矮性および半矮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 果実品質と栽植密度の関係

黒田治之^{*a}・千葉和彦

農業・食品産業技術総合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

Relationship between Fruit Quality and Planting Density in ‘Starking Delicious’ Apple Trees Grafted on Dwarfing and Semi-dwarfing Rootstocks

Haruyuki Kuroda^{*a} and Kazuhiko Chiba

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

Abstract

The relationship between fruit quality and planting density (varying from 330 to 3178 trees · ha⁻¹) was studied in 7- to 11-year-old ‘Starking Delicious’ apple trees (*Malus domestica* Borkh.) grafted onto M.9, M.26, M.7 and MM.106 and grown under a no-pruning system. On all rootstocks, fruit weight decreased as planting density (ρ) increased. The density effect on fruit weight (ω) was represented by $\omega = K_1\rho^{-k_1}$, where K_1 and k_1 depend on the relative solar radiation or light interception of the previous year, the current year and rootstocks. The watercore intensity index and soluble solids decreased as planting density increased, but flesh firmness increased. The density effect on watercore intensity index (μ), soluble solids (δ) and flesh firmness (ζ) was represented respectively by $\mu = K_2\exp(-k_2\rho)$, $\delta = K_3\rho^{-k_3}$ and $\zeta = K_4\rho^{k_4}$. The density effect on acidity (η) was represented by $\eta = K_5\rho^{k_5}$ for mature fruits, and $\eta = K_5\rho^{-k_5}$ for immature fruits, and in these equations, when planting density for high-quality fruit production was set, an applicable equation was $\eta = K_5\rho^{k_5}$. K_2 , k_2 , K_3 , k_3 , K_4 , k_4 , K_5 and k_5 depend on the meteorological element in the canopy of the current year and rootstocks. These findings suggest that planting density for high-quality fruit production can be set using the equations described above, and that the high-quality fruit production capacity that set planting density possesses is demonstrated by harvesting when the fruit has reached the appropriate stage of maturity.

Key Words : density effect, high-quality fruit production, low tree-height cultivation, meteorological element in canopy, appropriate stage of maturity

キーワード : 高品質果実生産, 密度効果, 低樹高栽培, 適熟期, 樹冠内気象要素

緒 言

著者らは、リンゴ (*Malus domestica* Borkh.) の低樹高栽培における栽植密度問題について検討し、最適葉面積指数 (黒田・千葉, 1999), 最適光捕捉率 (黒田・千葉, 2002) および最適比 (純生産量/純生産量の果実への分配率) (黒田・千葉, 2006b) など、果実収量を最大とする最適栽植密度 (黒田ら, 1997) の生態的特性を明らかにするとともに、樹体生長 (黒田ら, 1996), 葉量生長 (黒田・千葉, 1999), 花芽形成 (黒田・千葉, 2000), 生産構造 (黒田・千葉, 2002), 枝幹成長 (黒田・千葉, 2004) および根成長 (黒田・千葉, 2006a) に関する密度効果を明らかにし、物質生産の観点から生産効率の高い栽植密度条件について報告してきた。し

かし、実際栽培では果実の大きさや糖度が規格以下であったり、着色が悪かったりしては、いくら収量が高くなる栽植密度であっても意味を失うことになる。従って、低樹高栽培における高品質多収のための栽植密度条件を明らかにするには、果実品質と栽植密度の関係解明が不可欠である。

果実品質と栽植密度の関係について、Westwood ら (1976) はリンゴ ‘ゴールドデン・デリシャス’ /M.9 を用いた栽植密度試験 (897 ~ 1,792 樹 · ha⁻¹) において、糖度と着色程度が栽植密度の増加に伴って低下することを報告している。また、実際のリンゴ栽培においても、密植気味の園地では果実の小玉化や着色不良果が多くなるなど、果実品質が栽植密度によって影響される実態がある。しかし、高品質果実生産のための栽植密度条件について検討した報告は見当たらない。そこで、矮性および半矮性台木を利用したリンゴ ‘スターキング・デリシャス’ 樹における果実品質と栽植密度の関係について検討し、高品質果実生産のための栽植密度条件を明らかにしようとした。

2008 年 3 月 7 日 受付. 2008 年 6 月 3 日 受理.

^{*} Corresponding author. E-mail: kurodah@agri.kagoshima-u.ac.jp

^a 現在 : 鹿児島大学農学部 890-0065 鹿児島市郡元

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) に定植した. 定植に際しては接木部が地上10 cm程度に出る深さで植付け, 栽植密度はM.9とM.26台木樹では453, 623, 858, 1,185, 1,642, 2,281, 3,178 樹・ha⁻¹の7段階, M.7とMM.106台木樹では330, 453, 623, 858, 1,185, 1,642, 2,281, 3,178 樹・ha⁻¹の8段階とした. 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).

樹体管理は無剪定とした. 摘果は4頂芽1果を基準に行ったが, ‘スターキング・デリシャス’の特徴である低い結果率のため (黒田・千葉, 2006b), 結果率が比較的高かった330 樹・ha⁻¹あるいは453 樹・ha⁻¹においても, 摘果量は各年とも純生産量の0.8～1.2%程度であり, 1,185 樹・ha⁻¹以上の密度域ではほとんど摘果の必要性がなかった. なお, M.7台木樹の摘果量は他の台木樹に比べて少なかった.

2. 気象概況

北海道農業研究センター (札幌) における果実肥大期から果実成熟期 (7月1日～10月25日) の気象概況は第1表のとおりで, 1981年はやや低温・多雨・寡日射, 1982年は高温・多日射, 1983年は低温・寡日射, 1984年は高温・少雨・多日射, 1985年は高温・やや多雨・寡日射であった.

3. 果実品質の調査

調査果実は1981～1985年 (樹齢7～11年生) の5年間, 毎年, 10月25～26日に地上から1.5～2.0 mの範囲で, かつ日射の影響が少ない樹冠内部より1密度区当たり

10果を無作為に採取した. 採取果実は自然冷気で冷却した半地下倉庫に1週間保管した後, 品質調査を行った.

果肉硬度は1果重を測定した果実について, 赤道部の陽向面と陽背面の果皮を除いた部分をマグネステラー硬度計 (7/16 インチプランジャー) で測定し, 平均値を求めた. 蜜入り指数は果肉硬度を測定した後, 果実赤道面を切断し, 切断面に現れた蜜入り程度を, 0:蜜なし, 1:痕跡程度, 2:放射状に発生, 3:放射状に発生した蜜が一部で結合した状態, 4:果肉全体に発生 の5段階で評価した. 糖度は蜜入り指数を観察した果実から均等に採取した果肉片をジュサーで搾汁し, この果汁を屈折糖度計で測定した. また, 酸度は1/10 N NaOHによる中和滴定法で測定し, リンゴ酸換算値 (g/果汁100 mL) で表した. なお, 各栽植密度における果実品質の値は2反復 (20果) の平均である.

結果および考察

1. 1果重と栽植密度の関係

1果重は各台木樹および各年とも, 栽植密度の増加に伴って減少することが認められた (第2表).

一般に, 1果重は摘果によって強い影響を受け, 摘果量が多いほど重くなるとされている. 本試験では1,185 樹・ha⁻¹以上の密度域を無摘果としたが, 858 樹・ha⁻¹以下の密度域では4頂芽1果の基準で摘果を行ったため, この密度域では1果重が重くなることが予想された. しかし, M.9台木樹における1果重と栽植密度との関係を示した第1図を見ると, 1果重は各年とも, 858 樹・ha⁻¹と1,185 樹・ha⁻¹との間には段差が見られず, 栽植密度の増加に伴ってほぼ直線的な減少を示した. 同様の結果は他の台木樹でも認められ, 本試験に関する限り, 1果重に対する摘果の影響は小さいものと考えられた.

次に, M.9台木樹における1果重 (ω) と栽植密度 (ρ)

Table 1 Selected meteorological data at the National Agricultural Research Center for the Hokkaido Region (Sapporo).

Meteorological element	Year	July	Aug	Sep	Oct ^z	Average
Mean temperature ^y (°C・day ⁻¹)	1981	19.8	19.5	14.7	10.0	16.0
	1982	18.7	21.5	16.0	10.9	16.8
	1983	17.0	20.8	15.8	8.3	15.5
	1984	20.5	21.8	15.8	9.4	16.9
	1985	18.8	22.6	15.4	9.7	16.6
Precipitation (mm)	1981	48.5	619.0	138.0	122.5	232.0
	1982	39.0	99.0	128.0	123.0	97.3
	1983	53.5	134.0	124.5	112.0	106.0
	1984	66.5	31.0	52.5	57.5	51.9
	1985	107.5	49.5	170.5	155.5	120.8
Solar radiation (MJ・m ⁻²)	1981	564.2	403.0	405.0	262.1	408.6
	1982	660.3	517.7	396.0	275.3	462.3
	1983	490.0	508.4	348.0	245.0	397.9
	1984	527.0	545.6	417.0	259.5	437.3
	1985	320.0	527.0	393.0	220.2	365.1

^z Data from the 1th to the 25th.

^y (Max. temperature + Min. temperature)/2.

Table 2 Effect of planting density on fruit weight of ‘Starking Delicious’ apple on M.9, M.26, M.7 and MM.106. The collection of fruits was fixed on October 25–26 every year. Ten fruits of each density were taken randomly from the inside of canopy (1.5–2.0 m above ground) where the influence of light was limited.

Rootstock	Year	Tree age (years)	Planting density (trees • ha ⁻¹)							Average	
			330	453	623	858	1,185	1,642	2,281		3,178
Fruit weight (g FW • fruit ⁻¹)											
M.9	1981	7		241 ^z	239	227	218	204	188	174	213bc ^y
	1982	8		315	295	287	274	252	231	219	268a
	1983	9		256	238	219	205	188	175	152	205bc
	1984	10		248	226	216	192	168	150	121	189c
	1985	11		298	288	266	246	218	198	177	242ab
M.26	1981	7		250	242	215	193	176	167	152	199bc
	1982	8		302	280	277	252	227	207	190	248a
	1983	9		249	236	216	205	181	158	143	198bc
	1984	10		226	214	191	169	143	123	113	168c
	1985	11		258	246	236	228	208	196	186	223ab
M.7	1981	7	232	229	193	184	178	159	147	127	181bc
	1982	8	289	280	268	244	217	207	184	175	233a
	1983	9	221	211	196	193	168	151	125	117	173c
	1984	10	214	204	187	176	147	127	109	102	158c
	1985	11	274	256	242	235	219	198	178	164	221ab
MM.106	1981	7	243	242	224	205	198	182	162	148	201bc
	1982	8	290	278	266	237	227	219	205	187	239a
	1983	9	212	204	184	173	169	151	146	128	171c
	1984	10	222	210	190	177	168	142	120	108	167c
	1985	11	273	262	252	238	218	198	178	158	222ab

^z Values represent the means of two repetitions (20 fruits).^y Different letters within columns represent significant differences at the 5% level (Duncan’s multiple test). **Fig. 1** Relationships between fruit weight (ω) and planting density (ρ) in ‘Starking Delicious’ apple trees on M.9. Numbers in parentheses indicate tree age.

の関係を調べた。その結果、 ω と ρ との間には各年とも、0.98 以上の相関係数をもってべき関数がよく適合することが認められた（第 1 図）。同様の結果は、M.26, M.7 および MM.106 台木樹でも認められ（データ省略）、1 果重に関する密度効果は次のべき関数（1）によって表された。

Table 3 Correlation coefficients between fruit weight, partitioning ratio into fruit and light interception in 11-year-old ‘Starking Delicious’ apple trees on M.26 planted at 623, 1,185 and 3,178 trees • ha⁻¹.

	Fruit weight Partitioning ratio into fruit	
Light interception ^z	-0.96**	-0.99**
Partitioning ratio into fruit ^y	0.99**	

^z Cited from Kuroda • Chiba (2002).^y Cited from Kuroda • Chiba (2006b).** indicates significance at the 1% level by *t*-test (*n* = 6).

$$\omega = K_1 \rho^{-k_1} \quad (1)$$

果実生長が日射量と密接に関係していることは、古くから知られており、杉浦ら（1993）はニホンナシ果実において、摘果期から収穫始期までの生長量とこの期間の日射量との間には 1% 水準で正の相関があることを認め、これに基づいて果実の生長モデルを構築している。一方、リンゴの栽植密度試験において、日射量と 1 果重との関係を検討した報告は見当たらないが、栽植密度の増加に伴って光捕捉率が增加することが報告されている（Jackson, 1978; 黒田・千葉, 2002; Verheij • Verwer, 1973）。そこで、1985 年に調査した M.26 台木樹の 623, 1,185 および 3,178 樹 • ha⁻¹ における光捕捉率（黒田・千葉, 2002）と 1 果重（第 2 表）

との関係を調べたところ、光捕捉率と1果重との間には1%水準で有意な負の相関が認められ(第3表)、1果重は光捕捉率の増加に伴って減少することが示された。

光捕捉率の増加に伴って1果重が減少するのは、物質生産の観点からすれば純生産量の果実への分配率(以下、果実分配率とする)の低下に起因するものと考えられる。事実、光捕捉率(黒田・千葉, 2002)と果実分配率(黒田・千葉, 2006b)との間には1%水準で有意な負の相関が、また果実分配率と1果重との間には1%水準で有意な正の相関が認められ(第3表)、上記の考えを裏付ける結果が得られた。このようなことから、1果重に関する密度効果は、光捕捉率の増加に伴う果実分配率の減少による果実生長の抑制現象と考えられる。

次に、平均1果重の年次間差を見ると、平均1果重は各台木樹とも、1982年が最も重く、1984年が最も軽かった(第2表)。1984年に果実肥大が劣ったのは、北海道・東北地方全体の傾向であり、この理由について、渡辺(1985)は前年(1983年)の生育期における気象条件が低温・寡日射(第1表)であったことにより花芽形成が不良となり、かつ花芽質が低下したことが主因であったとしている。

一方、著者らは花芽形成率に関する密度効果現象を定式化するとともに(黒田・千葉, 2000)、樹冠内相対日射量(以下、相対日射量とする)が栽植密度の増加に伴って減少することを認め(黒田, 1988)、花芽形成率に関する密度効果が相対日射量の減少と密接に関係していることを示した。これらの結果を渡辺(1985)の報告と考え合わせると、花芽形成率に関する密度効果もまた、次の年の果実肥大に関する密度効果に影響を及ぼすものと推察される。そこで、既報(黒田・千葉, 2000)に示した1983年の花芽形成率と1984年の1果重(第2表)のデータを用いて、両者の相関関係を4台木樹込みにして調べた。その結果、1983年の花芽形成率と1984年の1果重との間には1%水準で有意な正の相関($R=0.90$)が認められ、結実前年の花芽形成率に関する密度効果と結実当年の1果重に関する密度効果が密接に関係していることが判明した。従って、1果重に関する密度効果は前年の相対日射量の減少による花芽形成の抑制が関係した果実生長の抑制という見方も成り立つ。なお、相対日射量は $(100 - \text{光捕捉率})$ で表されるもので、相対日射量の減少と光捕捉率の増加は同義である。

以上の結果から、栽植密度の増加に伴って生じる1果重の減少は、結実前年の相対日射量の減少による花芽形成率の低下と、結実当年の相対日射量の減少による果実分配率の減少が結び付いた果実生長の抑制現象と考えられる。

また、平均1果重は各年とも、半矮性台木樹より矮性台木樹で重い傾向が認められた(第2表)。本結果は、矮化度の強い台木樹ほど果実分配率が高くなるという物質生産特性(黒田・千葉, 2006b)によって裏付けられるものであるが、実際栽培では1果重に対する台木の影響は明確になっていない(小原ら, 1983; 土屋ら, 1975)。この理由は示さ

れていないが、1果重に対する台木の影響が果実生長に大きな影響を及ぼす摘果によって覆い隠されてしまったためではないかと考えられる。このように考えると、1果重が台木によって影響されるという本試験の結果は、摘果量が少なかったことによるものと推察される。

なお、式(1)の K_1 と k_1 は結実前年および結実当年の相対日射量と台木によって変化する係数であることが示された。ただし、ここで示した相対日射量は、1果重に対する影響力が温度や降水量のそれより強いということであって、温度や降水量の影響がないという意味ではない。

2. 食味に関連する果実形質と栽植密度の関係

果実品質として最も重要な食味は、果実の大きさと関係なく、良好となったり、不良となったりする。この原因としては、果実生長と食味に関する作用要因が異なるためと考えられる。従って、食味に関連する蜜入り指数、糖度、果肉硬度および酸度に関する栽植密度効果については、1果重のそれと分けて検討する必要がある。

1) 蜜入り指数と栽植密度の関係

蜜入り指数は各台木樹および各年とも、栽植密度の増加に伴って減少することが認められた(第4表)。

上記の蜜入り指数(μ)と栽植密度(ρ)の関係をM.9台木樹について調べたところ、 μ と ρ の間には各年とも、0.97以上の相関係数をもって指数関数がよく適合することが認められた(第2図)。同様の結果は、M.26, M.7およびMM.106台木樹でも認められ(データ省略)、蜜入り指数に関する密度効果は次の指数関数(2)によって表された。

$$\mu = K_2 \exp(-k_2 \rho) \quad (2)$$

蜜入り指数は、‘スターキング・デリシャス’のように果実成熟度が進むに伴って増加する品種では果実成熟度を表す重要な指標となっている。従って、このような品種では、式(2)は果実成熟度に関する密度効果式として活用できるものと考えられる。

ところで、式(2)は果実分配率($Fd/\Delta Pn$)に関する密度効果式($Fd/\Delta Pn = K \exp(-k\rho)$)(黒田・千葉, 2006b)と同形であり、両者が密接に関係していることが示された。この関係を、蜜入りはソルビトールの集積に起因するという観点から見ると、蜜入りは果実分配率が介在した果実の成熟現象の一つと考えられる。

次に、平均蜜入り指数の年次変動を見ると、平均蜜入り指数は各台木樹とも、1982年と1984年で高く、1981年、1983年および1985年で低いことが認められた(第4表)。本試験では収穫期を10月25～26日に固定しているので、1982年と1984年で平均蜜入り指数が高かったのは、果実成熟が早く進んだこと、また1981年、1983年および1985年に平均蜜入り指数が低かったのは果実成熟が遅れ気味であったことを示すものである。いいかえると、1982年と1984年は成熟果を収穫した年であり、1981年、1983年および1985年は未熟果を収穫した年ということになる。

Table 4 Effect of planting density on the watercore intensity index of 'Starking Delicious' apple on M.9, M.26, M.7 and MM.106.

Rootstock	Year	Tree age (years)	Planting density (trees • ha ⁻¹)							Average	
			330	453	623	858	1,185	1,642	2,281		3,178
Watercore intensity index ^z											
M.9	1981	7		0.7 ^y	0.7	0.6	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5d ^x
	1982	8		2.4	2.4	2.3	2.0	2.0	1.8	1.6	2.1a
	1983	9		1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.6	0.5	1.0c
	1984	10		2.7	2.7	2.7	2.5	2.2	2.2	2.0	2.4a
	1985	11		2.1	2.0	1.9	1.7	1.2	1.0	0.8	1.5b
M.26	1981	7		0.8	0.7	0.7	0.6	0.4	0.2	0.2	0.5c
	1982	8		2.5	2.3	2.3	2.2	1.7	1.5	1.4	2.0a
	1983	9		1.1	1.0	1.0	0.8	0.6	0.6	0.4	0.8c
	1984	10		2.7	2.6	2.5	2.4	2.1	1.8	1.7	2.3a
	1985	11		2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.2	0.8	1.4b
M.7	1981	7	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.3c
	1982	8	1.8	1.8	1.6	1.5	1.5	1.3	1.1	1.0	1.5b
	1983	9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.5	0.3	0.3	0.2	0.5c
	1984	10	2.2	2.4	2.0	1.9	1.7	1.6	1.3	1.2	1.8a
	1985	11	1.1	0.8	0.8	0.6	0.4	0.2	0.2	0.1	0.5c
MM.106	1981	7	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.3d
	1982	8	2.0	1.9	1.8	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.6b
	1983	9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.4	0.4	0.2	0.2	0.5cd
	1984	10	2.4	2.3	2.2	2.0	2.0	2.0	1.6	1.4	2.0a
	1985	11	1.2	1.1	0.8	0.8	0.6	0.5	0.3	0.2	0.7c

^z Watercore was classified in 5 degrees increments by its intensity on a cross section across the equator: 0; none, 1; trace, 2; slight, 3; medium, and 4; severe.

^y Values represent the means of two repetitions (20 fruits).

^x Different letters within columns represent significant differences at the 5% level (Duncan's multiple test).

Fig. 2 Relationships between watercore intensity index of fruits (μ) and planting density (ρ) in 'Starking Delicious' apple trees on M.9. Numbers in parentheses indicate tree age.

Heinicke (1966) は 8 月下旬～9 月上旬の相対日射量が 50%以下になると、果実は着色不良となって成熟が遅れることを報告している。この結果は、果実成熟期において日射量が少なくなると蜜入り程度が減少することを意味している。そこで、第 8 表に示した平均蜜入り指数と時期別積

算日射量との相関を見ると、平均蜜入り指数は 8～10 月期の積算日射量との間で最も高い正の相関 ($R = 0.92$) が認められ、蜜入り程度は 8～10 月期の日射量低下によって減少することが示された。また、松井ら (1980) は成熟期のブドウ果房を暗黒状態にすると、糖含量が 5.5%減少することを認め、成熟期の日射量が果実の品質向上に重要な役割を果たしていることを報告している。リンゴ栽培では、収穫前に葉つみ、玉回りなどの着色管理が行われるが、これは果実自体の光合成能を高めることによって果実品質を高める方策になっている可能性がある。従って、8～10 月期の日射量低下によって蜜入り程度が減少するのは、果実自体の光合成能の抑制が関係していることが考えられる。

一方、栽植密度の増加に伴って相対日射量が減少し (黒田, 1988), 光捕捉率が増加することは既に述べた (黒田・千葉, 2002)。また、光捕捉率の増加に伴って果実分配率が減少することも前述のとおりである (第 3 表)。

以上の結果から、蜜入り指数に関する密度効果は、栽植密度の増加に伴って生じる 8～10 月期の相対日射量の減少による果実分配率の減少および果実自体の光合成能の抑制に起因する果実成熟の遅延現象と考えられる。

また、平均蜜入り指数は各年とも、半矮性台木樹より矮性台木樹で高い傾向が見られ (第 4 表), 矮性台木樹で果実成熟が早まることが示された。この結果は、食味から見た

Table 5 Effect of planting density on soluble solids of 'Starking Delicious' apple on M.9, M.26, M.7 and MM.106.

Rootstock	Year	Tree age (years)	Planting density (trees • ha ⁻¹)								Average
			330	453	623	858	1,185	1,642	2,281	3,178	
Soluble solids (Brix) ^z											
M.9	1981	7		12.4 ^y	12.5	12.3	12.1	11.9	11.4	11.3	11.9c ^x
	1982	8		14.2	14.1	14.1	13.8	13.6	13.5	13.5	13.8a
	1983	9		13.1	12.6	12.4	12.3	12.1	11.8	11.6	12.1c
	1984	10		14.8	14.7	14.6	14.4	13.9	13.9	13.7	14.2a
	1985	11		13.9	13.5	13.3	13.3	13.0	13.0	12.8	13.3b
M.26	1981	7		12.0	12.2	12.0	11.7	11.5	11.3	11.2	11.7d
	1982	8		13.8	13.9	13.7	13.6	13.5	13.4	13.3	13.6b
	1983	9		12.7	12.4	12.3	12.4	12.1	11.8	11.7	12.2c
	1984	10		14.4	14.3	14.2	14.1	13.9	13.9	13.8	14.1a
	1985	11		13.9	13.6	13.5	13.2	13.1	13.0	13.0	13.3b
M.7	1981	7	11.9	12.0	11.7	11.3	11.3	11.0	10.8	10.7	11.3c
	1982	8	13.3	13.2	13.2	13.1	13.0	12.9	12.7	12.7	13.0b
	1983	9	12.1	12.0	11.9	11.9	11.6	11.2	11.2	10.8	11.6c
	1984	10	14.1	13.8	13.7	13.6	13.5	13.4	13.3	13.1	13.6a
	1985	11	13.3	13.0	12.8	12.6	12.6	12.4	12.4	12.3	12.7b
MM.106	1981	7	11.7	11.5	11.5	11.5	11.1	11.1	10.8	10.8	11.3d
	1982	8	13.3	13.2	13.1	13.0	13.0	12.9	12.8	12.8	13.0b
	1983	9	12.3	12.1	12.1	11.8	11.9	11.7	11.7	11.5	11.9c
	1984	10	13.9	13.7	13.6	13.6	13.5	13.4	13.3	13.3	13.5a
	1985	11	13.3	13.2	13.0	12.7	12.7	12.5	12.4	12.3	12.8b

² Determined in the juice expressed from the two opposite sides of each fruit using refractometer.

^y Values represent the means of two repetitions (20 fruits).

^x Different letters within columns represent significant differences at the 5% level (Duncan's multiple test).

‘スターキング・デリシャス’の果実熟期がマルバ台樹に比べて M.9 台樹で早かったとしている土屋ら (1975) の報告と類似している。蜜入りは既に述べたように、果実分配率に規定される。従って、矮性台木樹で見られる果実の熟期促進作用は、果実分配率が高いという矮性台木樹の物質生産特性 (黒田・千葉, 2006b) によるものと考えられる。

2) 糖度と栽植密度の関係

Westwood ら (1976) は ‘ゴールデン・デリシャス’ /M.9 において、糖度が栽植密度の増加に伴って減少することを報告している。本試験においても、糖度は各台木樹および各年とも、栽植密度の増加に伴って減少することが認められ (第 5 表), Westwood ら (1976) の報告と一致していた。

以上のような糖度 (δ) と栽植密度 (ρ) の関係を M.9 台木樹について調べたところ、 δ と ρ との間には各年とも、0.95 以上の相関係数をもってべき関数がよく適合することが認められた (第 3 図)。同様の結果は、M.26, M.7 および MM.106 台木樹でも認められ (データ省略), 糖度に関する密度効果は次のべき関数 (3) によって表された。

$$\delta = K_3 \rho^{-k_3} \quad (3)$$

糖度は果実成熟度を表す指標の一つであるので、式 (3) は果実成熟度に関する密度効果式でもある。しかし、式 (3) は蜜入り指数に関する密度効果式 (2) と形が異なっていた。これは、式 (3) と (2) に関係する作用要因が異なる

Fig. 3 Relationships between soluble solids of fruits (δ) and planting density (ρ) in 'Starking Delicious' apple trees on M.9. Numbers in parentheses indicate tree age.

ためと考えられる。そこで、作用要因の中で最も影響が大きいと思われる気象要因を取り上げて、平均糖度と時期別の積算気象要素との相関を調べた。その結果、平均糖度は 7～9 月期の積算平均温度との間で $R = 0.90$, 8～10 月期の積算日射量との間で $R = 0.94$ と、それぞれ最も高い正の相関が認められ (第 8 表), 糖度は 7～9 月期の温度低下と

8~10月期の日射量低下に伴って減少することが示された。

糖度が7~9月期の温度低下に伴って減少するのは、澱粉糖化に関係する酵素反応の抑制によるものと考えられる。また、糖度が8~10月期の日射量低下に伴って減少するのは、光合成生産物の減少に伴う果実分配率の抑制が原因の一部をなしているように考えられる。

相対日射量と栽植密度の関係については、既に述べたように、相対日射量は栽植密度の増加に伴って減少する(黒田, 1988)。一方、本試験では樹冠内温度を測定しなかったが、佐藤(1973)はヨーロッパトウヒ林の3,000本区と6,000本区において、8~10月期の林内温度(地上0.5~1.5 m)が林外より低くなることを報告している。これは、蒸散に伴って葉から蒸散熱が奪われる効果によるものであるが、この場合、蒸散熱は個体群葉量が多いほど増加する。個体群葉量は栽植密度の増加に伴って増加するので(黒田・千葉, 1999, 2002)、このことから樹冠内温度が栽植密度の増加に伴って低下することは容易に推察できる。

以上の結果から、糖度に関する密度効果は、栽植密度の増加に伴って生じる7~9月期の樹冠内温度の低下による澱粉糖化の抑制と8~10月期の相対日射量の減少による果実分配率の抑制、すなわち光合成産物の分解と供給の両面からの抑制現象と考えられる。

また、平均糖度は各年とも、半矮性台木樹より矮性台木

樹で高い傾向が認められた(第5表)。このような結果は、小原ら(1983)も認めており、矮性台木樹の高い果実分配率に基づく熟期促進作用に起因するものと考えられる。

3) 果肉硬度と栽植密度の関係

果肉硬度は蜜入り指数や糖度と異なり、各台木樹および

Fig. 4 Relationships between flesh firmness of fruits (ζ) and planting density (ρ) in 'Starking Delicious' apple trees on M.9. Numbers in parentheses indicate tree age.

Table 6 Effect of planting density on flesh firmness of 'Starking Delicious' apple on M.9, M.26, M.7 and MM.106.

Rootstock	Year	Tree age (years)	Planting density (trees • ha ⁻¹)							Average	
			330	453	623	858	1,185	1,642	2,281		3,178
Fresh firmness (lbs) ^z											
M.9	1981	7		18.4 ^y	18.5	18.6	18.6	18.9	19.0	19.0	18.7a ^x
	1982	8		13.1	13.3	13.2	13.8	14.3	14.6	15.5	14.0c
	1983	9		15.5	15.5	15.8	16.0	16.1	16.2	16.3	15.9b
	1984	10		13.6	13.9	14.9	15.4	15.9	16.9	18.1	15.5b
	1985	11		14.9	15.4	15.9	16.5	16.8	18.1	18.4	16.6b
M.26	1981	7		18.0	18.4	18.5	18.8	19.0	19.5	20.0	18.9a
	1982	8		12.8	13.4	14.1	13.8	14.5	15.3	16.1	14.3c
	1983	9		15.5	15.6	15.8	16.0	16.1	16.3	16.4	16.0b
	1984	10		13.8	14.7	15.6	16.7	17.3	17.6	18.0	16.2b
	1985	11		15.7	16.0	16.2	16.7	17.1	17.3	17.5	16.6b
M.7	1981	7	18.6	18.5	18.6	18.7	19.3	19.3	19.6	19.8	19.1a
	1982	8	14.6	14.7	14.9	15.2	15.4	16.7	16.8	18.0	15.8c
	1983	9	15.4	15.5	15.6	15.6	16.0	16.2	16.7	16.8	16.0c
	1984	10	15.0	15.7	16.2	16.5	17.2	17.4	18.8	19.1	17.0b
	1985	11	16.1	16.2	16.7	17.3	17.4	17.5	17.9	18.4	17.2b
MM.106	1981	7	18.4	18.3	18.4	19.2	19.3	19.8	20.0	20.4	19.2a
	1982	8	13.9	14.4	14.6	15.8	16.1	16.6	17.0	17.2	15.7c
	1983	9	15.6	15.7	16.0	16.1	16.3	16.3	16.4	16.6	16.1bc
	1984	10	14.8	15.2	16.3	16.6	16.9	18.0	18.4	19.7	17.0b
	1985	11	16.0	16.4	16.8	17.1	17.4	17.5	17.8	18.0	17.1b

^zTwo peeled cheeks per fruit, using Magness-Talor tester, 7/16 inch head.

^yValues represent the means of two repetitions (20 fruits).

^xDifferent letters within columns represent significant differences at the 5% level (Duncan's multiple test).

各年とも、栽植密度の増加に伴って増加することが認められた（第6表）。

このような果肉硬度（ ζ ）と栽植密度（ ρ ）の関係を M.9 台木樹について調べたところ、 ζ と ρ との間には各年とも、0.97 以上の相関係数をもってべき関数がよく適合することが認められた（第4図）。同様の結果は M.26, M.7 および MM.106 台木樹でも認められ（データ省略）、果肉硬度に関する密度効果は次のべき関数（4）で表された。

$$\zeta = K_4 \rho^{k_4} \quad (4)$$

果肉硬度は蜜入り指数や糖度と同様に、果実成熟度を表す指標の一つであるので、式（4）は果実成熟度に関する密度効果を表す式でもある。しかし、式（4）は式（2）や（3）と形が相違していた。この原因としては、気象要素の相違が第1にあげられる。そこで、平均果肉硬度と時期別の積算気象要素の関係をみると（第8表）、平均果肉硬度は9月期の積算平均温度との間で $R = -0.92$ 、7～8月期と7～9月期の積算降水量との間でそれぞれ $R = 0.82$ と $R = 0.80$ の高い相関が認められ、果肉硬度は9月期の温度が低いほど、また7～9月期の降水量が多いほど高まることが示された。

9月期の温度が低くなると果肉硬度が高まる理由としては、果肉軟化に関係する酵素反応の抑制が考えられる。一方、黒田ら（1985）は7～9月期に土壤水分を高めてリンゴ樹を栽培すると、新梢伸長の促進や二次成長の発生など

により伸長停止期が遅れることを報告している。伸長停止期の遅延は果実成熟の遅延を意味するので、果肉硬度が7～9月期の多雨によって高くなるのは、成長促進による伸長停止期の遅延現象が関係していると考えられる。

樹冠内温度が栽植密度の増加に伴って低下することは既に述べたとおりであるが、降水量と栽植密度との関係につ

Fig. 5 Relationships between acidity of fruits (η) and planting density (ρ) in 'Starking Delicious' apple trees on M.9. Numbers in parentheses indicate tree age.

Table 7 Effect of planting density on acidity of 'Starking Delicious' apple on M.9, M.26, M.7 and MM.106.

Rootstock	Year	Tree age (years)	Planting density (trees • ha ⁻¹)							Average	
			330	453	623	858	1,185	1,642	2,281		3,178
Acidity (%) ^z											
M.9	1981	7		0.46 ^y	0.46	0.46	0.44	0.43	0.44	0.43	0.44a ^x
	1982	8		0.37	0.37	0.37	0.38	0.38	0.39	0.39	0.38c
	1983	9		0.48	0.48	0.45	0.45	0.45	0.43	0.43	0.45a
	1984	10		0.38	0.37	0.38	0.40	0.41	0.41	0.41	0.40b
	1985	11		0.37	0.36	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.36d
M.26	1981	7		0.46	0.47	0.45	0.43	0.43	0.44	0.42	0.44b
	1982	8		0.34	0.35	0.36	0.38	0.37	0.38	0.40	0.37d
	1983	9		0.48	0.47	0.48	0.47	0.46	0.47	0.46	0.47a
	1984	10		0.38	0.39	0.39	0.40	0.41	0.41	0.41	0.40c
	1985	11		0.37	0.36	0.36	0.36	0.35	0.34	0.34	0.35d
M.7	1981	7	0.43	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.39	0.39	0.41b
	1982	8	0.37	0.37	0.37	0.37	0.38	0.38	0.38	0.39	0.38c
	1983	9	0.44	0.44	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43	0.42	0.43a
	1984	10	0.37	0.37	0.38	0.38	0.38	0.39	0.40	0.40	0.38c
	1985	11	0.39	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.35	0.34	0.36d
MM.106	1981	7	0.43	0.44	0.42	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.42b
	1982	8	0.36	0.36	0.37	0.36	0.36	0.37	0.37	0.38	0.37d
	1983	9	0.48	0.45	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.42	0.44a
	1984	10	0.38	0.39	0.39	0.39	0.40	0.40	0.41	0.42	0.40c
	1985	11	0.37	0.35	0.36	0.36	0.36	0.35	0.34	0.35	0.36d

^z Malic acid % determined by titration of the juice sample with 0.1 N NaOH.

^y Values represent the means of two repetitions (20 fruits).

^x Different letters within columns represent significant differences at the 5% level (Duncan's multiple test).

いては、土壌水分と蒸散が関わるのでやや複雑である。黒田 (1988) は成育期間の平均土壌水分含量が栽植密度の増加に伴って減少することを報告しているが、これは栽植密度の増加に伴って個体群葉量 (黒田・千葉, 1999, 2002) および根量 (黒田・千葉, 2006a) が増加し、これによって蒸散量が増加したためと考えられる。生育期の降水量は栽植密度の増加に伴って増加する蒸散量によって消費され、その結果、おう盛な個体群成長 (黒田・千葉, 2006b) をもたすものと考えられる。

以上の結果から、栽植密度の増加に伴う果肉硬度の増加は、9月期の樹冠内温度の低下による果肉軟化の抑制と、7～9月期の高い降水量によるおう盛な個体群成長に基づく果実成熟の遅延が重なった密度効果現象と考えられる。

また、平均果肉硬度は各年とも、半矮性台木樹より矮性台木樹で低い傾向が認められた (第6表)。このことは、既に述べたように、矮性台木樹の高い果実分配率に起因する熟期促進作用によるものと思われる。

4) 酸度と栽植密度の関係

酸度は各台木樹とも、栽植密度の増加に伴って増加する年と減少する年に分けられた。すなわち、成熟が進んだ果実を収穫した1982年と1984年は増加年であり、未熟気味の果実を収穫した1981年、1983年および1985年は減少年であった (第7表)。

以上のような酸度 (η) と栽植密度 (ρ) の関係を M.9 台木樹について調べた結果が第5図である。それによると、 η と ρ の関係は年によって異なり、成熟果を収穫した年は、

$$\eta = K_s \rho^{k_s} \quad (5)$$

によく適合し、未熟果実を収穫した年は、

$$\eta = K_s \rho^{-k_s} \quad (6)$$

によく適合することが認められた。同様の結果は、M.26, M.7 および MM.106 台木樹でも認められ (データ省略)、酸度に関する密度効果は果実の成熟度の違いによって2つのべき関数で表されることが明らかになった。

酸度に関する密度効果が2つのべき関数で表される理由については、本試験の受粉樹として植え付けてある‘ふじ’/M.26 (樹齢7年) の453 樹・ha⁻¹ (疎植区) と3,178 樹・ha⁻¹ (密植区) における酸度の減少過程から理解すること

Fig. 6 Time trend of acidity in ‘Fuji’ apples from 7-year-old trees on M.26 at 453 and 3,178 trees · ha⁻¹. Values represent the means of two repetitions (20 fruits). ‘Fuji’ was a pollinizer in the field for spacing experiment (Kuroda et al., 1996).

Table 8 Correlation coefficient between integrated value of meteorological element according to time and average fruit quality of ‘Starking Delicious’ apple on M.9, M.26, M.7 and MM.106 from 1981 to 1985. The correlation coefficient of 0.8 or more was shown by the bold-faced type.

Average fruit quality	July	July–Aug	July–Sep	July–Oct	Aug	Aug–Sep	Aug–Oct	Sep	Sep–Oct	Oct
Mean temperature ^z										
Watercore intensity index	0.38NS	0.66**	0.78**	0.75**	0.55*	0.65**	0.70**	0.66**	0.60**	0.23NS
Soluble solids	0.38NS	0.79**	0.90**	0.84**	0.75**	0.79**	0.82**	0.63**	0.58*	0.30NS
Fresh firmness	0.39NS	–0.07NS	–0.31NS	–0.27NS	–0.55*	–0.73**	–0.64**	–0.92**	–0.51*	–0.06NS
Acidity	–0.31NS	–0.74**	–0.74**	–0.83**	–0.75**	–0.65**	–0.86**	–0.22NS	–0.65**	–0.59*
Precipitation ^z										
Watercore intensity index	0.38NS	–0.66**	–0.73**	–0.75**	–0.63**	–0.70**	–0.74**	–0.61**	–0.58*	–0.53*
Soluble solids	0.24NS	–0.74**	–0.77**	–0.78**	–0.74**	–0.78**	–0.79**	–0.46NS	–0.42NS	–0.37NS
Fresh firmness	0.13NS	0.82**	0.80**	0.77**	0.77**	0.76**	0.74**	0.19NS	0.16NS	0.12NS
Acidity	–0.52*	0.44NS	0.38NS	0.32NS	0.48NS	0.42NS	0.36NS	–0.20NS	–0.24NS	–0.28NS
Solar radiation ^z										
Watercore intensity index	0.27NS	0.58*	0.64**	0.61**	0.68**	0.83**	0.92**	0.45NS	0.49NS	0.33NS
Soluble solids	0.01NS	0.37NS	0.45NS	0.40NS	0.78**	0.92**	0.94**	0.47NS	0.36NS	0.08NS
Fresh firmness	–0.21NS	–0.55*	–0.47NS	–0.43NS	–0.75**	–0.57*	–0.61**	0.28NS	–0.15NS	0.15NS
Acidity	0.25NS	–0.04NS	–0.07NS	–0.03NS	–0.47NS	–0.65**	–0.56*	–0.49NS	–0.22NS	0.21NS

^z Calculated from meteorological data in Table 1.

NS, *, and ** indicate non-significance, significance at the 5% level and significance at the 1% level by *t*-test, respectively (n = 20).

ができる(第6図)。すなわち、10月2日時点での酸度は密植区より疎植区で高かった。しかし、その後、密植区の酸度は緩やかに減少したのに対して、疎植区のそれは急速に減少したため、収穫期(11月4日)の酸度は密植区より疎植区で低くなった。この結果を時間断面で見ると、疎植区と密植区が交差する前の酸度は疎植区から密植区に向かって減少するが、交差後の酸度は疎植区から密植区に向かって増加することがわかる。つまり、交差前と交差後の密度効果をそれぞれ未熟果と成熟果のそれと考えれば、酸度に関する密度効果が成熟度の違いによって2つの式で表される理由は説明できる。

次に、第8表を見ると、平均酸度は8～10月期の積算平均温度との間で最も高い負の相関係数(−0.86)が得られ、酸度は8～10月期の温度が高いほど低くなることが示された。一方、樹冠内温度が栽植密度の増加に伴って低下することは既に述べた。従って、酸度が疎植区で急速に減少するのは、8～10月期の樹冠内温度が密植区に比べて高いことによって有機酸代謝が亢進するためであり、また密植区で緩やかに減少するのは、樹冠内温度の低下によって有機酸代謝が抑制されるためと考えられる。

問題となるのは、式(5)と(6)のどちらが高品質果実生産のための栽植密度を設定する際に活用できるかである。これまでの検討結果から、果実が大きくて蜜入りが多く、糖度が高い、いわゆる高品質果実は低密度域で得られることが示されている。しかし、この場合、未熟果を収穫すると、式(6)からわかるように低密度域では酸度が高くなるために、食味の悪い果実となる。一方、成熟果を収穫すると、式(5)が示すように低密度域では酸度が減少するために、甘酸適和の高品質果実が得られるようになる。つまり、高品質果実生産のための栽植密度は、適熟期の果実収穫によって始めて、その特性が発揮されるのである。従って、高品質果実生産をもたらす栽植密度を設定する際に適用できる式は、式(5)ということになる。

また、平均酸度は未熟果を採取した1981年と1983年には半矮性台木樹より矮性台木樹で高かったが、成熟果を採取した1982年と1984年には台木樹間差が見られなかった(第7表)。すなわち、酸度は未熟果では台木の影響を受けるが、成熟果ではその影響が消失することが示された。このような現象が起こる理由は明らかでないが、適熟期に収穫した果実の酸度が台木の種類に関係なく同程度になることは、よく知られている(小原ら、1983; 土屋ら、1975)。

なお、式(2)、(3)、(4)、(5)および(6)の係数 K_2 、 k_2 、 K_3 、 k_3 、 K_4 、 k_4 、 K_5 および k_5 は、それぞれ独自の樹冠内気象要素と台木によって変化する係数であることが示された。しかし、樹冠内気象要素に関しては、果実品質との間で最も高い相関係数を示した気象要素であって、他の気象要素の影響がまったくないという意味ではない。事実、第8表を見ると、果実品質に対して1%水準で有意な気象要素が多く見られ、果実品質に関する密度効果には様々な

気象要素が関わっていることがわかる。

3. 高品質果実生産のための栽植密度条件

以上のように、果実品質に関する密度効果式が定式化されたことから、これらの式を活用すれば高品質果実生産をもたらす栽植密度の設定が可能になるものと考えられる。わが国では、蜜入りが多く、甘酸適和でバリバリとした歯ざわりがあり、なおかつ見栄えのする大きさの果実、いわゆる高品質果実が求められているが、このような果実を生産するにはなるべく低い栽植密度で栽培すればよいことになる。この場合、適期収穫が条件であることはいうまでもない。また、中玉果実を生産する場合には、大玉生産における栽植密度よりやや高い栽植密度で栽培し、大玉生産よりやや遅く収穫すれば、高品質の中玉果実が得られることになる。蜜入り果実を好まない米国では、未熟な果実を収穫し、低温貯蔵により澱粉を糖化させてから食用に供しているが、このような方法はわが国では不向きである。わが国では、用途に応じた適正な栽植密度の選定と適熟期の果実収穫を基礎とした栽培技術の適用が重要と考えられる。

4. 果実品質に関する密度効果に影響する栽培要因

高品質果実生産のための栽植密度が設定され、適熟期の果実収穫が励行されたとしても、それだけではリンゴ低樹高栽培における技術的な問題が解決されたわけではない。

既に示したように、果実品質に関する密度効果式は樹冠内気象要素や台木に関係なく常に成立する。しかし、その係数値は樹冠内気象要素と台木によって変化する。例えば、M.9台木樹における蜜入り指数(μ)の密度効果式を見ると、蜜入り指数が最も高かった1984年は $\mu = 2.9 \exp(-0.00012\rho)$ であるが、蜜入り指数が最も低かった1981年は $\mu = 0.81 \exp(-0.00035\rho)$ となり、式の形は変わらないが、係数 K 、 k の値は相対日射量によって変化する事が認められている。このことは、台木樹間でも同様である。つまり、蜜入り指数などの果実品質に関する密度効果において問題となるのは、密度効果式の関係ではなく、樹冠内気象要素や台木によって変化する係数値の大きさなのである。

ところで、樹冠内気象要素は栽培管理によって、調節することができる。すなわち、降水量は灌排水や土壌管理により、相対日射量は整枝剪定や間伐によって調節可能である。上記のような栽培要因によって調節される降水量や相対日射量は、葉の同化作用や果実分配率を介して果実品質に影響するものであるが、葉の同化作用と果実分配率はそれぞれ施肥と摘果によって直接的に調節できる。従って、係数値 K 、 k と灌排水、土壌管理、整枝剪定、間伐、施肥および摘果などの栽培要因との関係が解明されれば、高品質果実生産のための栽培要因を定量的に捉えることができるようになる。本試験で得られた果実品質に関する密度効果式は、無剪定条件下で成立する式であるために実際栽培には適用できないが、高品質果実生産をあげるための栽培条件を明らかにするうえで重要な意味を持っている。

5. 高品質・高生産のための栽植密度問題

リンゴ低樹高栽培における最良の栽植密度は、高品質果実の最大生産を可能とする栽植密度である。しかし、果実品質に関する密度効果式はべき関数や指数関数で表されたのに対し、果実収量 (Y) に関する密度効果式は一頂曲線の $Y = Hp/(Ap + B)^h$ で表され (黒田ら, 1997)、高品質果実と最大収量が得られる栽植密度は一致しないことがわかった。すなわち、高品質果実を最大生産する栽植密度は存在しないということである。従って、リンゴ低樹高栽培における栽植密度は、果実品質と果実収量との兼ね合いによって決めざるを得ないことになる。わが国のように高品質果実生産が重視される国では、収量をやや犠牲にしても高品質果実が得られる栽植密度を選定する必要がある。一方、加工用の果実生産が目的の場合は、果実品質を犠牲にしても最大収量が得られる栽植密度を選定する必要がある。

しかし、実際の栽培園は時々刻々変動する園内環境や様々な栽培管理の影響下にあるので、高品質果実生産のための栽植密度を設定する際には、それらの影響を考慮しなければならない。そのためには、前項で述べたように、果実品質に関する密度効果式の係数値と各種栽培要因との関係解明が必要となる。このことは、果実収量に関する密度効果現象においても同様である。果実品質および果実収量に関する密度効果式の係数値 (K, k, A, B, H および h) と各種栽培要因との関係が明らかになったとき、はじめて高品質・高生産のための栽植密度問題の全体像が描けるようになり、わが国におけるリンゴ低樹高栽培技術の体系化が図られるようになるものと考えられる。

摘 要

無剪定の矮性および半矮性台木を利用したリンゴ‘スターキング・デリシャス’樹 (樹齢 7～11 年生) における果実品質と栽植密度の関係について検討した。各台木樹とも、1 果重は栽植密度 (ρ) の増加に伴って減少した。このような 1 果重 (ω) に関する密度効果は、 $\omega = K_1\rho^{-k_1}$ で表された。蜜入り指数と糖度は栽植密度 (ρ) の増加に伴って減少したが、果肉硬度は増加した。蜜入り指数 (μ)、糖度 (δ) および果肉硬度 (ζ) に関する密度効果は、それぞれ $\mu = K_2\exp(-k_2\rho)$, $\delta = K_3\rho^{-k_3}$ および $\zeta = K_4\rho^{k_4}$ で表された。酸度 (η) に関する密度効果は、成熟果の場合は $\eta = K_5\rho^{k_5}$, 未熟果の場合は $\eta = K_6\rho^{-k_6}$ で表された。このうち、高品質果実生産のための栽植密度設定に際して適用できる式は $\eta = K_5\rho^{k_5}$ であった。以上の結果から、高品質果実生産のための栽植密度は上記の密度効果式の活用により設定できること、また設定された栽植密度の高品質果実生産能力は適熟期の果実収穫によって発揮されることが示された。

謝 辞 本試験の実施に際して、元農林水産省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

- Heinicke, D. R. 1966. Characteristics of McIntosh and Red Delicious apples as influenced by exposure to sunlight during the growing season. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 89: 10–13.
- Jackson, J. E. 1978. Utilization of light resources by HDP systems. *Hort. Rev.* 2: 209–267.
- 黒田治之. 1988. わい性台リンゴ樹における密度効果と生育期の土壌水分含量ならびに受光量との関係. 農林水産技術会議事務局編. わい性台木の利用による果樹のわい化栽培技術の開発. 研究成果. 198: 145–148.
- 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. 2006a. 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. 2006b. 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. 園学研. 5: 421–430.
- 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.
- 黒田治之・西山保直・中島二三一. 1985. リンゴ樹の耐凍性の季節変動に及ぼす時期別土壌水分含量の影響. 北農試研報. 144: 51–62.
- 松井弘之・湯田英二・中川昌一・米森敬三. 1980. ブドウ‘デラウエア’果実の成熟生理に関する研究 (第 2 報). 果実に対する光度が糖・有機酸に及ぼす影響並びに果実での炭酸ガス固定. 園学雑. 48: 405–412.
- 小原信実・三上敏弘・玉田 隆・佐藤昌雄. 1983. リンゴわい化栽培に関する研究. (第 2 報) 高・中密植によるわい性樹の生育, 収量, 品質比較. 青森りんご試報. 20: 53–77.
- 佐藤清左衛門. 1973. ヨーロッパトウヒ植栽本数試験地の

- 閉鎖と環境因子 (III). 日林誌. 55: 270–276.
- 杉浦俊彦・本條 均・小野祐幸・朝倉利員・鴨田福也・佐久間文雄. 1993. ニホンナシの果実生長と日射量の関係のモデル化. 農業気象. 48: 329–337.
- 土屋七郎・吉田義雄・羽生田忠敬・真田哲朗. 1975. リンゴの台木に関する研究. (第2報) 12年を経過した木の生育, 結実, 果実品質におよぼす M.9, マルバカイドウ, リンゴ実生台の影響について. 果樹試報. 2: 13–41.
- Verheij, E. W. M. and F. L. J. A. W. Verwer. 1973. Light studies in a spacing trial with apple on a dwarfing and a semi-dwarfing rootstock. Sci. Hort. 1: 25–42.
- 渡辺久昭. 1985. 北海道におけるリンゴの生育と気象. 農及園. 60: 915–917.
- Westwood, M. N., A. N. Roberts and H. O. Bjornstad. 1976. Influence of in-row spacing on yield of ‘Golden Delicious’ and ‘Starking delicious’ apple on M9 rootstock in hedgerows. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101: 309–311.