

# ハウスミカンの垣根仕立てと開心自然形の

## 垂直プロファイルによる生産構造の比較

矢野拓・吉澤栄一・清末義信

Comparison of Vertical Profiles of Tree Structure for High Yield Performance between  
Hedge-row Training and Modified Open-center Training  
in a Greenhouse Grown Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marcow).

Taku YANO, Ei-ichi YOSHIZAWA, Yoshinobu KIYOSUE

大分県農林水産研究指導センター農業研究部果樹グループ

Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center,  
Agricultural Research Division Fruit Tree Group

キーワード：ハウスミカン、垣根仕立て、開心自然形、受光態勢、収量、果実品質

### 目次

#### I 諸言

#### II 材料および方法

#### III 結果

##### 1 供試樹の生産概要

##### 2 垣根仕立て区と開心自然形区における LAI、果実収量、および1果平均重の垂直プロファイルの比較

##### 3 垣根仕立て区と開心自然形区における果実品質の垂直プロファイルの比較

##### 4 相対光強度が果実品質に及ぼす影響

#### IV 考察

#### V 摘要

#### 謝辞

#### 引用文献

#### Summary

### I 諸言

ハウスミカンは本県の果樹を代表する品目である。しかし近年、重油価格の変動や生産者の高齢化等により、ハウスミカンの栽培面積・生産量は本県を含む多くの産地で減少傾向にある（農林水産省<sup>1)</sup>）。一方、市場では、盆時期を中心に国産の高品質果実のニーズは高く、需給バランスも影響してハウスミカンの販売単価は近年高値安定傾向にある（日本園芸農業協同組合連合会<sup>10)</sup>）。本品目が直面する課題は、暖房費が大半を占める生産コストの低減（矢野<sup>2)</sup>）、生産構造の改善（平野ら<sup>4)</sup>）や着花安定による高生産化、および栽培管理の省力化である。これらの課題を解決する新たな技術が確立できれば、ハウスミカンは今後も生産者の経営の大きな柱となることが期待される。

カンキツの仕立ては古くから開心自然形が主流であり、他の仕立てに関する報告は、落葉果樹と比較する

と少ない(川崎<sup>5)</sup>、黒上<sup>8)</sup>、塩田ら<sup>17)</sup>、湯浅ら<sup>27)</sup>。これは、隔年結果といったカンキツ固有の結果習性や、施肥等による樹勢のコントロールの難しさなどを要因として挙げることができる。

ハウスミカンの仕立ても、他のカンキツと同様、開心自然形が主流であるが、近年、本県が開発した垣根仕立て法(図1、矢野<sup>24)</sup>、矢野・川野<sup>25)</sup>)が普及しつつある。この垣根仕立て法は、高密植(10aあたり植栽本数300~600本)で栽培早期の収量性が高い特徴を有する(九州沖縄農業試験研究推進会議<sup>9)</sup>)。また、技術体系が平易で、頂芽優勢といった樹の習性に逆らわず、単純な枝梢管理(誘引と母枝の切り返し剪定)を基本としており、従来の開心自然形や主幹形仕立て法(湯浅ら<sup>27)</sup>、川崎ら<sup>5)</sup>、塩田ら<sup>17)</sup>)の改善を図っている側面もある。一方、苗の初期コストや未収益期間等、改植に伴う大きな課題も存在するため、この垣根仕立て法の高生産性を解明することは、さらなる普及の基礎となる重要な課題である。

果実生産に関連する要因のうち、光環境は、特に重要な環境要因の一つであり、仕立て法の違いにも左右される。光環境に対する植物の受光メカニズムは、物質生産に関する既往の研究では、量的には葉面積指数(LAI)の大小で、質的にはBeer-Lambertの法則に基づく受光態勢の優劣として定義されている(Monsi and Saeki<sup>12)</sup>)。果樹の受光態勢の解析については、破壊的な調査を用いて樹体構成要素や果実生産の水平・垂直プロファイルを作成するなど、多大な労力やコストがかかるため研究事例が少なく(平野ら<sup>4)</sup>)、十分な解明が進んでいない。ハウスミカンにおいても、垣根仕立て法の普及に際し、異なる仕立て法間における生産ポテンシャルの客観的な評価・比較が求められている。

本報告の目的は、以下二点を明らかにすることである。一つは、垣根仕立てと開心自然形の生産性について垂直プロファイルを比較し、光環境が果実生産に及ぼす影響を解明して、両仕立ての受光態勢に優劣が存在するか明らかにすることである。もう一つは、ハウスミカン栽培において優れた生産構造を明らかにすることである。優れた生産構造については様々な考え方があるが、本報告では、高品質と高収量が両立する生産ポテンシャルを有し、慣行と同等もしくは省力的な栽培管理が可能な生産構造、と定義する。



図1 垣根仕立て2.0×1.0m区の結果状況

## II 材料および方法

材料には加温時期が概ね11月上旬~12月中旬で8月中旬までに収穫を終了する夏芽母枝型の‘宮川早生’を用いた。調査場所と年度は、垣根仕立て区は国東市の果樹グループ内加温ハウスにおける2013年産(2012年11月8日加温、同年12月17日満開、2013年6月下旬収穫)と2018年産(2017年11月21日加温、同年12月26日満開、2018年6月下旬収穫)を、開心自然形区は杵築市の現地ハウスにおける2006年産(2005年11月14日~12月13日加温、同年12月20日~2006年1月18日満開)を対象とした。いずれも天井は2重被覆で、肥培管理は慣行に従った。調査場所と年度の違いが果実生産に及ぼす影響について後に考察するため、表1に調査期間におけるハウス外の日照時間を示す。

垣根仕立て区は、ほぼ南北方向に植栽され、作業性の観点から幅約50cmの通路が確保できるよう枝梢管理を行った。生産性は概ね4樹反復(2013年対照区のみ3樹反復)で調査したが、2013年の垣根仕立て区は

表1 加温から収穫までのハウス外日照時間 (h)

月	2006産	2013産	2018産
	杵築市	国東市	国東市
11	170	140	143
12	157	102	124
1	140	143	123
2	125	152	153
3	190	200	221
4	161	206	229
5	122	239	185
6	105	111	149
7	109	218	231
計	1,279	1,509	1,559

全ての栽培樹（18 および 12 樹）を供試した。また、杵築市の現地調査では、各ハウスで代表的な樹相を示す4樹を選び供試した。表2に国東市の果樹グループ、表3に杵築市の現地ハウスにおける生産概要をそれぞれ示す。

10a あたり収量は、いずれの区も 1 樹あたり平均収量に 10a あたり植栽本数を乗じて推定した。現地調査における推定収量 (x) と聞き取り収量 (y) の関係は、 $y=0.95x$  ( $n=14$ ,  $r^2=0.50$ ,  $P<0.001$ ) で表せ、平均絶対誤差 0.24、2 乗平均平方根誤差 0.79 の推定精度であった。

葉面積指数 (LAI) は、①樹あたり葉数に平均した個葉面積を乗じて求める方法、②樹の全葉を採取して乾燥させ、得られた乾物重から葉面積を推定する方法、③樹の全葉を採取して直接面積を計測する方法のいずれかで求めた。現地調査においては①の方法で、母枝の硬化から加温直前までの期間に調査を行った。個葉面積の平均は、各供試樹の各層より 20 枚の葉をランダムに選定し、携帯型葉面積計 (LI-3000A; Li-Cor Inc.) で求めた。垣根仕立て樹のうち、10 年生樹は上述の②の方法で、果実収穫直後の 2013 年 7 月に層別刈り取りを行い (図 2A-C: 図 2 の A~C という意味、以下同様)、試験区毎に葉を 80°C で約 1 週間乾燥させ乾物とし、既報 (Yano *et al.*<sup>23)</sup>) に従いハウスミカンの比葉面積を  $8.1 \times 10^{-3} \text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  として、葉の乾物重を葉面積に換算した。また、垣根仕立て樹の 15 年生樹は上述の③の方法で、収穫直後の 2018 年 6 月 14 日と 15 日に各供試樹の各層より全葉を採取し、速やかに上述の葉面積計に供した。

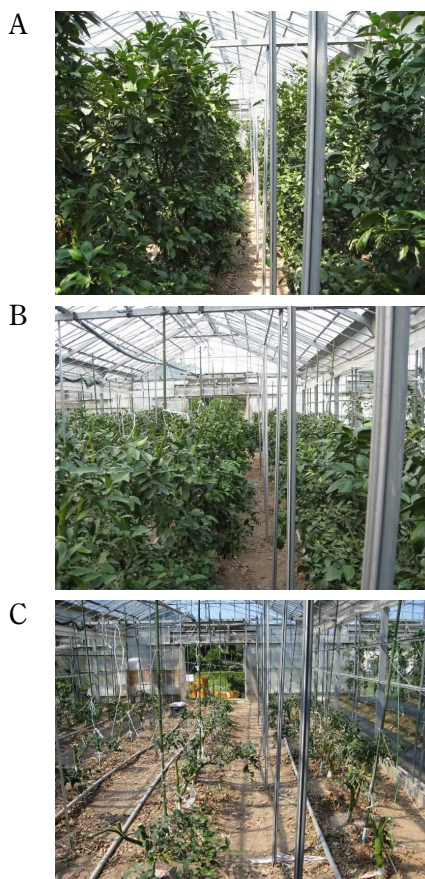


図2 垣根仕立て樹における層別刈り取り過程。A、樹体刈り取り前。B、高さ 1.0m 以上の樹体採集後。C、高さ 0.5m 以上の樹体採集後。

現地調査の果実収量は、収穫初期と終期に調査樹の各層から 20 果を採取し、両時期を平均した 1 果平均重に着果数を乗じて求めた。果実品質は、上述の収量推定に用いた果実を調査して求めた。果汁の糖はデジ

表2 国東市果樹グループにおける栽培概要

試験区	植栽距離	供試面積 (m <sup>2</sup> )	植栽本数 (本/10a)	調査年	樹齢 (年生)	供試樹数 (n)	樹高 (m)	LAI	収量 (t/10a)		1 果平均重 (g)	果実品質	
									4樹からの推定	聞き取り		糖 (°Brix)	滴定酸 (%)
垣根仕立て	2.0×1.0m	38	446	2018	15	4	2.6	4.7	9.5	128	12.3	0.89	
	2.0×1.5m	42	302	2018	15	4	2.6	4.1	9.2	144	11.6	0.89	
	1.5×1.0m	27	613	2013	10	18	2.7	4.5	9.3	99	12.8	0.80	
	1.5×1.5m	27	396	2013	10	12	2.7	3.7	7.8	97	13.4	0.93	
平均: 垣根仕立て							2.7	4.3	9.0	117	12.5	0.88	
開心自然形 (対照)	2.8×2.8m	24	111	2013	10	3	2.3	1.2	3.6	114	12.6	0.83	

表3 杵築市の現地調査における栽培概要

試験区	植栽距離	供試面積 (m <sup>2</sup> )	植栽本数 (本/10a)	調査年	樹齢 (年生)	供試樹数 (n)	樹高 (m)	LAI	収量 (t/10a)		1 果平均重 (g)	果実品質		
									4樹からの推定	聞き取り		糖 (°Brix)	滴定酸 (%)	
開心自然形	A園	3.8×3.8m	1,050	2006	42	4	2.7	2.4	6.7	7.0	111	12.1	0.72	
	B園	3.0×3.0m	1,000	2006	12	4	2.6	2.1	4.9	5.5	93	13.0	0.85	
	C園	2.7×2.2m	900	2006	18	4	2.7	3.6	7.6	8.0	88	12.5	0.78	
	D園	3.0×3.0m	1,000	2006	28	4	2.8	2.2	5.7	5.0	80	12.3	0.72	
	E園	3.0×2.5m	1,000	2006	9	4	2.7	2.4	4.9	5.0	78	11.1	0.69	
	F園	3.0×2.3m	1,000	2006	8	4	2.7	2.0	5.8	5.5	94	11.1	0.65	
	G園	3.0×2.8m	1,000	2006	8	4	2.7	2.0	6.2	5.0	97	9.9	0.82	
	H園	3.0×3.0m	990	2006	12	4	2.3	2.0	4.3	5.5	75	12.5	0.74	
	I園	3.0×1.7m	1,200	157	2006	9	4	2.2	2.7	4.7	5.0	97	12.0	0.74
	J園	3.0×2.0m	1,080	145	2006	18	4	2.4	2.2	7.0	6.0	109	10.2	0.97
	K園	3.0×3.0m	1,000	100	2006	18	4	2.3	2.2	6.3	6.0	77	13.3	0.65
	L園	3.0×1.4m	1,000	181	2006	12	4	2.4	2.1	6.7	6.0	100	12.4	0.61
	M園	3.0×2.5m	1,000	110	2006	10	4	2.4	1.4	4.0	5.0	88	11.6	0.86
	N園	3.0×1.7m	200	130	2006	12	4	2.4	1.3	3.5	3.5	58	13.3	0.92
平均: 樹高2.5m以上 (A-G園)							2.7	2.2	6.0		92	11.7	0.75	
平均: 樹高2.5m未満 (H-N園)							2.3	2.0	5.2		86	12.2	0.78	

タル糖度計 (PR-101 ; 株式会社アタゴ) を用いて、酸は中和滴定法にて求めた。果皮色は測色色差計 (ZE2000 ; 日本電色工業株式会社) にて果実の赤道部と果頂部の2か所を計測し、平均した値とした。

樹冠内の光環境は、開心自然形区と垣根仕立て区で異なる方法で定量化した。図3に光環境の計測イメージを示す。まず、開心自然形では、高収量ハウスほど明瞭な通路がなく、樹冠容積を活かして樹冠表面だけでなく樹冠内部にも多くの果実を結実させる枝梢管理を行っている (図4)。このことから、開心自然形ハウスにおいて、樹冠内を含むハウス全体の葉には、水平方向の葉のランダム分布に基づく Beer-Lambert の法則が適用できると考えられた (Monsi and Saeki<sup>12)</sup>)。このとき、樹冠内の相対光強度 ( $rI$ , %) は次の式で表せる。

$$rI = I/I_0 \quad (1)$$

ここで、 $I_0$  は樹冠上部の光強度 ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )、 $I$  は樹冠内部の光強度 ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) をそれぞれ示す。 $I_0$  は各供試樹の上部1か所、 $I$  は樹冠の水平投影を東西南北方向に 50cm 単位のグリッド (支柱とロープで作成) で分割し、同水平面のグリッドを平均して求めた。なお、 $I_0$  と  $I$  は、2個の PAR センサー (LI190SA ; Li-Cor Inc.) で同時に計測した瞬間値から算出した。

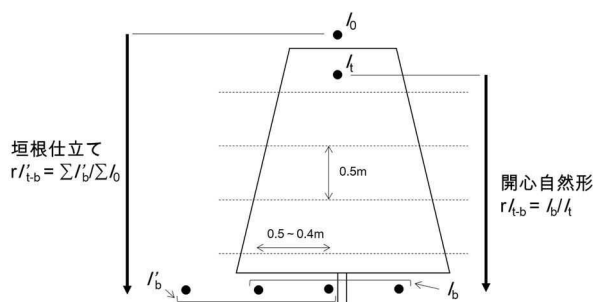


図3 垣根仕立て区と開心自然形区における光環境計測イメージ

次に、垣根仕立てにおける光環境は、ハウス内の葉の空間分布を考えたとき、ランダムでなく明らかに偏りがある (図1、通路と樹冠が明確に区分) ため、上述の方法のように垣根の樹冠内部のみ光量を計測した場合、相対光強度を過少評価すると考えられる。よって、垣根樹冠の上部と下部の光強度のみに着目し、垣根最下層の光強度を  $I_b$  とすると、その相対光強度  $rI$  (%) は次式で表せる。

$$rI = I_b/I_0 \quad (2)$$

ここで、垣根仕立ての樹冠が吸収した受光量の指標である Light interception (小池<sup>6)</sup>、Oyarzun *et al.*<sup>15)</sup>、Wünsche *et al.*<sup>18)</sup>) を  $LI$  (%) としたとき、本報告では次式が成り立つものとする。

$$rI = 100-LI \quad (3)$$

式 (3) は、式 (2) における垣根最下層の光強度  $I_b$  は、垣根樹冠に吸収されず地表面に到達した光強度と等しいことを示している。

$LI$  は以下の方法で算出した。垣根列間と等しい長さのアルミ棒に6個の PAR センサー (MIJ-14PAR Type2/K2; 日本環境計測株式会社) を装着させ (図5A)、アルミ棒が垣根の通路中央から隣列の通路中央までカバーするよう、アルミ棒を列に垂直に配置し、1時間間隔で、樹冠上部 (図5B) と下部 (図5C) を交互に5秒間隔で5分間ずつ光強度の計測を行い、得られた  $I_0$  と  $I_b$  の日変化の積分値から  $LI$  を求めた (Oyarzun *et al.*<sup>15)</sup>)。

本報告では、着果最上位層の光強度を  $I_t$  としたとき、垣根仕立ての  $I_t$  は  $I_0$  と等しいものとする。また、着果最上位層と着果最下位層における相対光強度の差について、開心自然形で  $rI_{t-b}$ 、垣根仕立てで  $rI_{t-b}$  とそれぞれ表したとき、本報告では両者を特に区別せず、いずれも  $rI_{t-b}$  と表記する。



図4 現地調査における最高収量園の様子。A、樹体の外観。B、隣接樹間の間隙の様子。

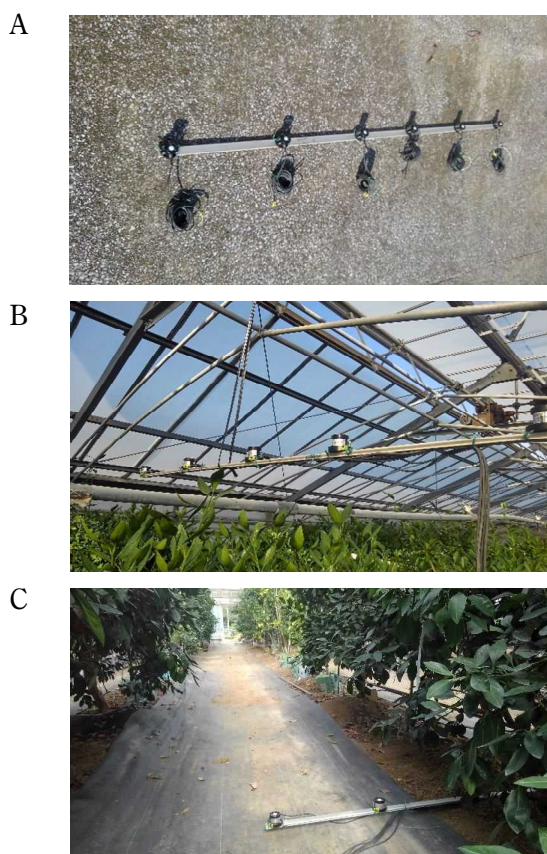


図5 垣根仕立て樹の光環境計測の様子。A、計測装置。B、樹冠上部。C、樹冠下部。

上述の光環境計測は、開心自然形区と垣根仕立て区のいずれも着果していない樹体で、曇天か雨天日、もしくは夕刻の散乱光条件下で行った。統計解析には R ver3.4.4 を用いた。

### Ⅲ 結果

#### 1 供試樹の生産概要

供試した垣根仕立て 2.0×1.0m 区、2.0×1.5m 区、1.5×1.0m 区、および 1.5×1.5m 区の区間平均は、葉面積指数 (LAI) 4.3、10a あたり収量 9.0t、糖度 12.5°Brix、および滴定酸 0.88% であった (表 2)。垣根仕立て 15 年生では着花が少なかったため大玉傾向となった。垣根仕立てと同じハウスで栽培した、対照となる開心自然形区では LAI1.2、10a あたり収量 3.6t、糖度 12.6°Brix、および滴定酸 0.83% であった (表 2)。

現地開心自然形区の 10a あたり最高収量は表 1 の C 園で 7.6 t であった。また、生産構造の比較に供試した現地開心自然形区のうち樹高 2.5m 以上の 7 園 (表 3、

A-G 園) の平均は LAI2.2、10a あたり収量 6.0t、糖度 11.7°Brix、および滴定酸 0.75% であった。さらに、後述する、相対光強度が果実品質に及ぼす影響を明らかにする目的で解析に加えた樹高 2.5m 未満の 7 区 (表 3、H-N 園) の平均は LAI2.0、10a あたり収量 5.2t、糖度 12.2°Brix、および滴定酸 0.78% であった。

#### 2 垣根仕立て区と開心自然形区における LAI、果実収量、および 1 果平均重の垂直プロファイルの比較

まず LAI の垂直プロファイルについて述べる。垣根仕立て 2.0×1.0m 区では、高さ 1.5–2.0m と 2.0–2.5m の層の LAI が高さ 0.0–0.5m と 2.5–3.0m の層の LAI よりも有意に大きかった (図 6A)。垣根仕立て 2.0×1.5m 区では、高さ 0.0–0.5m と 2.5–3.0m の層で他の層と比較して LAI が有意に小さかった (図 6B)。垣根仕立て 1.5×1.0m 区、1.5×1.5m 区、および対照区は、各区の全樹を一括平均したため統計処理はできなかったが、1.5×1.0m 区で高さ 0.5–1.0m の LAI が大きい傾向を示した (図 6C)。現地の開心自然形区のうち樹高 2.5m 以上の 7 園 (表 3、A-G 園) 平均において、高さ 0.5–1.0m と 1.0–1.5m の層の LAI が高さ 0.0–0.5m と 2.0–2.5m の層の LAI よりも有意に大きかった (図 6G)。なお、各調査園において全調査樹で 2.5–3.0m の層に葉が存在したのは最高収量園の C 園のみだったため、2.5–3.0m の層は園地間の統計処理から除外した。また、現地の開心自然形区の最高収量園 (C 園) では、有意な LAI の垂直分布の違いは認められなかった (図 6F)。

果実収量の垂直プロファイルについて述べる。概ねの傾向は、LAI の垂直分布に類似したが、トータルの LAI が大きな区で上層に着果が偏っている点が LAI の垂直分布とは異なった (図 6H、I および M)。詳細にみると、垣根仕立て 2.0×1.0m 区では、高さ 1.5–2.0m 層の収量が最高で、同層の収量は高さ 0.5–1.0m と 1.0–1.5m の層よりも有意に高くなり、また高さ 0.0–0.5m の層の収量が最低で他層と比較して有意に低かった (図 6H)。垣根仕立て 2.0×1.5m 区は、上述の垣根仕立て 2.0×1.0m 区と同様の傾向であった (図 6I)。

1 果平均重の垂直プロファイルについて述べる。現地の開心自然形区 7 園 (表 3、A-G 園) 平均において、高さ 2.0–2.5m 層で高さ 0.0–0.5m と 0.5–1.0m の層よりも 1 果平均重が有意に大きくなった (図 6U)。他の区では異なる高さ間で有意差が認められなかった (図 6O–T)。

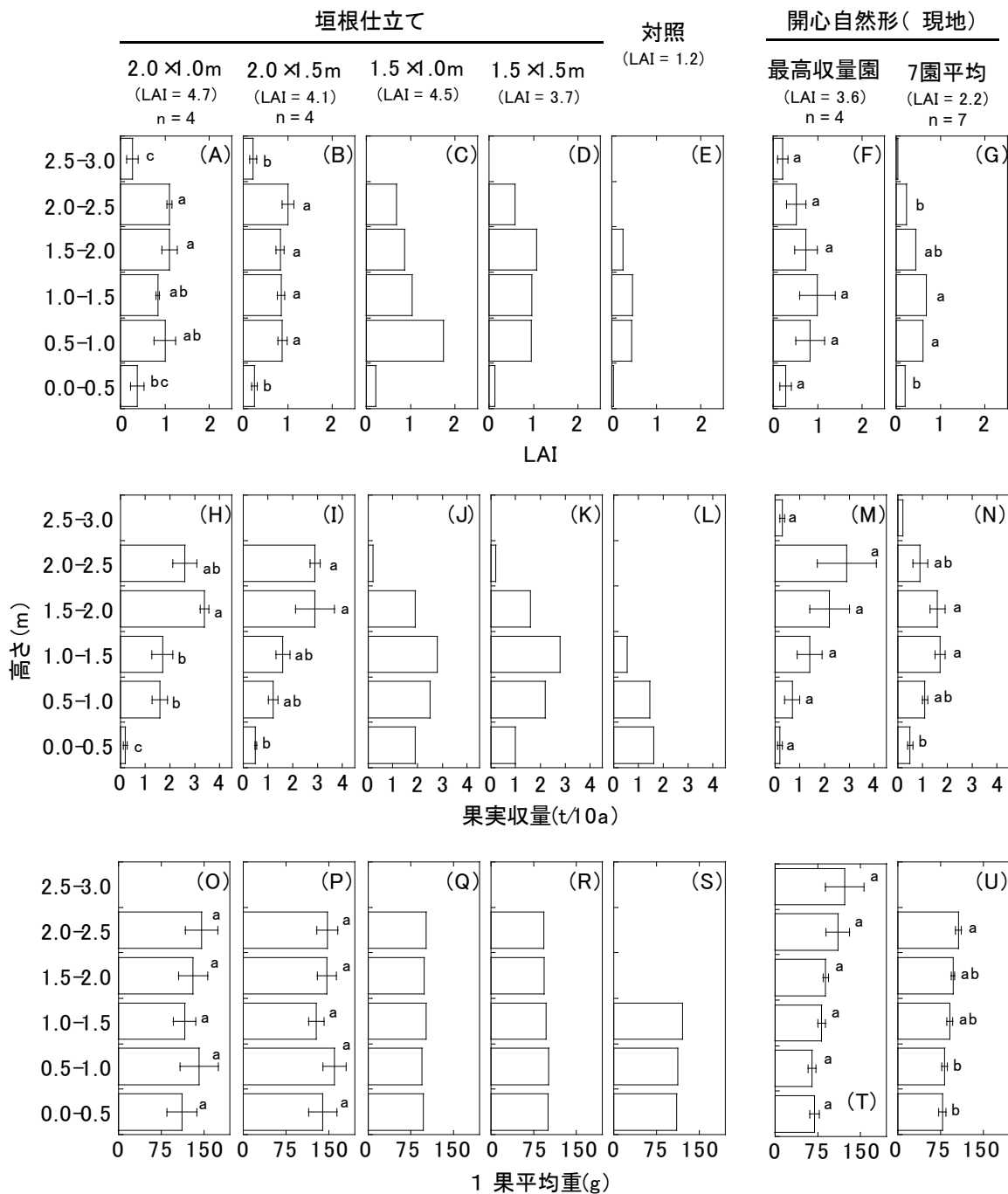


図6 垣根仕立て区と開心自然形区における葉面積指数、果実収量、および1果平均重の垂直プロファイルの比較。異なる英字は Tukey の HSD 検定において 5%水準で有意であることを示す。バーは標準誤差を示す。

### 3 垣根仕立て区と開心自然形区における果実品質の垂直プロファイルの比較

果汁の糖と酸の垂直プロファイルについて述べる。両者とも垣根 2.0×1.0m 区、2.0×1.5m 区、現地開心自然形区の最高収量園 (表 3、C 園) および 7 園 (表 3、A-G 園) 平均のいずれにおいても、異なる高さの層間

で有意差が認められなかった (図 7AB、図 7FG、図 7HI、図 7MN)。統計処理できなかった垣根 1.5×1.0m 区、1.5×1.5m 区、および対照区においては、樹の上層ほど糖が高くなる傾向が認められた (図 7C-E)。

果皮色の垂直プロファイルについて述べる。垣根 2.0×1.5m 区と現地開心自然形区の最高収量園 (表 3、C 園) において、樹冠の上部ほど果皮の着色が優れ、下部ほど着色が劣る傾向が有意に認められた (図 7P、図

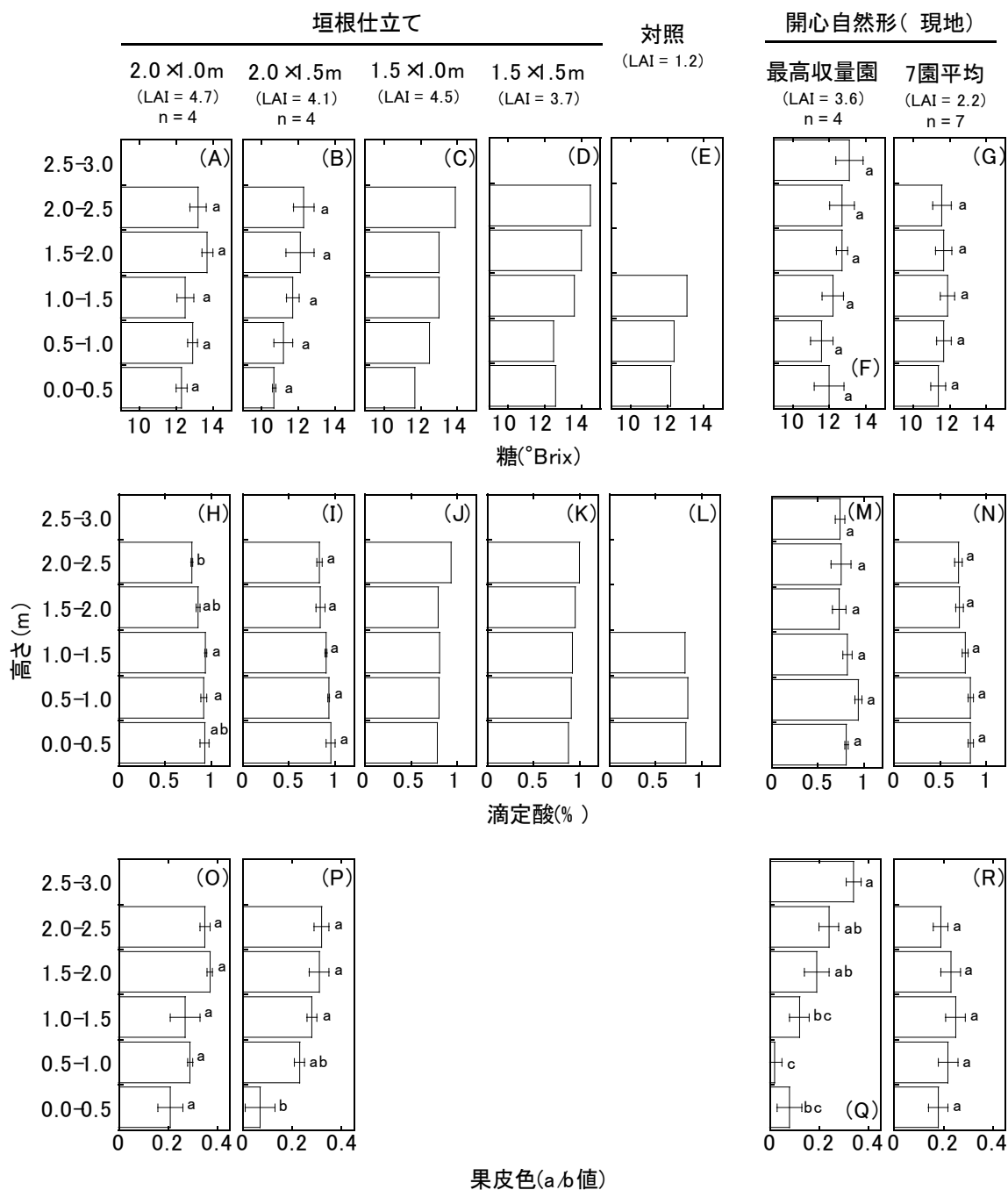


図7 垣根仕立て区と開心自然形区における果実品質の垂直プロファイルの比較。異なる英字は Tukey の HSD 検定において5%水準で有意であることを示す。バーは標準誤差を示す。

7Q)。詳細にみると、垣根 2.0×1.5m 区では高さ 1m 以上の層に対し最下層 0.0–0.5m の果皮色が有意に劣った。一方、現地開心自然形区の最高収量（表 3、C 園）では、最上位 2.5–3.0m 層に対し高さ 1.5m 以下の層で果皮色が有意に劣った。

#### 4 相対光強度が果実品質に及ぼす影響

供試した現地開心自然形区（表 3、A–N 園）において、各区の樹冠における着果最上位層と最下位層との形質変動に着目し、両層間の相対光強度の差 ( $rI_{t-b}$ ) と同じく両層間の果実品質の差との関連について検討した。

開心自然形区における  $rI_{t-b}$  は、着果最上位層の果実と着果最下位層の果実との糖度差（糖  $t-b$ ）および滴定酸差（滴定酸  $t-b$ ）の両者とも有意な相関を示さなかつ

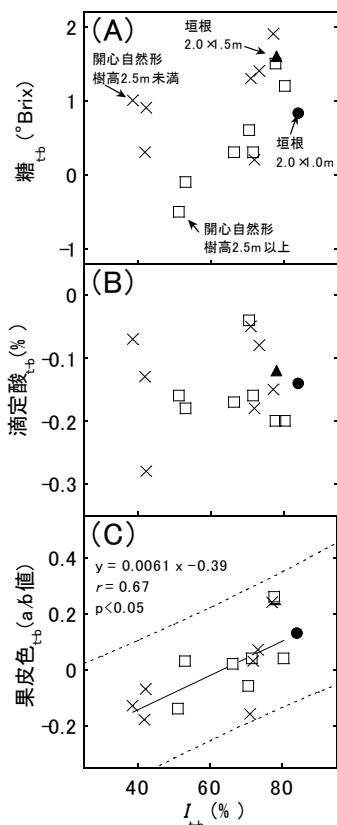


図8 樹冠内における着果最上位層と最下位層との相対光強度差と果実品質の変動との関係。(C)の点線は開心自然形区で得られた予測式の95%予測区間を示す。

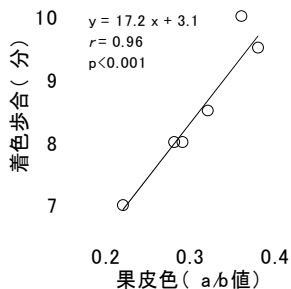


図9 果皮色と着色歩合の関係

たが(図8AB)、同層間の果皮色差(果皮色 $t_b$ )と有意な正の相関を示した(図8C)。その $rI_{t-b}$ と果皮色 $t_b$ との関係について、予測式と95%予測区間を求め、垣根2.0×1.0m区と2.0×1.5m区における $rI_{t-b}$ と果皮色 $t_b$ の結果をプロットすると、両プロットとも開心自然形区で推定された95%予測区間内に含まれた(図8C)。よって、ハウス内における垣根仕立て区の果皮色の変動は、相対光強度をベースとしたとき、開心自然形区で予想される傾向の範疇にあることが示された。

なお、本報告での計測方法による果皮色(a/b値)と着色歩合との関係を図9に示す。得られた関係式から、着果最上位層と最下位層間の果皮着色差が最大(a/b値で0.26)となった現地最高収量園では、樹冠最上部の果皮着色歩合が10分のとき、高さ0.5–1.0mの果皮着色歩合は7.5分に相当することがわかった(図7Q)。

#### IV 考察

はじめに、調査場所と年度の違いが果実生産に及ぼす影響について考察する。ハウスミカンでは、同じ作型でもハウス間で同じ加温日とは限らず、たとえ隣接するハウス間で被覆方法が同様でも、数日でも加温日が異なれば、加温から収穫までの積算環境条件、特に光環境は厳密には異なる。光環境に関する既往の報告では、果実肥大期(満開53~120日)の強い遮光(50%)で果実の糖度と果皮着色が有意に低下し、果実サイズと収量がともに約10%減少した(Yano *et al.*<sup>23)</sup>)。本報告の調査場所と年度の違いを、栽培期間を通じた積算日照時間でみると20%未満の違いであった(表1)。よって、本報告における調査場所と年度の違いが果実生産に及ぼす影響は、光環境の観点では小さいと考えられる。

本報告の目的の一つである、垣根仕立てと開心自然形で受光態勢の優劣が存在するか考察する。本報告では、樹冠内の形質変動について、垣根仕立てと開心自然形の両者とも、葉面積指数(LAI)が大きくなると樹冠下部で着色が劣る傾向が認められた(図7PQ)。また、異なる園地間を解析しても、開心自然形区では相対光強度から果皮色を推定する予測式が得られ、その予測区間の範疇に垣根仕立て区の傾向は含まれた(図8C)。これらの結果より、LAI増大に伴う樹冠下部への光量減少は、特に果皮色に強く影響することが明らかとなった。また、その傾向は本研究報告の結果からは両仕立て法とも質的に類似したものと解釈でき、両者の受光態勢の優劣差はほとんどみられなかった。

次に、本報告のもう一つの目的である、優れた生産構造の解明について、垣根仕立てと開心自然形の生産構造、特に垂直プロファイル比較の視点から以下考察する。

両仕立て法に共通した、ハウスミカン生産構造の特徴として、LAI増大に伴い、物質の生産や分配が樹冠の上層に偏在する傾向が挙げられる。この傾向は質的形質と量的形質の両方において認められる。まず質的形質では、先に述べた果皮色で顕著であり、LAIが3.0



以上の垣根 2.0×1.5m 区と現地最高収量園で樹冠下部ほど有意に果皮色が劣った。次に量的形質では、収量の垂直分布が挙げられる。LAI が 3.0 以上の垣根 2.0×1.0m 区、2.0×1.5m 区、および現地最高収量園で樹冠上層に着果が多く分配される傾向であった（図 6H,I, および M）。特に、現地最高収量園では、15 年生垣根区よりも小さい LAI にも関わらず、樹冠上層に着果が集中して多くの光を樹冠上層が吸収し樹冠中層以下の果皮着色が劣った。これは、樹形要因に加え、着果要因が品質低下に対し相乗的に作用した結果、すなわち、質的形質と量的形質の両方が複合的に関与し、物質の生産・分配が上部に偏った結果と考察できる。他方、垣根仕立て 2.0×1.5m 区では、大きい LAI にも関わらず、果皮着色が有意に劣る層は、高さ 0.5m 以下と、現地最高収量園よりも下層に位置していた（図 7PQ）。これは、垣根仕立ての生産効率の高さを裏付ける結果とも理解できる。

また、樹冠上部で減酸が進んでいた点も、物質の生産・分配の上偏傾向が顕在化したものと推察できる。この酸の分布傾向は、LAI が最大の垣根 2.0×1.0m 区で顕著に認められたこと（図 7H）、開心自然形区のいずれの園も樹冠最上位層の酸は最下位層よりも低い（両者の差が負）こと（図 8B）、さらに露地栽培でも同様の報告があること（小野<sup>12)</sup>、1985）などから考えても、ウンシュウミカンでは生じうる現象と考えられる。この現象の要因としては、光環境だけでなく、気温の分布や開花日、果実の呼吸や肥大等が挙げられる。ハウスミカンにおける既往の報告（Yano *et al.*<sup>23)</sup>）では、幼果期（満開後 50–123 日）における樹全体の遮光で果実の糖、酸、および果皮色の値は低下するため、樹体の総光合成量の低下は、同化産物である酸含量の低下をもたらすと考えられる。したがって、上述のような物質生産上有利な樹冠上部での減酸促進は、物質集積の結果としての開花促進や果実肥大促進に付随したもので、光環境はそれらに対し直接的あるいは間接的に作用したものと理解できる。

なお、現地最高収量園の樹冠上層で LAI と果実収量の垂直分布が一致しないのは、LAI を加温前に調査していること、加温後の着果で最上位層の枝が下垂したこと、および樹冠上層ほど 1 果平均重が大きい傾向であったことなどが原因として考えられる（図 6F、図 6M、および図 6T）。他方、垣根仕立て 15 年生は、既報（矢野・松原<sup>20)</sup>）に従い多用ネットで枝吊りを行ったため、加温後の着果による枝の下垂程度は、開心自然形ほど大きくなかった（図 6HI）。

以上の質的・量的な生産構造解析から、現地の高収量園は、樹冠上層に物質の生産や分配が顕著に集中する特徴があり、この傾向は大きな LAI の垣根 2.0×1.0m 区と 2.0×1.5m 区にも部分的に認められることが明らかとなった。

得られた知見を踏まえ、ハウスミカンにおいて優れた生産構造について考察する。本報告では、垣根仕立ての樹高を 2.5m 強、通路幅約 0.5m とし、列間は 2.0m と 1.5m の 2 区で検討した。列間 2.0m では、15 年生において LAI が 4.0 以上、垣根幅約 1.5m、糖 12°Brix 以上で単収 8t 以上の結果が得られ、この生産条件は概ね理想とする生産構造に近いものと考えられる。ただし、着果が樹冠上層に偏る傾向があるので、枝梢管理においてこの点に注意する必要がある。列間 1.5m では、統計処理ができなかったため結果の項で明確に述べていないが、垣根 1.5×1.0m 区と 1.5×1.5m 区は、他区と異なり、高さ 1.5m 以下に果実収量が多く（図 6J、図 6K）、高さに伴う 1 果平均重の変動が小さい傾向であった（図 6Q、図 6R）。特に、垣根 1.5×1.0m 区では、LAI が上層ほど小さく、下層ほど大きくなる傾向が認められ、物質生産上有利なことが推察された。ただし、列間 1.5m の仕立て作業においては、通路幅 0.5m の維持に誘引が重要なため（図 2A）、この点には注意する必要がある。

他の樹種では、近年垣根の幅について検討した結果がいくつか報告されており、リンゴでは、植栽本数を多くし、最低限の通路幅を確保した上で、樹高をやや高めに、そして垣根幅はなるべく小さく維持するような生産構造が目標とされている（小池<sup>6)</sup>、Robinson *et al.*<sup>16)</sup>）。これまでの知見から、ハウスミカン垣根仕立てで目標とすべき生産構造は、樹高 2.5m、通路幅 0.5m とすると、垣根幅は 1.0–1.5m とし、果皮の着色の揃いを収量よりも優先する場合は、垣根幅は小さめにするような仕立てが望ましい。さらに、樹冠上方ほど LAI がやや小さめになるよう葉を分布させ、圃場トータルの LAI が大きくなれば、高品質と多収がバランスよく両立した、優れた生産構造が実現すると考えられる。この基本的な LAI 分布の考え方は、垣根仕立てのみならず開心自然形にも広く共通すると推察される。

果樹の収量は基本的に LAI で大きく決定され（平野<sup>4)</sup>）、本報告でも開心自然形区と比較して垣根仕立て区で LAI と収量がともに高くなる傾向が認められた（表 1、図 6）。LAI を正確に求めるには、本報告のように、サンプルの破壊調査など多くのコストや労力を要するため、非破壊でなるべく簡易に LAI を推定しよ

うとする報告がある (Kume *et al.*<sup>7)</sup>, Orlando *et al.*<sup>14)</sup>、矢野ら<sup>19, 22, 26)</sup>, Zheng and Moskal<sup>28)</sup>。一方近年、いくつかの果樹で垣根仕立ての生産性を Light interception (LI) で簡易に評価する旨の報告がある (Connor *et al.*<sup>3)</sup>, Robinson *et al.*<sup>16)</sup>, Wünsche *et al.*<sup>18)</sup>。リンゴでは、生産性と果皮の着色の観点から、目標とする LI は 70–75% と報告されている (Robinson *et al.*<sup>16)</sup>。本報告におけるハウスミカン垣根仕立て 15 年生の LI は、2.0×1.0m 区で 84%、2.0×1.5m 区で 78% となり、リンゴで適正とされる値よりも高い LI を示した。すでに述べたように、2.0×1.5m 区では樹冠下部の果皮の着色が劣ったが、この結果は既往の報告 (Robinson *et al.*<sup>16)</sup> と大きく矛盾しなかった。したがって、本報告で試みたような LI の計測は、ハウスミカン垣根仕立て栽培の生産性評価に実用性を有するか今後検討する必要がある。

なお、数日～数カ月の気象観測から垣根仕立ての生産をモデル化する研究において、樹冠下部や通路に複数個設置された、多数の光センサーが装着されたライン型光センサーによる直射光条件下での LI の算出が報告されている (Annandale *et al.*<sup>1)</sup>, Connor *et al.*<sup>2)</sup>。ライン型光センサーを用いるのは、樹冠を透過して陽斑を形成するような強い直射光による計測誤差を小さくするためと考えられる。一方、本報告のように仕立て等の相対評価を行う目的であれば、ライン型光センサーを使用しなくても、明瞭な陽斑が生じない散乱光条件下で通常の光センサーを複数個用いる方法 (図 5A–C) で LI は評価可能と考えられる。また、上述の垣根仕立ての生産予測モデルに関する報告は、多くが露地栽培を対象とし、樹冠上部の光環境は均一と仮定できるので少ない光強度計測点数で良いが、ハウス内は骨材等の影響があるため、なるべく多点の光強度を計測し平均化して評価する必要がある。よって、ハウス内での LI の評価は、本報告のような計測法 (図 5A–C) が妥当と考えられる。

## VI 摘要

ハウスミカンの垣根仕立てと開心自然形の生産性について垂直プロファイル比較を行い、光環境が果実生産に及ぼす影響について明らかにし、高生産となる樹体構造について考察した。葉面積指数 (LAI) 増大に伴う樹冠下部への光量減少は、特に果皮色に強く影響し、その傾向は両仕立て法とも質的に類似したもので、両者の受光態勢の優劣差はほとんどないものと考えられた。最も高生産となり優れた生産構造を示したのは、

15 年生ハウスミカン垣根仕立てで列間 2.0m、樹高 2.5m 強、通路幅約 0.5m とした場合であった。列間 1.5m も 10 年生で高生産性を示すが、誘引といった枝梢管理を徹底する必要がある。垣根仕立てと開心自然形に共通する高生産の条件として、圃場トータルの LAI が大きくなるほど、樹冠上部の LAI を小さく維持管理して、生産が上部に偏在しないよう留意することが重要である。

## 謝 辞

現地調査では、おおい中央柑橘連合会 (現 JA おおいた)、杵築柑橘農協 (現 JA おおいた) の生産者と指導員の方々、および関係機関の方々に格別のご協力を頂きました。ここに記して心より感謝申し上げます。

## 引用文献

- 1) Annandale JG, Jovanovic NZ, Campbell GS, Du Sautoy N, Lobit P. Two-dimensional solar radiation model for hedgerow fruit trees. *Agri. For. Meteor.* (2004) ; 121 : 207-225.
- 2) Connor DJ, Gómez-del-Campo Trentacoste ER. Relationships between olive yield components and simulated irradiance within hedgerows of various row orientations and spacings. *Sci. Hort.* (2016) ; 198 : 12-20.
- 3) Connor DJ, Gómez-del-Campo M, Rousseaux MC, Searles PS. Structure, management and productivity of hedgerow olive orchards: A review. *Sci. Hort.* (2014) ; 169 : 71-93.
- 4) 平野 暁, 菊池卓郎, 松井弘之, 小野祐幸, 高橋国昭, 岸本 修. 果樹の物質生産と収量. 社団法人農山漁村文化協会. 東京都. (1989)
- 5) 川崎陽一郎, 浜名洋司, 塩田勝紀. 透湿性マルチシート被覆と点滴かん水の連年処理が主幹形仕立てのウンシュウミカン'石地'の樹体生育, 収量および果実品質に及ぼす影響. *園学研.* (2011) ; 10(別 1) : 50.
- 6) 小池洋男. リンゴの高密植栽培: イタリア・南チロルの多収技術と実際. 社団法人農山漁村文化協会. 東京都. (2017)

- 7) Kume A, Nasahara KN, Nagai S, Muraoka H. The ratio of transmitted near-infrared radiation to photosynthetically active radiation (PAR) increases in proportion to the adsorbed PAR in the canopy. *J. Plant Res.* (2011); 124 : 99-106.
- 8) 黒上九三郎. 温州ミカンの棚仕立て栽培(1). 農業および園芸. (1980); 55 : 49-53.
- 9) 九州沖縄試験研究推進会議. ハウスミカンの垣根仕立栽培による育成期葉数確保と収量性向上. (2010) [http://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/karc/prefectural\\_results/kaiyu/025716.html](http://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/karc/prefectural_results/kaiyu/025716.html)
- 10) 日本園芸農業協同組合連合会. みかん・りんご販売日報. (2019) <http://www.nichienren.or.jp/home/hibetsu/nippo.htm>
- 11) 農林水産省. 作況調査(果樹). (2019) [http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotou/sakyou\\_kazyu/index.html#r](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotou/sakyou_kazyu/index.html#r)
- 12) Monsi M, Saeki T. Über den lichtfactor in den pflanzengesellschaften und seine bedeutung für die stoffproduktion. *Japan. J. Bot.* (1953); 14 : 22-52.
- 13) 小野祐幸. ウンシュウミカンの光合成および生産構造からみた収量構成要因に関する研究. 京都大学学位論文. (1985)
- 14) Orlando F, Movedi E, Paleari L, Gilardelli C, Foi M, Dell'Oro M, Confalonieri R. Estimating leaf area index in tree species using the PocketLAI smart app. *Applied Vegetation Sci.* (2015); 18 : 716-723.
- 15) Oyarzun RL, Stöckle CO, Whiting MD. A simple approach to modeling radiation interception by fruit-tree orchards. *Agri. For. Meteorol.* (2007); 142 : 12-24.
- 16) Robinson T, Hoying S, Sazo MM, DeMarree A, Dominquez L. A vision for apple orchard system of the future. *New York State Hort. Soc.* (2013); 21 : 11-16.
- 17) 塩田俊, 中元勝彦, 須川瞬, 赤阪信二. わい性台木を用いたレモンの主幹形仕立が収量, 作業時間および生育に及ぼす影響. *園学研.* (2013); 12(別1) : 252.
- 18) Wünsche JN, Lakso AN, Robinson TL. Comparison of four methods for estimating total light interception by apple trees of varying forms. *HortScience.* (1995); 30 : 272-276.
- 19) 矢野 拓, 片山博之, 松原公明. 園芸用被覆資材が葉面積指数センサー計測値に及ぼす影響. *園学研.* (2015); 14(別2) : 114.
- 20) 矢野 拓, 松原公明. 獣害防止ネットと垣根仕立てによるハウスミカン枝つり作業の省力化. 第78回九州農業研究発表会専門部会発表要旨集. (2015) : 177.
- 21) 矢野 拓. ハウスミカンにおける果実成長の環境応答と省エネルギー温度管理. 大分県農林水産研究指導センター研究報告. (2015); 5 : 1-63.
- 22) 矢野 拓, 松原公明, 森崎章好, 立花浩司, 北野雅治. 近赤外域の放射と光合成有効放射との比によるハウスミカン葉面積指数(LAI)の推定. *園学研.* (2014); 13(別1) : 54.
- 23) Yano T, Ohara M, Matsubara K, Tamanoi A, Araki T, Setoyama S, Yasunaga E, Kitano M. Effect of light condition on water and carbon balance in Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit. *Environ. Control Biol.* (2013); 51 : 49-56.
- 24) 矢野 拓. 自然形を基本としたハウスミカンの垣根仕立て. *果実日本.* (2012); 68 : 52-55.
- 25) 矢野 拓, 川野達生. 自然形整枝を基本としたハウスミカンの垣根仕立栽培. *園学研.* (2011); 10(別1) : 286.
- 26) 矢野 拓, 川野達生, 松原公明. プラントキャノピーアライザーを用いたハウスミカンの葉面積指数と吸光係数の推定. 第69回九州農業研究発表会専門部会発表要旨集. (2008) : 211.
- 27) 湯浅哲信, 桑田祐二, 中谷宗一. ウンシュウミカン

の主幹形整枝法に関する研究（第3報）根域制限栽培下での強側枝の形成が樹体の生育に及ぼす影響。園学雑。(1995) ; 64(別2) : 90 - 91.

28)Zheng G, Moskal LM. Retrieving leaf area index (LAI) using remote sensing: theories, methods and sensors. Sensors. (2009) ; 9 : 2719-2745.

Comparison of Vertical Profiles of Tree Structure for High Yield Performance between  
Hedge-row Training and Modified Open-center Training  
in a Greenhouse Grown Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marcow).

Taku YANO, Ei-ichi YOSHIZAWA, Yoshinobu KIYOSUE

Summary

By comparing vertical profiles of fruit productivity between hedge-row training and modified open-center training in a greenhouse grown Satsuma mandarin, we clarified an effect of light condition on the productivity and discussed a good tree structure for high fruit yield performance. Relative light intensity, which was decreased by both the vertical depth in a canopy and increment of leaf area index (LAI), significantly affected rind color, and the trends were qualitatively similar at the both training methods. This result suggested that a difference in light-intercepting characteristic between the both training methods was small. The highest yield performance with good tree structure was obtained at 15 years-old hedge-row training trees, which in rows 2.0 m apart at a spacing 1.0 m or 1.5 m trees, 2.5 m tree height, and 0.5 m alley width. Ten years-old hedge-row training trees, which in rows 1.5 m apart at a spacing 1.0 m or 1.5 m trees, also showed high yield performance, however, this training method needed much effort in training for good tree structure. Common requirements for high yield performance at the both training methods must be to decrease vertical LAI at upper position in the case of large LAI, and not to raise a position of vertical localization of a main productive layer.