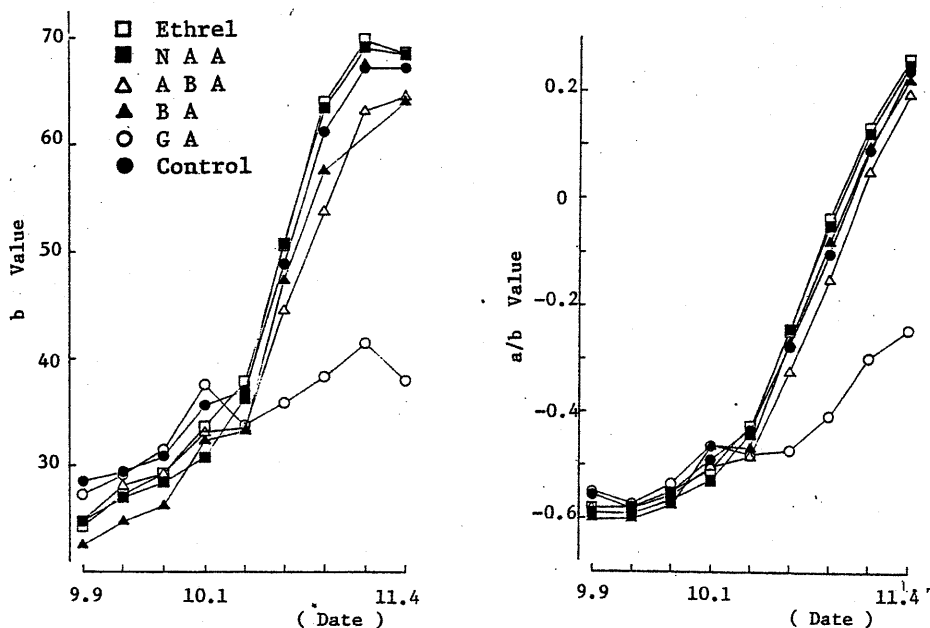
材 料 及 び 方 法

— 実験1 — ポット植え興津早生を供試し、1樹に10~12果になるように摘果した。9月10日及び9月18日の2回にわたり、GA、BA、NAAの50ppm溶液、Ethrel 20ppm溶液、及びABA 500ppm溶液（いずれも展着剤として Tween 20 を加用）を散布した。その後1週間間隔で果皮色の変化を色彩色差計で測定した。

— 実験2 — ガラス室内に春季より搬入したポット植え興津早生果実を8月26日に採取した。果実は殺菌後、果皮をコルクローラーで打ち抜き、糖濃度300mMで、N成分を欠いたMS培地を基本培地とし、GA、BA、NAA、Ethrel及びABAが各10ppmになるように添加した。さらに、AOA 2mMを添加する区及び無添加の区を設けて置床した。培養温度は20℃、暗黒条件下で培養を行い、置床後5、10、15、20日に果皮色を測定した。また、果皮からのエチレン発生についても第3章第1節の方法で調査した。

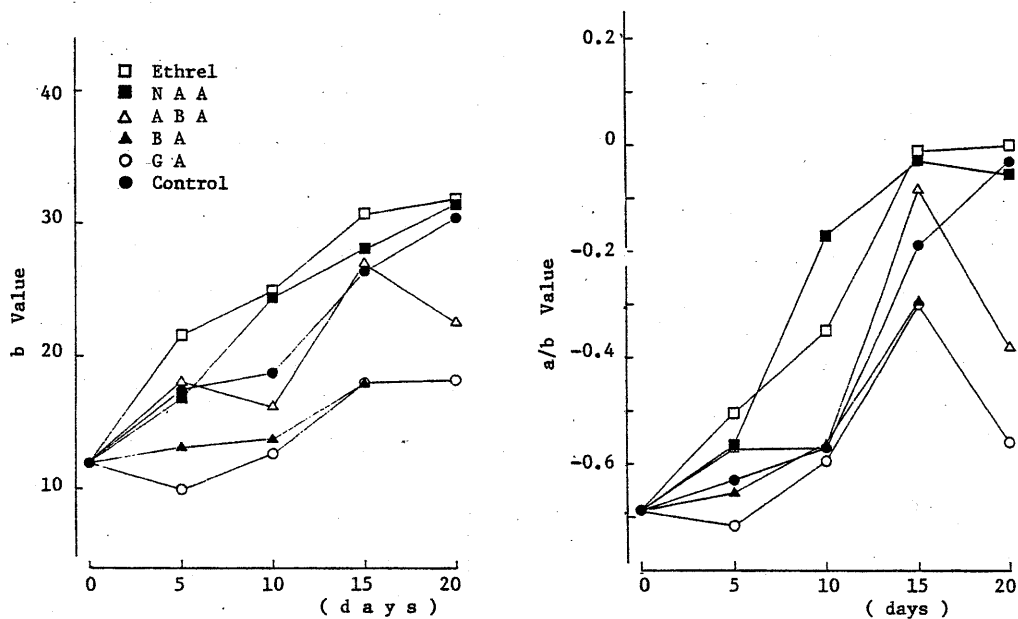
実 験 結 果

— 実験1 — 対照区に比較してEthrel及びNAA区で着色がやや促進され、赤みを帯びた果皮色を呈した。一方、GA区では1回目の散布から30日経った10月8日より着色の遅延が明らかに認められ、この傾向が収穫時まで続いた（第38図）。

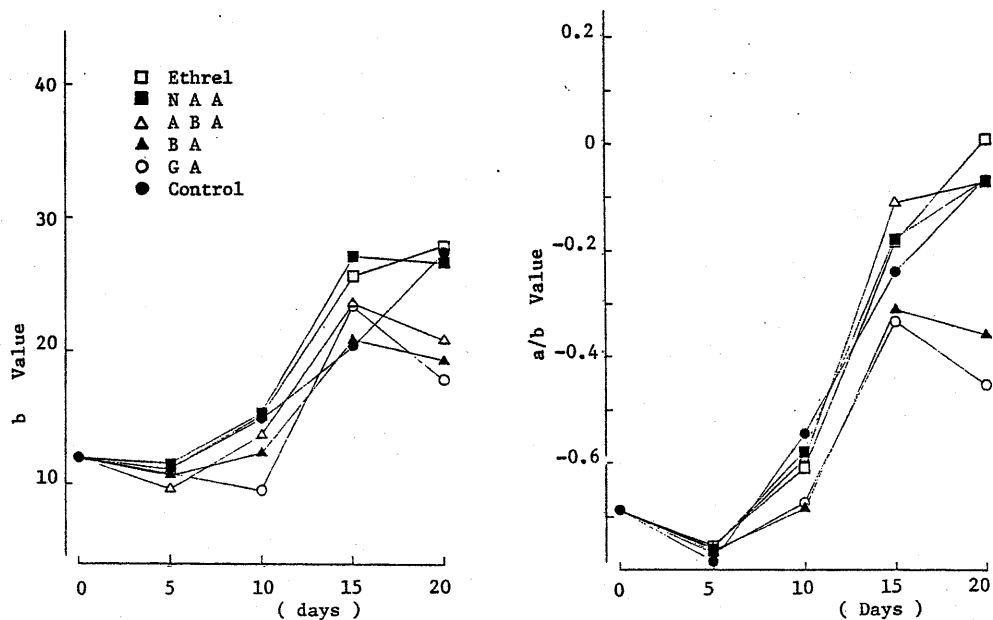


第38図 各種ホルモン散布が着色に及ぼす影響。

— 実験2 — AOAの添加の有無にかかわらず、Ethrel及びNAA区で着色が促進されたが、BA、GA区では抑制された。また、AOAを添加したものは、無添加のものにくらべて着色が遅延する傾向が認められ、特に初期の遅延が明らかであった(第39、40図)。

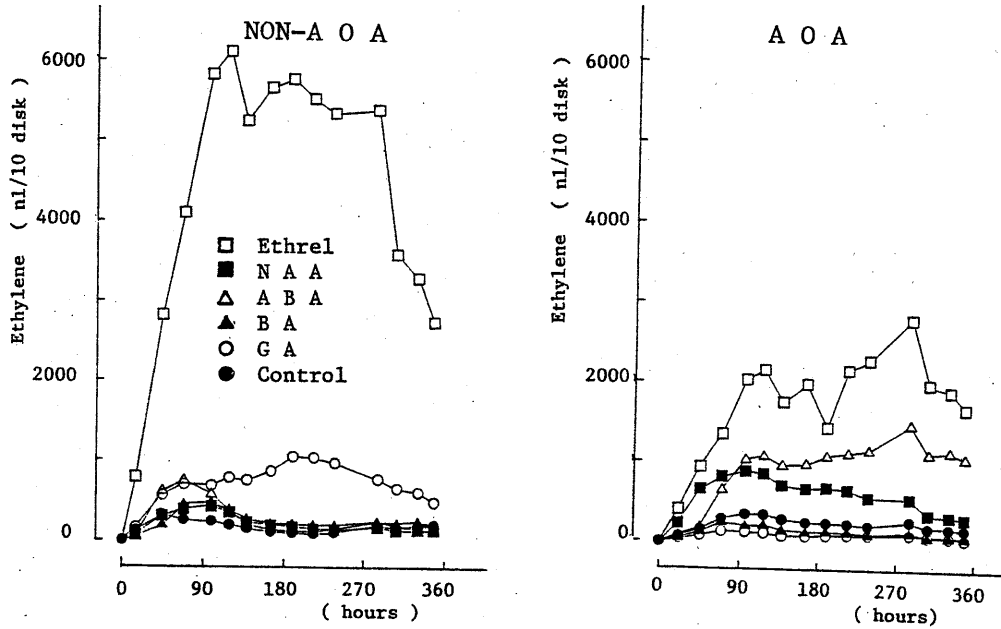


第39図 各種ホルモンが果皮色に及ぼす影響 (AOA無添加)



第40図 各種ホルモンが果皮色に及ぼす影響 (AOA添加)

果皮からのエチレン発生は、Ethrel区ではAOAの添加に関係なく顕著に多く、他の処理区は僅かであった。また、AOAの添加によって、NAA, ABA区を除いてエチレン発生が抑制された(第41図)。



第41図 各種ホルモンが培養果皮からのエチレン発生に及ぼす影響

総 括

ミカン果実の着色はクロロフィルの減少とカロチノイドの増加に起因しているが、着色に伴う果皮色の変化をハンター表色法によって検討した結果、L値、b値はクロロフィルの消失開始時期より急激に上昇を始め、着色後期に減少した。一方、a値は着色初期には変化が少なく、中期から完全着色時にかけて上昇を続けた。クロロフィルの分解・消失が主体となる着色期前半の果皮色の表示法としては、クロロフィル含量と高い相関のみられるL値、a値が適当と考えられ、また、着色期後半については、山田ら(25)の報告にもあるa、a/b値がカロチノイドとの相関からみて良い指標になる考えられる。そこで、本報告では主にb値、a/b値で着色の進行を判定した。

これまで、ウンシュウミカンの着色に関する問題は環境要因によって、その多くが説明されており、特に温度要因の関与が知られている。しかし、ハウスミカンや極早生品種のように、着色期が高温時に遭遇する栽培体系においては、単に外的要因だけに止まらず、果実の内的要因の面からの検討も必要である。

着色の進行に伴う果皮内成分の動向を調査した結果、果皮中の糖含量は、着色に伴い上昇するが、その上昇時期は果汁の糖含量の上昇より遅れ、脱緑開始時期とほぼ一致した。また、クロロフィル含量や果皮色との間に高い相関係数が得られた。このような傾向は着色開始が異なる果実部位間、産地間及び品種間のいずれの調査においても認められた。白石ら(19)、山田ら(25)も果皮中の糖含量及び果汁中糖含量と果皮色との間に高い正の相関を報告しているが、本実験では後者との間より、果皮中の糖含量との間のほうが、より高い相関係数を示し、両者の間の強い関わりが示唆された。一方、果皮中のNレベルは着色に伴い低下し、その低下時期も脱緑開始時期とほぼ一致しており、果皮色との間に負の相関が認められた。樹体中の高Nレベルが着色遅延を引き起こすことは、これまでに数多くの報告がみられ、実際栽培における幼木時の着色遅延やNの遅効きによる着色不良などが知られている。また、Pレベルについては、Nと同様に着色に伴い低下するが、脱緑開始時期との関係は明らかでなく、さらに果皮色との間に相関は認められるものの、糖、Nと比較するとその関わりは少ないと考えられる。しかし、これまでに、樹体のPレベルを高める場合、着色不良を生じるという報告がみられ(21)、本実験でもPの葉面散布で抑制された。

果皮中成分のこのような動向が着色に伴う結果であるのか、あるいは要因であるのか明らかでないため、果皮培養の手法を用いて検討した。培地中の糖、N濃度の違いは速やかに果皮中に反映され、果皮中の糖レベルが高いほど着色が促進され、逆に、Nレベルが高いと抑制された。Huffら(5,6)は、培地中の糖、Nレベルとバレンシアオレンジやグレープフルーツの回青、脱緑に関して調査を行い、高糖レベルでクロ

ロフィルの分解、高Nレベルでクロロフィルの合成が促進されると述べている。ただ、果皮培養の場合、障害エチレンの発生によるクロロフィル分解の可能性が考えられる(7)。そこで、培養果皮からのエチレン発生を測定し、その発生量と着色の遅速を比較検討したところ、両者の間には一定の傾向が認められず、果皮中の糖、Nレベルの直接的な影響と考えられた。

着色と環境要因の関係については多くの知見がみられるが、その中でも温度要因の関与が著しく、気温(10,16)、地温(20)、果実温(23)が低いほど着色が良好であると報告されている。本実験においても低温のほうが着色を促進した。この際の果皮中の糖含量の動向を調査すると、シキキツ、ウンシュウミカンのいずれにおいても、低温で糖集積が著しく、高温では僅かの増加あるいは低下さえ認められた。Lewisら(13)、Purvisら(17)はネーブルオレンジ、グレープフルーツで低温による果皮中の糖集積の促進、及び果実へのN転流の抑制を報告しており、低温による着色促進も、これらの成分が関与していると考えられる。

果皮培養における温度反応は、樹上果実のそれとは異なり、高温ほど脱緑、着色が進んだ。この場合についても培養果皮からのエチレン発生を測定し、その発生量と着色の遅速を比較検討してみたが、両者の間には一定の傾向が認められなかった。収穫果実の着色に対する温度の影響については、長谷川ら(3)、溝口ら(15)によって高温予措の効果が報告されており、ウンシュウミカンの場合、20℃の予措が最も有効であると述べている。本実験においてもその効果が認められたが、効果発現には収穫時の果皮色が一定レベルに達している必要があり、同時に果皮中の糖レベルも上昇していることが推察される。このような樹上果実と収穫果実の間における温度反応の差異が何に起因するかは明らかでないが、一つには果実あるいは果皮への糖、Nの供給源の有無がなんらかの形で関与していることが考えられる。

着色に及ぼす光要因の影響については、光強度、日照時間が大きいほど(10,22)、樹冠内では日当たりの良い部位ほど着色良好となる(16)ことが知られている。また、光質の面では渡部ら(24)は貯蔵イヨカンで赤色光が果皮色を、荒川ら(1,2)はリンゴで紫外光と赤色光、白色光の混合光がアントシアニン合成を促進すると述べている。本実験の光質間の比較では、赤色光で着色が進み、緑色光で抑制された。光質とエチレン生成の関係については、エンドウ芽生えにおける赤色光による生成促進(14)が知られているが、前述の荒川らの実験ではエチレンの関与を否定しており、本実験においても着色との関係は見られなかった。

最後に、ホルモンレベルと着色の関係であるが、樹上果実、培養果皮ともに、エスレル、NAAで促進的であり、逆にGAでは著しく抑制された。外生エチレンによるクロロフィル分解は良く知られており(9)、クロロフィラーゼ活性の増大が報告されている(18)。また、NAAによる促進も内生エチレンの増加を介しての効果と考

えられる(4)。しかし、樹上果実の自然着色については、一般的に、成熟果で発生が少なく、また、減圧によるエチレン除去下でも脱緑が進むことから、エチレンの着色への関与の可能性は極めて少ないとされている(8)。一方、ジベレリンは、果実の緑色期に活性が認められたが、着色期には急減し、逆にABA様物質と考えられる抑制物質の活性が急増した。倉岡ら(12)も同様のホルモンレベルの季節的变化を、また、手塚ら(22)も果皮色の異なる果実間で同様な結果を報告している。

引用文献

1. Arakawa, o., Y. Hori and R. Ogata. 1985. Relative effectiveness and interaction of ultraviolet-B, red and blue light in anthocyanin synthesis of apple fruit. *Physiol. Plant.* 64: 323-327.
2. Arakawa, o., Y. Hori and R. Ogata. 1986. Characteristics of color development and relationship between anthocyanin synthesis and phenylalanin ammonia-lyase activity in 'Starking Delicious', 'Fuji' and 'Mutsu' apple fruits. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 54: 424-430.
3. 長谷川美典. 1984. 中晩生柑橘の貯蔵温度と果皮色・味との関係. *柑橘*: 36(12) 38-43.
4. 広瀬和栄. 1975. 温州みかん用摘果剤. *植物の化学調節* 10(1): 16-26.
5. Huff, A. 1983. Nutritional control of regreening and degreening in citrus peel segments. *Plant Physiol.* 73: 243-249.
6. Huff, A. 1984. Sugar regulation of plastid interconversions in epicarp of citrus fruit. *Plant Physiol.* 76: 307-312.
7. Hyodo, H. 1977. Ethylene production and respiration of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit harvested at different stages of development. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 45: 427-432.
8. 兵藤宏. 1982. ミカン果実着色の生理学. *果樹園芸* 35(11): 34-38
9. 北川博敏・足立修三・樽谷隆之. 1971. 温州ミカンの着色促進に関する研究(第1報). *園学雑.* 40: 90-94.
10. 栗原昭夫. 1973. 制御環境下における温州ミカン果実の生長反応(第3報). *園学雑.* 42: 13-21.
11. 栗山隆明. 1971. 温州ミカンの品質と光量の関係. *果実日本.* 26(3): 24-27.
12. Kuraoka, T., K. Iwasaki and T. Ishii. 1977. Effects of GA₃ on puffing and levels of GA-like substances and ABA in the peel of satsuma mandarin. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 102: 651-654.
13. Lewis, L., C. Coggins, C. Labanauskas and W. Dugger. 1967. Biochemical changes associated with natural and gibberellin A₃ delayed senescence in the navel orange rind. *Plant Cell Physiol.* 8: 151-160
14. 増田芳雄. 1977. 植物生理学. 培風館. 東京
15. 溝口俊幸・辰巳保夫・邨田卓夫. 1983. 貯蔵中のカンキツ果実の生理化学的変化に及ぼす温度の影響. *園学要旨* 58秋. 408-409.
16. 新居直祐. 1971. 果樹の発育と昼夜の温度条件に関する研究. 静岡大農学部

園芸研究報告. 5. 1-89.

17. Purvis, A. and W. Grieson. 1982. Accumulation of reducing sugar and resistance of grapefruit peel to chilling injury as related to winter temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107: 139-142.
18. Shimokawa, K., A. Sakanoshita and K. Horiba. 1978. Ethylene-induced changes of chloroplast structure in satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). *Plant Cell Physiol.* 19: 229-236.
19. 白石真一・栗山隆明. 1972. カンキツの色素に関する研究(第9報). 園学要旨昭47春. 38-39.
20. Sonnen, H., F. Lenz and J. Gross. 1979. Einfluß der Wurzeltemperatur auf die Carotinoidentwicklung in Fruchtschalen von *Citrus unshiu* (Marc.) und *Citrus madurensis* (Lour.). *Gartenbauwissenschaft.* 44: 49-52.
21. 鈴木鉄男・高木敏彦・木内淑恵・篠原義典. 1983. 温州ミカンに対するリン酸塩の葉面散布が葉中P含量、果実品質に及ぼす影響. 農及園. 58: 1183-1185.
22. 手塚修文・近藤克成・新美善光・鳥居鎮男・山本幸男. 1975. カンキツ果実の発育に関する研究(第1報). 園学要旨昭50秋: 102-103.
23. 宇都宮直樹・山田寿・片岡都雄・苫名孝. 1982. ウンシュウミカン果実の成熟に及ぼす果実温度の影響. 園学雑. 51: 135-141.
24. 渡部潤一郎・秋好広明・天野勝司・門屋一臣. 1986. カンキツ果実の着色増進に関する研究(第4報). 園学要旨昭61秋: 538.
25. 山田彬雄・荒木忠治・七條寅之助. 1979. ウンシュウミカン果実の生育過程における果皮色調の変化とカロチノイド含量との関係. 園学要旨昭54春: 14-15.