異なった栽植密度におけるワセウンシュウの果実生産力, 葉面積指数及び樹冠占有面積率と収量との関係

橘 温

千葉県暖地園芸試験場 294 館山市山本

Relationships between Fruit Productivity, Leaf Area Index and
Crown Density, and Yield in Different Planting Densities
in Wase Satsuma Mandarin (*Citrus unshiu*) Trees

Sunao TACHIBANA

Chiba Horticultural Experiment Station, Tateyama, Chiba 294

Summary

Two-year-old trees of 'Miyagawa' Wase, an early maturing cultivar of satsuma mandarin, were planted in 1967 at various planting densities and grown until they were 21 years old. The effect of planting density on fruit productivity (bearing amount per unit leaf area), yield per unit land area, leaf area index (LAI) and crown density, and the relations between fruit productivity, LAI, crown density and yield were determined in lower planting density (1,250 and 2,500 trees/ha) and higher planting density (5,000 and 10,000 trees/ha).

1. While fruit productivity showed a slight decrease from 1.21 kg/m² to 1.00 kg/m² with an increase of tree age from 10 to 21 in lower planting density, it showed a large decrease from 0.93 kg/m² to 0.50 kg/m² with an increase of tree age from 4 to 17 in higher planting density. Higher planting density showed larger LAI and crown density than lower planting density at any age.

2. The relations between LAI and fruit productivity, and between crown density and fruit productivity showed that fruit productivity hardly changed when LAI and crown density were lower than 5 and 80 %, respectively, but decreased when they were over these values.

3. An increase in yield for early-stage trees was mainly dependent on a rapid increase in LAI or crown density, and a subsequent decrease in yield was mainly dependent on a large decrease in fruit productivity.

4. Yield (60 t/ha) in the higher planting density was nearly equal to that in the lower planting density (60 t/ha) for 11-year-old trees. The higher planting density had the superior yield for trees younger than 11 years old, but after 11 years its yield was surpassed by the lower planting density.

緒 言

近年の果実生産費の高騰に対し、果樹栽培では開園に際して早期増収をねらいとした密植栽培の方式がとられるようになった。密植栽培においては、樹齢の進行にともなう樹冠容積の拡大によって、樹冠が急速に込み合ってくるので、その緩和をはかるため、樹をできるだけ小さい状態に維持するとともに、間伐を適時計画的に行わなければならない、栽培管理の面で支障をきたすことが指摘され

ている(1, 2, 3, 8, 13)。また経営安定のために、限られた土地からの最大限の高品質果実の生産が重視されるようになり、そのため個々の樹による果実の生産効率(樹冠容積当たり結実量)を高めることの重要性も指摘されている(16)。

本報告においては、栽植密度1,250本/haと2,500本/ha、及び5,000本/haと10,000本/haをそれぞれ込みにした低密度区及び高密度区において、果実の生産効率(果実生産力)を単位葉面積当たり結実量で表し、栽植

密度が果実生産力、圃場面積当たり収量、葉面積指数及び樹冠占有面積率（樹冠密度）に及ぼす影響、ならびに果実生産力、葉面積指数及び樹冠占有面積率（樹冠密度）と収量との関係を検討した。

材料及び方法

1967年3月、ほぼ平坦な埴壌土の圃場（70m×60m）に2年生「宮川早生」をha当たり1,250, 2,500, 5,000及び10,000本の4つの栽植密度で正方形植えとして定植し、間伐は行わず栽培を続けた。各密度区には、さらに無深耕少肥及び深耕施肥と、無せん定無摘果及びせん定摘果の各処理区を設けた。

結実量は各処理区ごとに、結果初年時の4年生からそれぞれボーダー樹を除き24～40樹調査し、さらに葉面積指数（LAI）及び樹冠占有面積率についても調査した。各処理区及び調査の詳細は、前報（9, 10, 11）で述べたとおりである。本実験において樹冠密度は、樹冠の込み合いの程度を表し、これを変数として用いる場合に、樹冠占有面積率が100%に達するまでは樹冠占有面積率で示し、また樹冠占有面積率が100%に達した後は、その後の経過年数で示した（12）。経過年数の目盛り間隔は、回帰曲線を求めるに際し、果実生産力の総てのデータが二次曲線によく適合するようにシミュレーションを行っ

て決定し、樹冠占有面積率と、樹冠占有面積率が100%に達した後の経過年数とを同一の次元にあるとみなした。

果実生産力は、単位葉面積当たり結実量で表したが、年次変動が著しいため2か年ごとの平均値を用いた。これに対する圃場面積当たり収量、LAI及び樹冠占有面積率（樹冠密度）も同様にした。

本報告においては、栽植密度を1,250及び2,500本/haの低密度区と5,000及び10,000本/haの高密度区に分け、各処理区及び樹齢（高密度区；4～17年生，低密度区；4～21年生）を込みにして考察を行った。

結果及び考察

1. 栽植密度が果実生産力、圃場面積当たり収量、LAI及び樹冠占有面積率に及ぼす影響

LAIと果実生産力との関係は第1図に示すように、低密度区においてLAIが5までの範囲では、果実生産力の変化は少なく、LAIがこれより大きくなると果実生産力は減少した。第1図の回帰式によるとLAIが2.9のとき、果実生産力は最大値1.3kg/m²を示す。高密度区においては、LAIの大部分の値は5以上を示し、LAIが大きくなるとともに果実生産力は減少した。また樹冠密度と果実生産力との関係において、低密度区で樹冠密

Fig. 1. Relations between LAI and fruit productivity (bearing amount per unit leaf area), and between crown density and fruit productivity.

C: Crown density (%). $C = 100 + 2.5C'$ when $C > 100\%$. C' : The year after C reached 100%.

度 80% までは、果実生産力の変化は少なく、樹冠密度がこれより大きくなると果実生産力は減少した。樹冠密度が 50% のとき果実生産力は最大値 1.3 kg/m^2 を示す。高密度区においては、樹冠密度は大部分 80% 以上を示し、樹冠密度が大きくなるとともに果実生産力は減少した。

第 2 図は、低密度区及び高密度区における果実生産力、収量、LAI 及び樹冠占有面積率の樹齢にともなう変化を二次回帰曲線で示したものである。果実生産力は、低密度区においてはほぼ 10 年生時 (LAI; 5, 樹冠占有面積率; 70%) まで樹齢にともなう変化は少なく、それ以後減少を示したが、10~21 年生時の減少の程度は小さかった ($1.21 \sim 1.00 \text{ kg/m}^2$)。高密度区は 4~17 年生時に急速に減少し ($0.93 \sim 0.50 \text{ kg/m}^2$)、低密度区よりつねに低い水準で推移した。収量は、低密度区において 4~5 年生時に 17 t/ha 、15 年生時に最高値 70 t/ha を示し、その後緩やかな減少傾向に転じた。高密度区における収量は、4~5 年生時に 56 t/ha 、9 年生時に最高値 62 t/ha を示し、その後急に減少した。

LAI は、低密度区において 4~5 年生時に 1.3 を示し、12 年生時まで急速に増加したが、それ以後樹齢にともなう変化は少なかった。LAI は 16 年生時に最高値 6.4 を示し、また 4~21 年生時において収量と類似の経年変化を示し、収量との間に高い相関関係 ($R=0.959$) のあることが示されている(10)。高密度区における LAI は、4~5 年生時に既に 6.5 に達して、9 年生時まで徐々に増加したが、それ以後ほとんど増加しなかった。LAI は 14 年生時に最高値 8.5 を示した。

樹冠占有面積率は、低密度区において 4~5 年生時に 29% であったが、LAI が最高に達した 16 年生時まで急速に増加し、それ以後変化は少なかった。これに対して高密度区では、4~5 年生時には 84%、8 年生時に 100% に達した。

栽植密度が果実生産力に及ぼす影響について、リンゴ、モモ及びネクタリンでは、栽植密度が高くなると、果実生産力は低くなると報告されている(4, 14, 15)。この場合、果実生産力は幹断面積当たり収量で表されているが、このとき幹直径と葉面積との間にかなり高い相関がみられている(14)。そこで、幹断面積当たりの収量を葉面積当たりに換算しても傾向は変わらないと推測すれば、本実験結果は、これらの結果と同様の傾向を示すことになる。

低密度区において、収量が最高を示した 15 年生前後の LAI は 6 であり、また 16 年生以降 LAI はわずかな減少の傾向を示した。これに対して高密度区では、結

Fig. 2. Changes of fruit productivity (bearing amount per unit leaf area), yield (per unit land area), LAI and crown density in accordance with tree age.

果初年時の 4~5 年生時に LAI は既に 6.5 に達し、低密度区の最高 LAI 6.4 とほぼ同じ値であったにもかかわらず、ほぼ 9 年生時まで増加傾向にあった。この理由は、ウセウシユウミカンは幼木の間、樹冠中央の照度の低い部位にも新葉の発生が多く、またこの傾向はワセウシユウで著しいためであると考えられる(5, 6)。その結果、高密度区では年数の経過にともなう相対照度が低くなり、果実生産力は減少傾向を示したと考えられる。なお 9 年生以後 LAI の樹齢にともなう変化が少なく、果実生産力が減少し続けたのは、高密度条件における土地の植物扶養力(7)も影響していると推測される。

2. 果実生産力、LAI 及び樹冠占有面積率と収量との関係

第 2 図において収量の樹齢にともなう増減は、

$$(\text{収量}) = (\text{果実生産力}) \times (\text{LAI})$$

の関係によると次のように説明される。すなわち、低密度区でおよそ 10 年生時 (LAI; 5, 樹冠占有面積率; 70%) までの収量の急速な増大は、その間の果実生産力はほとんど変化しなかったことから、LAI の急速な増大

によるものと考えられる。また 10 年生から最高収量を示す 15 年生までの収量の漸増傾向は、その間の果実生産力はやや減少傾向にあるものの LAI は増加傾向にあるためと考えられる。それ以後の収量の減少は、LAI のわずかな減少傾向とともに果実生産力のやや急速な減少が影響していると考えられる。高密度区において、4～9 年生時に収量は微増傾向にあった。このことは、果実生産力の減少の影響より LAI の増加の影響の方がやや大きかったためと考えられる。9 年生以降の収量の急速な減少は、LAI の変化がほとんどみられないことから果実生産力の急速な減少によるものと考えられる。

このように低密度区で 15 年生以後、また高密度区で 9 年生以後にみられる収量低下は、果実生産力の低下によると考えられた。ところで、果実生産力と樹冠占有面積率との間には、第 1 図にみられるように低密度区、高密度区とも樹冠占有面積率が 80% を越えると、果実生産力が低下するという関係がみられた。このことは、樹冠占有面積率が 80% を越えると、樹冠の重なりが生じ相対照度が低下するため、果実生産力が低下することを示唆している。

以上のことから低密度区及び高密度区とも樹齢にともなう収量の増大は、最初は主に LAI あるいは樹冠占有面積率の増大によるものであるが、それ以後の収量の減少は主に果実生産力の減少によるものと推察される。

密植栽培において収量を高めるためには、LAI が 5 あるいは樹冠占有面積率が 70～80% までの範囲において、速やかな LAI の増大が重要となるが、LAI が 5 あるいは樹冠占有面積率が 70～80% 以上の樹冠がやや込み合った状態では、LAI の増大をはかるよりも受光態勢を改善して果実生産力の減少を少なくすることが重要となる。そのため整枝せん定とともに間伐による樹体の調整が必要となる。高密度区において 4～5 年生時の LAI の値 (6.4) 及び樹冠占有面積率の値 (84%) は、既にこの状態に達していることを示している。

第 2 図における二次回帰曲線から収量を推定すると、高密度区と低密度区は 11 年生時にほぼ同様に 60 t/ha であり、それまでは高密度区が、以後低密度区が優った。このとき LAI は高密度区において 8.4 であり、ほぼ最高値 (8.5) を示したが、低密度区においては 5.5 でまだ増加傾向にあった。樹冠占有面積率は高密度区において 100% でうっ閉状態にあったが、低密度区においては 78% でまだ増加傾向にあった。また果実生産力は高密度区で 0.73 kg/m²、低密度区で 1.20 kg/m² であり、11 年生以後の減少は低密度区より高密度区の方が著しかった。高密度に植栽されたこのような圃場の収量低下を防

ぐには、高密度区と低密度区がほぼ同値となった 11 年生までに計画的に間伐を進め、高密度区から低密度区に栽植密度を調節する必要がある。11 年生時までに間伐が行われていた場合、圃場における LAI あるいは樹冠占有面積率の樹齢にともなう変化は、高密度から低密度に移行することになり低下するが、その後の増加傾向、及び果実生産力の著しい向上により、収量は高水準に維持されると推測される。本実験結果は、密植栽培における間伐は収量に影響を及ぼす果実生産力を向上させるうえでの重要性を示唆している。

摘 要

ワセウンシュウ「宮川早生」を用い、栽植密度 1,250 本/ha と 2,500 本/ha、及び 5,000 本/ha と 10,000 本/ha を込みにした低密度区及び高密度区において、栽植密度が果実生産力 (単位葉面積当たり結実量, kg/m²)、圃場面積当たり収量 (t/ha)、葉面積指数 (LAI) 及び樹冠占有面積率に及ぼす影響、ならびに果実生産力、LAI 及び樹冠占有面積率と収量との関係を検討した。

1. 低密度区の果実生産力は 10～21 年生時にわずかな減少 (1.21～1.00 kg/m²) を示したが、高密度区においては 4～17 年生時に大きく減少した (0.93～0.50 kg/m²)。高密度区は、低密度区よりつねに高い LAI 及び樹冠占有面積率を示した。

2. LAI 及び樹冠占有面積率と果実生産力との関係において、LAI が 5 及び樹冠占有面積率が 80% までの範囲では、果実生産力はほとんど変化せず、両者の値がそれより大きい場合に減少傾向を示した。

3. 樹齢にともなう収量の増大は、最初は主に LAI あるいは樹冠占有面積率の著しい増大によるものであり、それ以後の収量の減少は主に果実生産力の著しい減少によるものであった。

4. 高密度区及び低密度区の収量はほぼ 11 年生時に同値 (60 t/ha) となったが、それまでは高密度区が、以後低密度区が優った。

謝 辞 本研究を行うに際し、実験を企画された平野 暁東京農業大学教授に謝意を表します。

引用文献

1. BOSWELL, S. B., C. D. MCCARTY and L. N. LEWIS. 1975. Tree density affects large-root distribution of 'Washington' navel orange trees. HortScience 10: 593-595.
2. BOSWELL, S. B., D. R. ATKIN and K. W. OPTIZ. 1977. Citrus tree spacing in California. Proc. Int. Soc. Citriculture 1: 166-169.
3. CARY, P. R. 1977. New concepts in citrus tree spacing and pruning practices. Proc. Int.

- Soc. Citriculture 1: 162-165.
4. GIULIVO, C., A. RAMINA and G. COSTA. 1984. Effects of planting density on peach and nectarine productivity. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109: 287-290.
 5. 平野 暁・森岡節夫. 1969. カンキツ樹の葉量とその分布. 第3報. 葉の空間分布(2). 園学要旨. 昭44秋: 24-25.
 6. 平野 暁・岩田正久. 1970. カンキツ樹の葉量とその分布. 第4報. 4年生樹の葉の空間分布. 園学要旨. 昭45春: 70-71.
 7. 平野 暁・森岡節夫. 1975. カンキツの着果程度と樹の生長および収量との関係. 第1報. 宮川早生幼木における果実収量と葉の物質生産力. 園学雑. 44: 99-106.
 8. MCCARTY, C. D. 1966. High-density planting. The California Citrograph. January 91: 110, 112, 114, 115.
 9. 橘 温・森岡節夫・中井滋郎. 1987. ウンシュウミカンの栽植密度と栽培条件が収量に及ぼす影響. 園学雑. 56: 9-15.
 10. 橘 温・中井滋郎. 1988. 異なった栽植密度及び栽培条件におけるワセウンシュウの収量と葉面積指数との関係. 園学雑. 57: 561-567.
 11. 橘 温・中井滋郎. 1989. ワセウンシュウにおける栽植密度などの2, 3の栽培条件が樹冠占有面積率に及ぼす影響. 園学雑. 58: 83-90.
 12. 橘 温・中井滋郎. 1989. 異なった栽植密度におけるワセウンシュウの樹冠密度と収量及び葉面積指数との関係. 園学雑. 58: 91-96.
 13. TEHRANI, G. 1987. High density pear planting and management on quince dwarfing rootstock: a practical venture. Compact fruit tree 20: 142-146.
 14. VERHEIJ, E. W. M. 1972. Competition in apple, as influenced by Alar sprays, fruiting, pruning and tree spacing. Meded. Landbouwhogeschool Wageningen 72-4: 1-54.
 15. VERHEIJ, E. W. M. and F. L. J. A. W. VERWER. 1972. Yield-density relations for apple trees on a dwarfing and a semi-dwarfing rootstock. Neth. J. agric. Sci. 20: 58-66.
 16. WHEATON, T. A., W. S. CASTLE, D. P. H. TUCKER and J. D. WHITNEY. 1978. Higher density plantings for Florida citrus—concepts. Proc. Fla. State Hort. Soc. 91: 27-33.