

同一樹齡のリンゴのマルバカイドウ台 ‘ふじ’ の葉群構造,  
日当り及び果実生産性の同一園地内分布及び  
これらに関する諸形質の相互関係

山本隆儀\*・高野隆志\*\*  
(\*山形大学農学部農業生産学講座, \*\*福井県農業試験場)  
(平成5年9月1日受理)

Interrelationships among Characters Relating to Leaf Canopy Structure,  
Light Environment and Fruit Production in Apple Cultivar  
'Fuji' on *Malus prunifolia* Rootstock

Takanori YAMAMOTO\* and Takashi TAKANO\*\*

\* Agriculture Production, Faculty of Agriculture,  
Yamagata University, Turuoka 997, Japan

\*\* Fukui Agricultural Experiment Station, Ryo-machi,  
Fukui 910, Japan

(Received September 1, 1993)

Summary

Forty characters related to tree form, leaf canopy structure, light environment and fruit production were investigated using 30, 13 year-old fruit trees of apple cultivar 'Fuji' on *Malus prunifolia* rootstocks, which were grown under same cultivation management in the same orchard. Interrelationships among 40 characters were analyzed using "a system analyzing seasonal changes of tree form and leaf canopy structure of fruit trees"<sup>27)</sup> and "a simulation model of distribution of radiational flux at leaf surface in a crown of fruit trees"<sup>26)</sup>.

1. The coefficient of correlation (CVs) of the yield of fruits (YF) and the volume characters, e. g., the volume of leaf canopy (VLC) ranged from 20% to 36%. The CVs of the mean leaf area density (MALD) and the total leaf number per tree (TLN) ranged from 15% to 24%. The CVs of the total current shoot number per tree (TSN) and the leaf area index (LAIc) ranged from 14% to 18%. The CVs of the trunk diameter (TD), the tree height (TH) and the degree of boldness (DB) were about 10%. The CVs of the mean inclination angle of current shoot (MIAS) and the mean fruit weight (MFW) ranged from 5% to 9%. The lowest variation (1.6%) was found in the daily mean photosynthetic photon flux density (PPFD) at leaf surface (DMPPFD).

2. The analysis of interrelationships among 40 characters were investigated. The YF was positively correlated to the DMPPFD and negatively correlated to the LAIc, MLAD and DB. The YF distributed on a curvilinear curve of the mean current shoot length (MSL), the total current shoot length (TSL) and the MIAS. The YF/VLC was highly and negatively correlated to many characters relating with tree vigor. The DMPPFD was negatively correlated to the many characters relating with materials for light interception, e. g., LAIc and TLN. The daily total photosynthetic photon flux density at leaf surface (DTPPFD) was positively and highly correlated to the characters relating with the tree vigor and negatively to the DMPPFD, suggesting that the larger tree received more total radiation, but became dar-

ker in the crown. There were highly positive correlations between characters relating with the tree vigor or the tree size. However, these characters were negatively correlated to the *DB*.

3. The analysis using 3 dimensional pillar-shaped graphs showed that *YF* decreased in the region below about  $660 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  of the *DMPPFD*, in combination with the region above about 475cm of the *TH*, or above about 12.5cm of the *MSL* or above about 23 degree of the *MIAS*. Therefore, it was suggested that thorough fruiting management, improvement of light environment in the crown, good pruning and training and moderate inhibition of vegetative growth are necessary for good fruit production.

## 結 言

均一で良品質、多収量の果実生産のためには、適正な結実管理と肥培管理とともに樹形・葉群構造や日当りも無視できない。樹形・葉群構造は整枝・せん定作業により決まる部分が大きく、日当りは葉群構造により幾何学的に決まる。園地が異なる場合（土壌、気象あるいは栽培者が異なる場合）はいうまでもなく、同一園地、同一樹齢の果樹でも、同一の仕立て方を意識して栽培管理された場合においてさえも、樹形・葉群構造のばらつきが大きくなることは少なくない。同一園地の優良樹に混じって、劣悪樹が少なからず認められ、その一部は間伐の対象になる。永年性作物であるため、園地生産性を維持するためには一挙には改植できないことから、上記のばらつきの存在は園地生産性の低下の大きな原因になっているものと推察される。

樹形・葉群構造や日当りなどに関する調査には苦勞が多い。これらの調査には膨大な時間と労力を費やす。さらに、同一時期に多数の樹の測定を行うことは困難である。著者らは、この困難を解決するために、ここ数年来、落葉後せん定前の果樹の二側面写真画像を用いた「樹形・葉群構造簡易解析システム」<sup>31)</sup>、これらをさらに季節的変化までも推定解析できるようにした「樹形・葉群構造の季節的変化推定システム」<sup>27)</sup>及び上記のシステムからの出力データの一つである葉量の空間分布データを用いて、葉面放射の樹冠内瞬時分布を計算する「葉面放射の樹冠内分布推定シミュレーションモデル」<sup>26)</sup>を開発してきた。

著者らは、既報において、上記のシステムとモデルを用いて、同一園地、同一樹齢及び同一栽培管理下にあるカキ「平核無」40本の樹形・葉群構造、日当り、樹光合成及び果実生産性の約50個の特性値を調査し、これらの特性値の分布及び特性値間の相互関係を報告した<sup>28)29)</sup>。本報はこれとほぼ同じ手法を用いて、同一園地、同一樹齢及び同一栽培管理下にあるリンゴのマルバカイドウ台

‘ふじ’30本についてはほぼ同様な調査を行った結果をまとめたものである。

## 材料及び方法

### 1. 供試樹

山形大学農学部附属農場（鶴岡市高坂）に栽植されている13年生（1988年当時）の南北列7m×9m植え開心形仕立てのマルバカイドウ台‘ふじ’のうち、隣接した2樹列の合計30本を供試した。なお、調査園では4～5頂芽に1果を目標に毎年摘花を行っており、10a当り年間施肥量は化成肥料（N:P:K=12:5:10）130kg、苦土石灰120kg及びよう成燐肥60kgであった。また、土性は砂壤土、地下水位は1.5～2mであり、かん水は行っていない。

### 2. 二側面写真画像を用いた樹形・葉群構造及び日当りの解析方法

各樹の二側面写真は1988年12月に撮影した。この写真画像を用いて、「樹形・葉群構造の季節的変化推定システム」<sup>27)</sup>により、葉量がプラトーに達する7月下旬（7月22日）の樹形・葉群構造を解析した。また、このシステムの出力結果の一部である葉量の空間分布データを「葉面放射の樹冠内分布推定シミュレーションモデル」<sup>26)</sup>に投入し、晴天日としての7月22日の1日分の日当りに関する解析を行った。なお、上記システムとモデルの運用に必要なリンゴ‘ふじ’に関する諸パラメータ及び晴天日としての7月22日の投射光データはすでに報告したもの<sup>27)30)</sup>を用いた。

### 3. 果実生産性の調査方法

収穫前に供試樹全樹について着果数（Number of fruits per tree, *NF*）を計測した。各樹の平均果重（Mean fruit weight, *MFW*）の推計は、次のように行った。すなわち、収穫直前時に全園から任意に果実を50個採取し、各果実について、重さ及び90度異なる2方向の横径を測定し、果重と2方向の横径の積との間の関係式を作成した。収穫直前時に各樹から任意に選んだ果実約30個の2

方向の果実横径を着生状態で計測した。この横径の積を上記の関係式に代入して果重を推定計算し、この平均値を各樹の平均果重 (MFW) とした。これに着果数 (MF) を乗じて果実収量 (Yield of fruit, YF) とした。収穫直前時に各樹を東西南北、さらに上段、中段、下段に分け、それぞれの外側及び内側から1個ずつ選んだ合計約30個の着生果について、南側と北側の表面上の着色面積を無着色、10%前後、30%前後、50%前後、70%前後、90%前後及び全面着色の7段階肉眼判定により測定した。そして、各果、各側の着色部面積 (%) を平均し、平均着色程度 (Degree of coloring, DC) とした。

#### 4. その他現場で計測した項目

1988年全樹の地上高50cmの幹径 (Trunk diameter, TD) を長径と短径に分けて測定した。10月下旬に任意に選んだ約150本の新梢について、新梢の基部と先端部の直径及び新梢長を計測し、新梢基部あるいは先端部の直径と新梢長の間の関係式を得た。

新鮮重を基にした材葉比 (C/F ratio, CFR) の計算<sup>12)</sup>上必要な各種の枝及び葉の比重を計測した。新梢、2年生枝、側枝、亜主枝以上の太い枝それぞれについて適量の試料を採取して体積と新鮮重を計測し体積比重を計算した。また、任意に50葉を採取して、リーフパンチャーを用いて太い葉脈を一部含むようにして各葉1cm<sup>2</sup>のディスクを打ち抜き、全新鮮重を測定し平均して、1cm<sup>2</sup>当りの重量 (面積比重) を得た。一方、各樹共、主枝・亜主枝3本、側枝5本、2年生枝7本について、基部と先端部の直径を計測し、各樹の各種枝の平均直径を得た。

各樹から30枚の葉を任意に選び、農林水産省果樹試験場製「リンゴ葉色用カラーチャート」を用いて葉色を計測し、これを平均し、平均葉色 (Leaf color, LC) とした。

#### 5. 各樹の特性値及びその算出方法

第1表に本解析に用いた特性値 (及びこの略号) を示した。各特性値は、樹形・葉群構造特性値、日当り特性値及び果実生産特性値に大別した。

##### 1) 樹形・葉群構造に関する特性値

樹高 (Tree height, TH), 東西樹幅 (East-west width, EWW), 南北樹幅 (South-north width, SNW) 及び樹冠底部までの高さ (Height beneath leaf canopy, HBLC) はそれぞれ、上記システム<sup>27) 31)</sup>の理念グリッドで仕切られたブロックのうち、葉や枝の存在するブロックの最上端と最下端の間の距離、最東端と最西端の間の距離、最南端と最北端の間の距離及び地面とブロックの最下端の

間の距離である。樹冠実容積 (Volume of tree crown, VTC), 葉層樹冠容積 (Volume of leaf canopy, VLC), 外部無効容積 (External unavailable volume, EUV), 内部無効容積 (Internal unavailable volume, IUV), 全無効容積 (Total unavailable Volume, TUV) 及び樹冠下空間容積 (Volume beneath leaf canopy, VBLC) は、上記システムの理念グリッドで仕切られたブロックのうち、それぞれ、葉または枝のいずれかまたはその両者が存在するブロックの全容積、葉が存在するブロックの全容積、樹冠表層部の葉の存在しないブロックの全容積、樹冠内部の葉の存在しないブロックの全容積、前2者の合計及び樹冠底部と地面との間の全容積である<sup>31)</sup>。はげあがり程度 (Degree of baldness, DB) は樹冠実容積に占める枝のみ存在するブロックの全容積の割合 (%) である。全無効容積 (TUV) と樹冠実容積 (VTC) の合計を全樹冠容積 (Total canopy volume, TCV) とした。葉層樹冠容積 (VLC) に対する全無効容積の割合 (TUV/VLC), 外部無効容積の割合 (EUV/VLC) 及び内部無効容積の割合 (IUV/VLC) の数値はいずれもパーセント (%) で表現した。樹冠占有面積 (Area occupied by leaf canopy, AOLC) は葉の存在する全ブロックの地面への投影面積であり、葉面積指数 (Leaf area index, LAI) はこれ (AOLC) に対する全葉面積の比であり、したがって、正確には樹冠占有面積当たりの葉面積指数 (LAIC) で表現した。

平均葉面積密度 (Mean leaf area density, MLAD), 総新梢長 (Total current shoot length, TSL), 平均新梢長 (Mean current shoot length, MSL), 総新梢数 (Total current shoot number, TSN) 及び平均新梢傾斜角度 (Mean inclination angle of current shoot, MIAS) はそれぞれ、上記システムが出力する各ブロック当りの葉面積密度分布データの平均値、新梢長分布データの合計値、同データの平均値、新梢数の合計及び新梢傾斜角度分布データの平均値である。総着葉数 (Total leaf number, TLN) は全ブロックの葉数合計値である。これまで記した特性値は上記システム<sup>27) 31)</sup>の出力値をそのまま使用したが、以降に述べる新梢総体積 (Total volume of current shoots, TVS) 及び材葉比 (CFR) は上記システムの出力値と現場での計測値とを用いて算出した。新梢総体積 (TVS) はシステムが出力する新梢長分布データと前述の別途調査で得られた新梢長～基部直径の関係式及び新梢長～先端部直径の関係式とを用いて円錐台体積の公式により算出合計したものであった。材葉比 (CFR) は葉

重に対する枝重の比であるが、枝重は上記の新梢総体積 (TVS) のほか、システムが出力する2年生枝、側枝、主枝・亜主枝及び主幹の各全長データ、前述の別途調査して得られた各種枝の体積比重及び各種枝の平均直径とを用いて算出し、葉重は上記の総着葉数 (TLN)、個葉平均面積及び葉の面積比重とを用いて算出した。

## 2) 日当りに関係する特性値

本論文内では光合成有効光量子束密度 (Photosynthetic photon flux density) の用語の略号として *PPFD* を用いた。日平均葉面 *PPFD* (Daily mean *PPFD* at leaf surface, *DMPPFD*)、日葉面総 *PPFD* (Daily total *PPFD* at leaf surface, *DTPPFD*)、及び日受光効率 (Daily irradiation efficiency, *DIE*) は上記モデルが出力する毎時刻の全葉の葉面 *PPFD* 瞬時分布データを基に、それぞれ、日中 (午前6時より午後6時まで) の毎時刻の平均葉面 *PPFD* をさらに平均したもの、1日としての1樹の *PPFD* 総量及び樹冠占有面積 (*AOLC*) の地面の1日の *PPFD* 総量 (占有面積土面日総 *PPFD*, Daily total *PPFD* at soil surface) に対する日葉面総 *PPFD* の割合 (%) である。これらの特性値には上記モデル<sup>26)</sup> の出力データを用いた。ただし、これらの特性値の季節的変化のデータまでを用いると以降に示す解析が煩雑になるので、葉量がプラトーに達する7月下旬 (7月22日) の晴天日1日のデータのみを用いて日当りに関係する特性値とした。

## 3) 果実生産に関係する特性値

着果数 (*NF*)、平均果重 (*MFW*)、果実収量 (*YF*)、及び着色程度 (*DC*) についてはすでに示した。

このほか、樹体の果実生産効率ともいべき指標である果実収量/樹冠実容積 (Yield of fruit per tree/Volume of tree crown, *YF/VTC*) 及び果実収量/葉層樹冠容積 (Yield of fruit per tree/Volume of leaf canopy, *YF/VLC*) は別途計算した。さらに、従来より、他の研究者<sup>12) 16)</sup> により提唱されている、果実生産係数 (仮称, Fruit production coefficient, *FPC*) 及び果実収量係数 (Fruit yield coefficient, *FYC*) については(1)及び(2)式を用いて算出した。

$$\text{果実生産係数} = \frac{\text{果実収量}}{(\text{果実収量} + \text{材積})} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{果実収量係数} = \frac{\text{果実収量}}{(\text{果実収量} + \text{主幹断面積})} \times 100 \quad (2)$$

なお、この場合の材積 (Volume of wood, *VW*) には新梢を始めとする全ての枝部分の体積 ( $\text{cm}^3$ ) の合計値を当てた。

## 6. 特性値の変動係数の計算及び各特性値間の相互関係の解析

各特性値の変動係数 (標準偏差/平均値, *CV*) と相関係数行列の計算及び2特性間の単純分布図の作図を行った。さらに3次元グラフを描いて、樹形・葉群構造、日当たり及び果実生産の3要因間の関係を解析した。

## 結果及び考察

### 1. 果実の横径の積と果重との関係及び新梢の直径と長さとの関係

第1図に果実横径の積と果重との関係を示した

第2図に新梢の体積を推定するための新梢基部直径あるいは先端部直径と新梢長との関係を示した。上記システムが出力する新梢長分布データからの新梢長、及びこの式に新梢長を代入して推定される基部直径及び先端部直径とを用いて円錐台体積の計算式により新梢体積を計算し、合計したものであった。

### 2. 各特性値の変動係数

第1表に全特性値の最大値、最小値及び変動係数を示した。同一園地、同一樹齢及び同一栽培管理のもとでも、粗放な栽培管理を反映しているためか、各特性値の分布幅は広がった。

着果数 (*NF*) は222~554個、果実収量 (*YF*) は54.5~137.2kgと少なく、10a当りに換算すると865~2177kgとなり、山形県の生産目標等から見るとかなり少なかった。これには9m×7m植えという粗植でまだ若木であったこ

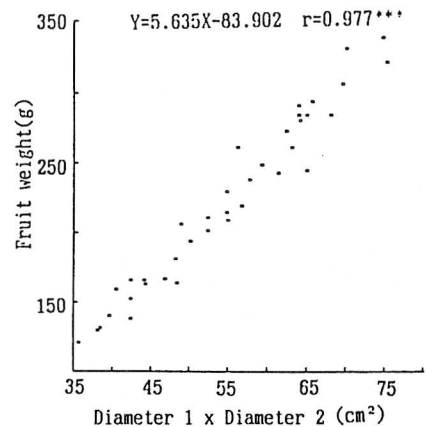


Fig. 1. Relationships between fruit weights and products of 2 cross diameters of the fruit at about the harvesting time of apple cultivar 'Fuji'.

Table 1. The abbreviations of estimated characters or investigated ones and their maximum values, minimum values and coefficients of variations (CVs).

Abb.	Characters	Maximum Values	Minimum values	CVs (%)
(Tree from and structure of leaf canopy)				
<i>AOLC</i>	Area occupied by leaf canopy (m <sup>2</sup> )	34.24	13.70	18.82
<i>CFR</i>	C-F ratio	21.53	7.16	27.30
<i>DB</i>	Degree of baldness (%)	49.69	32.59	10.90
<i>EUV</i>	External unavailable volume (m <sup>3</sup> )	41.62	15.85	19.72
<i>EUV/VLC</i>	<i>EUV</i> /(volume of leaf canopy) (%)	124.75	55.53	19.94
<i>EWV</i>	East-west width (cm)	880	660	6.89
<i>HBLC</i>	Height beneath leaf canopy	144	62	10.90
<i>IUV</i>	Internal unavailable volume (m <sup>3</sup> )	6.90	1.77	23.55
<i>IUV/VLC</i>	<i>IUV</i> /(volume of leaf canopy) (%)	27.25	4.35	32.75
<i>LAIc</i>	Leaf area index to <i>AOLC</i>	2.92	1.61	14.05
<i>MIAS</i>	Mean inclination angle of current shoot (°)	28.22	20.28	8.83
<i>MLAD</i>	Mean leaf area density (cm <sup>-1</sup> )	0.0178	0.0096	15.09
<i>MSL</i>	Mean current shoot length (cm)	17.73	8.83	14.01
<i>SNW</i>	South-north width (cm)	792	580	7.52
<i>TCV</i>	Total canopy volume (m <sup>3</sup> )	136.13	54.13	38.22
<i>TD</i>	Trunk diameter (cm)	20.1	12.9	10.98
<i>TH</i>	Tree height (cm)	540	360	9.28
<i>TLN</i>	Total leaf number	35650	16517	19.22
<i>TSL</i>	Total current shoot length (m)	503.9	195.4	23.66
<i>TSN</i>	Total current shoot number	3919	1648	18.29
<i>TUV</i>	Total unavailable volume (m <sup>3</sup> )	47.87	19.06	18.84
<i>TUV/VLC</i>	<i>TUV</i> /(volume of leaf canopy) (%)	145.04	63.23	20.43
<i>TVS</i>	Total volume current shoots (cm <sup>3</sup> )	12531	2683	36.28
<i>VBLC</i>	Volume beneath leaf canopy (m <sup>3</sup> )	144	62	20.25
<i>VLC</i>	Volume of leaf canopy (m <sup>3</sup> )	62.46	20.95	10.9
<i>VTC</i>	Volume tree crown (m <sup>3</sup> )	95.81	35.07	20.95
<i>VW</i>	Volume of wood (cm <sup>3</sup> )	204999	62440	25.28
(Light environment)				
<i>DIE</i>	Daily irradiation efficiency (%)	149.57	68.11	18.93
<i>DMPPFD</i>	Daily mean PPFD <sup>2</sup> at leaf surface	670.75	606.02	1.56
<i>DTPPFD</i>	Daily total PPFD <sup>3</sup> at leaf surface	2611.8	1022.1	22.72
(Fruit production and leaf color)				
<i>DC</i>	Degree of coloring (%)	85.0	53.7	10.23
<i>FPC</i>	Fruit production coefficient (relative)	0.372	0.180	16.40
<i>FYC</i>	Fruit yield coefficient (relative)	0.651	0.409	10.74
<i>LC</i>	Leaf color (relative)	7.5	6.5	3.73
<i>MFV</i>	Mean fruit weight (g)	283.8	225.1	5.23
<i>NF</i>	Number of fruits per tree	554	222	20.08
<i>YF</i>	Yield of fruits per tree (kg)	137.22	54.52	20.93
<i>YF/VLC</i>	<i>YF</i> /(volume of leaf canopy) (kg/m <sup>3</sup> )	3.873	1.183	16.40
<i>YF/VTC</i>	<i>YF</i> /(volume of leaf crown) (kg/m <sup>3</sup> )	1.949	0.853	19.95

<sup>2</sup>Photosynthetic photon flux density ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ )

<sup>3</sup>Photosynthetic photon flux density (mol/tree/(13hrs))

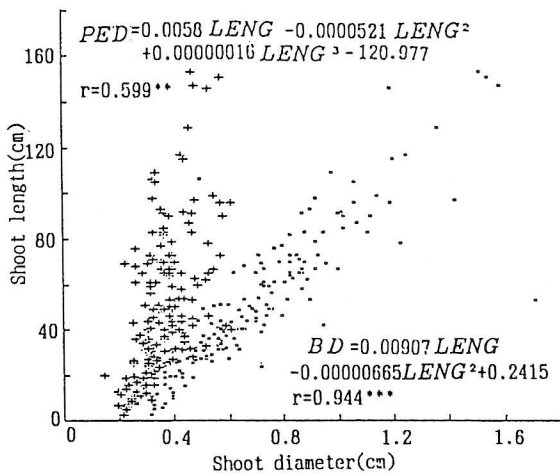


Fig. 2. Relationships between current shoot lengths (*LENG*) and basal diameter (*BD*) or pointed end diameter (*PED*) of apple cultivar 'Fuji'.

とが大きな原因であると思われるが、粗放な結実管理も反映しているものと考えられる。浅田(1988)による青森県津軽地方の開心形‘ふじ’の調査<sup>2)</sup>によると、14年生で1樹当り着果数は550~645個の範囲、1樹当り収量は147~219kgの範囲が報告されている。また、10a当りの収量は浅田(1989)の調査<sup>3)</sup>では0.5~6トンであり、塩崎(1989)の調査<sup>22)</sup>でも本調査結果より多かった。葉層樹冠容積(*VLC*)は20.9~62.5m<sup>3</sup>、樹冠実容積(*VTC*)は35~95.8m<sup>3</sup>、外部無効容積(*EUV*)は15.8~41.6m<sup>3</sup>、新梢総体積(*TVS*)は2683~12531cm<sup>3</sup>と極めて広く分布し(第1表)、収量関係及び容積関係の変動係数は大きく、上記の数値と密接な*CFR*、*IUV*、*TUV*等の変動係数も大きくなった(約20~36%、第1表)。樹冠実容積(*canopy volume*)の測定例は少ないが、6年生の‘ゴールデン・デリシャス’の*canopy volume*は4種の仕立て方を通じて10.4~33.5m<sup>3</sup>の範囲であったことが報告されている<sup>9)</sup>。

平均葉面積密度(*MLAD*)は0.0096~0.0178cm<sup>-1</sup>、樹冠占有面積当たりの葉面積指数(*LAIc*)は1.61~2.92、総新梢長(*TSL*)は195~504m、総着葉数(*TLN*)は16517~35650枚、日葉面総光量(*DTPPFD*)は1022~2612mol/tree/(13時間)の分布を示し(第1表)、葉量に関する特性値の変動係数は約15~24%であった(第1表)。*LAIc*がやや小さくなった理由として、本システムでは少数といえども、葉が存在するブロックをカウントすること、グリッド中に葉が存在する全ブロックの地面への投影面

積をもって樹冠占有面積(*AOLC*)とすること、ならびにこの計算単位が1ブロックの底面積(約900cm<sup>2</sup>)であることから、*AOLC*が過大評価されることにより*LAIc*が小さくなったものと考えられる。開心形マルバカイドウ台の‘ふじ’の*LAIc*の測定は塩崎・菊池(1988)<sup>23)</sup>と浅田(1990)<sup>4)</sup>によりなされ、12年生の約1.5~2.7の範囲から15年生の約2.7~3.8の範囲までの変化が<sup>23)</sup>、また、14年生から高齢樹まで含んだ場合では約1.9~3.7の範囲<sup>4)</sup>が報告されている。現場での*LAIc*測定においても、葉面積と樹冠占有面積の両測定で誤差を伴うものと考えられる。葉面積測定方法には落葉回収法<sup>23)</sup>が報告され、他方、樹冠占有面積測定方法には1mの目の方形枠を用いた方法<sup>4)</sup>と樹冠半径を10か所ほど測定して平均する方法<sup>23)</sup>があり、この両者の測定誤差により*LAIc*値は変わるものと考えられる。

平均新梢長(*MSL*)は8.83~17.73cm、総新梢数(*TSN*)は1648~3919本の分布を示し(第1表)、新梢に関する特性値の変動係数は約14~18%であった(第1表)。菊池(1974)はマルバ台の‘国光’と‘スターキング・デリシャス’の6cm以下の短枝を含む全新梢の長さの分布を調査したが<sup>15)</sup>、その平均値を示していない。6cm以下の短枝を含まない場合の平均値は約25cmであった<sup>15)</sup>。本調査ではシステム<sup>31)</sup>が短枝を含む全新梢長の分布図から平均値を算出するもので、菊池(1974)の示したものより短かった。また、短枝を含む場合の新梢数は、13年生‘国光’で2360本、13年生‘スターキング・デリシャス’で3247本が報告されているが<sup>15)</sup>、本調査の‘ふじ’の場合でもこれらの範囲にはほぼ相当した。

幹径(*TD*)は12.9~20.1cm、樹高(*TH*)は360~540cm、はげあがり程度(*DB*)は32.5~49.7%の分布を示し(第1表)、変動係数は10%であった(第1表)。

平均新梢傾斜角度(*MIAS*)には短枝のデータを含まなかったが約20~28度であり、平均果重(*MFW*)は225~284gの分布を示し(第1表)、変動係数は約5~9%であった(第1表)。なお、開心形マルバカイドウ台の‘ふじ’の8年間の平均果重の変動範囲は211~321g、その変動係数は約15~21%という数値が報告されている<sup>24)</sup>。

日平均葉面*PPFD*(*DMPPFD*)は約606~671μmol/m<sup>2</sup>/sの狭い分布を示し(第1表)、変動係数はわずかに1.6%であった(第1表)。しかし、このことから、どの樹も樹冠内の明るさがほぼ等しいとみなすのは早計である。何故ならば、各樹の日平均葉面*PPFD*(*DMPPFD*)は、方法のところで示したように、午前6時から午後6時までの

合計13時刻のそれぞれの時刻の全葉の葉面PPFDの瞬時分布データの平均値をさらに1日当たりとして平均したもので、いうならば、弱光である朝夕の受光量の極めて小さいかつ狭い分布データと、強光である昼間の受光量の極めて大きくかつ比較的広い分布を全て加算して単純平均したためである<sup>28)</sup>。

2. 各特性値間の相互関係

多変量解析による約40個の特性値間の相関行列及び2特性値間の分布図を用いて以降の解析を行ったが、総当たり組み合わせ数は約800組にもなるため、本報では一部省略し、主たる特性値間の相互関係に限定して示した。

1) 果実生産性

果実収量(YF)と着果数(NF)との間に当然ながら正の相関関係が見られた(第3図a)。また、日平均葉面受光量との間には少数の例外樹を除いて正の相関関係が推察できた(第3図b)。日当りの改善により果実収量性が向上することは、リンゴ<sup>(7)11)13)14)18)20)21)25)</sup>で認められて

いる。

他方、果実収量(YF)ははげあがり程度(DB)及び樹冠占有面積当りの葉面積指数(LAIC)に対して山なり状に分布し、平均葉面積密度(MLAD)との間には負の、樹高(TH)や樹冠実容積(VTC)等の容積関係の特性値との間に正の相関関係が認められた(第3図c, d, e, f)。また、果実収量(YF)は平均新梢長(MSL)が約14~15cm、総新梢数(TSN)が約2500本、新梢平均傾斜角度が22~25度で大きくなる樹が多いことが推察された(第4図a b c)。また、葉層の果実生産効率ともいべき果実収量/葉層樹冠容積(YF/VLC)は総着葉数(TLN)、葉層樹冠容積(VLC)、総新梢長(TSL)、新梢体積(TVS)等の樹の栄養生長の強さ(樹勢)との間に負の相関関係が認められた(第5図a, b, c, d)。なお、浅田(1989)は単位葉面積当り発育良果の収量と LAIC との間に負の相関関係を報告している<sup>3)</sup>。これらのことは果実収量をあげるには樹の大きさの増大がある程度必要であるが、樹が大きくなって

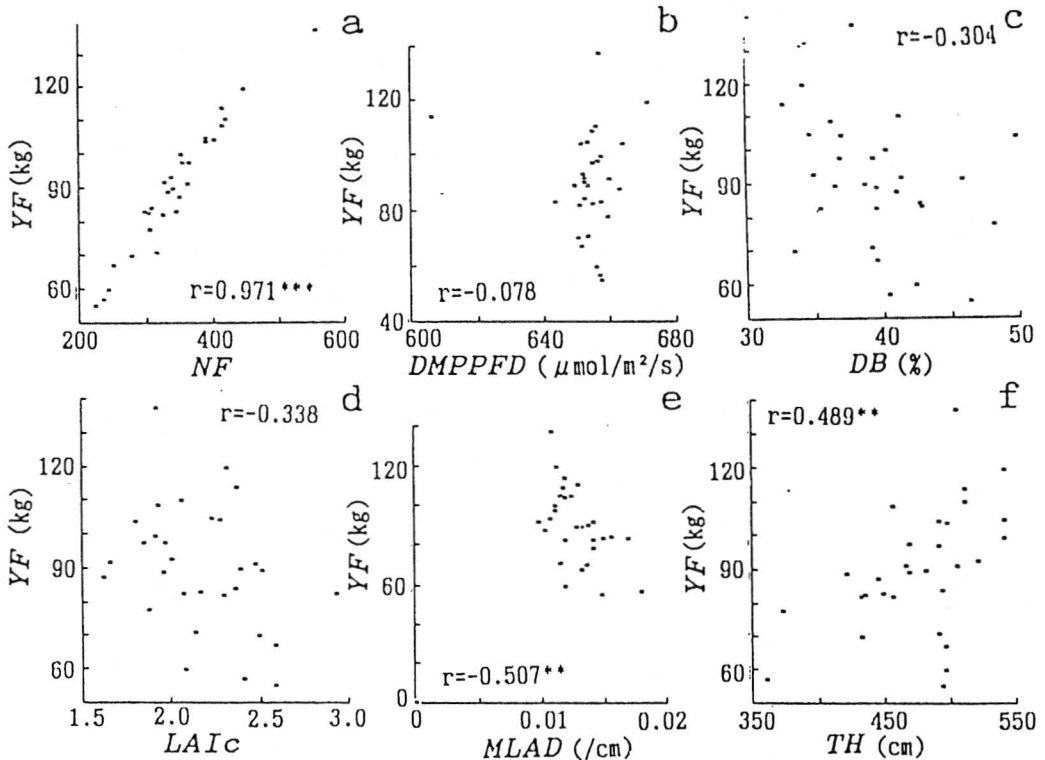


Fig. 3. Relationships between the yield of fruit (YF) and several characters. \* \*\* and \*\*\* indicates significant level at 5%, 1% and 0.1%, respectively. The same symbols are used in the following figures.



も材木生産の方に偏り、必ずしも果実生産効率が高くはならないことを示唆するものである。上記の傾向は着果数にもほぼ当てはまった。ヘツジロウやブッシュ仕立てのリンゴの場合でも枝の総断面積に対して取量が山なり状に分布したことが報告されている<sup>19)</sup>。

平均果重(MFW)は総新梢長(TSL)、新梢体積(TVS)、樹冠実容積(VTC)等の樹勢要因との間に正の相関関係が認められたが、平均着色程度との間に負の相関関係が認められ(第6図a,b,c,d)、また、平均新梢長(MSL)が12~14cm、新梢平均傾斜角度(MIAS)が約23度で大きくな

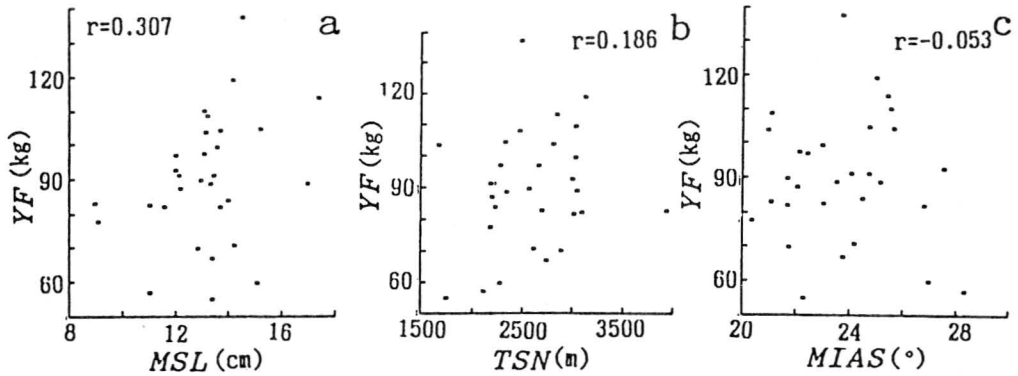


Fig. 4. Relationships between the yield of fruit (YF) and several characters.

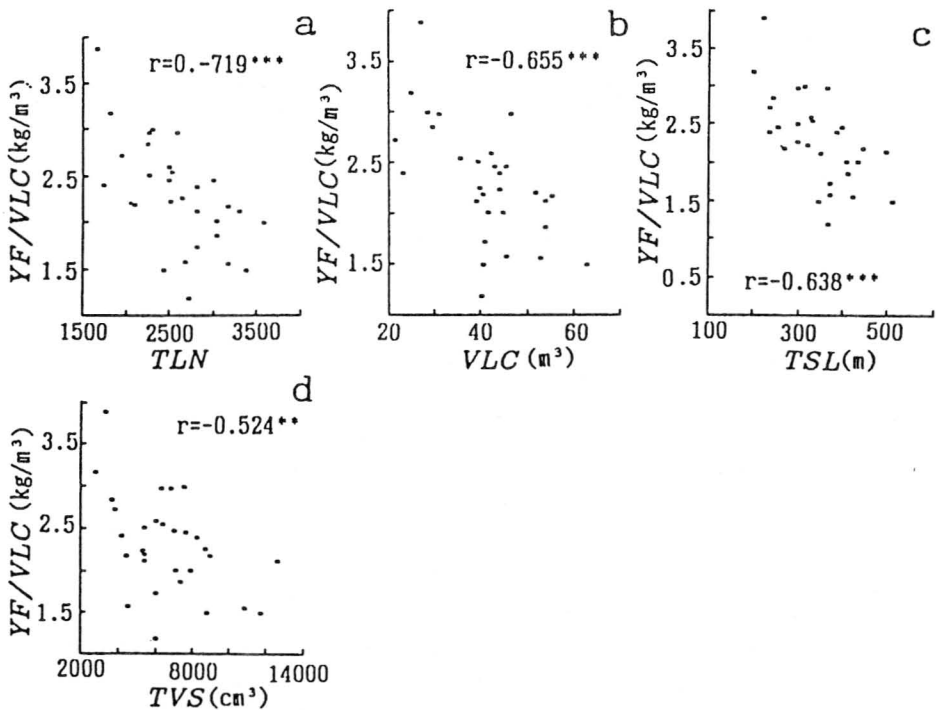


Fig. 5. Relationships between the ratio of yield to volume of leaf canopy (YF/VLC) and several characters.



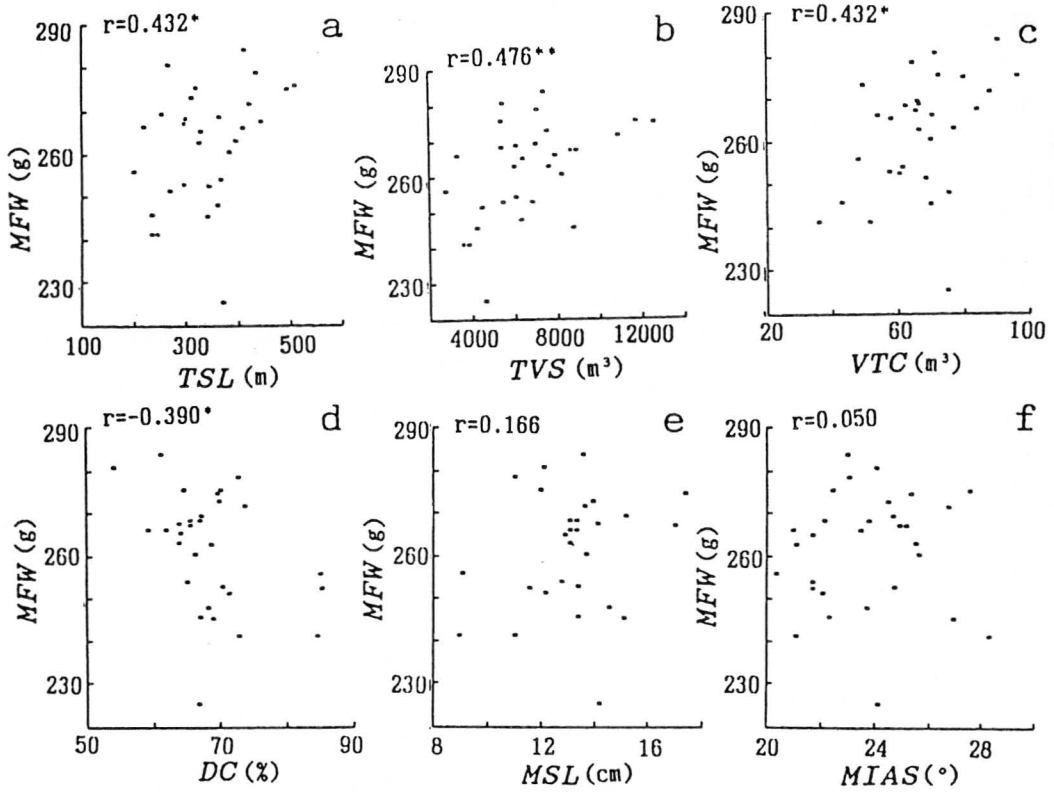


Fig. 6. Relationships between the mean fruit weight (MFW) and several characters.

る山なり状の分布が推察された(第6図e, f)。このことは樹勢が強くて着果数が抑えられると1果当りの葉数が多くなり果実が大きくなることを示す。‘デリシャス’系のリンゴ品種の平均果重と1果当りの葉面積あるいは枝当りの葉面積との間に正の有意な相関関係が報告されている<sup>10)</sup>。

平均着色程度(DC)は栄養生長に関係する多く特性値や着果数との間に負の相関関係が認められ、特に樹高(TH)、幹径(TD)及び材積(VW)との間でこの傾向は顕著であった(第7図a, b, c)。他方、平均着色程度(DC)は平均葉面積密度(MLAD)との間に正の相関関係が認められ、樹冠占有面積当りの葉面積指数(LAIC)が2付近で大きくなることが推察された(第7図d, e)。Morganら(1984)は透入PPFDの量が多いほど着色がよくなることをリンゴの‘Gala’で報告しているが<sup>18)</sup>、本実験においても樹冠内が明るくなることで着色向上に作用したものと推察される。

## 2) 日当りの関係

樹冠内の明るさの指標として、一つのみを取り上げるとすれば、日平均葉面PPFD(DMPPFD)が適していることはすでに報告したが<sup>28)</sup>、この特性値の欠点としては数値の分布幅が非常に狭かったことである。しかし、これと植被内への光投入に最も関係の深いものと見なされている<sup>1) 6) 8) 17)</sup>葉面積指数(LAIC)を始め、総新梢長(TSL)、新梢体積(TVS)、総着葉数(TLN)等の光遮断物質の量との間に負の相関関係が認められ(第8図a, b, c, d)、反対にはげあがり程度(DB)との間に正の相関関係が認められた(第8図e)。

日葉面総PPFD(DTPPFD)は葉数が多いほどあるいは樹が大きいくほど大きくなるものであり、これと総着葉数(TLN)をはじめ葉数の増大に密接な総新梢長(TSL)、葉層樹冠容積(VLC)、樹冠占有面積(AOLC)等との間に高い正の相関関係が認められた(第9図a, b, c, d)。この反面、これとはげあがり程度(DB)や無効容積の割合(EUV/VLC, IUV/VLC, TUV/VLC)との間に負の相関関係

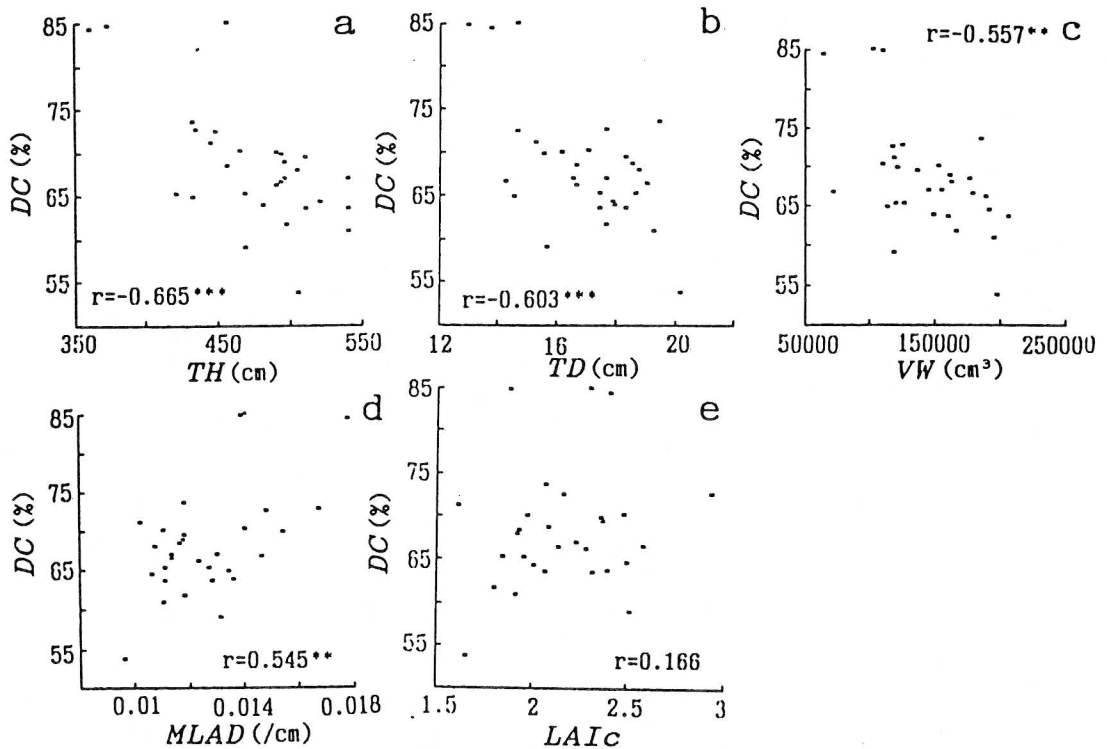


Fig. 7. Relationships between the degree of coloring of fruit (DC) and several characters.

係が認められた(第9図e, f, g, h). このことははげあがり樹のように空間内の葉の局在化により, 地面に漏れる光量が増えることを示す. また, 日葉面総 PPF(DTPPFD)と日平均葉面 PPF(DMPPFD)との間に高い負の相関関係が認められた(第9図i)ことは, 樹が大きくなることにより総光量は増えるが樹冠内は暗くなることを示唆するものである.

日受光効率(DIE)と葉面積指数(LAIc)や日葉面総受光量(DTPPFD)との間に高い正の, 総着葉数(TLN)や平均葉面積密度(MLAD)との間に正の相関関係が認められ(第10図a, b, c, d), 反対にはげあがり程度(DB)との間に負の相関関係が認められ(第10図e, f), 一方日平均葉面 PPF(DMPPFD)との間には高い負の相関関係が認められた(第11図a). すなわち, 日受光効率(DIE)は葉が多いほど高くなるが, 逆に樹冠内は暗くなることを示すもので, 同効率が低いことが必ずしも果実生産に有利であるとはいえない. 日受光効率(DIE)は樹高(TH), 樹冠実容積(VTC), 葉層樹冠容積(VLC), 樹冠占有面積(AOLC), 外部無効容積(EUV)及び新梢平均傾斜角度

(MIAS)に対して山なり状の分布を示し, それぞれの値がおおよそ450cm, 60m<sup>3</sup>, 40m<sup>3</sup>, 22m<sup>2</sup>, 25m<sup>3</sup>及び23度の付近で最大になることが推察された(第11図b, c, d, e, f, g). なお, リンゴの樹冠内光環境の測定は, uranyl oxalate法<sup>11)</sup>, 日射計<sup>13)</sup>, 積分日射計<sup>15)20)</sup>あるいは照度計<sup>23)</sup>によりこれまでにも数多くなされている. しかし, これらの現場測定においては樹冠内測定点が多くても150点の部位に限定されるなど空間的に断片的な上に, 測定時刻数にも限界があり, しかも, 水平面光強度あるいは全方向からの光の積分値として測定されており, 光合成速度に密接な葉面の光強度ではなかった. したがって, 樹形や葉群構造と光環境との間の詳細な関係に立ち入って解析したものではなかった.

### 3) 樹形・葉群構造, 栄養生長及び樹の寸法

枝や葉の空間分布, したがって, 樹形や樹冠形は三次元的自由度を有するため, 樹によって大いに異なったが, その個々について検討していない. ここでは, これらの集計値としての特性値, すなわち, 総新梢数(TSN), 総新梢長(TSL), 平均新梢長(MSL), 総着葉数(TLN), 樹

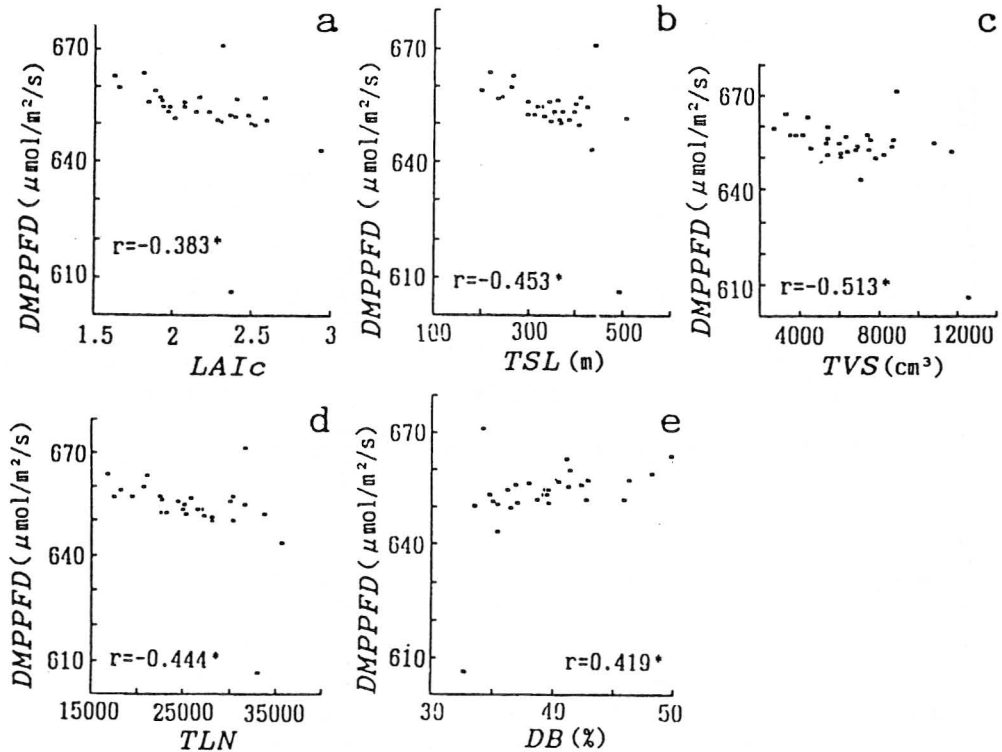


Fig. 8. Relationships between the mean daily photosynthetic photon flux density at leaf surface (*DMPPFD*) and several characters.

幅に関連する特性値(*EWV*, *SNW*, *AOLC*), 容積関係の特性値(*VLC*, *VTC*, *TVC*), 無効容積関連特性値(*EUV*, *IUV*, *TUV*)との間には相互に高い正の相関関係が認められた。これらの分布図は単純な正の相関関係であったため、特に特徴ある図のみを示した(第12図a~g)。幹径(*TD*)が大きくなれば、樹高(*TH*)や樹幅(*EWV*, *SNW*)も大きくなり、総新梢数(*TSN*), 総新梢長(*TSL*), 新梢総体積(*TVS*), 平均新梢長(*MSL*)も大きくなり、当然ながら総着葉数(*TLN*)も多くなり、葉層樹冠容積(*VLC*)や樹冠占有面積(*AOLC*)も大きくなり、また、樹が大きくなれば無効容積(*EUV*, *IUV*, *TUV*)も大きくなるからである。上記の単純な関係とは異なったが、平均新梢傾斜角度(*MIAS*)が大きくなれば、新梢体積(*TVS*), 総新梢長(*TSL*), 平均新梢長(*MSL*)の値も大きくなり、新梢が立つほど栄養生長が盛んであることを示す(第13図a, b, c)。例外として総新梢数(*TSN*)と平均新梢長(*MSL*)あるいは平均新梢傾斜角度(*MIAS*)の間には有意な相関関係はみられず(第14図a, b), 新梢数が多いことがかなら

ずしも樹勢が強いことを意味しない。新梢数と栄養成長の強さ(樹勢)との関係については今後検討を要する。また、はげあがり程度(*DB*)と上記の栄養生長の強さ(樹勢)を示す特性値との間に負の相関関係が認められたが(第14図c, d, e), 樹勢が弱かったり、衰弱ぎみであると新梢数も少なくなり、新梢長も短くなったためであろう。

葉面積指数(*LAIc*)は平均葉面積密度(*MLAD*)との間に正の、樹冠占有面積(*AOLC*)や外部無効容積(*EUV*)との間には有意でないが負の相関関係が推察された(第15図a, b, c)。また、葉面積指数(*LAIc*)が2付近で平均新梢長(*MSL*), 新梢平均傾斜角度(*MIAS*)及び総新梢長(*TSL*)がそれぞれ大きくなることが推察された(第15図d, e, f)。

材葉比(*CFR*)は葉重に対する材重の比として計算されているので、葉重あるいは材重の多少に関する樹冠占有面積当りの葉面積指数(*LAIc*)やはげあがり程度(*DB*)との間に密接な関係が認められた(第16図a, b)。興味深いことは、これと着色程度との間に負の有意な相関関係が認められたことである(第16図c)。

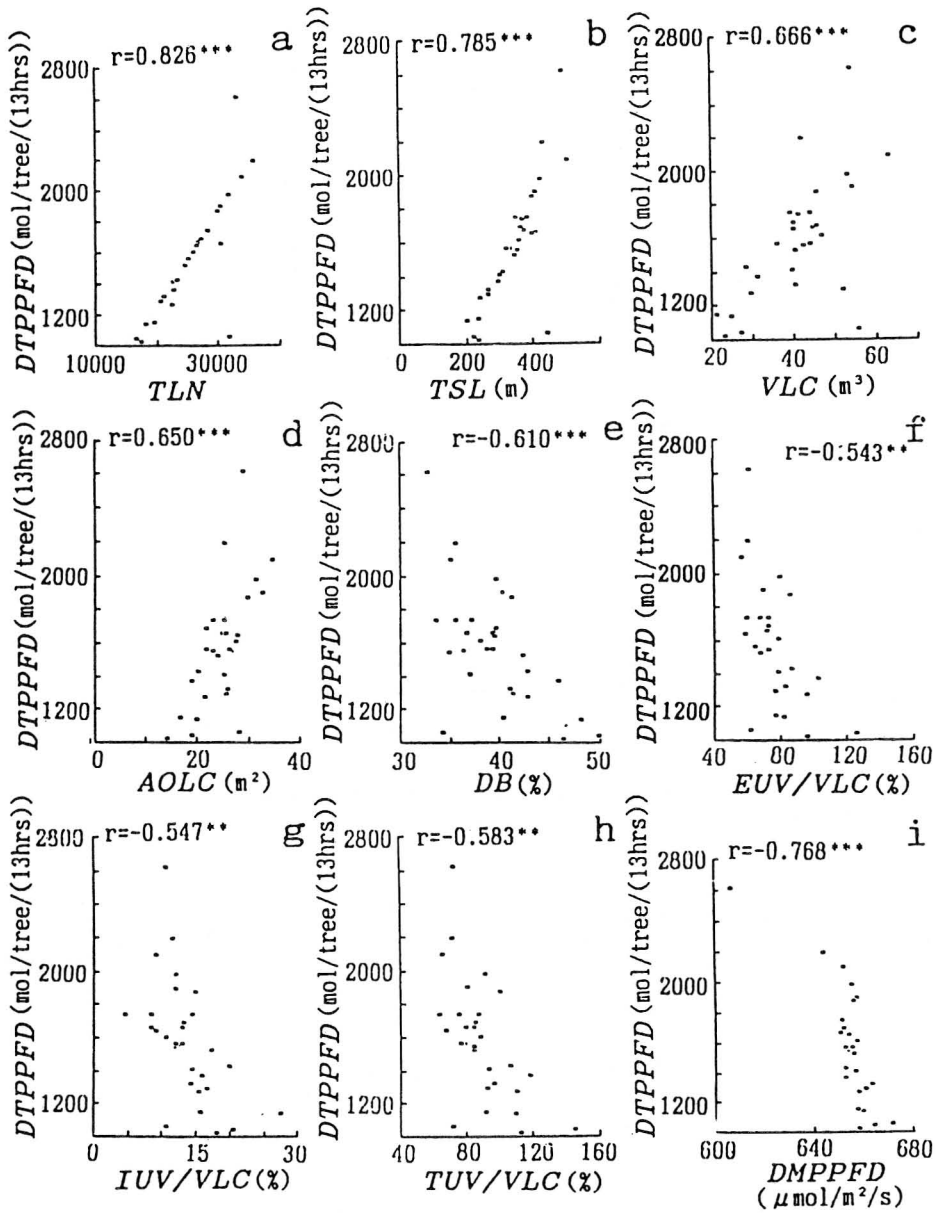


Fig. 9. Relationships between the total daily photosynthetic photon flux density at leaf surface ( $DTPPPFD$ ) and several characters.

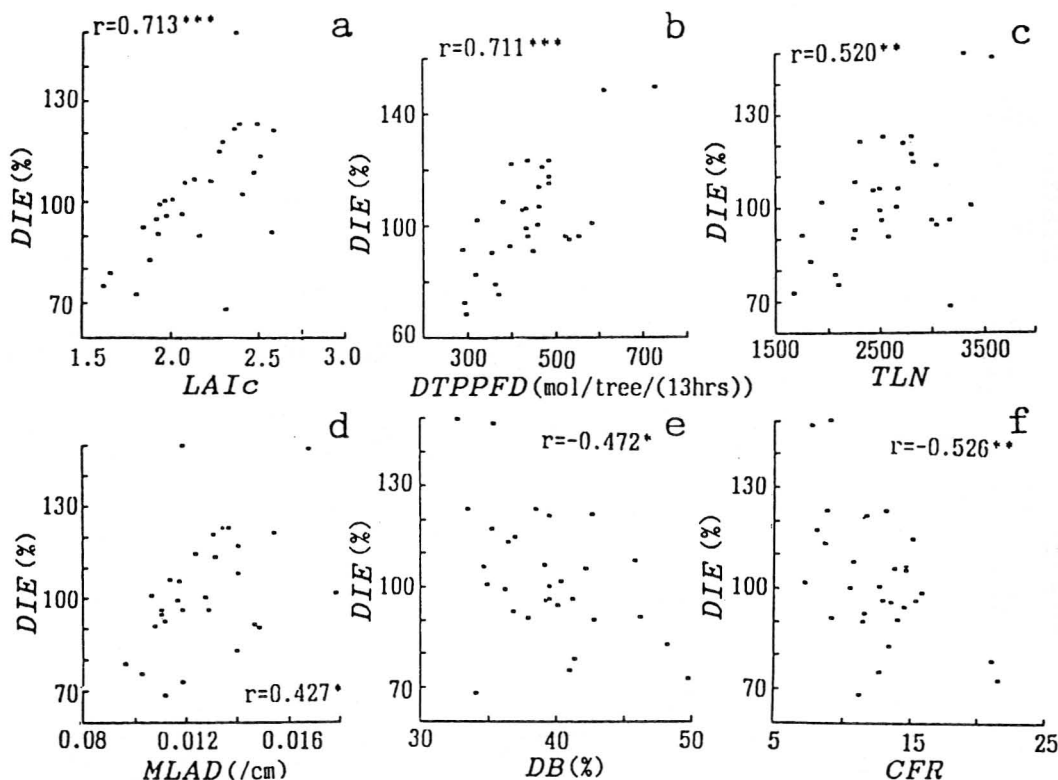


Fig. 10. Relationships between the daily irradiation efficiency (*DIE*) and several characters.

なお, 上記1), 2), 3)を通じて複数の特性値を用いて算出される指標である, 外部無効容積/葉層樹冠容積 (*EUV/VLC*), 内部無効容積/葉層樹冠容積 (*IUV/VLC*), 全無効容積/葉層樹冠容積 (*TUV/VLC*), 果実生産係数 (*FPC*)及び果実収量係数 (*FYC*)と他の特性値との間の関係は, 個々の直接的な特性値間の関係を反映したものになっていた(これらの図は省略).

### 3. まとめ

本実験に供したリンゴ園は粗放栽培であったため, 本実験結果の数値が, 経済園地における栽培管理のための直接的指標として役立つかどうか疑問である. しかし, 本実験結果には樹形・葉群構造, 日当たり及び果実生産性の間の基本的な相互関係が反映されているものと考えられる.

栄養成長の強さ, 日当たり及び果実生産性のそれぞれ主たる特性値を用いて3次元柱状分布図を描くと(第17図), 日平均葉面受光量 (*DMPPFD*)が約660 $\mu$ mol/m<sup>2</sup>/s以下のところで, 樹高 (*TH*)が約475cm以上のところ(第17

図上), あるいは平均新梢長 (*MSL*)が約12.5cm以上のところ(第17図中), あるいは平均新梢傾斜角度 (*MIAS*)が約23度以上のところ(第17図下)で, 果実収量 (*YF*)が減少していた. この図から, 果実生産を支え, 増大させるためには受光量, 樹容積や葉量のある程度の増大が必要であるが, 他方, 栄養成長を盛んにしすぎると結実が悪化するとともに樹冠内が暗くなり, おそらく花芽着生の減少及び光合成作用の低下を通じて, 果実生産が著しく減少することが示唆される.

本実験結果には長年にわたって形成されてきた, 各樹の果実着生の良否が反映されているものと考えられる. すなわち, 花芽着生量の多い樹は結果量も多く, したがって, 過度の栄養成長が抑えられ, 着葉数が多くならず, 樹冠内が明るくなり, 着葉数がさほど多くなくても, 果実生産に必要な程度の, かつ, 過繁茂状態に至らない程度の光合成産物の量が確保され, 一方, 果実の着色も向上し, 翌年のための花芽分化量も増大することである. いいかえれば, 樹冠内の明るさは果実収量の増大の原因

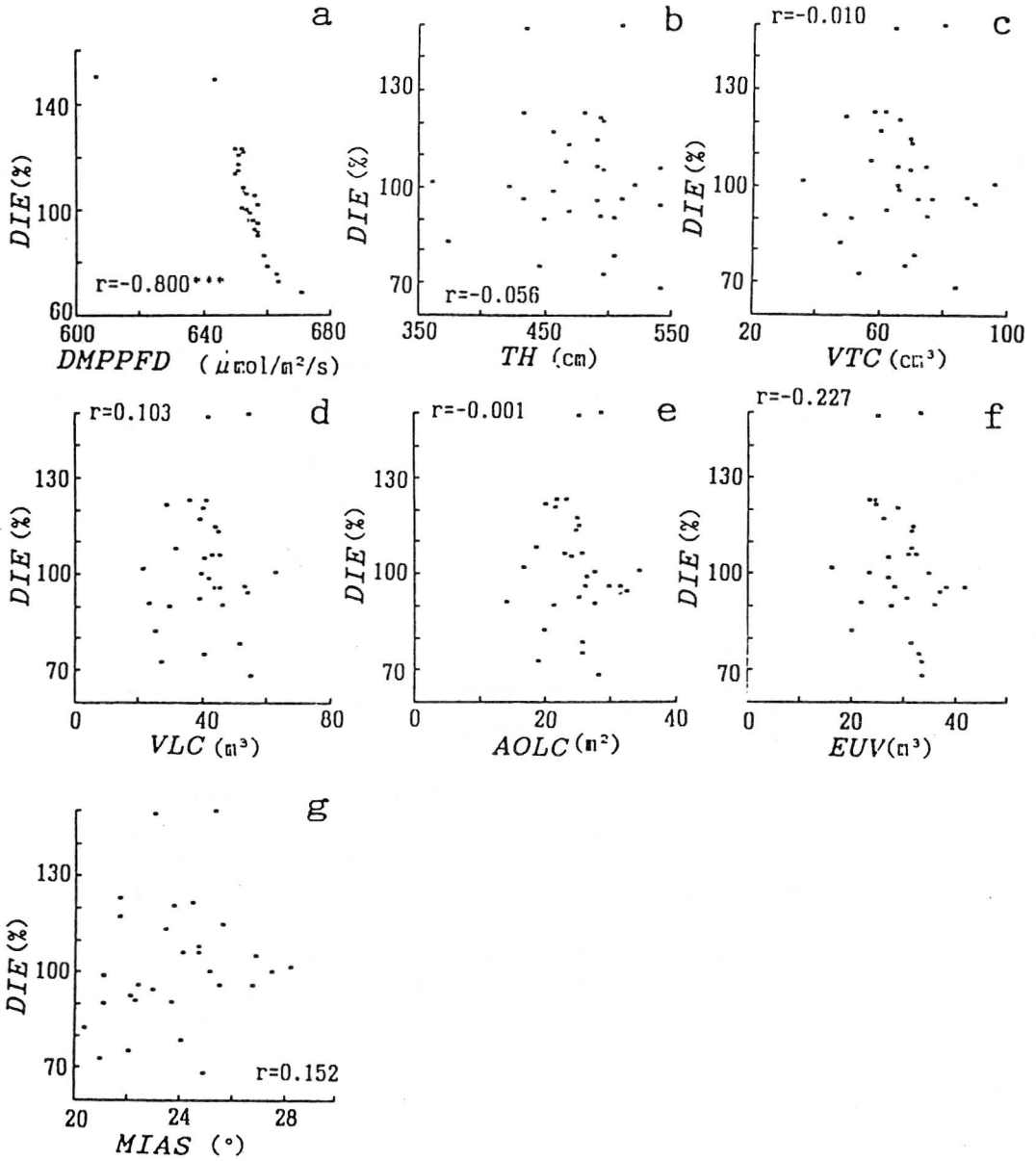


Fig. 11. Relationships between the daily irradiation efficiency (DIE) and several characters.

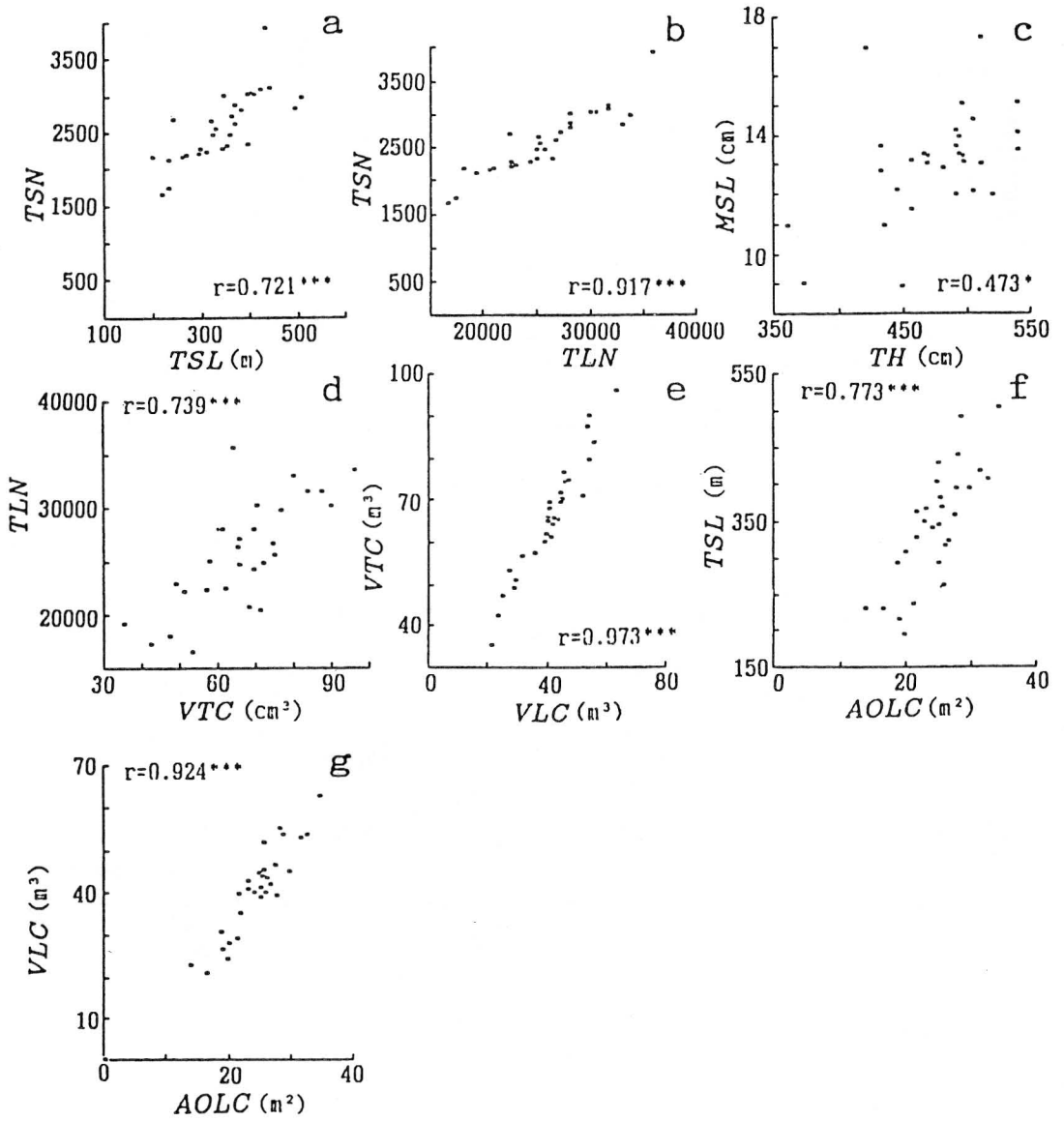


Fig. 12. Relationships between several characters relating with the tree vigor or tree size.



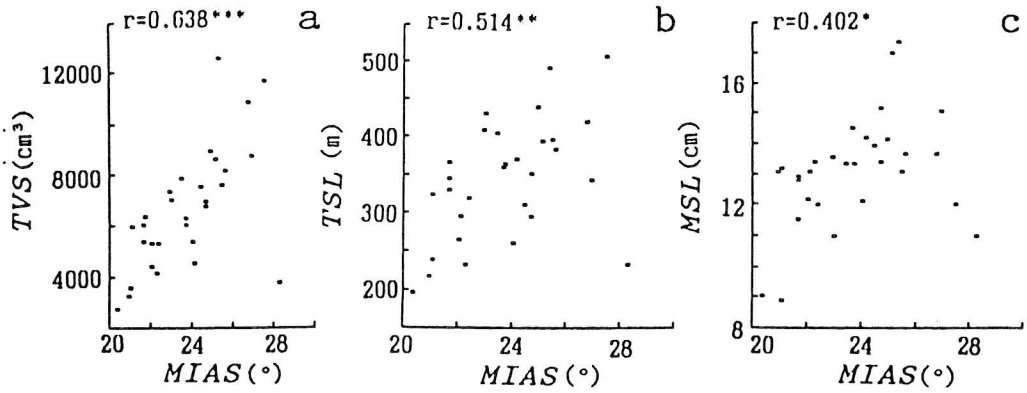


Fig. 13. Relationships between the mean inclination angle of current shoot ( $MIAS$ ) and several characters.

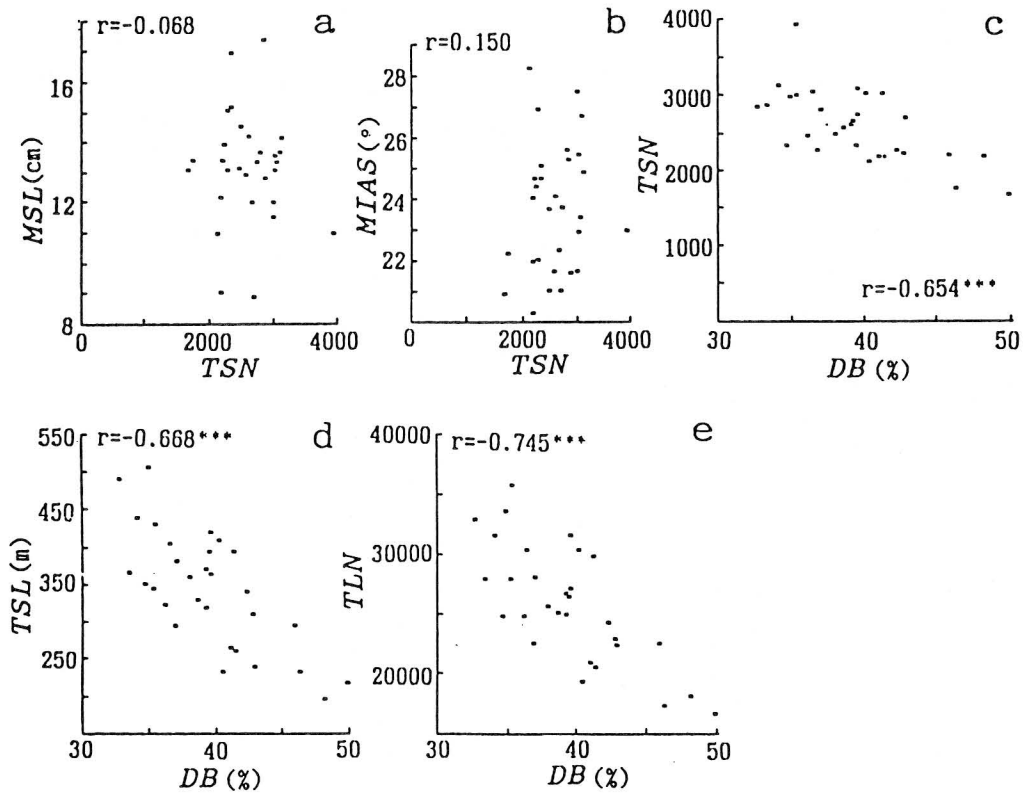


Fig. 14. Relationships between the degree of boldness ( $DB$ ) and several characters relating with the tree vigor.

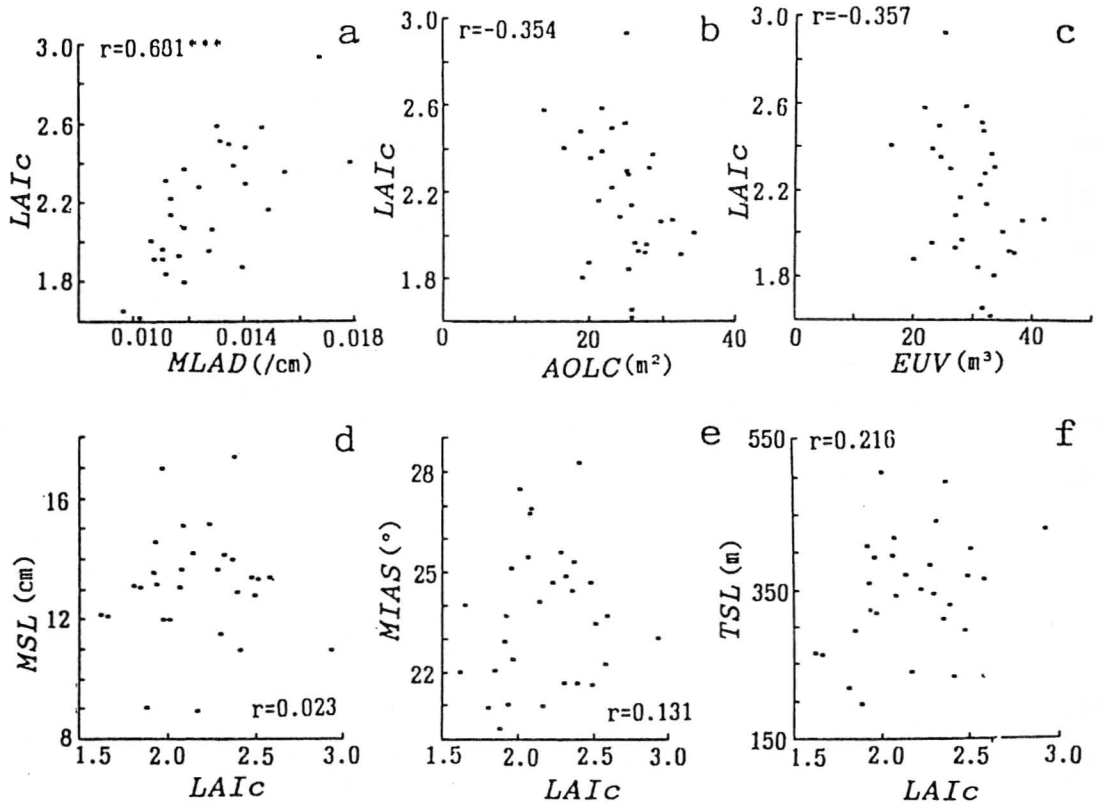


Fig. 15. Relationships between the leaf area index to area occupied by leaf area ( $LAIc$ ) and several characters.

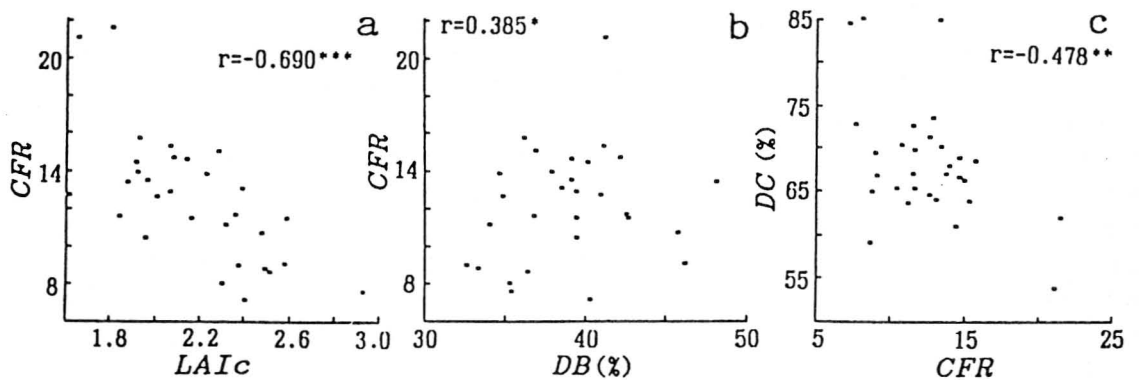


Fig. 16. Relationships between the C-F ratio ( $CFR$ ) and several characters.

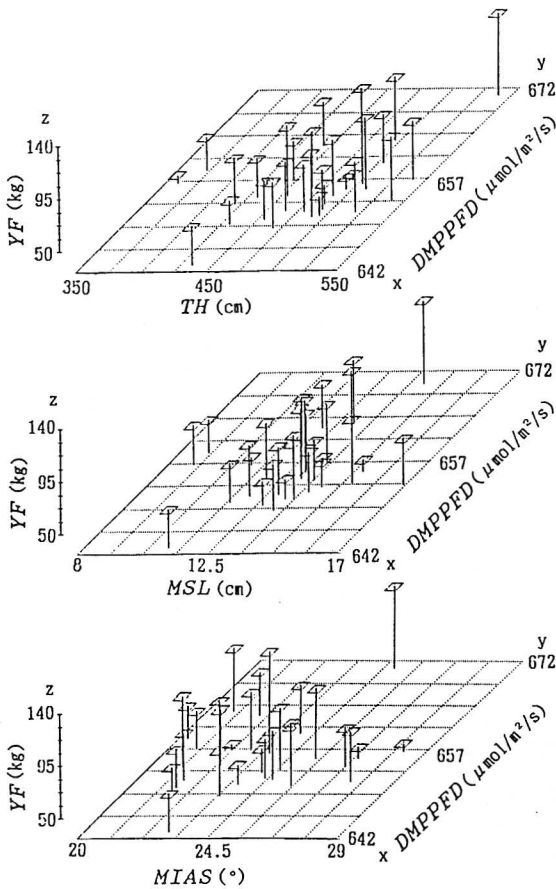


Fig. 17. Distributions of the yield of fruit ( $YF$ ) ( $z$  axi) against the daily mean photosynthetic photon flux density at leaf surface ( $DMPPFD$ ) ( $y$  axis), and the tree height ( $TH$ ) (upper), the mean current shoot length ( $MSL$ ) (middle) and the mean inclination angle of current shoot ( $MIAS$ ) (lower), respectively.

でもあり、結果でもあった可能性がある。この可能性はこの種の実態調査結果には常につきまとうことである。どの樹も着葉数がほぼ等しい状態では、樹冠内の明るさの違いが光合成作用の違いをもたらす、ひいては、花芽分化量や着果量の違いとなって現れるであろうが、今回の実態調査においては、これを比較する条件は存在しなかった。

いずれにしても、上記の栄養生長の強さ、結果量及び日当たり等の間に横たわるこの基本的矛盾を解決するには、第1に結実管理を徹底するとともに、第2に日当たり

良好な樹形・葉群構造を検索し、整枝せん定により、その構築と維持をはからねばならない。

## 摘 要

「樹形・葉群構造の季節的変化推定システム」<sup>27)</sup>及び「葉面放射の樹冠内分布推定モデル」<sup>26)</sup>を用いて、同一園地、同一樹齢(13年生)及び同一栽培管理下のリングのマルバカイドウ台‘ふじ’30樹を用い、樹形・葉群構造、日当たり及び果実生産性に関する合計約40個の特性値の分布及びこれらの相互関係を調査、解析した。

1. 果実生産性の特性値である果実収量( $YF$ )や葉層樹冠容積( $VLC$ )などの容積関係の特性値の変動係数は約20~36%で極めて広く分布した。平均葉面積密度( $MLAD$ )、総着葉数( $TLN$ )などの変動係数は約15~24%、総新梢数( $TSN$ )や葉面積指数( $LAIc$ )の変動係数は約14~18%で、やや広く分布した。幹径( $TD$ )、樹高( $TH$ )、はげあがり程度( $DB$ )の変動係数は約10%でやや狭く分布した。平均新梢傾斜角度( $MIAS$ )や平均果重( $MFW$ )の変動係数は約5~9%で狭く分布した。最も狭い分布を示した特性値は日平均葉面PPFD( $DMPPFD$ )で、変動係数は1.6%であった。

2. 個々の特性値間の相互関係を解析したところ、果実収量( $YF$ )と日平均葉面PPFD( $DMPPFD$ )との間に正の相関関係が推察され、樹冠占有面積当たりの葉面積指数( $LAIc$ )、平均葉面積密度( $MALD$ )やはげあがり程度( $DB$ )との間に負の相関関係が認められた。また、 $YF$ は平均新梢長( $MSL$ )、総新梢長( $TSL$ )及び平均新梢傾斜角度( $MIAS$ )に対して山なりに分布することが推察された。果実収量/葉層樹冠容積( $FY/VLC$ )と栄養生長の強さを示す多くの特性値との間に高い負の相関関係が認められた。日平均葉面PPFD( $DMPPFD$ )と葉面積指数( $LAIc$ )や総着葉数( $TLN$ )等の光遮断物質質に関係する多くの特性値との間に負の相関関係が認められた。日葉面総PPFD( $DTPPFD$ )と栄養生長の強さを示す特性値との間に高い正の、日平均葉面PPFD( $DMPPFD$ )との間に負の相関関係が認められ、樹が大きくなると総受光量は増えるが樹冠内が暗くなることが示された。その他、栄養生長の強さ(樹勢)や樹の寸法を示す多くの特性値との間には相互に高い正の相関関係が認められたが、はげあがり程度( $DB$ )との間には通常負の相関関係が認められた。

3. 3次元柱状グラフによる解析の結果、日平均葉面PPFD( $DMPPFD$ )が約 $660\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以下であれば、樹高( $TH$ )が約475cm以上の領域、あるいは平均新梢長( $MSL$ )

が約12.5cm以上あるいは平均新梢傾斜角度が約23度以上の領域で果実収量(YF)が減少した。このことから、結実管理の徹底とともに、日当たりの改善並びにこのための樹形・葉群構造の検索とこれの構築・維持及び栄養生長のある程度の抑制が安定的な果実生産にとって肝要であることが確認された。

### 引 要 文 献

- 1) ANDERSON, M. C. 1966. Stand structure and light penetration. II. A theoretical analysis. *J. Appl. Ecol.* 3 : 41-54.
- 2) 浅田武典. 1989. 開心形リンゴ樹の果実生産性に関する研究. 第1報. 津軽地域における優良リンゴ園の収量. 弘大農報. 49 : 47-60.
- 3) 浅田武典. 1990. 開心形リンゴ樹の果実生産性に関する研究. 第3報. 収穫果の果径別分布と発育良果について. 弘大農報. 51 : 69-79.
- 4) 浅田武典. 1990. 開心形リンゴ樹の果実生産性に関する研究. 第4報. 樹冠占有面積率と樹冠の厚さからみた葉面積指数及び収量. 弘大農報. 52 : 31-43.
- 5) CAIN, J. C. 1971. Effects of mechanical pruning hedgerows with a slotting saw on light penetration and fruiting. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96 : 664-667.
- 6) CHALES-EDWARD, D. A. and THORPE, M. R. 1976. Interception of diffuse and direct-beam radiation by a hedgerow apple orchard. *Ann. Bot.* 40 : 603-613.
- 7) DOUD, D. S. and FERREE, D. C. 1980. Influence of altered light levels on growth and fruiting of mature 'Delicious' apple trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105 : 325-328.
- 8) FERGUSON, J. H. A. 1960. A comparison of two planting systems in orchards as regards the amount of radiation intercepted by the trees. *Netherland J. Agr. Sci.* 8 : 271-280.
- 9) FEREE, D. C. 1980. Canopy development and yield efficiency of 'Golden Delicious' apple trees in four orchard management systems. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105 : 376-380.
- 10) FERREE, D. C. and FORSHEY, C. G. 1988. Influence of pruning and urea spray on growth and fruiting spur-bound 'Delicious' apple trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113 : 699-703.
- 11) HEINICKE, D. R. 1966. Characteristics of McIntosh and Red Delicious apples as influenced by exposure to sunlight during the growing season. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 89 : 10-13.
- 12) 平野 暁・菊池卓郎編. 1989. 果樹の物質生産と収量—増収技術の基礎理論—. 農文協. 東京.
- 13) JACKSON, J. E. 1970. Aspects of climate within apple orchards. *J. Appl. Ecol.* 7 : 207-216.
- 14) JACKSON, J. E., SHARPLES, R. O. and PALMER, J. W. 1971. The influence of shade and within-tree position on apple fruit size, colour and storage quality. *J. hort. Sci.* 46 : 277-287.
- 15) KIKUCHI, T. 1974. Growth and structure of the shoot system of apple trees as characterized by the frequency distribution of shoot length. *Bull. Fac. Agric. Hirosaki Univ.* 23 : 27-59.
- 16) 岸本 修. 1988. ナシ主要品種における果実生産力と材形成—収量効率に代えて果実生産係数(仮称)等の提示—. 園学要旨. 昭63秋 : 86-87.
- 17) MONSI, M. and SAEKI, T. 1953. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jap. J. Bot.* 14 : 22-52.
- 18) MORGAN, D. C., STANLEY, C. J., VOLZ, R. and WARRINGTON, I. J. 1984. Summer pruning of 'Gala' apple : The relationships between pruning time, radiation penetration, and fruit quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109 : 637-642.
- 19) PARRY, M. S. 1981. A comparison of hedgerow and bush, tree orchard systems at different within-row spacings with four apple cultivars. *J. hort. Sci.* 56 : 219-235.
- 20) ROBINSON, T. L., SEELEY, E. J. and BARRITT, B. H. 1983. Effect of light environment and spur age on 'Delicious' apple fruit size and quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108 : 855-861.
- 21) SEELEY, E. J., MICKE, W. C. and KAMMERECK, R. 1980. 'Delicious' apple fruit size and quality as influenced by radiant flux density in the immediate growing environment. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105 : 645-657.
- 22) 塩崎雄之輔. 1989. マルバカイドウ台リンゴ半密植栽培の技術確立に関する研究. 第2報 マルバカイドウ台とわい性台の収量の経年変化. 弘大農報. 51 : 51-68.
- 23) 塩崎雄之輔・菊池卓郎. 1988. 樹勢と摘葉作業が開

- 心形リンゴ樹の樹冠内光条件に及ぼす影響. 弘大農報. 50: 35-45.
- 24) 塩崎雄之輔. 菊池卓郎. 今 満・藤井明彦・三上道彦. 1988. 樹勢と摘葉作業が開心形リンゴ樹の樹冠内光条件に及ぼす影響. 弘大農報. 49: 22-33.
- 25) TUSTIN, D. S. and HIRST, P. M. 1988. Influence of orientation and position of fruiting laterals on canopy light penetration, yield, and fruit quality of 'Granny Smith' apple. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113: 693-699.
- 26) 山本隆儀. 1988. 果樹における葉面放射の樹冠内分布推定シミュレーションモデル. 山形大学紀要(農学). 10(3): 583-612.
- 27) 山本隆儀・畠 良七. 1991. 果樹の樹群・葉群構造の季節的变化推定システム. 山形大学紀要(農学). 11(2): 343-373.
- 28) 山本隆儀・石嶋幸夫・鈴木計恵子. 1992. 同一樹齢のカキ'平核無'の葉群構造, 日当たり及び果実生産性の同一園地内分布及びこれらに関する諸形質の相互関係. 山形大学紀要(農学). 11: 501-521.
- 29) 山本隆儀・佐藤吉雄・舟生卓磨・石嶋幸夫・鈴木計恵子. 1993. カキ'平核無'樹の推定純光合成速度および果実生産性との関係. 園学雑. 62(1): 27-39.
- 30) 山本隆儀・上田仁悦・小泉弘樹・西沢滝太. 1980. 落葉果樹の樹冠内放射の減衰係数とその推定パラメータ. 山形大学紀要(農学). 11: 155-176.
- 31) 山本隆儀・山口恵理. 1989. 果樹の樹形・葉群構造の簡易解析システム—二側面写真画像を用いた新システムの開発—. 山形大学紀要(農学). 10(4): 869-901.