

# わい性および半わい性台木を利用したリンゴ ‘スターキング・デリシャス’ 樹における純生産量とその樹体内分配に及ぼす栽植密度の影響

黒田治之<sup>\*a</sup>・千葉和彦

農業・生物系特定産業技術研究機構北海道農業研究センター 062-8555 札幌市豊平区羊ヶ丘

## Effect of Planting Density on Net Production and Partitioning in ‘Starking Delicious’ Apple Trees on Dwarfing and Semi-dwarfing Rootstocks

Haruyuki Kuroda<sup>\*a</sup> and Kazuhiko Chiba

National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, NARO, Hitsujigaoka, Toyohira-ku, Sapporo 062-8555

### Abstract

The effect of planting density (330–3178 trees/ha) on net production (t DW/ha/y) and partitioning was studied in 11 to 13-year-old ‘Starking Delicious’ apple trees on M.9, M.26, M.7 and MM.106 without pruning. On all rootstocks, individual annual dry matter production ( $\Delta pn$ ) and annual dry matter production per tree of fruit (fd), leaf (ld), branch ( $\Delta pb$ ), trunk ( $\Delta pt$ ) and root ( $\Delta pr$ ) decreased as planting density ( $\rho$ ) increased. The density effects on  $\Delta pn$ ,  $z$  (ld,  $\Delta pb$ ,  $\Delta pt$  or  $\Delta pr$ ) and fd could be represented by the following equations, respectively:  $1/\Delta pn = A_1\rho + B_1$ ,  $1/z = A_2\rho + B_2$ , and  $fd = K \exp(-k\rho)$ . On all rootstocks, net production ( $\Delta Pn$ ) and net production of leaf (Ld), branch ( $\Delta Pb$ ), trunk ( $\Delta Pt$ ) and root ( $\Delta Pr$ ) increased as planting density ( $\rho$ ) increased, but on three rootstocks excluding M.26, the net production of fruit (fruit production: Fd) was maximized at the optimum planting density ( $\rho_{opt}$ ). The density effects on  $\Delta Pn$ ,  $Z$  (Ld,  $\Delta Pb$ ,  $\Delta Pt$  or  $\Delta Pr$ ) and Fd could be represented by the following equations, respectively:  $1/\Delta Pn = A_3 + B_3/\rho$ ,  $1/Z = A_4 + B_4/\rho$ , and  $Fd = H'\rho/(A_1\rho + B_1)^h$ . Partitioning ratio into leaf (Ld/ $\Delta Pn$ ), branch ( $\Delta Pb/\Delta Pn$ ), trunk ( $\Delta Pt/\Delta Pn$ ) and root ( $\Delta Pr/\Delta Pn$ ) increased as planting density ( $\rho$ ) increased, but that into fruit (Fd/ $\Delta Pn$ ) decreased. The density effects on  $Z/\Delta Pn$  (Ld/ $\Delta Pn$ ,  $\Delta Pb/\Delta Pn$ ,  $\Delta Pt/\Delta Pn$  or  $\Delta Pr/\Delta Pn$ ) and Fd/ $\Delta Pn$  could be represented by the following equations, respectively:  $1/(Z/\Delta Pn) = A_5 + B_5/\rho$  and  $Fd/\Delta Pn = K' \exp(-k'\rho)$ . The relationship between fruit production (Fd) and net production ( $\Delta Pn$ ) could be represented by the following quadratic function:  $Fd = -a_1(\Delta Pn)^2 + b_1(\Delta Pn) + c_1$ . The relationship between fruit production (Fd) and partitioning ratio into fruit (Fd/ $\Delta Pn$ ) could be represented by the following quadratic function:  $Fd = -a_2(Fd/\Delta Pn)^2 + b_2(Fd/\Delta Pn) + c_2$ . The relative relation between the net production ( $\Delta Pn$ ) and the partitioning ratio into fruit (Fd/ $\Delta Pn$ ) was defined as  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$ , and the relations between fruit production (Fd) and  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  plotted on the log-log coordinates (Fig. 6) showed the same pattern as the log Fd-log  $\rho$  curves (Fig. 2). From these results, it was suggested that the density effect on fruit production is a phenomenon that  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  changes with planting density, and, as a result, fruit production changes.

**Key Words** : fruit production, logistic theory, *Malus domestica* Borkh., net production/partitioning ratio into fruit ( $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$ )

**キーワード** : 果実生産量, *Malus domestica* Borkh.,  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$ , ロジスチック理論

### 緒 言

著者ら(黒田ら, 1997)は, わい性および半わい性台木を利用したリンゴ (*Malus domestica* Borkh.) 樹における果実収量(生重)と栽植密度の関係をロジスチック理論(Shinozaki・Kira, 1956)に基づいて検討し, 果実収量(Y)と栽植密度( $\rho$ )との間には, 次のような密度効果式(1)が成立することを報告した。

$$Y = H\rho/(A\rho + B)^h \quad (1)$$

(A, B および H は樹齢や台木の種類によって変化する係数, h は相対成長係数)

また, 果実収量が最大となる最適栽植密度の存在を示すとともに(黒田ら, 1997), 最適葉面積指数(黒田・千葉, 1999)や最適光捕捉率(黒田・千葉, 2002)など, わい性および半わい性台木を利用したリンゴ個体群における果実生産に関する生態的特性を報告した。

しかし, 生産効率の高いリンゴわい化栽培園を構築するには, 果実生産性を規定する純生産量およびその樹体内分配と栽植密度の関係を明らかにする必要がある。Palmer (1988) はリンゴ ‘陸奥’/M.27 を用いて, 4444 ~ 8889 樹/ha

2005年10月27日 受付. 2006年4月26日 受理.

\* Corresponding author. E-mail: kurodah@agri.kagoshima-u.ac.jp

<sup>a</sup>現在: 鹿児島大学農学部 890-0065 鹿児島市郡元

の範囲で4段階の栽植密度試験を行い、純生産量は栽植密度の増加に伴って増加したが、純生産量の葉への分配は栽植密度の影響を受けにくいことを報告している。しかし、純生産量あるいはその樹体内分配と栽植密度の関係をロジスチック理論に基づいて解析した報告は見当たらない。純生産量とその樹体内分配に関してロジスチック理論の適合が可能になれば、果実生産に関係する多くの問題をロジスチック理論の立場から統一的に検討でき、それによって果実生産量を高める手段を考える糸口が得られるものと考えられる。

本報告では、わい性および半わい性台木を利用したリンゴ‘スターキング・デリシャス’樹における純生産量とその樹体内分配に及ぼす栽植密度の影響をロジスチック理論に基づいて検討するとともに、果実生産構成要因を物質生産の観点から検討した。

## 材料および方法

### 1. 栽植密度試験圃および樹体管理

1975年5月にM.9, M.26, M.7およびMM.106台木に接ぎ木したリンゴ‘スターキング・デリシャス’1年生苗木を等比級数  $[L_n = \alpha + a(1-r^n)/(1-r)]$ 、ただし、 $\alpha = 9.55$ ,  $a = 1.75$ ,  $r = 7/6$ ,  $n = 0 \sim 9$  に従って放射状(中心角9°, 40列)に植栽した。栽植密度は、M.9とM.26台木樹では453, 623, 858, 1185, 1642, 2281および3178樹/haの7段階、M.7とMM.106台木樹では330, 453, 623, 858, 1185, 1642, 2281および3178樹/haの8段階とし、各密度区は1密度区4樹2反復で、計8樹をもって構成した(黒田ら, 1996)。樹体管理は徒長枝の剪除程度とし、ほぼ無剪定状態とした。摘果は4頂芽1果を基準としたが、‘スターキン

**Table 1** Effect of planting density on fruit set percentage and harvested fruit number per tree in ‘Starking Delicious’ apple trees on M.9, M.26, M.7 and MM.106.

Rootstock	Tree age (years)	Planting density (trees/ha)	Fruit set percentage <sup>z</sup>	Harvested fruit number per tree
M.9	12	623	14.3 <sup>y</sup>	352
		1185	12.9	197
		3178	8.1	47
M.26	11	623	9.2	453
		1185	7.8	184
		3178	7.7	28
M.7	13	330	8.6	564
		623	7.1	357
		1185	7.0	143
		3178	6.4	20
MM.106	12	330	13.6	776
		623	7.6	541
		1185	6.7	226
		3178	7.0	36

<sup>z</sup> Calculated as (number of setting fruits/number of flowers) × 100.

<sup>y</sup> Values are means of two trees.

グ・デリシャス’の特徴である低い結果率のため、結果率が比較的高かった330樹/haあるいは453樹/haにおいても、摘果量は純生産量の0.8～1.2%程度で、1185樹/ha以上の密度区ではほとんど摘果の必要性がなかった。調査樹における結果率および1樹あたり収穫果数は第1表のとおりである。なお、成育期間中の枝、葉、果実などの脱落量を捕捉するために、調査樹にリター・トラップを設置したが、枝、葉および果実の脱落はほとんど観察されなかった。

### 2. 1樹当たり乾物重の測定

M.26台木樹(11年生)は1985～1986年に、M.9とMM.106台木樹(12年生)は1986～1987年に、M.7台木樹(13年生)は1987～1988年に、それぞれ1樹当たり乾物重の測定を行った。M.9とM.26台木樹では623, 1185および3178樹/haの3密度区から、M.7とMM.106台木樹では330, 623, 1185および3178樹/haの4密度区からそれぞれ4樹列の内側2樹列に位置する2樹を選び、10月中旬に地上部を切り取り、1樹ごと果実、葉、枝および幹に区分した後、80°Cの通風乾燥機で1週間乾燥し、乾物重を測定した。これら供試樹の根は翌年の6～7月に、既報(黒田・千葉, 2006)で述べた方法によって1樹ごと掘り上げ、水洗してから地上部と同様に、80°Cの通風乾燥機で1週間乾燥し、乾物重を測定した。なお、摘果した果実は1樹ごとに乾物重を求め、果実乾物重に加えた。

### 3. 樹体各部位の1樹当たり年間乾物生産量の推定

果実と葉の1樹当たり乾物重は、そのまま1樹当たりの年間乾物生産量(以下、年間生産量とする)とした。枝、幹および根については、既報(黒田・千葉, 2004, 2006)で示した1樹当たりの枝乾物重、幹乾物重および根乾物重と幹断面積との相対成長式に、前年に測定した幹断面積値を代入して1樹当たりの枝、幹および根の乾物重を推定し、それらを上記2.で求めた実測値から差し引いた値を枝、幹および根の1樹当たり年間生産量とした。

### 4. 純生産量と部位別純生産量および純生産量の樹体内分配率の算出

果樹園は防除や栽培管理が行き届いているため、葉や枝の脱落量が少ない一方で、剪定や摘果によって枝や果実が失われ、また生理落果も起こる。それ故、果樹園における純生産量(t乾重/ha/年)は、1年間における現存量の増加量に、剪定による枝の損失量および摘果や生理落果による果実の損失量を加えることによって求められる。ところが、本試験は無剪定状態であり、生理落果もほとんど観察されなかった。従って、本試験での純生産量( $\Delta P_n$ )は次式(2)のように、果実、葉、枝、幹および根の1ha当たり年間生産量、すなわち果実の純生産量(Fd)、葉の純生産量(Ld)、枝の純生産量( $\Delta P_b$ )、幹の純生産量( $\Delta P_t$ )および根の純生産量( $\Delta P_r$ )の合計として求められる。

$$\Delta P_n = Fd + Ld + \Delta P_b + \Delta P_t + \Delta P_r \quad (2)$$

果実、葉、枝、幹および根の純生産量は、それぞれの部

位の1樹当たり年間生産量に栽植密度(樹数/ha)を乗じて算出した。また、果実、葉、枝、幹および根への純生産量の分配率は、純生産量で各部位の純生産量を割って求めた。なお、各密度区におけるデータは2樹の平均値で示したが、相関係数の有意性の検定はM.9とM.26台木樹ではn=6、M.7とMM.106台木樹ではn=8で行った。

## 結果および考察

### 1. 樹体各部位の1樹当たり年間生産量に及ぼす栽植密度の影響

栽植密度を異にしたわい性および半わい性台木リンゴ樹における樹体各部位の1樹当たり年間生産量を第2表に示した。各部位の1樹当たり年間生産量の合計値である個体年間生産量は、各台木樹とも栽植密度の増加に伴って減少した。果実、葉、枝、幹および根の1樹当たり年間生産量も栽植密度の増加に伴って減少したが、その減少程度は部位によって異なった。M.9台木樹における各部位の1樹当たり年間生産量の減少程度を(623樹/haの1樹当たり年間生産量-3178樹/haの1樹当たり年間生産量)/623樹/haの1樹当たり年間生産量×100の式で計算すると、果実が88.3%と最も高い減少率を示し、次いで葉が57.5%と続き、根、枝および幹はそれぞれ19.8%、17.0%および10.3%と低い減少率となった。同様の傾向は他の台木樹でも認められ、部位ごとの密度効果は果実に最も強く現れ、次いで葉が強く、根、枝および幹の順で弱くなることが示された。

一般に、密植条件下では樹体が栄養成長に傾き、果実生産が低下するという密植害が発生する。本試験の結果は、このような現象が果実生産と栄養体生産における密度効果の違いに起因することを示している。栽植密度の変化に基づく樹体の質的变化は、部位の密度効果の違いによるもの

と考えられる。

### 2. 樹体各部位の1樹当たり年間生産量と栽植密度の関係

樹体各部位の1樹当たり年間生産量と栽植密度の関係をロジスチック理論に基づいて解析した。まず、個体年間生産量と栽植密度の関係について検討した。その結果、個体年間生産量の逆数(1/Δpn)と栽植密度(ρ)との間には、各台木樹とも正の有意な相関が認められ(第3表)、個体年間生産量に関する密度効果は、次のような逆数式(3)で表された。

$$1/\Delta pn = A_1\rho + B_1 \quad (3)$$

(A<sub>1</sub>とB<sub>1</sub>は樹齢や台木の種類によって変化する係数)

同様の結果は、果実、葉、枝、幹および根の1樹当たり年間生産量の逆数(1/fd, 1/ld, 1/Δpb, 1/Δpt および 1/Δpr)と栽植密度(ρ)の間でも認められ(第3表)、fd, ld, Δpb, Δpt および Δpr をzで表記すると、果実、葉、枝、幹および根の1樹当たり年間生産量に関する密度効果は、次のような逆数式(4)で表された。

$$1/z = A_2\rho + B_2 \quad (4)$$

(A<sub>2</sub>とB<sub>2</sub>は樹齢、台木の種類および部位によって変化する係数)

しかし、果実の1樹当たり生産量に関する逆数式は、B値が負数になった(第3表)。ロジスチック理論では逆数式のB値は0に漸近するが、負数にはならないことが必要条件とされているので(Shinozaki・Kira, 1956)、1/fdとρの逆数式はロジスチック理論に適合しないことになる。そこで、逆数式に代わる関数について検討した結果、1樹当たり果実生産量(fd)と栽植密度(ρ)の間には、式(5)の指数関数が良くあてはまることが認められた(第3表)。

**Table 2** Effect of planting density on annual dry matter production per tree of each organ in 'Starking Delicious' apple trees on M.9, M.26, M.7 and MM.106.

Rootstock	Tree age (years)	Planting density (ρ: trees/ha)	Annual dry matter production per tree (kg DW/tree/y)					
			Fruit (fd)	Leaf (ld)	Branch (Δpb)	Trunk (Δpt)	Root (Δpr)	Total (Δpn)
M.9	12	623	10.80 <sup>z</sup>	3.86	1.87	0.87	1.35	18.75
		1185	6.08	3.05	1.77	0.85	1.28	13.03
		3178	1.26	1.64	1.50	0.78	1.12	6.30
M.26	11	623	14.47	5.53	2.24	1.23	1.65	25.12
		1185	5.52	3.84	2.10	1.10	1.49	14.05
		3178	0.78	1.77	1.91	0.95	1.36	6.77
M.7	13	330	14.79	10.68	6.39	1.81	4.21	37.88
		623	9.29	8.73	5.50	1.63	3.59	28.74
		1185	3.48	6.08	4.14	1.58	2.63	17.91
		3178	0.48	3.04	2.14	0.90	1.34	7.90
MM.106	12	330	20.20	10.17	4.04	1.35	3.32	39.08
		623	13.11	8.15	3.68	1.25	2.83	29.02
		1185	5.74	5.63	3.44	1.05	2.14	18.00
		3178	0.90	2.64	2.24	0.76	1.24	7.78

<sup>z</sup> Values are means of two trees.

**Table 3** Regression coefficients between reciprocal of annual dry matter production per tree ( $1/\Delta pn$ ), reciprocal of annual dry matter production per tree of each organ ( $1/z$ ) or fruit dry matter production per tree ( $fd$ ) and planting density ( $\rho$ ) in 'Starking Delicious' apple trees on M.9, M.26, M.7 and MM.106. Refer to Table 2 for abbreviations.

Rootstock	Tree age (years)	$1/\Delta pn = A_1\rho + B_1$ , $1/z^z = A_2\rho + B_2$ or $fd = Ke^{-k\rho}$	Correlation coefficient ( $r$ )
M.9	12	$1/\Delta pn = 0.00004\rho + 0.0278$	0.999**
		$1/ld = 0.00014\rho + 0.1690$	0.999**
		$1/\Delta pb = 0.00005\rho + 0.5033$	0.999**
		$1/\Delta pt = 0.00005\rho + 1.1159$	0.999**
		$1/\Delta pr = 0.00006\rho + 0.7076$	0.999**
M.26	11	$1/ld = 0.00029\rho - 0.1239$	0.993**
		$fd = 17.236 e^{-0.0008\rho}$	0.999**
		$1/\Delta pn = 0.00004\rho + 0.0177$	0.997**
		$1/ld = 0.00015\rho + 0.0845$	0.999**
		$1/\Delta pb = 0.00003\rho + 0.4357$	0.981**
M.7	13	$1/\Delta pt = 0.00009\rho + 0.7786$	0.980**
		$1/\Delta pr = 0.00005\rho + 0.5948$	0.950**
		$1/ld = 0.00050\rho - 0.3123$	0.992**
		$fd = 24.692 e^{-0.0011\rho}$	0.993**
		$1/\Delta pn = 0.00004\rho + 0.0138$	0.999**
MM.106	12	$1/ld = 0.00008\rho + 0.0645$	0.999**
		$1/\Delta pb = 0.00011\rho + 0.1192$	0.996**
		$1/\Delta pt = 0.00017\rho + 0.5048$	0.999**
		$1/\Delta pr = 0.00020\rho + 0.1519$	0.999**
		$1/ld = 0.00074\rho - 0.3509$	0.983**
		$fd = 18.561 e^{-0.0012\rho}$	0.992**
		$1/\Delta pn = 0.00004\rho + 0.0126$	0.999**
		$1/ld = 0.00010\rho + 0.0624$	0.990**
		$1/\Delta pb = 0.00007\rho + 0.2214$	0.995**
		$1/\Delta pt = 0.00020\rho + 0.6854$	0.997**
		$1/\Delta pr = 0.00018\rho + 0.2469$	0.999**
		$1/ld = 0.00039\rho - 0.1658$	0.984**
		$fd = 26.085 e^{-0.0011\rho}$	0.995**

<sup>z</sup>z indicates ld,  $\Delta pb$ ,  $\Delta pt$ ,  $\Delta pr$  or fd.

\*\* Significant at the 1% level by *t*-test ( $n=6$  for M.9 and M.26 trees, and  $n=8$  for M.7 and MM.106 trees).

**Table 4** Effect of planting density on net production of each organ in 'Starking Delicious' apple trees on M.9, M.26, M.7 and MM.106.

Rootstock	Tree age (years)	Planting density ( $\rho$ : trees/ha)	Net production (t DW/ha/y)					
			Fruit (Fd)	Leaf (Ld)	Branch ( $\Delta Pb$ )	Trunk ( $\Delta Pt$ )	Root ( $\Delta Pr$ )	Total ( $\Delta Pn$ )
M.9	12	623	6.73 <sup>z</sup>	2.40	1.17	0.54	0.84	11.68
		1185	7.20	3.61	2.10	1.01	1.52	15.44
		3178	4.00	5.21	4.77	2.48	3.56	20.02
M.26	11	623	9.01	3.45	1.40	0.77	1.03	15.66
		1185	6.54	4.55	2.49	1.30	1.77	16.65
		3178	2.48	5.63	6.07	3.02	4.32	21.52
M.7	13	330	4.88	3.52	2.11	0.60	1.39	12.50
		623	5.79	5.44	3.43	1.02	2.24	17.92
		1185	4.12	7.20	4.91	1.87	3.12	21.22
		3178	1.53	9.66	6.80	2.86	4.26	25.11
MM.106	12	330	6.67	3.36	1.33	0.45	1.10	12.91
		623	8.17	5.08	2.29	0.78	1.76	18.08
		1185	6.80	6.67	4.08	1.24	2.54	21.33
		3178	2.86	8.39	7.12	2.42	3.94	24.73

<sup>z</sup> Values are means of two trees.

従って、果実の1樹当たり生産量に関する密度効果は、式(5)で表されるものと考えられる。

$$fd = K \exp(-k\rho) \quad (5)$$

( $K$ と $k$ は樹齢や台木の種類によって変化する係数)

以上のように、個体年間生産量や葉、枝、幹および根の1樹当たり年間生産量に関する密度効果はロジスチック理論に適合したが、1樹当たり果実生産量に関する密度効果は、ロジスチック理論に適合しなかった。ロジスチック理論によると、栽植密度の増加に伴う成長の抑制は占有面積の減少によって生じる光、炭酸ガス、土壌水分、無機塩類などの環境要因の不足によるものとされているが(穂積ら, 1958), 1樹当たり果実生産量に関しては、生殖成長の光環境に対する特異な反応を考慮する必要がある。

一般に、リンゴの花芽形成は光の減衰に敏感で(Jackson, 1970; Tustinら, 1988), 著者らは相対日射が48%以下になると花芽形成が低下し始め、30%以下になると著しく低下し、19%でほぼ停止することを認めている(黒田・千葉, 2000)。1樹当たり果実生産量がロジスチック理論に適合しなかったのは、栽植密度の増加に伴って葉の相互庇蔭が高まり、その結果、樹冠内部への光の透入が減衰して、花芽形成が急激に抑制されたことによるものと考えられる。

なお、式(5)は、逆数式で表された1樹当たり果実収量(生重)に関する密度効果式(黒田ら, 1997)とは異なっているが、これは低密度域の果実含水量が高密度域のそれと比べて高かったためであり、本試験の結果を生重量にして解析すると、各台木樹とも1%水準の有意性で逆数式の成立が認められ、既報(黒田ら, 1997)の結果と一致していた。

### 3. 純生産量と樹体各部位の純生産量に及ぼす栽植密度の影響

栽植密度を異にしたわい性および半わい性台リンゴ樹における純生産量と樹体各部位の純生産量を第4表に示した。

純生産量は個体年間生産量とは逆に、各台木樹とも栽植密度の増加に伴って増加した。同様の結果は、Palmer (1988) も認めている。

葉、枝、幹および根の純生産量も栽植密度の増加に伴って増加したが、それらの増加パターンは部位によって異なり、葉が最も高い水準で推移し、次いで枝、根、幹の順であった。このような違いは、物質生産の全てが葉の同化作用に負うという葉と枝・幹・根における物質生産の有機的関連を示しているのかもしれない。

一方、果実の純生産量（以下、果実生産量とする）は栄養体と異なり、M.26 台木樹以外の M.9, M.7 および MM.106 台木樹では、それぞれ 1185, 623 および 623 樹/ha で最大となり、その前後で低いことが認められた。このように低密度域で果実生産量が低いのは、土地利用率が低いためであり、高密度域で果実生産量が低いのは、既に述べたように葉量増加に伴う光透過量の減衰によって花芽形成が抑制されるためと考えられる。

#### 4. 純生産量および栄養体の純生産量と栽植密度の関係

純生産量および栄養体の純生産量と栽植密度の関係をロジスティック理論に基づいて解析した。まず純生産量の逆数 ( $1/\Delta Pn$ ) と栽植密度の逆数 ( $1/\rho$ ) との関係を検討した結果、両者の間には、各台木樹とも正の有意な相関が認めら

れ（第5表）、純生産量に関する密度効果は、次のような逆数式 (6) によって表された。

$$1/\Delta Pn = A_3 + B_3/\rho \quad (6)$$

( $A_3$  と  $B_3$  は樹齢や台木の種類によって変化する係数)

次に、葉、枝、幹および根の純生産量の逆数 ( $1/Ld$ ,  $1/\Delta Pb$ ,  $1/\Delta Pt$  および  $1/\Delta Pr$ ) と栽植密度の逆数 ( $1/\rho$ ) との関係を検討した結果、各台木樹とも正の有意な相関が認められた（第5表）。 $Ld$ ,  $\Delta Pb$ ,  $\Delta Pt$  および  $\Delta Pr$  を  $Z$  で表記すると、葉、枝、幹および根の純生産量に関する密度効果は、次のような逆数式 (7) によって表された。

$$1/Z = A_4 + B_4/\rho \quad (7)$$

( $A_4$  と  $B_4$  は樹齢、台木の種類および部位によって変化する係数)

このうち、式 (6) が表す純生産量 ( $\Delta Pn$ ) と栽植密度 ( $\rho$ ) の関係を log-log 座標で示したのが第1図である。この図から、純生産量と栽植密度の関係はより明瞭となり、各台木樹とも純生産量は栽植密度の増加に伴って増加し、やがて高密度域で飽和的になることが示された。同様の結果は、葉、枝、幹および根の純生産量に関する密度効果でも認められ、純生産量および栄養体の純生産量に関する密度効果は、最終収量一定の法則 (Shinozaki・Kira, 1956) に合致しているものと考えられる。

#### 5. 果実生産量と栽植密度の関係

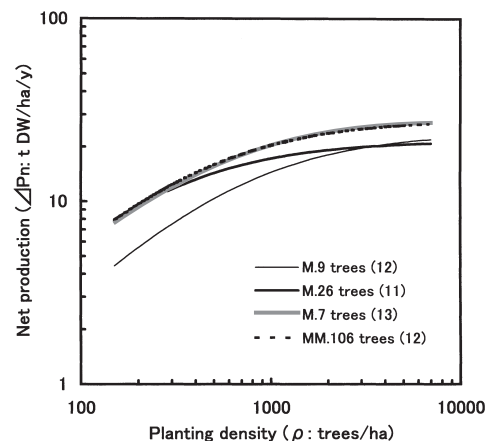
果実生産量と栽植密度の関係をロジスティック理論に基づいて解析した。まず1樹当たり果実生産量 ( $fd$ ) と個体年間生産量 ( $\Delta pn$ ) の相対成長関係を調べた。その結果、 $fd$  と  $\Delta pn$  との間には、各台木樹とも1%水準で有意な相関関係が認められ（データ省略）、両者の関係は、次のような相対成長式 (8) によって表された。なお、相対成長係数  $h'$

**Table 5** Regression coefficients between reciprocal of net production ( $1/\Delta Pn$ ) or reciprocal of net production of each organ ( $1/Z$ ) and reciprocal of planting density ( $1/\rho$ ) in 'Starking Delicious' apple trees on M.9, M.26, M.7 and MM.106. Refer to Table 4 for the abbreviations.

Rootstock	Tree age (years)	$1/\Delta Pn = A_3 + B_3/\rho$ or $1/Z^2 = A_4 + B_4/\rho$	Correlation coefficient ( $r$ )
M.9	12	$1/\Delta Pn = 0.0413 + 27.6/\rho$	0.999**
		$1/Ld = 0.1342 + 174.8/\rho$	0.999**
		$1/\Delta Pb = 0.0532 + 499.7/\rho$	0.999**
		$1/\Delta Pt = 0.0470 + 1123.2/\rho$	0.999**
		$1/\Delta Pr = 0.0608 + 704.5/\rho$	0.999**
M.26	11	$1/\Delta Pn = 0.0448 + 13.0/\rho$	0.914*
		$1/Ld = 0.1486 + 87.3/\rho$	0.999**
		$1/\Delta Pb = 0.0356 + 424.8/\rho$	0.999**
		$1/\Delta Pt = 0.1125 + 746.0/\rho$	0.999**
		$1/\Delta Pr = 0.0638 + 570.2/\rho$	0.999**
M.7	13	$1/\Delta Pn = 0.0343 + 14.8/\rho$	0.999**
		$1/Ld = 0.0816 + 66.3/\rho$	0.999**
		$1/\Delta Pb = 0.1038 + 121.0/\rho$	0.999**
		$1/\Delta Pt = 0.1651 + 495.5/\rho$	0.997**
		$1/\Delta Pr = 0.1709 + 179.0/\rho$	0.998**
MM.106	12	$1/\Delta Pn = 0.0353 + 13.6/\rho$	0.999**
		$1/Ld = 0.0953 + 66.0/\rho$	0.998**
		$1/\Delta Pb = 0.0640 + 227.5/\rho$	0.999**
		$1/\Delta Pt = 0.2241 + 660.6/\rho$	0.999**
		$1/\Delta Pr = 0.1841 + 239.7/\rho$	0.999**

<sup>2</sup>Z indicates Ld,  $\Delta Pb$ ,  $\Delta Pt$  or  $\Delta Pr$ .

\*\* and \* Significant at the 1% and 5% level by *t*-test ( $n = 6$  for M.9 and M.26 trees, and  $n = 8$  for M.7 and MM.106 trees).



**Fig. 1** Relationships between net production ( $\Delta Pn$ ) and planting density ( $\rho$ ) in 'Starking Delicious' apple trees on M.9, M.26, M.7 and MM.106. Markers express mean value of two trees. Numbers in parentheses indicate tree age. The log  $\Delta Pn$ -log  $\rho$  curves on each rootstock were described by the reciprocal equation (6).

は M.9 台木樹が 2.00, M.26 台木樹が 2.25, M.7 台木樹が 2.21 および MM.106 台木樹が 1.95 であった。

$$fd = H'(\Delta pn)^{h'} \quad (8)$$

果実生産量 (Fd) は,

$$Fd = (fd)\rho \quad (9)$$

と定義できるので, Fd と  $\rho$  の間における関係式は, 式 (3), (8) および (9) から, 次式 (10) として表すことができる。

$$Fd = H'\rho/(A_1\rho + B_1)^{h'} \quad (10)$$

第 2 図は各台木樹における実測値に式 (10) で計算した logFd~log $\rho$  曲線を当てはめたものである。M.26 台木樹を含め, 各台木樹とも式 (10) で描いた logFd~log $\rho$  曲線は実測値の動きを良く表し, 式 (10) が果実生産量に関する密度効果式として適合性の高いことが示された。また, 第 2 図からは果実生産量が最大になる最適栽植密度 ( $\rho_{opt}$ ) の存在が認められ,  $\rho_{opt}$  は,

$$\rho_{opt} = B_1/A_1(h' - 1) \quad (11)$$

となる。いま, 式 (11) で M.9, M.26, M.7 および MM.106 台木樹における  $\rho_{opt}$  を計算すると, それぞれ 675, 345, 321 および 358 樹/ha が得られ, 本試験での  $\rho_{opt}$  が確定できる。

以上のように, 果実生産量に関する密度効果式 (10) は緒言で述べた果実収量に関する密度効果式 (1) と同型であることが認められ, 果実生産量は栽植密度の増加に伴って増加し,  $\rho_{opt}$  で最大に達してから減少に転じることが示された。なお, 果実生産量に関する密度効果式 (10) と栄養体の純生産量に関する密度効果式 (7) が異なるのは, ロジスチック理論によれば, 葉, 枝, 幹および根に関する相対成長係数が  $h \cong 1$  であったのに対して, 果実生産量が  $h > 1$

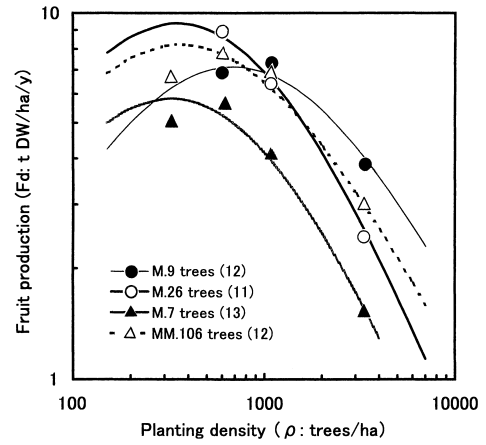


Fig. 2 Relationships between fruit production (Fd) and planting density ( $\rho$ ) in 'Starking Delicious' apple trees on M.9, M.26, M.7 and MM.106. Markers express mean value of two trees. Numbers in parentheses indicate tree age. The log Fd~log $\rho$  relations on each rootstock are well fitted by the curves given by the equation (10).

であったことによる (穂積・篠崎, 1960)。

### 6. 純生産量の樹体内分配率に及ぼす栽植密度の影響

栽植密度を異にしたわい性および半わい性台リンゴ樹における純生産量の樹体内分配率を第 3 図に示した。M.9 台木樹における樹体各部位の分配率を見ると, 623 樹/ha では果実が 0.576 と最も高く, 次いで葉の 0.205, 枝の 0.100, 根の 0.072 と続き, 幹は 0.046 と最も低い分配率であった。3178 樹/ha では果実への分配率は 0.200 となり, 栽植密度の増加に伴って急激な減少を示した。しかし, 葉, 枝, 根および幹への分配率は, それぞれ 0.260, 0.238, 0.178 および 0.124 となり, 栽植密度の増加に伴って増加した。

同様の傾向は, M.26, M.7 および MM.106 台木樹でも認

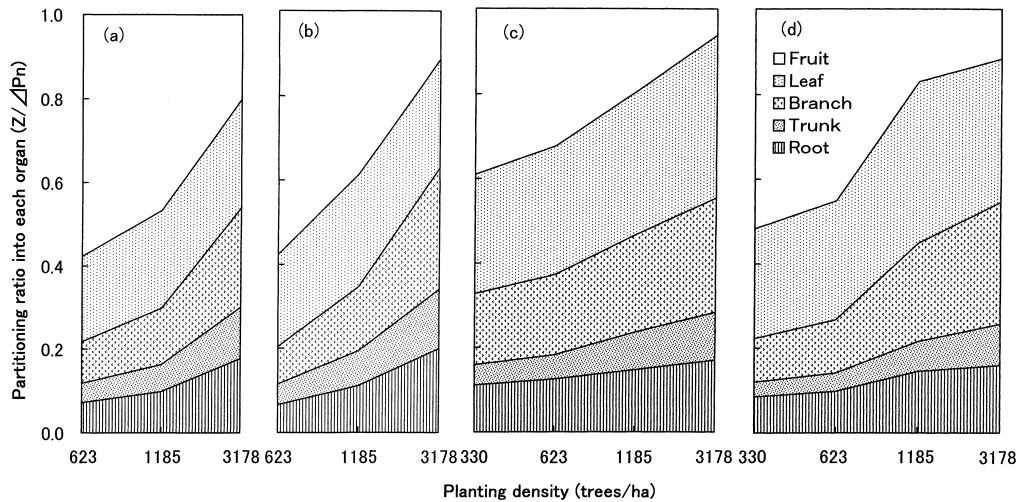


Fig. 3 Effect of planting density on partitioning ratio into each organ ( $Z/\Delta Pn$ ) in 'Starking Delicious' apple trees on M.9, M.26, M.7 and MM.106. (a) M.9 trees (12-year-old); (b) M.26 trees (11-year-old); (c) M.7 trees (13-year-old); (d) MM.106 trees (12-year-old). Z indicates Fd (fruit), Ld (leaf),  $\Delta Pb$  (branch),  $\Delta Pt$  (trunk) or  $\Delta Pr$  (root).

**Table 6** Regression coefficients among net production of each organ, net production and partitioning ratio into each organ in ‘Starking Delicious’ apple trees on M.9, M.26, M.7 and MM.106. Refer to Table 4 for the abbreviation.

	Fd	Ld	ΔPb	ΔPt	ΔPr	ΔPn	Fd/ ΔPn	Ld/ ΔPn	ΔPb/ ΔPn	ΔPt/ ΔPn
Ld	-0.706**									
ΔPb	-0.872**	0.903**								
ΔPt	-0.854**	0.754**	0.931**							
ΔPr	-0.872**	0.845**	0.980**	0.970**						
ΔPn	-0.669**	0.994**	0.938**	0.854**	0.915**					
Fd/ ΔPn	0.914**	-0.869**	-0.974**	-0.925**	-0.977**	-0.886**				
Ld/ ΔPn	-0.646*	0.925**	0.749**	0.536*	0.673**	0.775**	-0.767**			
ΔPb/ ΔPn	-0.915**	0.824**	0.974**	0.919**	0.970**	0.860**	-0.988**	0.703**		
ΔPt/ ΔPn	-0.814**	0.593*	0.835**	0.971**	0.905**	0.727**	-0.856**	0.368 <sup>ns</sup>	0.859**	
ΔPr/ ΔPn	-0.891**	0.703**	0.908**	0.939**	0.961**	0.785**	-0.955**	0.565*	0.958**	0.926**

<sup>ns</sup>, \*\* and \* Insignificant and significant at the 1% and 5% level by *t*-test, respectively (n = 6 + 6 + 8 + 8 = 28).

められ、栄養体各部位への分配率が抑制されると、果実への分配率が高まり、逆に栄養体各部位への分配率が高まると、果実への分配率が抑制されるという関係になっていることがわかった、このことは、果実への分配率と栄養体各部位への分配率との間における相関が負であることから明らかである(第6表)。同様の結果は、倉橋・高橋(1995)も認めている。

**7. 純生産量の樹体内分配率と栽植密度の関係**

純生産量の樹体内分配率と栽植密度の関係をロジスチック理論に基づいて解析した。まず、葉、枝、幹および根への分配率の逆数(1/(Ld/ ΔPn), 1/(ΔPb/ ΔPn), 1/(ΔPt/ ΔPn) および 1/(ΔPr/ ΔPn))と栽植密度の逆数(1/ρ)との関係を調べた。その結果、1/(Ld/ ΔPn), 1/(ΔPb/ ΔPn), 1/(ΔPt/ ΔPn) および 1/(ΔPr/ ΔPn) と 1/ρ の間には、各台木樹とも正の有意な相関が認められ(第7表)、Ld, ΔPb, ΔPt および ΔPr を Z で表記すると、葉、枝、幹および根への分配率に関する密度効果は、次のような逆数式(12)で表された。

$$1/(Z/ \Delta Pn) = A_5 + B_5/\rho \quad (12)$$

(A<sub>5</sub> と B<sub>5</sub> は樹齢、台木の種類および部位によって変化する係数)

以上から、葉、枝、幹および根への分配率は、それらの純生産量と同様に、栽植密度の増加に伴って増加し、やがて高密度域において一定化することが示された。Palmer(1988)は4444 ~ 8889 樹/ha の範囲での栽植密度試験を行い、葉への分配が栽植密度の影響を受けにくかったことを報告しているが、これは本試験の結果から判断すると、高密度条件での試験により葉への分配が一定化したためと推察される。

一方、果実への分配率に関しては、その逆数(1/(Fd/ ΔPn))と栽植密度(ρ)の間には、各台木樹とも正の有意な相関が認められ(第7表)、逆数式、1/(Fd/ ΔPn) = A<sub>6</sub>ρ + B<sub>6</sub> (A<sub>6</sub> と B<sub>6</sub> は樹齢、台木の種類および部位によって変化する係数)が成立しているように思われた。しかし、M.26 台木樹では得られた逆数式の B 値が負数となり(第7表)、ロジスチック理論に適合しなかった。そこで、全ての台木樹で適合する関

数について検討した結果、果実への分配率(Fd/ ΔPn)と栽植密度(ρ)の間には、式(13)の指数関数が良くあてはまることが認められた(第4図)。従って、果実への分配率に関する密度効果は、式(13)で表されるものと考えられる。

$$Fd/ \Delta Pn = K' \exp(-k' \rho) \quad (13)$$

(K' と k' は樹齢や台木の種類によって変化する係数)

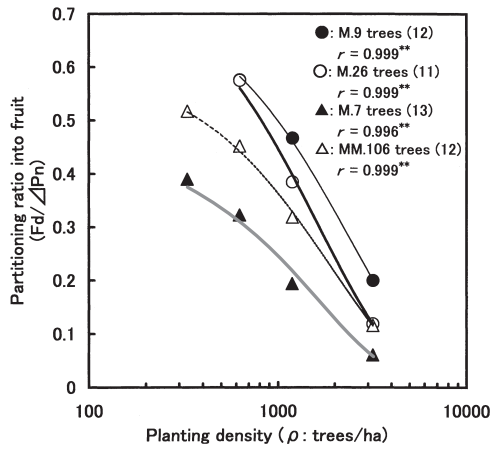
なお、式(11)で求めた ρ<sub>opt</sub> を式(10), (7), (13) および(12)に代入して計算した Fd, Ld, ΔPb, ΔPt, ΔPr, Fd/ ΔPn,

**Table 7** Regression coefficients between reciprocal of partitioning ratio into each organ (1/(Z/ ΔPn)) and reciprocal of planting density (1/ρ) or reciprocal of partitioning ratio into fruit (1/(Fd/ ΔPn)) and planting density (ρ) in ‘Starking Delicious’ apple trees on M.9, M.26, M.7 and MM.106. Refer to Table 4 for the abbreviations.

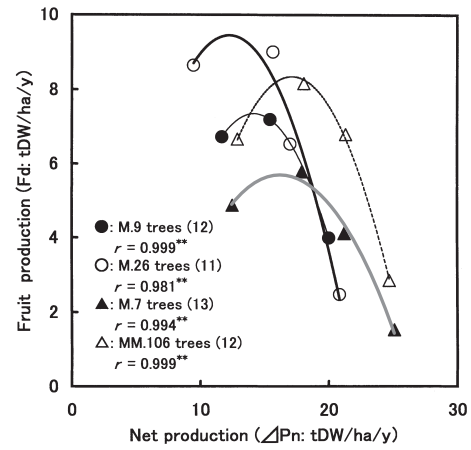
Rootstock	Tree age (years)	1/(Z <sup>2</sup> / ΔPn) = A <sub>5</sub> + B <sub>5</sub> /ρ or 1/(Fd/ ΔPn) = A <sub>6</sub> ρ + B <sub>6</sub>	Correlation coefficient (r)
M.9	12	1/(Ld/ ΔPn) = 3.5963 + 799.2/ρ	0.999**
		1/(ΔPb/ ΔPn) = 3.1111 + 4422.1/ρ	0.988**
		1/(ΔPt/ ΔPn) = 5.4458 + 10439.0/ρ	0.990**
		1/(ΔPr/ ΔPn) = 4.1004 + 6299.5/ρ	0.986**
		1/(Fd/ ΔPn) = 0.0029ρ + 0.7698	0.995**
M.26	11	1/(Ld/ ΔPn) = 3.4499 + 606.2/ρ	0.834*
		1/(ΔPb/ ΔPn) = 1.6781 + 5921.1/ρ	0.999**
		1/(ΔPt/ ΔPn) = 4.0352 + 10192.0/ρ	0.999**
		1/(ΔPr/ ΔPn) = 2.6131 + 7859.5/ρ	0.999**
		1/(Fd/ ΔPn) = 0.0028ρ - 0.3581	0.995**
M.7	13	1/(Ld/ ΔPn) = 2.6117 + 334.1/ρ	0.956**
		1/(ΔPb/ ΔPn) = 3.6215 + 808.7/ρ	0.972**
		1/(ΔPt/ ΔPn) = 8.0802 + 4520.5/ρ	0.964**
		1/(ΔPr/ ΔPn) = 5.7867 + 1130.0/ρ	0.975**
		1/(Fd/ ΔPn) = 0.0050ρ + 0.1188	0.994**
MM.106	12	1/(Ld/ ΔPn) = 2.9141 + 326.7/ρ	0.976**
		1/(ΔPb/ ΔPn) = 3.2829 + 2271.1/ρ	0.969**
		1/(ΔPt/ ΔPn) = 10.5110 + 6425.2/ρ	0.959**
		1/(ΔPr/ ΔPn) = 6.4136 + 1917.9/ρ	0.953**
		1/(Fd/ ΔPn) = 0.0024ρ + 0.7462	0.988**

<sup>2</sup>Z indicates Ld, ΔPb, ΔPt or ΔPr.

\*\* and \* Significant at the 1% and 5% level by *t*-test, respectively (n = 6 for M.9 and M.26 trees, and n = 8 for M.7 and MM.106 trees).



**Fig. 4** Relationships between partitioning ratio into fruit ( $Fd/\Delta Pn$ ) and planting density ( $\rho$ ) in ‘Starking Delicious’ apple trees on M.9, M.26, M.7 and MM.106. Markers express mean value of two trees. Numbers in parentheses indicate tree age. \*\* Significant at the 1% level by  $t$ -test ( $n = 6$  for M.9 and M.26 trees, and  $n = 8$  for M.7 and MM.106 trees).



**Fig. 5** Relationships between fruit production ( $Fd$ ) and net production ( $\Delta Pn$ ) in ‘Starking Delicious’ apple trees on M.9, M.26, M.7 and MM.106. Markers express mean value of two trees. Numbers in parentheses indicate tree age. \*\* Significant at the 1% level by  $t$ -test ( $n = 6$  for M.9 and M.26 trees, and  $n = 8$  for M.7 and MM.106 trees).

**Table 8** The estimated values of net production of each organ, net production and partitioning ratio into each organ at optimum planting density ( $\rho_{opt}$ ) in ‘Starking Delicious’ apple trees on M.9, M.26, M.7 and MM.106. Refer to Table 4 for the abbreviation.

Rootstock	Tree age (years)	$\rho_{opt}^z$ (trees/ha)	Net production (t DW/ha/y)							Partitioning ratio				
			$Fd^y$	$Ld^x$	$\Delta Pb^x$	$\Delta Pt^x$	$\Delta Pr^x$	$\Delta Pn^u$	$Fd/\Delta Pn^w$	$Ld/\Delta Pn^v$	$\Delta Pb/\Delta Pn^v$	$\Delta Pt/\Delta Pn^v$	$\Delta Pr/\Delta Pn^v$	
M.9	12	675	7.13	2.54	1.26	0.58	0.91	12.42	0.576	0.209	0.103	0.048	0.074	
M.26	11	345	9.25	2.49	0.79	0.44	0.58	13.55	0.686	0.192	0.053	0.030	0.039	
M.7	13	321	5.82	3.47	2.18	0.59	1.37	13.43	0.383	0.274	0.162	0.045	0.107	
MM.106	12	358	7.99	3.58	1.43	0.48	1.17	14.65	0.513	0.261	0.104	0.035	0.085	

<sup>z</sup> Calculated by the equations (11).

<sup>y, x, w and v</sup> Calculated by substituting  $\rho_{opt}$  into equations (10), (7), (13) and (12), respectively.

<sup>u</sup> Calculated by the equation (2).

$Ld/\Delta Pn$ ,  $\Delta Pb/\Delta Pn$ ,  $\Delta Pt/\Delta Pn$  および  $\Delta Pr/\Delta Pn$  と式 (2) で計算した  $\Delta Pn$  を第 8 表に示す。

**8. 果実生産量と純生産量あるいは果実への分配率の関係**

一般に、果実生産量 ( $Fd$ ) は純生産量 ( $\Delta Pn$ ) の大きさと果実への分配率 ( $Fd/\Delta Pn$ ) の大きさによって決まる。すなわち、次式 (14) で表される。

$$Fd = \Delta Pn \times Fd/\Delta Pn \tag{14}$$

従って、この関係を使えば、 $Fd$  の違いが  $\Delta Pn$  の違いによるのか、 $Fd/\Delta Pn$  の違いによるのかを明らかにすることができる。そこで、 $Fd$  に対する  $\Delta Pn$  と  $Fd/\Delta Pn$  の関係を明らかにするために、まず  $Fd$  と  $\Delta Pn$  の関係について検討した。 $Fd$  と  $\Delta Pn$  の間には有意な単相関 ( $r = 0.669^{**}$ ) が認められたが (第 6 表)、その関係は低かった。よって、より適合度の高い関数を求め、台木樹毎に多項式近似解析を行った。その結果、 $Fd$  と  $\Delta Pn$  との間には、各台木樹とも式 (15) の二次関数の成立が認められた (第 5 図)。なお、M.26 台木樹については、200 樹/ha における  $Fd$  と  $\Delta Pn$  をそれぞれ式 (10) と (6) を用いて推計し、これらを加えて

$Fd$  と  $\Delta Pn$  の関係を解析した。

$$Fd = -a_1(\Delta Pn)^2 + b_1(\Delta Pn) + c_1 \tag{15}$$

( $a_1$ ,  $b_1$  および  $c_1$  は樹齢と台木の種類によって変化する係数)

次に、 $Fd$  と  $Fd/\Delta Pn$  の関係を調べるため、 $Fd$  と  $\Delta Pn$  の関係と同様に、台木樹毎に多項式近似解析を行った。その結果、 $Fd$  と  $Fd/\Delta Pn$  の間には、 $r = 0.980 \sim 0.999^{**}$  の範囲で式 (16) の二次関数が良く適合することが認められた (データ省略)。なお、M.26 台木樹については、200 樹/ha における  $Fd$  と  $Fd/\Delta Pn$  をそれぞれ式 (10) と (13) を用いて推計し、これらを加えて  $Fd$  と  $Fd/\Delta Pn$  の関係を解析した。

$$Fd = -a_2(Fd/\Delta Pn)^2 + b_2(Fd/\Delta Pn) + c_2 \tag{16}$$

( $a_2$ ,  $b_2$  および  $c_2$  は樹齢と台木の種類によって変化する係数)

以上の結果から、果実生産量は純生産量と果実への分配率の両方に関係し、しかもそれらは二次関数的関係である



ことが示された。それでは、果実生産量 (Fd) に対する純生産量 ( $\Delta Pn$ ) と果実への分配率 ( $Fd/\Delta Pn$ ) の栽植密度関係はどのようになっているのであろうか。このことを調べるために、第1図、第2図および第4図を重ね合わせてみた。その結果、 $\rho_{opt}$  までの Fd の増加過程では  $Fd/\Delta Pn$  より  $\Delta Pn$  が相対的に小さく、 $\rho_{opt}$  からの Fd の減少過程では  $Fd/\Delta Pn$  より  $\Delta Pn$  が相対的に大きくなることが示された。このことと  $\Delta Pn$  と  $Fd/\Delta Pn$  の間の負の有意な相関関係を考慮すると (第6表)、栽植密度の増加に伴う果実生産量の変動は、 $\Delta Pn$  と  $Fd/\Delta Pn$  の相対的な関係に起因しているものと考えられる。

### 9. 果実生産量と (純生産量/果実への分配率) の関係

純生産量 ( $\Delta Pn$ ) と果実への分配率 ( $Fd/\Delta Pn$ ) の相対的な関係を  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  と定義し、これと果実生産量 (Fd) を  $\log \sim \log$  座標に図示したのが第6図である。この図から、各台木樹とも果実生産量は  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  の増加の伴って増加し、ある  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  (最適  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$ ) において減少に転じることが示された。いかえると、果実生産量は最適  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  のところで最大となり、 $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  が最適  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  より小さくても、大きくても果実生産量は少なくなるということになる。注目されるのは、第6図の  $\log Fd \sim \log \Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  曲線が第2図の  $\log Fd \sim \log \rho$  曲線と同様のパターンを示していることである。このことは、栽植密度によって  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  が変化し、それによって果実生産量が影響を受けるという一連の因果関係を示しているのではないかと思わせる。 $\log Fd \sim \log \Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  曲線の定立については、今後の課題としたい。

果実生産量を最大とする最適  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  は、最適栽植密度条件を判定するための一つの指標になり得るものと考えられる。すなわち、低密度における低い果実生産性は、 $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  を最適  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  まで高めることによ

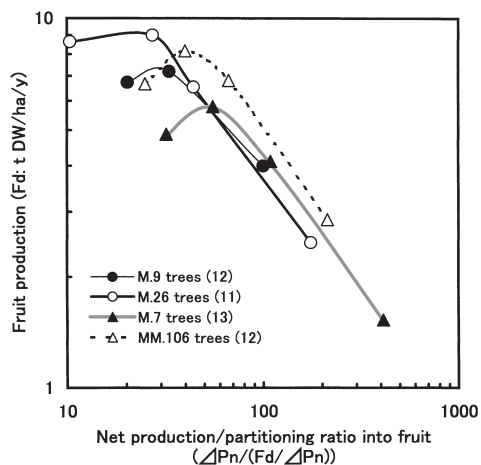


Fig. 6 Relationships between fruit production (Fd) and net production/partitioning ratio into fruit ( $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$ ) in 'Starking Delicious' apple trees on M.9, M.26, M.7 and MM.106. Markers express mean value of two trees. Numbers in parentheses indicate tree age.

て是正できる。 $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  を高めるには、 $\Delta Pn$  を高めるか、 $Fd/\Delta Pn$  を低下させるかの二つの手段が考えられるが、 $Fd/\Delta Pn$  は  $\Delta Pn$  を高めれば自動的に低下するので、 $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  を高めるには  $\Delta Pn$  を高める手段のみが有効であるといえる。一方、高密度での低い果実生産性は、 $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  を低下させて最適  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  に近づけることによって是正できる。この場合、 $\Delta Pn$  を低下させれば  $Fd/\Delta Pn$  は自動的に高まるので、 $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  を低下させるには  $\Delta Pn$  を低下させる手段をとれば良いことになる。これが物質生産から見た場合の栽植密度管理法の内容である。ただし、純生産量は葉の純生産量と相関関係があるので (第6表)、純生産量の調節は葉の調節によって代替できるものと考えられる。葉による相互遮蔽が少ない成育段階では、できるだけ早く樹冠拡大を図り、過繁茂の状態になったら間伐を行うという園地管理法は、葉の調節による純生産量の変動効果と考えられる。

なお、第8表からは部位別純生産量および部位別分配率が台木の種類に関係なく、 $Fd > Ld > \Delta Pb > \Delta Pr > \Delta Pt$  と  $Fd/\Delta Pn > Ld/\Delta Pn > \Delta Pb/\Delta Pn > \Delta Pr/\Delta Pn > \Delta Pt/\Delta Pn$  の順に並んでいることが認められる。これは最適栽植密度における並びであって、個体群としての最適な物質生産関係を示しているものと推察される。また、M.9 と M.26 台木樹では M.7 と MM.106 台木樹に比較して、果実への分配率が高い傾向が見られる。これは、わい性台木樹と半わい性台木樹との生態的特性の違いを示すもので、前者は純生産量より果実への分配率に重点をおくことによって、果実生産性を高めているように考えられる。

### 摘 要

純生産量 (t 乾重/ha/年) とその樹体内分配に及ぼす栽植密度の影響を無剪定状態のわい性および半わい性台木利用りんご 'スターキング・デリシャス' 樹を供試して検討した。個体年間生産量 ( $\Delta pn$ ) と果実、葉、枝、幹および根の1樹当たり年間生産量 ( $fd$ ,  $ld$ ,  $\Delta pb$ ,  $\Delta pt$  および  $\Delta pr$ ) は、各台木樹とも栽植密度 ( $\rho$ ) の増加に伴って減少した。 $\Delta pn$ ,  $z$  ( $ld$ ,  $\Delta pb$ ,  $\Delta pt$  あるいは  $\Delta pr$ ) および  $fd$  に関する密度効果は、それぞれ  $1/\Delta pn = A_1\rho + B_1$ ,  $1/z = A_2\rho + B_2$  および  $fd = K' \exp(-k'\rho)$  という関係式で表された。純生産量 ( $\Delta Pn$ ) と葉、枝、幹および根の純生産量 ( $Ld$ ,  $\Delta Pb$ ,  $\Delta Pt$  および  $\Delta Pr$ ) は、各台木樹とも栽植密度 ( $\rho$ ) の増加に伴って増加した。しかし、果実生産量 (Fd) は M.26 台木樹以外の台木樹では、それを最大にする最適栽植密度 ( $\rho_{opt}$ ) が存在した。 $\Delta Pn$ ,  $Z$  ( $Ld$ ,  $\Delta Pb$ ,  $\Delta Pt$  あるいは  $\Delta Pr$ ) および Fd に関する密度効果は、それぞれ  $1/\Delta Pn = A_3 + B_3/\rho$ ,  $1/Z = A_4 + B_4/\rho$  および  $Fd = H'\rho/(A_1\rho + B_1)^{h'}$  という式で表された。葉、枝、幹および根への分配率 ( $Ld/\Delta Pn$ ,  $\Delta Pb/\Delta Pn$ ,  $\Delta Pt/\Delta Pn$  および  $\Delta Pr/\Delta Pn$ ) は、各台木樹とも栽植密度 ( $\rho$ ) の増加に伴って増加したが、果実への分配率 ( $Fd/\Delta Pn$ ) は減少した。 $Z/\Delta Pn$  ( $Ld/\Delta Pn$ ,  $\Delta Pb/\Delta Pn$ ,  $\Delta Pt/\Delta Pn$  あるいは  $\Delta Pr/\Delta Pn$ )

いは  $\Delta Pr/\Delta Pn$  と  $Fd/\Delta Pn$  に関する密度効果は、それぞれ  $1/(Z/\Delta Pn) = A_5 + B_5/\rho$  と  $Fd/\Delta Pn = K' \exp(-k'\rho)$  という式で表された。果実生産量 ( $Fd$ ) と純生産量 ( $\Delta Pn$ ) の関係は、式  $Fd = -a_1(\Delta Pn)^2 + b_1(\Delta Pn) + c_1$  で表され、果実生産量 ( $Fd$ ) と果実への分配率 ( $Fd/\Delta Pn$ ) の関係は、式  $Fd = -a_2(Fd/\Delta Pn)^2 + b_2(Fd/\Delta Pn) + c_2$  で表された。純生産量 ( $\Delta Pn$ ) と果実への分配率 ( $Fd/\Delta Pn$ ) の相対的關係を  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  と定義して、果実生産量 ( $Fd$ ) と  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  を log-log 座標に図示すると、両者の関係は (第6図) は  $\log Fd \sim \log \rho$  曲線 (第2図) と同様のパターンを示した。以上の結果から、果実生産量に関する密度効果は、栽植密度によって  $\Delta Pn/(Fd/\Delta Pn)$  が変化し、それによって果実生産量が変化する現象と考えられる。

**謝辞** 本試験の実施に際して、北海道農業試験場の佐藤忠治技官、谷口諒技官、田中久夫技官には多大のご支援を頂いた。ここに記して厚く謝意を表する。

### 引用文献

- 穂積和夫・吉良竜夫・篠崎吉郎. 1958. クサフヨウの生長におよぼす光の強さと個体密度の影響—ふたつの線型生長要因間の相互作用を中心とした解析—. 生理生態. 8: 36–49.
- 穂積和夫・篠崎吉郎. 1960. 植物のロジスチック理論. p. 272–304. 吉良竜夫編. 生態学大系2上. 古今書院. 東京.
- Jackson, J. E. 1970. Aspects of light climate within apple orchards. *J. Applied. Ecol.* 7: 207–216.
- 倉橋孝夫・高橋国昭. 1995. Y字形棚整枝と主幹形整枝リンゴ樹‘ふじ’の乾物生産と器官別分配の比較. 園学雑. 64: 509–515.
- 黒田治之・千葉和彦. 1999. わい性および半わい性台木利用リンゴ樹の葉量生長に及ぼす栽植密度の影響. 園学雑. 68: 312–320.
- 黒田治之・千葉和彦. 2000. わい性および半わい性台木利用リンゴ樹の花芽形成に及ぼす栽植密度の影響. 園学雑. 69: 298–307.
- 黒田治之・千葉和彦. 2002. M.26 わい性台木利用リンゴ樹における生産構造と光環境に及ぼす栽植密度の影響. 園学雑. 71: 544–552.
- 黒田治之・千葉和彦. 2004. わい性および半わい性台木利用リンゴ樹における枝幹成長と栽植密度との関係. 園学雑. 73: 250–258.
- 黒田治之・千葉和彦. 2006. わい性および半わい性台木を利用したリンゴ‘スターキング・デリシャス’樹の根成長に及ぼす栽植密度の影響. 園学雑. 75: 91–99.
- 黒田治之・千葉和彦・西山保直. 1997. わい性および半わい性台木利用リンゴ樹における栽植密度と果実収量の関係. 園学雑. 66: 35–43.
- 黒田治之・西山保直・千葉和彦. 1996. わい性および半わい性台木利用リンゴ樹における栽植密度と生長の関係. 園学雑. 65: 227–236.
- Palmer, J. W. 1988. Annual dry matter production and partitioning over the first 5 years of a bed system of Crispin/M.27 apple trees at four spacings. *J. Appl. Ecol.* 25: 569–578.
- Shinozaki, K. and T. Kira. 1956. Intraspecific competition among higher plants. VII. Logistic theory of the C-D effect. *J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. Ser. D7:* 35–72.
- Tustin, D. S., P. M. Hirst and I. J. Warrington. 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.