

論文内容要旨

昭和 37 年に登録されたリンゴ‘ふじ’は糖度が高く、果汁が多く、肉質が硬くて貯蔵性に富むところから、数年の間に‘スターキング・デリシャス’とともに更新品種の大部分を占めるに至った。しかし、‘ふじ’は鮮やかな紅色に着色させるために、あえて二重の袋を掛けて栽培したことから、生産面において労働の集中化を来たした。ところで、‘ふじ’を主力品種として普及するには、有袋栽培を無袋栽培に切り替えることによって労働費の節減を図るとともに、本来の特性である味の良い果実を生産することが必要と考えられたが、同時にその無袋栽培技術は着色を確保できるものであることが望まれた。本研究は、上記の背景から、従来の有袋栽培樹を無袋栽培に円滑に移行させるための栽培技術を体系化しようとしたものである。すなわち、葉のカラーチャートを作成し(第1章)、その利用による窒素栄養の診断法を確立するとともに、それが袋掛けの必要性の判定に役立つことを明らかにした(第2章)。更に、6か年に亘る現地調査から、果実品質を左右する主要な栽培環境要因として6月葉色、樹冠内明るさ及び着果量の三つを特定し、それら要因と品質との相関図からそれぞれの適正値を設定した(第3章)。更に現地圃場で、6月葉色に対して窒素施用量を、樹冠内明るさに対し整枝・せん定を、着果量に対して結実管理をそれぞれ個別に変えて、その影響を検討するとともに、それらを総合的に改善してその効果を確認しようとした(第4章)。

第1章 葉のカラーチャートの作成

Mass color (現場で使用する量産・市販品)はOriginal color (葉色)と同様、550nm 付近に最大反射率をもち(第1図)、Original color との色差は小さく、葉色を正確に再現できた。また、Mass color の相隣る色票相互間の色差は比較的大きく、等差的に配列され、使いやすいカラーチャートと判断された(第1表)。ただし、Mass color はOriginal color と異なり、赤色域でも反射率が高いので、条件等色であり、赤色光の勝った光源下での比色は避けるべきであると判断された。

第2章 葉のカラーチャートの利用

葉色による窒素栄養の診断を袋掛けの必要性の判定に用いる場合、その時期的限界は6月下旬となる。一方、葉色と葉中N含量は6月下旬には共にほぼ安定期に達し(第2図)、かつ両者の間に高い相関が認められたことから(第3図)、この診断法の実用性が認められた。また、葉色や葉中N含量は新梢の長さや伸長停止の有無、新梢上ないしは樹冠内の位置などによって異なるが(第2表)、具体的採葉方法としては、樹冠外側、目通り高さの全方位から、伸長を停止した30cm前後の新梢15本を選び、その中央葉をとって平均値を求めることで、樹ないし園地を代表させることができた。

第3章 果実品質を支配する要因の解析

1976~1981の6か年間、山形県朝日町の苗木から育成した無袋‘ふじ’園及び同東根市の高接ぎ

更新による無袋‘ふじ’園を供試し、説明変数として6月及び8月葉色、新梢長、新梢停止率、樹冠内明るさ、着果量、立地条件の七つを、品質に関する目的変数として着色、並びに地色指数、蜜入指数、屈折計示度、滴定酸度、1果重の六つをとり、各要因間の単相関係数及び重回帰分析による回帰式及び標準偏回帰係数を求めた。説明変数の寄与率の高い品質要因は、着色指数、地色指数及び屈折計示度であった。それらのうち、着色指数に対しては6月葉色(－)と、次いで樹冠内明るさ(＋)が、地色指数に対しては6、8月葉色(－)と樹冠内明るさ(＋)が同程度に、屈折計示度に対しては着果量(－)がそれぞれ大きく影響した。一方、蜜入指数、滴定酸度及び1果重に対する説明変数の寄与率は概して低かったが、そのなかで蜜入指数及び滴定酸度に対しては着果量(いずれも－)の、1果重に対しては新梢長(＋)の影響がみられた(第3表)。したがって、着色改善が最重要な課題とされる無袋‘ふじ’では、葉色(＝葉中N含量)と樹冠内明るさの調節が必要であり、また甘味の向上に着果量の制限が有効なものと考えられた。また、6月葉色と8月葉色との間には高い相関がみられたことから、6月葉色でシーズン全体の窒素栄養状態を代表させることができると考えられた。なお、無機成分中Kの含量が滴定酸度と正の相関をもつことが認められた。第4図に果実品質に影響する主要因の関わり合いを示す。

次に、葉色指数について、年度別に着色指数及び地色指数との関係を検討することによって、着色に対するその上限は、高接ぎ更新樹の場合6.0、苗木からの樹では5.5(第5図)、またその下限は、収量を確保するうえで5.0(第6図)と判断された。また、樹冠内明るさの下限は、本調査結果及び関連する既往の報告から2.5と判断され、また窒素栄養と樹冠内明るさの双方に関連する新梢長及び新梢停止率の適正基準は、それぞれ30～35cm、80%以上と判断された。更に着果量は、4頂芽に1果が適当とみられた(第4表)。

第4章 果実品質に影響する主要因の制御と総合改善効果

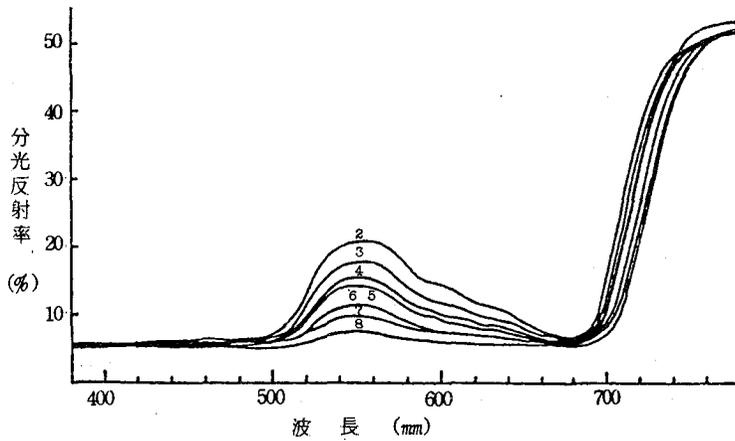
‘ふじ’主産地を代表する3園を供試し、窒素施用量を3段階にとり、樹相並びに果実品質に及ぼす影響を調べた。窒素施用量が葉色、葉中N含量、樹冠内明るさなどに及ぼす影響は、少なくとも4年の実験期間に関するかぎり、全般的に小さく、一定の傾向がみられなかった。その原因としては、リングが元来深根性であること、せん定によって樹勢の調節が行われたことのほかに、草生の影響が大きく、窒素無施用ないし少量区ではラジノクローバーが漸次優先種となることによって窒素の供給がなされ、一方窒素多量区では禾本科雑草が優先種となって、土壌中の窒素を吸収することから、窒素施用量の影響が判然としなかったものと考えられた。収量及び果実品質に対する影響も、樹相に対すると同様小さかった。しかし、着色指数、地色指数は葉色指数の低い園で高かったほか、一部の園で、果実硬度、蜜入り指数を含めて、無、少窒素区がわずかながら高くなる傾向がうかがわれた。次に変則主幹形の‘ふじ’成木を供試し、樹冠内への日光投入量を高めるべく樹形の改造を試みた。改造区は、改造が強度にすぎたため、生長が一時旺盛となり、葉色が濃くなったが、樹冠内明るさは若干高い傾向がみられ

た。着色『優』果（着色指数3）の割合は漸進改造区が対照区より若干高い傾向がみられたが、収量は前者が常に低かった。更に、同じ変則主幹形成木で、3、4、5頂芽に1果着果させた結果、樹相に対して着果数の影響は認められなかったが、着色『優+良』果（着色指数2以上）は5か年間の累計で3、4、5頂芽区の比率が104：100：75となった。また、3頂芽区は着色『優』果、地色抜け程度『良』果（地色指数2.0以上）の割合が若干低く、1果重も若干小さかった。

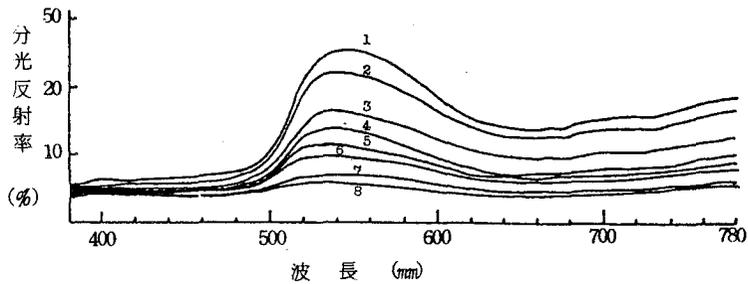
次に立地条件の異なる‘ふじ’主産地から3園を選び、葉色、樹冠内明るさ、着果量などの適正基準を念頭に、窒素施用量、整枝・せん定法、結実管理などを総合的に改善してその効果を調べた。改善区ではまず樹冠内明るさが確実に増加した。一方、葉色及び葉中N含量には明確な低下はみられなかったものの、特に後者で対照区より若干低くなる傾向がみられた。更に上記樹相の変化に対応して、着色『優』ないし『優+良』果の割合が増える傾向がみられ、有意差が認められる場合もあった。地色抜け程度についてもほぼ同じ傾向がみられた。効果の1例を第5表に示す。

以上を要するに、本研究は既成の有袋栽培‘ふじ’園を無袋栽培に円滑に移行させるための技術開発を目標に開始された。従来の栽培は大果・多収を狙って窒素肥料が多投された。その結果着色は不良となるはずであったが、虫害防止のための袋掛けによってかえって鮮明な着色が得られ、更に着色の完全さを求めて二重袋掛けへとエスカレートしていった。したがって、無袋栽培への移行に伴い着色不良が問題になったのは必然の結果といえる。

無袋栽培導入の初期、実際に無袋が可能か否かの判断がしばしば求められた。本研究によって葉色（窒素栄養状態）と着色との関係が確認されたことにより、しばらくは普及員が葉色から経験的に無袋の可否を判断することが行われたが、カラーチャートの開発並びに樹相診断基準の設定により、農家が直接チャートを利用してその判断をすることが可能となり、チャートが急速に普及した。しかし、全面的に無袋化を図るには、窒素栄養状態を含む樹相の改善が必要とされ、その手段として、まず環状剥皮と断根が行われた。この方法は、効果はみられたが持続性がなく、数回繰返すうちに樹勢の衰弱を来たす結果となった。その結果、適正樹相を維持するには、窒素施用量の規制によるほかないことが認識されるに至ったが、上述の実験結果が示すように、既成園で規制の効果が現れるにはある程度の年月が必要とされる。そこで、ある時期（1975－1980）、窒素施用量の極端な制限が行われたが、その後、本研究から適正とされた4～6kg/10aに落ちついた。また、窒素規制の効果は、多くの園地でカラーチャートによってチェックされている。一方、新しく造成する園地では、窒素に対する反応は既成園に比べて大きく、カラーチャートのより有効な利用が期待される。最後に山形県の無袋‘ふじ’園における施肥量の変遷（第6表）と‘ふじ’の無袋栽培面積及び無袋化率（第7表）を示す。



第1-1図 'ふじ' 葉の分光反射曲線 (1:黄緑色→8:濃緑色)



第1-2図 'ふじ' 葉のカラーチャート色票 (Mass color) の分光反射率曲線

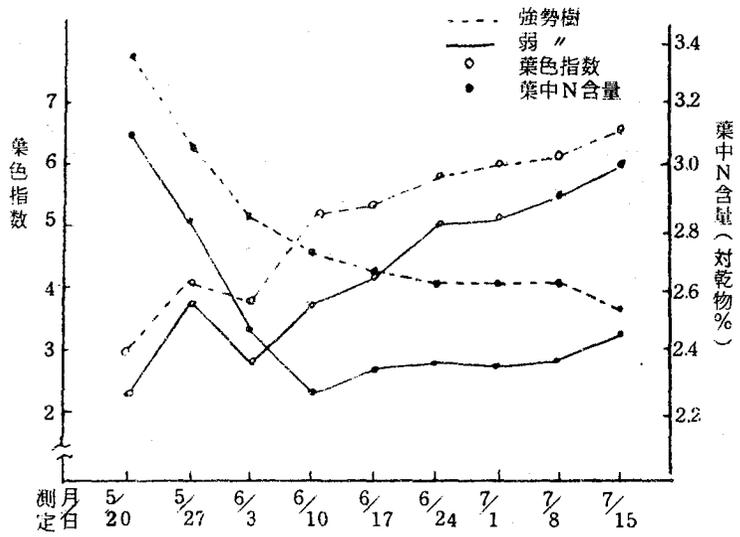
第1表 'ふじ' 葉のカラーチャートの色特性

色票 No	Mass color						色差 ^z	Original color			色差 ^y
	修正Munsell値			Lab				Lab			
	H	V	C	L	a	b		L	a	b	
1	3.6GY	5.1	5.9	45.11	-14.68	21.59	4.4	-	-	-	-
2	5.1GY	4.8	5.4	42.70	-13.08	18.31	6.9	39.47	-11.60	16.83	3.8
3	5.1GY	4.2	4.9	36.82	-11.04	15.37	4.0	36.42	-10.36	13.52	2.0
4	5.7GY	3.9	3.5	33.40	-11.36	13.37	3.7	33.98	-9.21	11.47	2.9
5	6.1GY	3.6	3.7	31.06	-9.49	11.18	3.2	32.49	-8.70	10.38	1.8
6	6.1GY	3.4	3.0	28.95	-8.03	9.26	3.2	29.42	-6.55	7.21	2.6
7	6.4GY	2.9	2.2	24.68	-5.71	6.22	5.7	28.20	-4.39	4.66	4.1
8	7.8GY	2.7	2.0	22.86	-4.58	4.17	4.1	25.12	-3.32	3.36	2.7

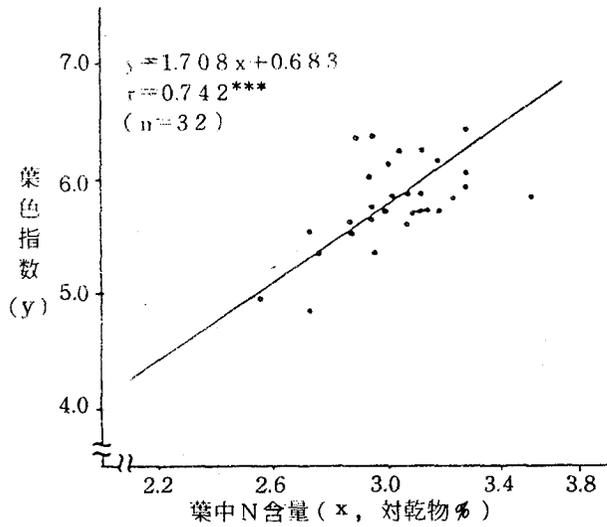
z Mass color の相隣る色票相互間の色差

y Mass color と Original color の対応する色票間の色差

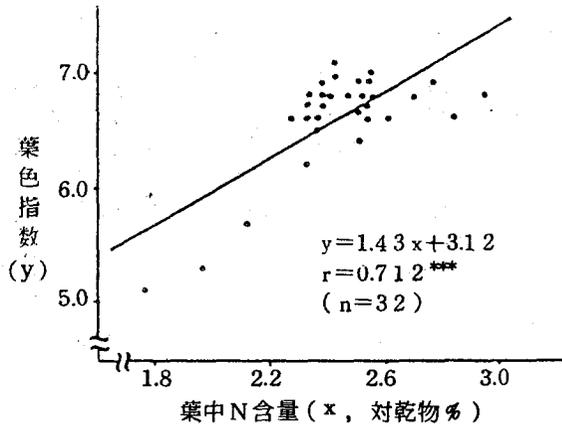
$$\text{色差} \text{ Lab} = (L + a + b)^{1/2}$$



第2図 新葉期の葉色指数と葉中N含量の推移



第3-1図 葉中N含量と葉色指数との関係
 (宮宿, 和合地区6月下旬, 1978)



第3-2図 葉中N含量と葉色指数との関係
(宮宿, 和合地区8月上旬, 1978)

第2表 葉色及び葉のN含量と葉の着生部位及び新梢の長さ伸長停止の有無との関係

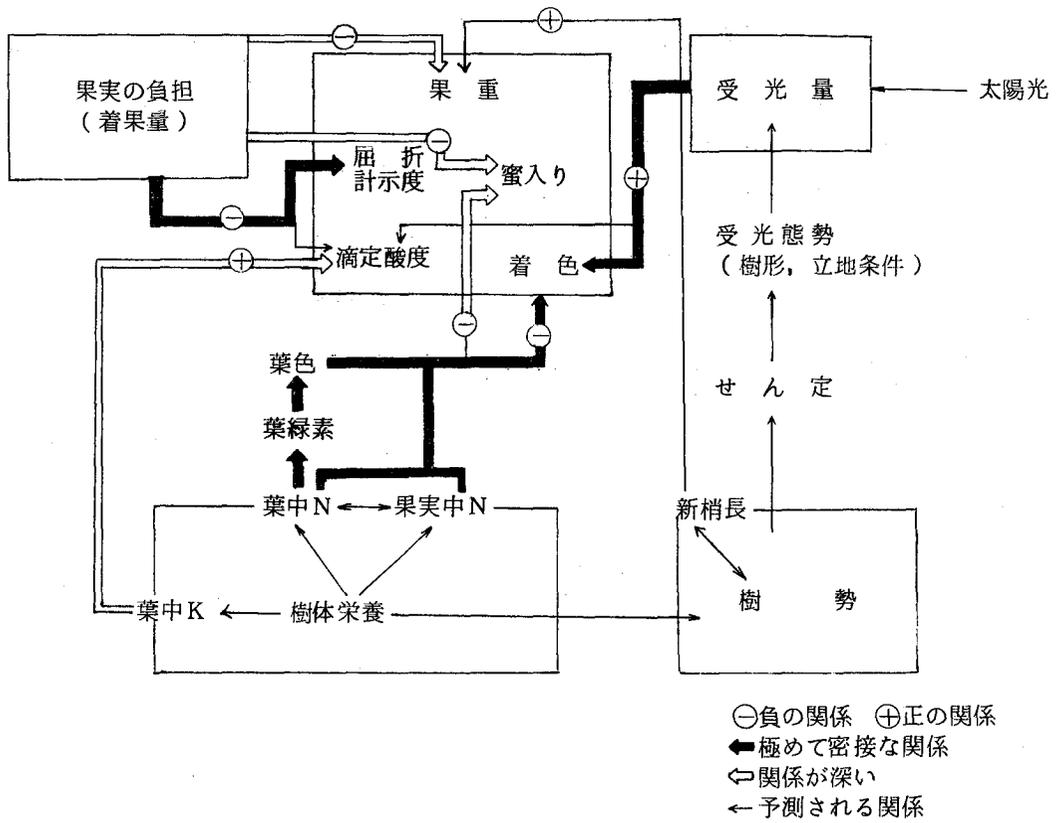
新梢上 着生部位	葉色 指数	葉のN 含量 ^z	新梢長	葉色 指数	葉のN 含量 ^z	樹冠 上部位	葉色 指数	葉のN 含量 ^z
先端	4.1	2.22	15cm停止	6.1	3.00	南面	4.6	2.52
中央	5.1	2.47	30cm停止	5.9	2.94	北面	5.3	2.54
基部	5.4	2.22	30cm伸長中	5.4	2.69			

^z 対乾物%

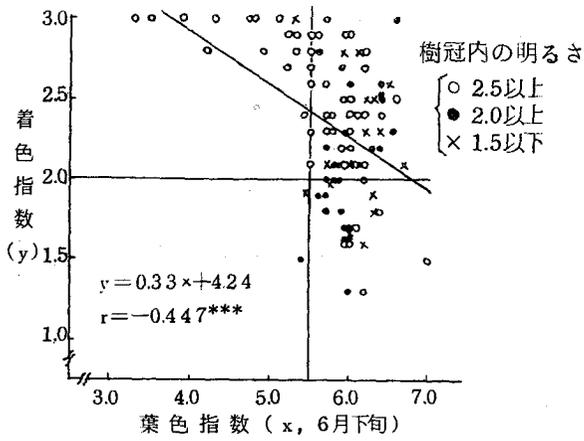
第3表 果実品質を支配する7説明変数の寄与率と標準偏回帰係数

説明変数	年度	寄与率	6月 葉色 (X ₁)	8月 葉色 (X ₂)	新梢長 (X ₃)	新梢 停止率 (X ₄)	樹冠内 明るさ (X ₅)	着果量 (X ₆)	立地 条件 (X ₇)
着色指数	1976	31.5	<u>-0.358</u> ²	-	-0.201	-0.285	0.148	-	-
	1977	45.7	-0.147	-	-0.139	-0.197	<u>0.593</u>	-	-
	1978	28.6	<u>-0.300</u>	-	-	-	<u>0.311</u>	-	-0.189
	1979	49.7	<u>-0.526</u>	-0.163	-	-	0.192	-	-
	1980	27.7	<u>-0.368</u>	-	-	-	0.281	0.190	-
	1981	36.6	<u>-0.284</u>	-	-0.215	-	<u>0.276</u>	-	0.241
地色指数	1976	50.1	-0.277	-0.198	<u>-0.478</u>	-0.322	0.311	-	-0.295
	1977	33.2	-	-	-0.161	0.160	<u>0.494</u>	-0.170	-
	1978	31.3	<u>-0.497</u>	-	-	0.196	-	-	-
	1979	38.2	<u>-0.406</u>	-	-	0.194	0.220	-	0.251
	1980	29.7	<u>-0.260</u>	-0.241	-	-	-	-0.258	-
	1981	23.1	-	-	-0.199	-	<u>0.305</u>	-0.158	-
蜜入り指数	1976	5.8	-	-0.240	-	-	-	-	-
	1977	9.1	-	-	-	0.167	-	-0.307	-
	1978	14.6	-0.261	-	-	-	-	-0.205	-
	1979	11.1	-	-	0.155	-	0.256	0.216	-
	1980	9.3	-	-	-	-	-	-0.305	-
	1981	25.8	-	0.214	<u>-0.160</u>	-	0.241	<u>-0.259</u>	0.187
屈折計示度	1976	20.3	-	-	-0.272	-	0.179	<u>-0.399</u>	-
	1977	24.3	-	-	-	-	0.160	<u>-0.389</u>	0.206
	1978	27.0	-	0.334	-	<u>0.388</u>	0.230	-0.312	-
	1979	22.5	0.176	-	-	-	<u>0.442</u>	0.206	-
	1980	45.9	-0.305	-	-	-	-	<u>-0.577</u>	-
	1981	35.4	-	0.241	<u>-0.271</u>	-	0.202	<u>-0.363</u>	0.143
滴定酸度	1976	26.4	-0.181	-	-0.143	-	-	<u>-0.469</u>	-
	1977	34.3	-	-	-	-	-	<u>-0.493</u>	0.263
	1978	21.4	-	-	-	-	<u>0.326</u>	-0.276	-
	1979	0	-	-	-	-	-	-	-
	1980	10.8	-	0.214	-	0.188	-	-0.278	-
	1981	13.9	0.231	-	-	0.180	-	-0.242	-
1果重	1976	6.9	-	-	-	-	-	-0.262	-
	1977	9.7	-	-	0.228	-	-	-	0.212
	1978	11.0	0.255	-	-	-	-	-	0.198
	1979	15.3	-	-	0.316	-	0.148	0.226	-0.205
	1980	26.2	-	-	<u>0.350</u>	-	-	-0.239	-0.261
	1981	12.0	-	-	-	-0.297	-	-0.188	-

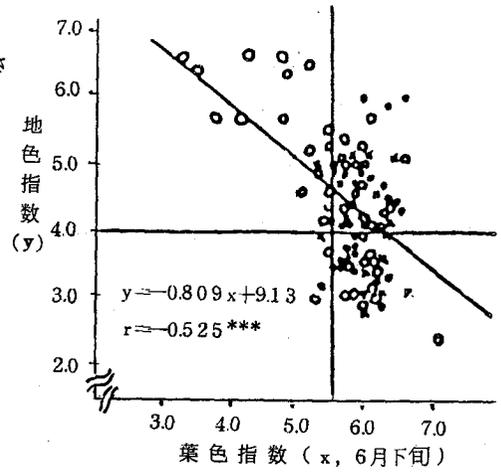
2 高い相関関係を有する説明変数



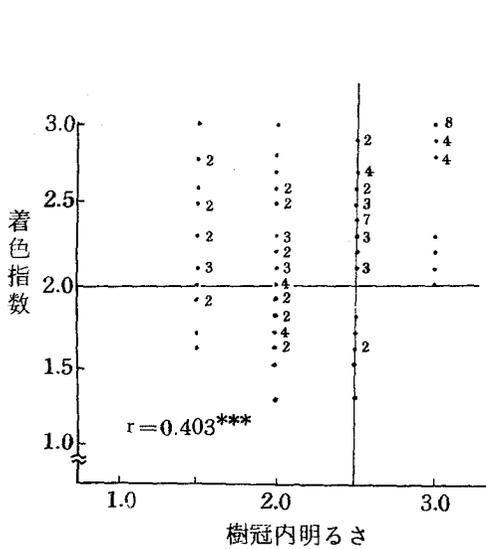
第4図 果実品質に影響する主要因の関わり合い



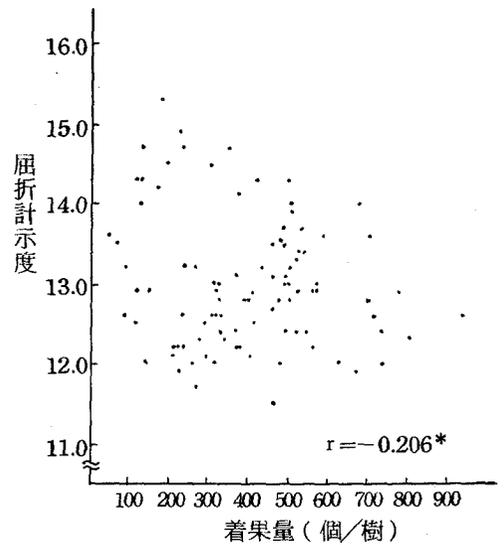
第5-1図 葉色指数と着色指数との関係 (1978)



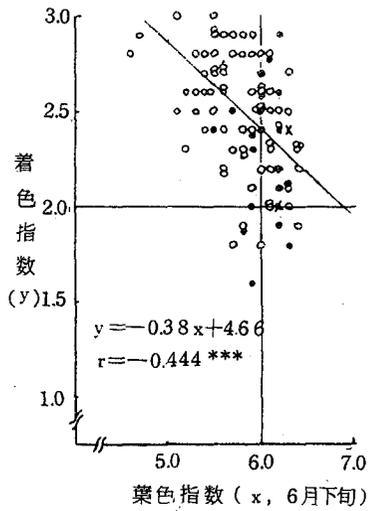
第5-2図 葉色指数と地色指数との関係(1978)



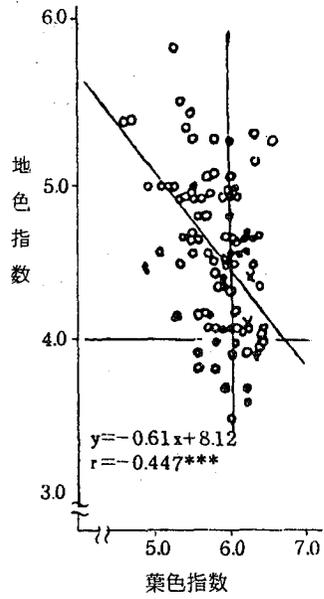
第5-3図 樹冠内の明るさと着色指数との関係 (1978)



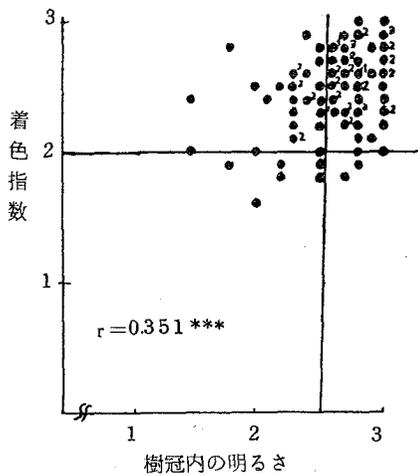
第5-4図 着果量と屈折計示度との関係 (1978)



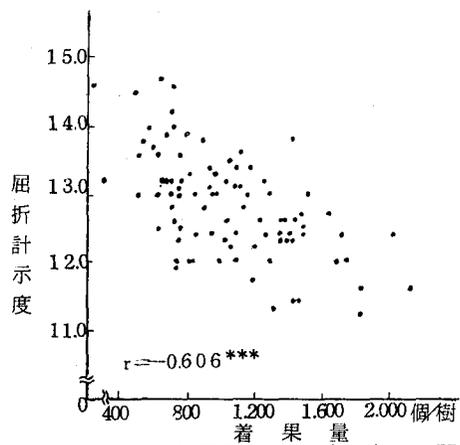
第5-5図 葉色指数と着色指数との関係 (1980)



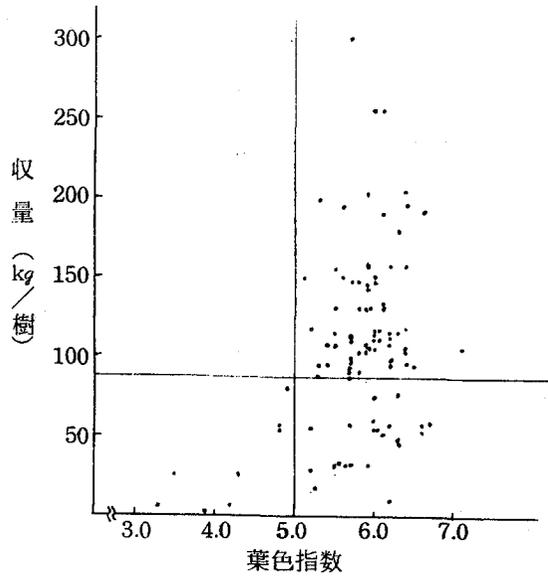
第5-6図 葉色指数と地色指数との関係 (1980)



第5-7図 樹冠内の明るさと着色指数との関係 (1980)



第5-8図 着果量と屈折計示度との関係 (1980)



第6図 葉色指数と収量との関係(1978)

第4表 ‘ふじ’の無袋栽培における樹相診断基準

項 目	内 容			備 考
	測定時期	基 準		
葉 色	6月下旬	高接き更新樹 5.0~6.0 苗木からの樹 5.0~5.5		葉色のカラーチャート
葉中N含量	〃	2.5 ~ 2.8%		
新梢長	〃	30 ~ 35cm		
新梢停止率	〃	80%以上		
樹冠内の明るさ	〃	2.5 以上		肉眼判定
着果量	〃	1果/4頂芽		

第5-1表 樹相に及ぼす改善処理の効果 (清野氏園)

年次	試験区	6月葉色	葉中N含量(%)	新梢長(cm)	新梢停止率	樹冠内の明るさ	頂芽数	花そう数	着果数	1果当たり頂芽数	収量(kg/10a)
1980	改善区 ^y	5.9	2.59	23.8	83.3	2.5	1,575	882	523	3.0	3,559
	慣行区	5.5	2.57	21.4	89.3	2.2	2,100	1,316	778	2.7	4,843
	有意性	NS	NS	NS	NS	NS	** ^z	NS	* ^z	NS	NS
1981	改善区	5.6	2.67	25.8	81.3	2.4	1,913	707	527	3.7	3,512
	慣行区	5.5	2.77	24.6	72.7	2.0	2,133	1,142	450	4.8	2,737
	有意性	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	**	NS
1982	改善区	5.3	2.81	22.2	94.0	2.8	2,302	1,141	563	4.2	3,591
	慣行区	5.6	2.90	24.6	78.7	2.6	2,714	1,566	589	4.8	3,900
	有意性	NS	NS	NS	**	NS	*	*	NS	NS	NS

^z * 5%, ** 1%水準で有無

^y 改善処理の概要①下部の枝まで日光が入るように重なっている大枝を除去し、主幹の高い開心形にした。②肥料は3年間無施用とした。③4頂芽に1果の着果にした。

第5-2表 着色及び地色抜け程度別割合に及ぼす改善処理の効果(清野氏園)

年次	試験区	着色程度別割合 ^z				地色抜け程度別割合 ^y			
		優	良	可	優+良	良	中	不良	良+中
1980	改善区	64.0	28.0	8.0	92.0	65.0	28.0	7.0	93.0
	慣行区	48.0	30.0	22.0	78.0	64.0	34.0	2.0	98.0
	有意性	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
1981	改善区	59.0	33.1	7.9	92.1	38.3	53.6	8.1	91.9
	慣行区	46.0	42.0	12.1	87.9	22.4	65.5	12.1	87.9
	有意性	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
1982	改善区	37.2	43.5	19.2	80.7	38.9	46.0	15.1	84.9
	慣行区	24.2	45.3	27.4	69.7	22.3	37.8	27.2	70.1
	有意性	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

z 優:着色指数3, 良:同2, 可:同1

y 良:地色指数4以上, 中:同4~2, 不良:同2以下

第6表 'ふじ'の無袋栽培における施肥量の変せん

年次	施肥量 kg/10a		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1970~1974	15.0~20.0	6.0~8.0	12.0~16.0
1975~1980	0~2.0	0~0.8	0~1.6
1981~1985	4.0~6.0	1.6~2.4	3.2~4.8

第7表 'ふじ'の無袋化率の推移

年次	栽培面積 (ha)	無袋栽培面積 (ha)	無袋化率
1975	380	31	8.0
1976	556	92	16.5
1977	775	126	16.3
1978	801	318	39.7
1979	841	435	51.7
1980	880	494	56.1
1981	1,190	714	60.0
1982	1,270	826	65.0
1983	1,110	833	75.0
1984	1,110	825	74.3

審 査 結 果 の 要 旨

昭和36年に登録されたリンゴ『ふじ』は糖度が高く、果汁多く、貯蔵性に富むところから、現在主力品種として全国的に栽培されている。本品種は元来着色性が十分でないが、当初は有袋栽培が行われたことから、比較的着色の良い果実が生産された。その後、有袋栽培を無袋栽培に切替えて生産費を低減し、同時に一層味の良い果実を生産することが必要とされたが、その技術は同時に着色を確保できるものであることが要望された。本研究は、上記の背景から、『ふじ』の栽培を有袋に円滑に移行させるための技術を体系化しようとしたものである。

リンゴ果実の着色に窒素栄養が大きく影響することが経験的に知られていたことから、著者はまず『ふじ』の葉のカラーチャートを作成して葉色を数値化するとともに、葉色と葉のN及び葉緑素含有率の間に高い相関が存在すること、更に袋掛けの要否判定の時期的限界である6月下旬には葉色、N含有率共にほぼ安定期に達し、葉色による窒素栄養の診断が可能であることを確認した。

次いで、山形県下2カ所の産地で各32園を3カ年ずつ供試し、果実品質に六つの目的変数と七つの説明変数を設定して、各要因間の単相関係数、重回帰式、及び標準偏回帰係数を求めることによって、着色指数（色素の発現面積比率）と地色指数（葉緑素の抜け程度）に対し8月葉色と樹冠内明るさの、糖度計尺度に対し着果量の影響が特に大きいことを特定するとともに、既往の成績をも参考にして、葉色、樹冠内明るさなどの適正基準（樹相診断基準）を設定した。更に数カ所の園地を供試し、3～5カ年に亘って、窒素施用量、整枝・せん定法、結実管理を個別に変えることによって葉色、樹冠内明るさ、結実量それぞれの品質に及ぼす影響を検討するとともに、別の園地ではそれらを組合わせた総合的な改善処理の効果を検討した。その結果、窒素施用量（葉色）に限っていえば、試験期間内ではその影響は必ずしも明らかでなかったが、減量区で若干着色指数の増加がみられた。

以上、本研究は栽培学的な貢献が大きく、かつ『ふじ』の無袋栽培の推進に大きく寄与したものであり、審査員一同、著者は農学博士の学位を授与するに値するものと判定した。