

山形大学紀要（農学）第19巻 第1号：1-25. 令和4年1月  
 Bull. Yamagata Univ., Agr. Sci., 19(1) : 1-25 Jan. 2022

## 園地当たりの葉量が等しい条件下における樹幅と 樹高の違いが果樹園の光環境に及ぼす影響 — 樹冠設計システム (CDS) を用いたモデル実験 —

山本隆儀

山形大学名誉教授

(令和3年5月12日受付・令和3年10月29日受理)

Effects of Tree Width and Tree Height on Orchard Light Environment where  
 Foliage Biomass per Orchard Land Area was Equal :  
 Model Experiments using Crown Design System (CDS)

Takanori YAMAMOTO

Professor Emeritus, Yamagata University, Tsuruoka 997-8555, Japan

(Received May 12, 2021 · Accepted October 29, 2021)

### Summary

In order to investigate the effects of tree width or tree height on orchard light environment where the foliage biomass per orchard land area was equal, the following model experiments were done. Using four kinds of tree widths, three kinds of tree heights and various alternatives in the training- pruning procedures, the next ten crown model groups (CMGs) were designed by the CDS method (Yamamoto, 2020), viz., thick type and medium height (CMG1), thick type and short height (CMG2), slender type and medium height (CMG3), slender type and short height (CMG4), ultraslender type and medium height (CMG5), ultraslender type and short height (CMG6), thin hedgerow type and medium height (CMG7), thin hedgerow type and short height (CMG8), ultrathick type and medium height (CMG9) and ultrathick type and long height (CMG10). A sort of green road with an applicable width was given to each CMG. Sum total 46,080 crown models were designed. The total number of crown models was 9,591, which satisfied the five restrictions, i.e. the tree height, the east-west tree width, the north-south tree width, the upper limit of leafy blocks number per tree and the lower limit. Orchard light environment, photosynthesis and characteristics of canopy shape were analyzed on these crown models using the same methods as described in the previous reports (Yamamoto, 2015, 2016). As the result, great differences in the light environment were found between the crown model groups. For example in the experiment plot of four primary scaffold branches (PSBs), by comparing CDMPPFD (the daily mean of leaf PPF on a clear day) between the ten CMGs, the next relationship of the mean CDMPPFD were found as follow;  $CMG3 \geq CMG4 \geq CMG6 > CMG8 > CMG7 \geq CMG5 > CMG1 \geq CMG9 \geq CMG2 > CMG10$ . There was the close correspondence between the order of the mean CDMPPFD and that of the characteristics of canopy shape. The causes were considered that the proportion of the leaf layers at crown surface more increases and the shades inside the crown more decreases as the crown becomes thinner. The mean CDMPPFD of five crown models were compared, whose CDMPPFD was the highest to the fifth in each crown model. When the mean CDMPPFD of CMG1 was 100, the relative value of CMG6 was over about 140, that of CMG3 and CMG4 were over about 138, and that of CMG7 and CMG8 were over about 134. On the contrary, the relative values in CMG2, CMG9 and CMG10 were under about 100. However, the large effect of the tree height on the CDMPPFD could not be recognized in many crown model groups except of cases between MG5 and CMG6.

**Key words** : characteristics of crown shape, crown model group, crown shape, photosynthesis, training system

---

キーワード：光合成，樹冠形，樹冠形状値，樹冠モデル群，せん定システム

## 緒 言

高品質果実の多収かつ安定的生産にとって、葉量を確保し、なおかつ、樹冠内光環境を良好に保つことが極めて重要である（山本，2014）。このための研究手段として、筆者は整枝せん定の様々な選択肢を組み合わせてながら樹冠を設計するシステム（CDS）を開発するとともに（山本，2020）、これを用いて多くの樹冠モデルを作成し、果樹園の光環境や光合成などを比較した（山本，2021）。ただし、上記研究に用いた樹冠モデルは立ち木仕立ての慣行栽培（普通栽培）に相当するもので、東西樹幅4m、南北樹幅4m、樹高3.5mの空間に納まるサイズの樹に限定した。したがって、樹高や樹幅が上記とは異なる果樹園の光環境についても検討する必要がある。

本報では果樹園当たりの葉量が等しい条件下の樹幅および樹高の違いが果樹園の光環境に及ぼす影響を調査した。樹幅や樹高の組み合わせに対応できるようにCDSのプログラムを修正し、整枝せん定の様々な選択肢を組み合わせてながら多数の樹冠モデルを設計した。そのうえで、これらの樹冠モデルを配植した果樹園を対象に光環境や光合成に関するモデル実験を行い、比較したものである。

なお、以下の点を最初にお断っておきたい。栽培果樹の光環境は隣接樹の影響を受けるので、冒頭文中の樹冠内光環境の用語は表題中の果樹園の光環境の方が正確である。果樹は永年生作物のため、果樹園の光環境は果樹園開設地の地形や気候、開設時に決まる栽植方式や樹高制限・樹幅制限によっても大きく影響を受ける。また、光環境の改善によく似た言葉として受光体勢の改善が使われるが、主に整枝せん定を通じた光環境の改善のことであり、その意味は光環境の改善より狭い。果樹園の光環境は樹齢、季節、毎日の天候、樹冠内部位あるいは時刻によって大きく変動する。このため、筆者は果樹園の光環境を比較する際の最も正確な指標として、真夏の典型的な晴天日と曇天日における成木樹冠全葉の葉面受光強度の毎時分布データから日平均値（13時刻平均値）を算出し、これまでの研究（山本，2015，2016，2017，2018，2020，2021）に用いてきた。

## 材料および方法

### 1. 樹高と樹幅の違いによる樹冠モデルの区分け

立木仕立て果樹におけるせん定システムや樹形（樹冠形）には、かつての疎植大木栽培や開心形（杯状形）、変

則主幹形など古典的な名称が用いられた。これらは長く定着することで、いわゆる標準栽培（慣行栽培、普通栽培）などと言われた。その後、様々な改良を経る中で多種多様な名称が付けられた。中央果実協会（2018）が取りまとめた省力樹形等新たな果樹生産技術調査報告書によると、標準栽培以外の立ち木仕立てには、わい化栽培、主幹形、垣根仕立て、V字仕立て、一文字仕立て・平行整枝、むかで整枝、流線型仕立て、斜立主幹形仕立て、低樹高仕立て、ジョイント栽培、根域制限栽培など様々なものがある。そのうえ、樹種ごとに見れば、さらに細かい名称が用いられている。例えば、リンゴでは、標準、低樹高、低樹高密植、高樹高密植、半わい化などである（中央果実協会，2018）。ただし、上記のせん定システムはその名称以外の内容を多く含む。これらは栽培地の環境条件、樹種、品種、台木や中間台木、独特な整枝せん定技術、誘引・支柱などの園芸資材、結実管理法、肥培管理法などの技能的要素と深く結び付いたものである。そこで、これらとの混同や誤解を避けるため、本報では、樹幅と樹高の違いだけを基準に以下のような性格付けと区分けを行った。すなわち、上述のせん定システムや樹形の名称は実在する樹のことを指す。これに対し、本報で扱う名称はCDS法を用いて設計する仮想的なもの（モデル）を指す。また、割り当て空間内に、整枝せん定の様々な選択肢を組み合わせて設計するため、様々な樹冠モデルを含むという意味で「群」という言葉を用いた。つまり、樹冠モデル群（Crown Model Group, CMG）であり、以下の10種類を選んだ（第1図）。なお、以下の文中、長さの数値は全て目標値であり、そのうえ、樹幅と樹高には制限値の意味が含まれる。最初に、東西樹幅4m、南北樹幅4m、樹間距離4m、樹列間距離6m（園道幅員は2m）としたうえで、樹高を3.5mとしたものを太形（ふとがた）中樹高樹冠モデル群（CMG1）および樹高を2mとしたものを太形低樹高樹冠モデル群（CMG2）とした（第1図）。次に、東西樹幅2m、南北樹幅2m、樹間距離2m、樹列間距離3.5m（園道幅員は1.5m）としたうえで、樹高を3.5mとしたものを細形（ほそがた）中樹高樹冠モデル群（CMG3）および樹高を2mとしたものを細形低樹高樹冠モデル群（CMG4）とした（第1図）。さらに、東西樹幅1m、南北樹幅1m、樹間距離1m、樹列間距離2m（園道幅員は1m）としたうえで、樹高を3.5mとしたものを超細形中樹高樹冠モデル群（CMG5）および樹高を2mとしたものを超細形低樹高樹冠モデル群（CMG6）とし

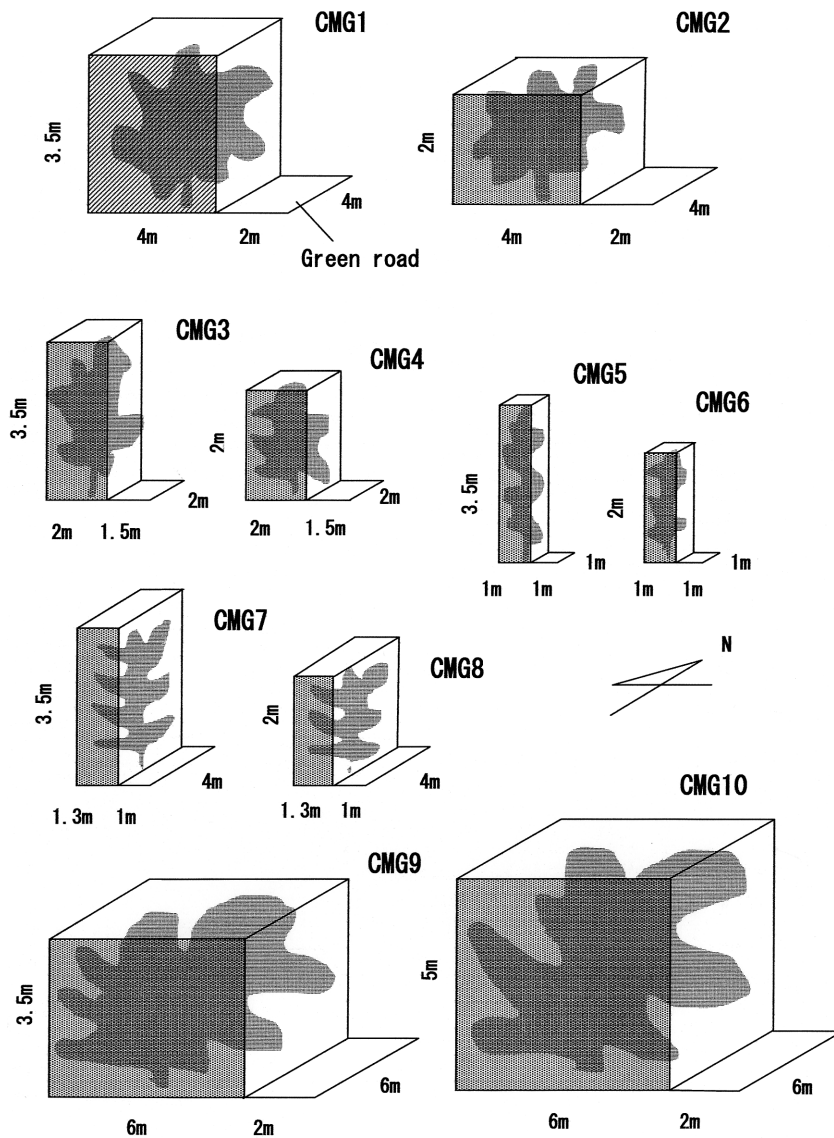


Fig. 1. Schematic showings of the sizes of allocation spaces of the ten crown model groups and their green road widths.

た (第1図). 加えて, 東西樹幅1.3m, 南北樹幅4m, 樹間距離4m, 樹列間距離2.3m (園道幅員は1m) としたうえで, 樹高を3.5mとしたものを薄形 (うすがた) 中樹高樹冠モデル群 (CMG7) および樹高を2mとしたものを薄形低樹高樹冠モデル群 (CMG8) とした (第1図). 最後に, 東西樹幅6m, 南北樹幅6m, 樹間距離6m, 樹列間距離8m (園道幅員は2m) としたうえで, 樹高を3.5mとしたものを超太形中樹高樹冠モデル群 (CMG9) および樹高を5mとしたものを超太形高樹高樹冠モデル群 (CMG10) とした (第1図).

## 2. 3次元仮想グリッドに対応した樹幅, 樹高および園道幅員の実現値

1. に記した長さに関連する各数値はあくまで目標値であるが, 光環境調査には果樹園の光環境解析システム (山本, 1999. 以下, OLEAS) を用いるため, OLEAS における3次元仮想グリッドを構成する内部立方体 (積木構造を作るのに用いるブロックのこと. 以下, ブロックと略す) の1辺長を上述の長さの計測単位に用いなければならない. そこで, この計測単位に対応した長さを実現値と表現する. また, ブロック数で示すこともある. なお, 1. と同様に, これらの実現値には制限値の意味が含まれる.

太形樹冠モデル群（CMG1とCMG2）の実現値は東西樹幅と南北樹幅が21ブロック（4m），園道幅員が11ブロック（2.095m），樹列間距離が32ブロック（6.095m）である（第2図）。樹高は中樹高が18ブロック（3.428m），低樹高が10ブロック（1.905m）である。ちなみにブロック1辺長は0.19047mである。

細形樹冠モデル群（CMG3とCMG4）の実現値は東西樹幅と南北樹幅が10ブロック（1.904m），園道幅員が8ブロック（1.523m），樹列間距離が18ブロック（3.427m）である（第3図）。樹高のブロック数（樹高の実現値）およびブロック1辺長は太形樹冠モデル群と同じである。

超細形樹冠モデル群（CMG5とCMG6）の実現値は東

西樹幅と南北樹幅が5ブロック（0.952m），園道幅員が5ブロック（0.952m），樹列間距離が10ブロック（1.904m）である（第4図）。樹高のブロック数（樹高の実現値）およびブロック1辺長は太形樹冠モデル群と同じである。

薄形樹冠モデル群（CMG7とCMG8）の実現値は東西樹幅が7ブロック（1.333m），南北樹幅が21ブロック（4m），園道幅員が5ブロック（0.952m），樹列間距離が12ブロック（2.285m）である（第5図）。また，樹高のブロック数（樹高の実現値）およびブロック1辺長は太形樹冠モデル群と同じである。

超太形樹冠モデル群（CMG9とCMG10）ではブロック1辺長が0.28571mの3次元仮想グリッドを用いたことか

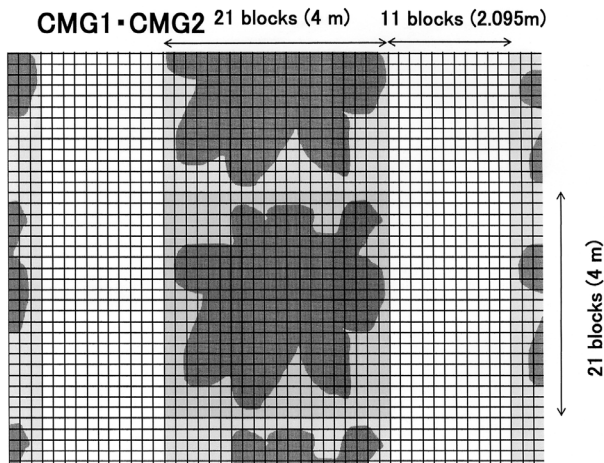


Fig. 2. Allocated land area of CMG1 and CMG2 shown by the block number ( the actualized length ) in the 3-D grid.

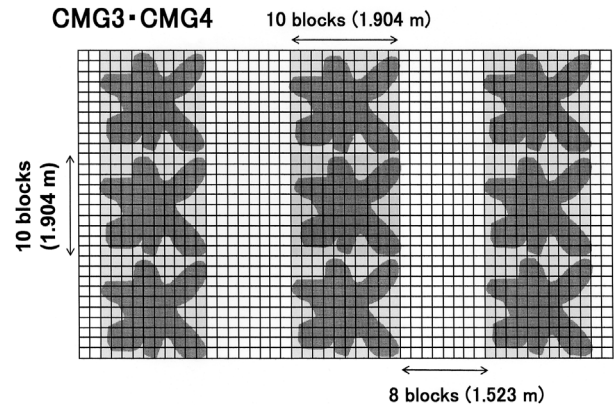


Fig. 3. Allocated land area of CMG3 and CMG4 shown by the block number ( the actualized length ) in the 3-D grid.

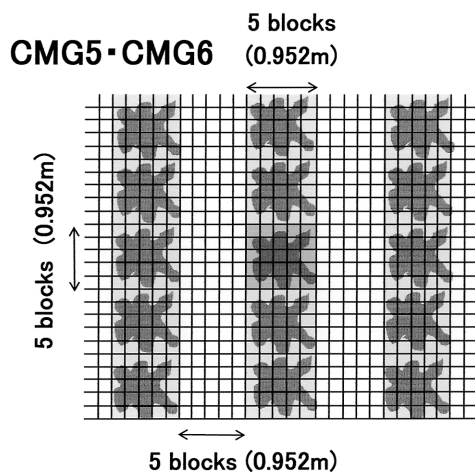


Fig. 4. Allocated land area of CMG5 and CMG6 shown by the block number ( the actualized length ) in the 3-D grid.

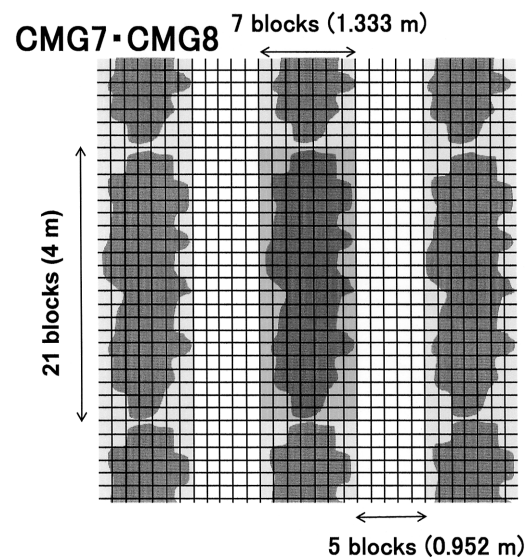


Fig. 5. Allocated land area of CMG7 and CMG8 shown by the block number (the actualized length) in the 3-D grid.

ら、東西樹幅と南北樹幅が21ブロック (6m), 園道幅員が7ブロック (2m), 樹列間距離が28ブロック (8m) である (第6図)。また、樹高の実現値は中樹高では12ブロック (3.428m), 高樹高では17ブロック (4.857m) である。

### 3. 園地当たりの葉量を等しくするための1樹当たり葉ブロック数の設定方法

本研究において最も重要なことは、園地当たりの葉量が等しい条件下で比較実験を行うことである。これを無視すれば光環境の正確な比較はできない。一般に、園地当たりの葉量は園地当たり葉面積指数 (以下、園地LAI)

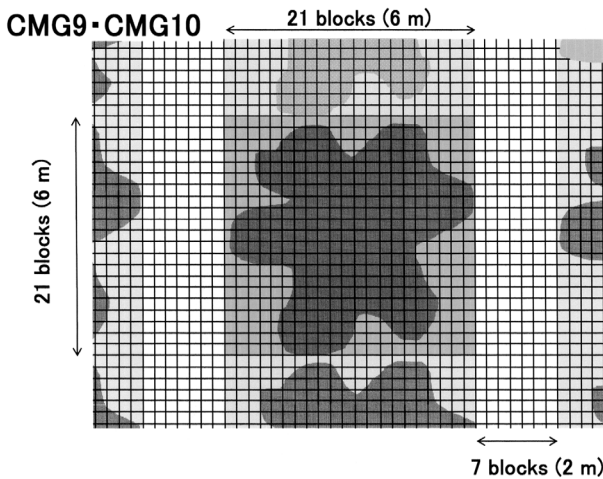


Fig. 6. Allocated land area of CMG9 and CMG10 shown by the block number (the actualized length) in the 3-D grid.

で表すことが多い。つまり、果樹園土地面積に対する総葉面積の比である。本実験の場合、園地LAIは1式で算出できる。

$$\text{園地LAI} = \frac{\text{個葉面積} \times \text{葉ブロック内葉数} \times \text{1樹当たり葉ブロック数}}{\text{樹間距離} \times \text{樹列間距離}} \quad (1)$$

これまでのリンゴ‘ふじ’を題材にした研究報告 (山本, 2015, 2016, 2017, 2018) において、個葉面積に28.45cm<sup>2</sup>, 葉ブロック内葉数に15枚, 樹間距離に4m, 樹列間距離に6.095m, 1樹当たりの葉ブロック数に656個の各数値を用いた。1式からこのときの園地LAIは約1.15になる。既報の実験結果と比較するうえで適切であると考え、本報でもこの1.15の園地LAIを用いた。

本実験では樹冠モデル群によって栽植距離が変わる。よって、園地LAIを1.15に保つためには、1式における個葉面積と葉ブロック内葉数はそのままにしたうえで、1樹当たりの葉ブロック数を調整しなければならない。2. に記した樹間距離と樹列間距離を1式に代入したうえで園地LAIを1.15にするための1樹当たり葉ブロック数を逆算したところ、CMG3とCMG4で176個、CMG5とCMG6で49個、CMG7とCMG8で246個になった (第1表)。超太形樹冠モデル群 (CMG9とCMG10) の場合にも1辺を21分割する3次元グリッドを用いた。ただし、園地LAIを1.15にするためには葉ブロック内の葉密度を他の樹冠モデル群と等しくする必要がある。CMG9とCMG10のブロック1辺長が0.28571mになるため、葉ブロック内葉数は51枚になった。つまり、 $15 \times (0.28571^3 / 0.19047^3)$  を四捨五入した整数値である。よって、この場合の1樹当たりの葉ブロック数は380個になった (第1表)。

Table 1. The number of leafy blocks per crown to keep the foliage biomass per orchard land area to the constant value (orchard LAI=1.15) and the other parameters of the ten crown model groups (CMGs).

CMG	Contents of CMG	Block edge Area of		Leaf number	Tree	Row	Green road	Number of					
		length	a leaf						per leafy block	space	space	width	leafy blocks
		cm	cm <sup>2</sup>							m	m	m	
CMG1	Thick type and medium height	19.047	28.45	15	4.000	6.095	2.095	656					
CMG2	Thick type and short height	19.047	28.45	15	4.000	6.095	2.095	656					
CMG3	Slender type and medium height	19.047	28.45	15	1.904	3.427	1.523	176					
CMG4	Slender type and short height	19.047	28.45	15	1.904	3.427	1.523	176					
CMG5	Ultraslender type and medium height	19.047	28.45	15	0.952	1.904	0.952	49					
CMG6	Ultraslender type and short height	19.047	28.45	15	0.952	1.904	0.952	49					
CMG7	Thin hedgerow type and medium height	19.047	28.45	15	4.000	2.285	0.952	246					
CMG8	Thin hedgerow type and short height	19.047	28.45	15	4.000	2.285	0.952	246					
CMG9	Ultrathick type and medium height	28.571	28.45	51	6.000	8.000	2.000	380					
CMG10	Ultrathick type and long height	28.571	28.45	51	6.000	8.000	2.000	380					

上記はリンゴ‘ふじ’の場合であるが、個葉面積が異なる他樹種・品種においては葉ブロック内葉数を変えることで、園地LAIを一定値に保つための1樹当たり葉ブロック数を求めることができる。

#### 4. 樹幅と樹高の変更に伴う整枝せん定の選択枝の変更 および選択枝の組み合わせ方法

整枝せん定処理の各項目および選択枝は本報でも頻繁に引用するものの、既報（山本，2020，2021）と重複するため、ここでは選択枝の変更点を中心に極く簡単な記述にとどめる。主幹の項目には、長さ（項目記号はC，以下同様）および傾斜角度（A）の2項目を設けた（第2表）。主枝の項目には、主枝本数（D），長さの分布形（H），着生間隔の分布形（E），分岐角度の分布形（I），第1主枝の回転中心角（F）および主枝の回転中心角の増分（G）の6項目（第3表）を設けた。亜主枝以降の枝葉複合体ユニット（以下，ユニット）の項目には、ユニットのタイ

プ（K），大きさの分布形（P），着生間隔の分布形（Q），分岐角度の分布形（S）およびユニット回転中心角の与え方（Y）の5項目を設けた（第4表）。ここで、回転中心角とは親枝から発出する子枝の回転中心角のことであ

Table 2. The list of the abbreviations (Ab.) of alternatives concerning the trunk.

Trunk length		Inclination angle	
(cm)	Ab.	(°)	Ab.
130	C4	90	A1
160	C5		
190	C6		
210	C7		
57	C9		
74	C10		
91	C11		
109	C12		
120	C13		
240	C17		
285	C18		

Table 3. The list of the abbreviations (Ab.) of alternatives concerning the primary scaffold branch (PSB). The central angle shows the angle measured from the the z coordinate axis in the counterclockwise. Base, Mid and Tip indicates a basal region, medium one and terminal one when a trunk was divided into three regions, respectively. These lengths of the PSBs were different by the crown model groups. The length of the PSB of Short, Medium and Long was 35, 60 and 100 cm in CMG1, CMG2, CMG7 and CMG8, 17.5, 30 and 50 cm in CMG3 and CMG4, 7.5, 15 and 25 cm in CMG5 and CMG6, and 52.5, 90 and 150 cm in CMG9 and CMG10, respectively.

Number of PSBs	Distribution patterns of PSB length					Distribution patterns of generation interval			Distribution patterns of branching angle				Central angles of the 1st PSB		Increment of central angle	
	Ab.	Base	Mid	Tip	Ab.	Ab.	Base	Mid	Tip	Ab.	(°)	Ab.	(°)	Ab.	(°)	
2	D2	Short	Short	Short	H1	A little sparser as the tip	E2	80	80	80	I1	180	F3	72	G2	
3	D3	Medium	Medium	Medium	H2	Very sparser as the tip	E3	60	60	60	I2	0	F4	90	G3	
4	D4	Long	Long	Long	H3			80	60	40	I4	135	F5	120	G4	
5	D5	Long	Medium	Short	H4			40	60	80	I5	225	F6	144	G5	
6	D6	Long	Medium	Long	H6			40	80	40	I6	45	F7	180	G6	
		Medium	Long	Medium	H7											

Table 4. The list of the abbreviations (Ab.) of alternatives concerning the units. The central angle shows the angle measured from the the z coordinate axis in the counterclockwise. Base, Mid and Tip indicates a basal region, medium one and terminal one when a PSB was divided into three regions, respectively. These sizes of the units were different by the crown model group. Sizes of Small, Middle and Large in CMG3 and CMG4, that in CMG5 and CMG6 and that in CMG9 and CMG10 was 0.5 times, 0.25 times and 1.5 times of that in CMG1, respectively.

Unit types	Distribution patterns of the generation interval				Distribution patterns of the unit size				Distribution patterns of branching angle				Increment of central angle or like "V"	
	Ab.	Ab.	Base	Mid	Tip	Ab.	Base	Mid	Tip	Ab.	(°)	Ab.	(°)	
Like spindle K3	Very denser as the tip	Q4	Small	Small	Small	P1	60	60	60	S2				
			Middle	Middle	Middle	P2	40	40	40	S3	72	Y2		
	A little denser as the tip	Q5	Large	Large	Large	P3	80	60	40	S4	90	Y3		
			Large	Middle	Small	P4	40	60	80	S5	120	Y4		
				Small	Middle	Large	P5	40	80	60	S6	144	Y5	
				Middle	Large	Small	P6	60	80	40	S7	180	Y6	
				Middle	Small	Large	P7	80	40	60	S8	360	Y15	
							60	40	80	S9	Lke "V" with 120°	Y9		

る。上述の分布形とは、親枝を均等の長さになるように基部、中間部および先端部の3部分に分け、この3部分における子枝の選択肢に関連した数値の分布を示した（山本, 2020）。

CMG1に比べ、他の樹冠モデル群の樹幅や樹高が大きく異なる。このため、以下のように選択肢の変更を行った。

中樹高、低樹高および高樹高の樹冠モデル群の樹高目標値に対応すべく、主幹の長さを数段階に伸縮拡大した主幹原型を準備し、従前の選択肢に追加した（第2表）。

CMG1に相当する既報（山本, 2020, 2021）の実験では、主枝の原型として長い主枝（1m）、中位の長さの主枝（0.6m）および短い主枝（0.35m）を用いた（第7図のCMG1）。本報におけるCMG1以外の樹冠モデルでは、主枝の長さ分布形の選択肢はそのままにし（第3表）、主枝原型の長さを拡大縮小した。太形樹冠モデル群（CMG1とCMG2）の4m×4mの樹幅目標値に対して、細形樹冠モデル群の2m×2m、超細形樹冠モデル群の1m×1mあ

るいは超太形樹冠モデル群の6m×6mの樹幅目標値に対応すべく、以下の比率を用いて主枝原型の長さを伸縮させた（第3表）。つまり、細形樹冠モデル群には $2/4=0.5$ 、超細形樹冠モデル群には $1/4=0.25$ 、超太形樹冠モデル群には $6/4=1.5$ の比率をそれぞれ乗じ、各樹冠モデル群それぞれの長い主枝、中位の長さの主枝および短い主枝とした（第7図のCMG3, CMG5およびCMG10）。ただし、薄形樹冠モデル群の主枝原型には太形樹冠モデル群と同じものを用いた。

ユニットについては、細形樹冠モデル群、超細形樹冠モデル群および超太形樹冠モデル群に限り、以下の変更を行った。既報（山本, 2020, 2021）の実験に用いた円錐状ユニットにおける大きさ分布形の選択肢はそのままにし（第4表）、大きいユニット、中位の大きさのユニットおよび小さいユニットの各原型に対して、以下の拡大縮小処理を施した。すなわち、上述の主枝のときに用いた比率で、ユニット原型を構成する全ての枝の空間座標を3軸方向に単純に縮小拡大し、それぞれのユニット原型とした（第7図のCMG3, CMG5およびCMG10）。

各種分布形の選択肢については原則として既報（山本, 2020, 2021）に用いたものに準じた。ただし、細形樹冠モデル群と超細形樹冠モデル群では樹幅制限に抵触することが多く、試行錯誤的な予備実験を経て、抵触しにくい選択肢に一部変更した（第5表）。

前報（山本, 2021）の実験では、整枝せん定各項目内の選択肢のうち、光環境改善効果の高いものをそれぞれ2個ないし3個に絞り、これらを総当たりで組み合わせることで光環境を比較した。このときの主枝数実験区当たりの組み合わせ総数は2,304個である。しかし本報では、選択肢数を項目当たり2個に絞ったため、ほとんどの主枝数実験区の組み合わせ総数は1,024個になった（第5表）。ただし、薄形樹冠モデル群では、南北方向に厚く、東西方向に薄いため、以下のように例外的に対処した。主枝の発出方位の選択肢は南と北のみとし、主枝の回転中心角の増分の選択肢は $180^\circ$ （G6）のみとした。さらに、ユニットの回転中心角の増分は $180^\circ$ （Y6）と $360^\circ$ （Y15）の2つを用いた（第7図のCMG7）。よって、この場合の組み合わせ総数は512個になった（第5表）。

予備実験の結果（データ略）をふまえ、最終的に採用されなかった選択肢番号については第2, 3および4表に掲載しなかった。それゆえに、選択肢番号が途中飛び、さらに2桁番号になったことを断っておく。

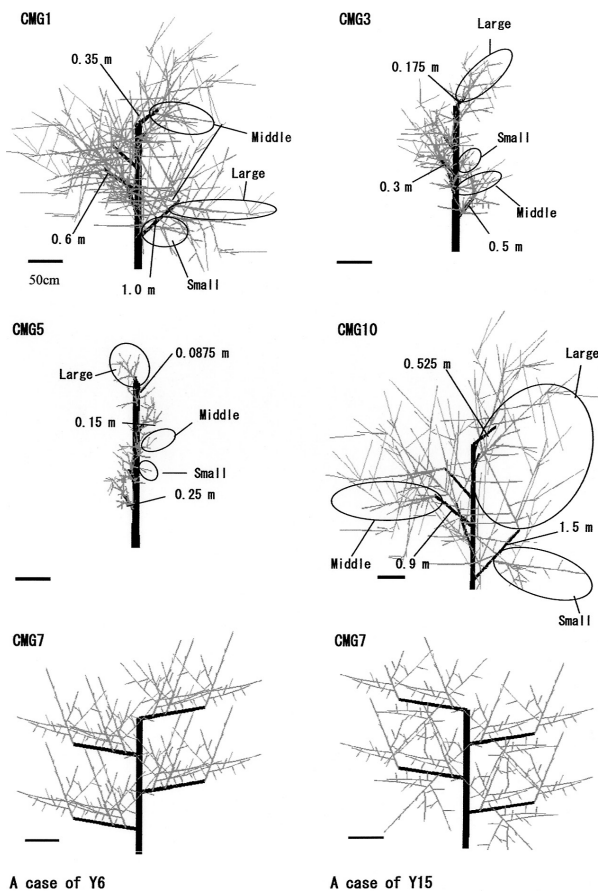


Fig. 7. Explanatory drawings of changes in PSB lengths and units sizes accompanied with changes of tree widths. A horizontal line indicates 50 cm.

Table 5. Combinations as all-play-all of two alternatives per training and pruning procedures. Abbreviations of the alternatives refer to Table 2, Table 3 and Table 4. The proportions of the remained crown models which did not violate the five conditions were shown in the right end of the Table.

CMG	Num. of PSBs	Alternatives													Total Num.	Remained %
		A	K	C	E	F	G	H	I	P	Q	S	Y			
CMG1	2	A1	K3	C4, C5	E2, E3	F6, F7	G5, G6	H3, H4	I2, I6	P3, P5	Q4, Q5	S4, S7	Y2, Y6	1024	14.1	
	3	A1	K3	C5, C6	E2, E3	F3, F5	G4, G5	H2, H4	I1, I4	P5, P6	Q4, Q5	S3, S5	Y4, Y6	1024	17.0	
	4	A1	K3	C5, C6	E2, E3	F3, F5	G3, G4	H2, H4	I1, I4	P2, P7	Q4, Q5	S3, S6	Y3, Y6	1024	49.2	
	5	A1	K3	C5, C6	E2, E3	F3, F5	G2, G4	H2, H4	I1, I6	P2, P7	Q4, Q5	S3, S9	Y3, Y6	1024	33.1	
6	A1	K3	C5, C6	E2, E3	F3, F5	G2, G3	H2, H6	I1, I6	P1, P2	Q4, Q5	S6, S9	Y6, Y9	1024	35.9		
CMG2	2	A1	K3	C9, C10	E2, E3	F6, F7	G5, G6	H2, H4	I1, I2	P3, P6	Q4, Q5	S4, S7	Y2, Y6	1024	0.8	
	3	A1	K3	C9, C10	E2, E3	F3, F5	G4, G5	H2, H6	I1, I5	P3, P5	Q4, Q5	S3, S5	Y4, Y6	1024	2.9	
	4	A1	K3	C9, C10	E2, E3	F3, F5	G3, G4	H2, H6	I1, I4	P4, P6	Q4, Q5	S3, S5	Y4, Y6	1024	16.8	
	5	A1	K3	C11, C12	E2, E3	F3, F5	G2, G4	H2, H7	I1, I5	P4, P6	Q4, Q5	S3, S9	Y3, Y6	1024	19.5	
6	A1	K3	C11, C12	E2, E3	F3, F5	G2, G3	H1, H2	I1, I5	P4, P6	Q4, Q5	S3, S8	Y6, Y9	1024	8.6		
CMG3	2	A1	K3	C5, C6	E2, E3	F5, F6	G5, G6	H3, H4	I1, I2	P3, P5	Q4, Q5	S4, S7	Y2, Y6	1024	4.3	
	3	A1	K3	C6, C7	E2, E3	F3, F5	G4, G5	H3, H4	I1, I2	P3, P5	Q4, Q5	S3, S5	Y4, Y6	1024	7.8	
	4	A1	K3	C5, C6	E2, E3	F3, F5	G3, G4	H2, H7	I1, I4	P2, P7	Q4, Q5	S3, S6	Y3, Y6	1024	41.1	
	5	A1	K3	C6, C7	E2, E3	F3, F5	G2, G4	H2, H6	I1, I4	P2, P6	Q4, Q5	S3, S9	Y3, Y6	1024	48.8	
6	A1	K3	C6, C7	E2, E3	F3, F5	G2, G3	H2, H6	I1, I4	P2, P6	Q4, Q5	S3, S8	Y6, Y9	1024	45.9		
CMG4	2	A1	K3	C11, C12	E2, E3	F5, F6	G5, G6	H3, H4	I1, I2	P3, P5	Q4, Q5	S4, S7	Y2, Y6	1024	3.9	
	3	A1	K3	C11, C12	E2, E3	F3, F5	G4, G5	H4, H6	I1, I2	P5, P7	Q4, Q5	S3, S5	Y4, Y6	1024	14.6	
	4	A1	K3	C11, C12	E2, E3	F3, F5	G3, G4	H2, H7	I1, I4	P5, P7	Q4, Q5	S3, S5	Y3, Y6	1024	26.0	
	5	A1	K3	C11, C12	E2, E3	F3, F5	G2, G4	H4, H7	I1, I6	P5, P7	Q4, Q5	S3, S9	Y3, Y6	1024	14.1	
6	A1	K3	C11, C12	E2, E3	F3, F5	G2, G3	H2, H7	I1, I6	P6, P7	Q4, Q5	S3, S8	Y6, Y9	1024	25.4		
CMG5	2	A1	K3	C17, C18	E2, E3	F5, F6	G5, G6	H3, H4	I1, I2	P2, P4	Q4, Q5	S4, S7	Y2, Y6	1024	41.4	
	3	A1	K3	C17, C18	E2, E3	F3, F5	G4, G5	H2, H4	I1, I4	P1, P2	Q4, Q5	S3, S5	Y4, Y6	1024	19.9	
	4	A1	K3	C17, C18	E2, E3	F3, F5	G3, G4	H2, H4	I1, I4	P1, P2	Q4, Q5	S3, S5	Y3, Y6	1024	26.2	
	5	A1	K3	C17, C18	E2, E3	F3, F5	G2, G4	H1, H2	I1, I6	P1, P2	Q4, Q5	S3, S9	Y3, Y6	1024	11.4	
6	A1	K3	C17, C18	E2, E3	F3, F5	G2, G3	H1, H2	I1, I6	P1, P2	Q4, Q5	S3, S8	Y6, Y9	1024	3.5		
CMG6	2	A1	K3	C12, C13	E2, E3	F5, F6	G5, G6	H3, H4	I1, I2	P3, P5	Q4, Q5	S4, S7	Y2, Y6	1024	5.1	
	3	A1	K3	C12, C13	E2, E3	F3, F5	G4, G5	H2, H4	I1, I4	P1, P2	Q4, Q5	S3, S5	Y5, Y6	1024	24.0	
	4	A1	K3	C12, C13	E2, E3	F3, F5	G3, G4	H2, H4	I1, I4	P1, P2	Q4, Q5	S3, S5	Y3, Y6	1024	39.6	
	5	A1	K3	C12, C13	E2, E3	F3, F5	G2, G4	H2, H4	I1, I6	P1, P2	Q4, Q5	S3, S5	Y3, Y6	1024	21.2	
6	A1	K3	C12, C13	E2, E3	F3, F5	G2, G3	H2, H4	I1, I6	P1, P2	Q4, Q5	S3, S4	Y6, Y9	1024	13.4		
CMG7	2	A1	K3	C5, C4	E2, E3	F3, F4	G6	H3, H4	I1, I2	P1, P2	Q4, Q5	S2, S3	Y6, Y15	512	15.6	
	3	A1	K3	C5, C6	E2, E3	F3, F4	G6	H3, H4	I1, I4	P1, P2	Q4, Q5	S3, S5	Y6, Y15	512	19.1	
	4	A1	K3	C5, C6	E2, E3	F3, F4	G6	H2, H7	I1, I4	P1, P2	Q4, Q5	S3, S5	Y6, Y15	512	33.2	
	5	A1	K3	C5, C6	E2, E3	F3, F4	G6	H2, H7	I1, I6	P1, P2	Q4, Q5	S3, S9	Y6, Y15	512	13.7	
6	A1	K3	C6, C7	E2, E3	F3, F4	G6	H1, H2	I1, I6	P1, P2	Q4, Q5	S3, S8	Y6, Y15	512	35.5		
CMG8	2	A1	K3	C10, C11	E2, E3	F3, F4	G6	H3, H4	I1, I2	P1, P2	Q4, Q5	S2, S3	Y6, Y15	512	3.9	
	3	A1	K3	C10, C11	E2, E3	F3, F4	G6	H1, H2	I1, I4	P1, P2	Q4, Q5	S2, S3	Y6, Y15	512	7.2	
	4	A1	K3	C10, C11	E2, E3	F3, F4	G6	H1, H2	I1, I4	P1, P2	Q4, Q5	S2, S3	Y6, Y15	512	15.2	
	5	A1	K3	C10, C11	E2, E3	F3, F4	G6	H1, H2	I1, I6	P1, P2	Q4, Q5	S2, S3	Y6, Y15	512	14.8	
6	A1	K3	C10, C11	E2, E3	F3, F4	G6	H1, H2	I1, I6	P1, P2	Q4, Q5	S2, S3	Y6, Y15	512	16.0		
CMG9	2	A1	K3	C4, C5	E2, E3	F6, F7	G5, G6	H3, H4	I1, I2	P3, P5	Q4, Q5	S4, S7	Y2, Y6	1024	3.5	
	3	A1	K3	C5, C6	E2, E3	F3, F5	G4, G5	H2, H6	I1, I4	P2, P4	Q4, Q5	S3, S5	Y4, Y6	1024	4.3	
	4	A1	K3	C5, C6	E2, E3	F3, F5	G3, G4	H2, H6	I1, I4	P2, P4	Q4, Q5	S3, S5	Y3, Y6	1024	16.8	
	5	A1	K3	C5, C6	E2, E3	F3, F5	G2, G4	H2, H6	I1, I6	P2, P4	Q4, Q5	S3, S9	Y3, Y6	1024	27.9	
6	A1	K3	C5, C6	E2, E3	F3, F5	G2, G3	H2, H6	I1, I6	P2, P4	Q4, Q5	S3, S8	Y6, Y9	1024	20.2		
CMG10	2	A1	K3	C17, C18	E2, E3	F5, F6	G5, G6	H3, H4	I1, I2	P3, P5	Q4, Q5	S4, S7	Y2, Y6	1024	7.4	
	3	A1	K3	C17, C18	E2, E3	F3, F5	G4, G5	H2, H6	I1, I4	P2, P4	Q4, Q5	S3, S5	Y4, Y6	1024	28.7	
	4	A1	K3	C17, C18	E2, E3	F3, F5	G3, G4	H2, H6	I1, I4	P2, P4	Q4, Q5	S3, S5	Y3, Y6	1024	40.0	
	5	A1	K3	C17, C18	E2, E3	F3, F5	G2, G4	H2, H4	I1, I6	P1, P2	Q4, Q5	S3, S9	Y3, Y6	1024	26.1	
6	A1	K3	C17, C18	E2, E3	F3, F5	G2, G3	H2, H4	I1, I6	P1, P2	Q4, Q5	S3, S8	Y9, Y6	1024	39.2		



なお、細形樹冠や超細形樹冠のような細い樹には、主枝の代わりに用語として側枝を用いるが、本報ではCDS法に基づいているので用語として主枝をそのまま用いた。

## 5. 設定条件によるフィルタ処理など

既報（山本，2020）と同様に設計した樹冠モデルから本実験の設定条件に合致しないものを除く処理（フィルタ処理）を施した。フィルタ処理は以下の2ステップからなった。まず、設計した樹冠モデルのうち、2. に記した東西樹幅、南北樹幅および樹高の各実現値より大きいものを除外した。次に3. に記した1樹としての葉ブロック数の110%以上あるいは90%以下の樹冠モデルを除外した。上記フィルタ処理の後に、3. に記した1樹当たり葉ブロック数になるように乱数（山本，2020）を用いて葉ブロック配列データを微調整した。

## 6. 光環境データ、光合成データおよび樹冠形状値の算出方法

既報（山本，2014，2015，2016）と同様、樹冠モデルの葉ブロック3次元配列データを用いて、光環境、光合成および樹冠形状値に関連するデータを算出した。光環境はOLEAS（山本，1999）を用いて算出した。調査対象時期は夏季の光環境に限定した。8月下旬の典型的な晴天日および曇天日の13時刻（午前6時から午後6時まで）の全葉の葉面PPFDを算出し、葉面PPFDの日平均値（DMPPFD、単位は $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）を集計した。ここで、晴天日にはCDMPPFDの略号、曇天日にはODMPPFDの略号を用いた。なお、OLEAS（山本，1999）は各時刻における天空各区画からの投射光と太陽光を3次元グリッド内ブロックと交錯させ、光路内の累積葉量を用いて投射光の減衰を計算するとともに、品種に特有な葉の傾斜角度分布（ベータ分布）に基づき、個々の葉面への投射PPFD（葉面PPFD）を算出する。また、上記算出に用いる天空投射光データ（水平面PPFD）および太陽光データ（水平面PPFD）は、8月中下旬の典型的な晴天日および曇天日に毎時計測したデータ（鶴岡市の午前6時から午後6時まで）から算出したが、詳しくは既報（山本，1999）を参照されたい。

光合成関連データの算出方法についても既報（山本，2014，2018，2021）に準じた。葉面PPFDと同様、8月下旬1日における個葉Pnを全葉・全時刻について算出し、純光合成速度の日平均値（DMPN、単位は $\text{mgCO}_2 \cdot$

$\text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ）を集計した。ここで、晴天日にはCDMPNの略号、曇天日にはODMPNの略号を用いた。樹冠形状値の算出方法についても既報（山本，2015，2016，2021）に準じた。本報では光環境の良否に密接な以下の5個の樹冠形状値に限定した。すなわち、樹冠占有面積（LAO、単位は $\text{m}^2$ ）、全ての葉ブロック数に占める閉鎖空間内の葉ブロック数の割合（PNLES、単位は%）、3次元グリッドの南北方向各ブロック列における葉ブロックの連続数の平均値（MCFNS）、3次元グリッドの垂直方向各ブロック列における葉ブロックの連続数の平均値（MCFVD）および全ての葉ブロック数に占める樹冠表面の葉ブロック数の割合（PSLB、単位は%）を算出した。いずれの樹冠形状値も樹冠モデルにつき1個の値を有する。既報の調査からCDMPPFDおよびODMPPFDに対し、LAOとPSLBは正の相関関係、PNLES、MCFNSおよびMCFVDは負の相関関係が見出されている（山本，2015，2016，2020）。

## 結 果

### 1. 設定条件への抵触状況およびCDSによる樹冠モデルの設計概況

全ての主枝数実験区における設計数は合計46,080個であった（第5表）。5個の条件に抵触せず残存した割合（以下、残存率）を第5表の右端に示した。残存率は主枝数が2本および3本のとき総じて低かった（第5表）。残存した樹冠モデルは合計9,591個であり（第5表）、全体としての残存率は約21%であった。

新しい選択肢を追加し、各樹冠モデル群それぞれに対応した修正をCDSプログラムに施したうえで設計作業を行ったところ、設計結果はいずれも良好であった。ここでは4本主枝実験区に限り、各樹冠モデル群1例ずつ樹冠形とソリッドモデル図を示した（第8～12図）。なお、ソリッドモデル図については、CMG1、CMG2、CMG9およびCMG10では設計した樹冠モデル1樹分を示したが（第8および12図）、CMG3とCMG4では南北に隣接する2樹分（第9図）、CMG5とCMG6では南北に隣接する4樹2樹列の合計8樹分（第10図）およびCMG7とCMG8では2樹列の合計2樹分を示した（第11図）。ところで、図中のスケール（横線）は50cmを示すが、超太形樹冠モデル群（CMG9とCMG10）のスケールは他より短いことに注意されたい（第12図）。

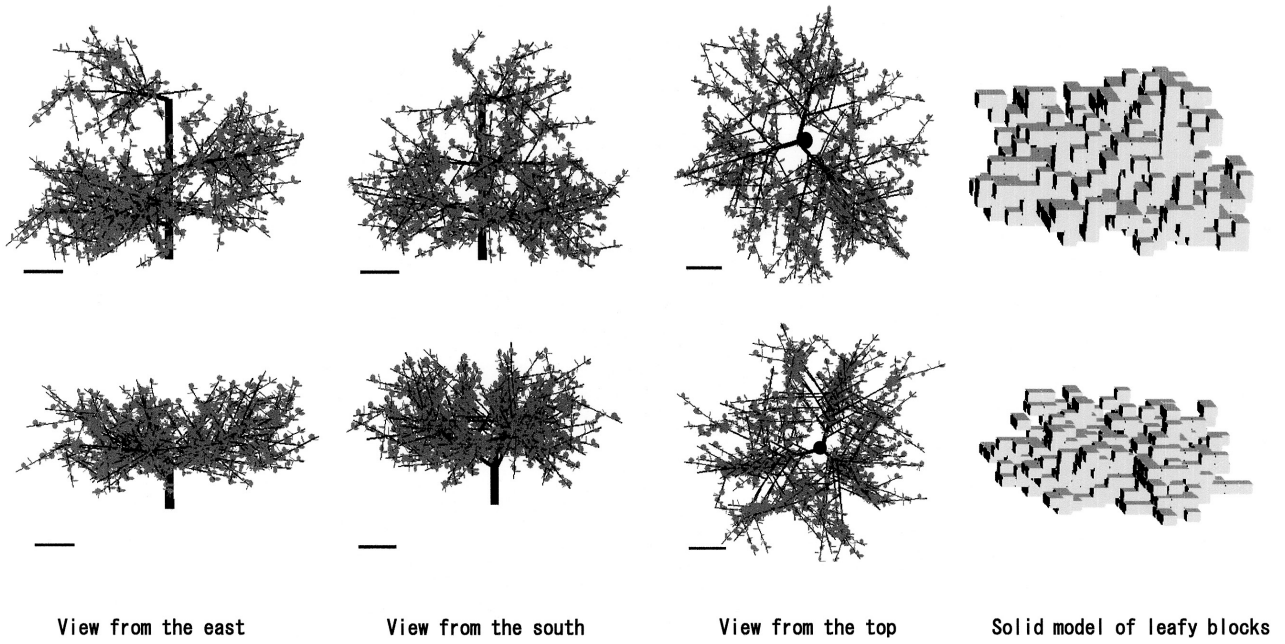


Fig. 8. Examples of the graphics of crown shapes and solid models in CMG1 (upper) and CMG2 (lower) in a case of four PSBs. A horizontal line indicates 50 cm.

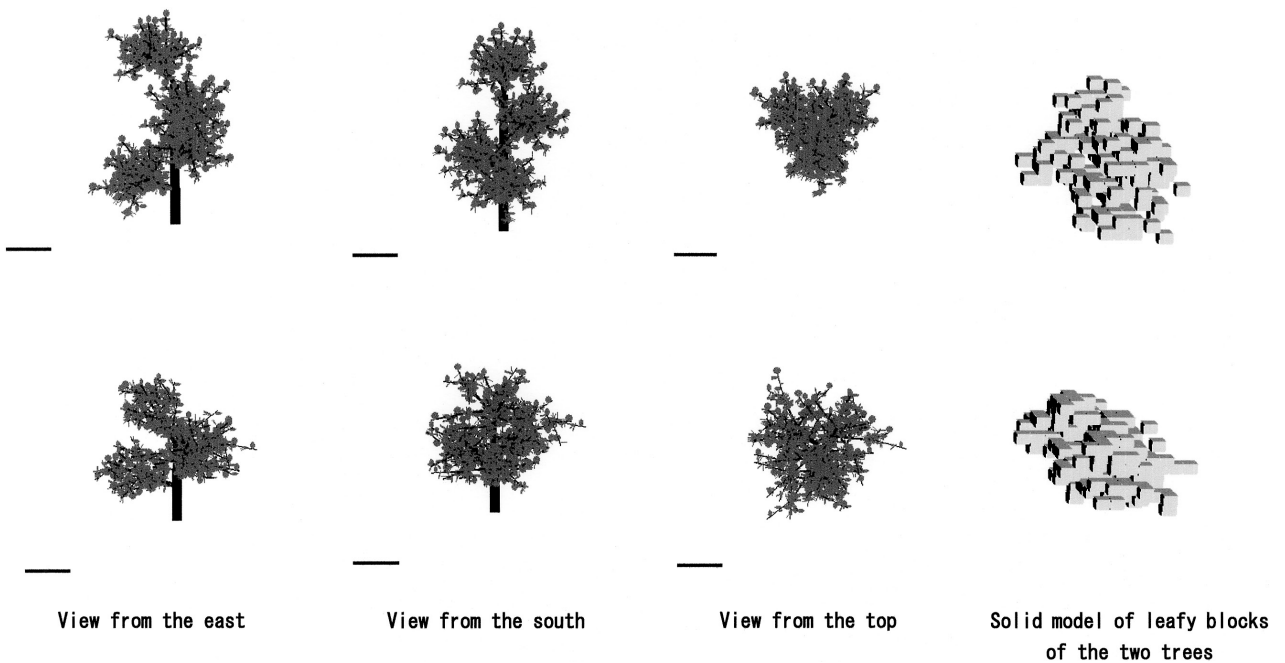


Fig. 9. Examples of the graphics of crown shapes and solid models of the two trees in CMG3 (upper) and CMG4 (lower) in a case of four PSBs. A horizontal line indicates 50 cm.

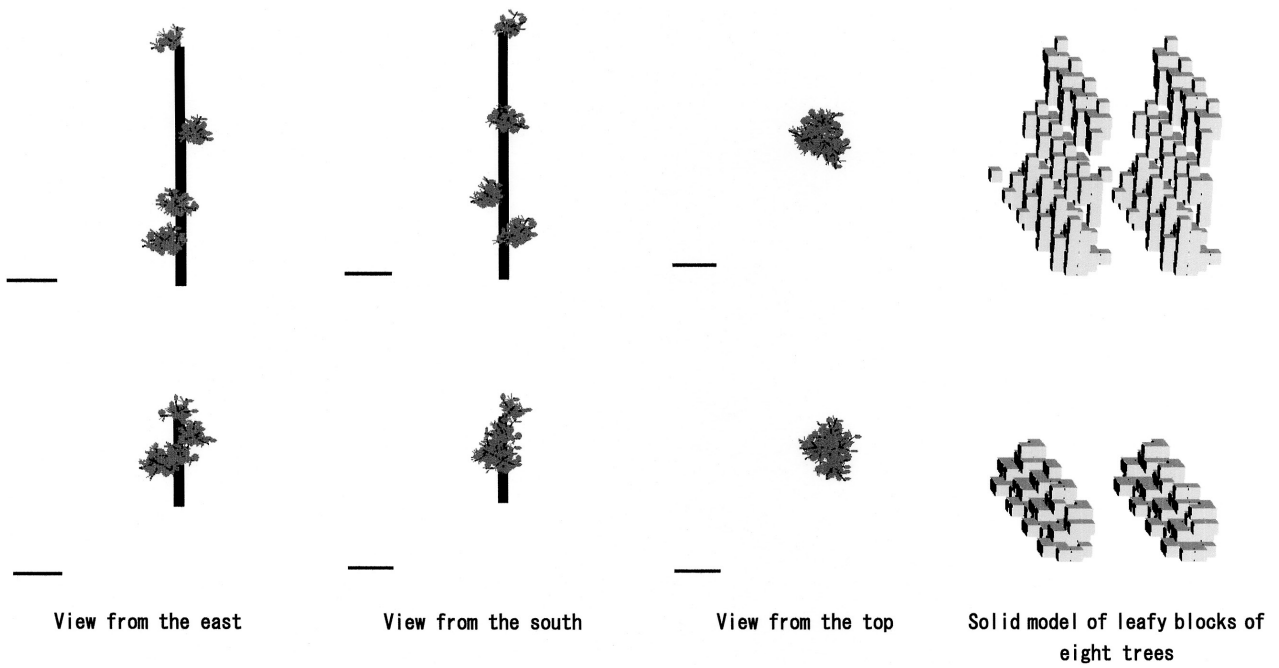


Fig. 10. Examples of the graphics of crown shapes and solid models of the eight trees in CMG5 (upper) and CMG6 (lower) in a case of four PSBs. A horizontal line indicates 50 cm.

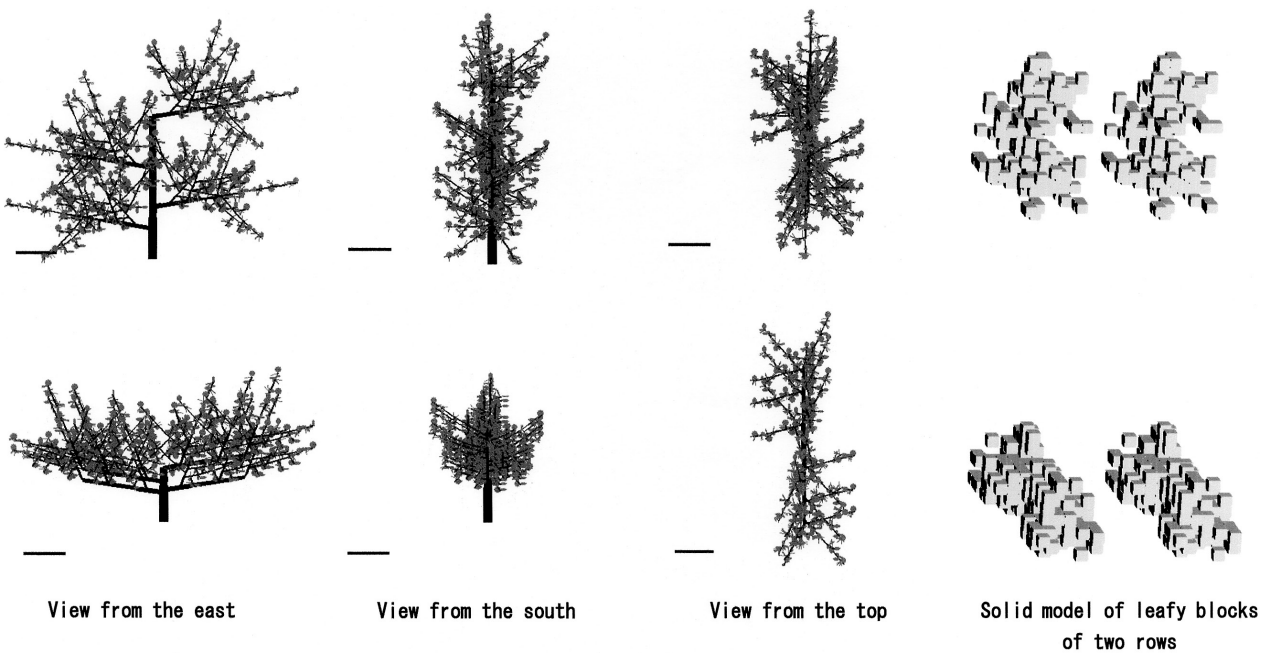


Fig. 11. Examples of the graphics of crown shapes and solid models of the two rows in CMG7 (upper) and CMG8 (lower) in a case of four PSBs. A horizontal line indicates 50 cm.

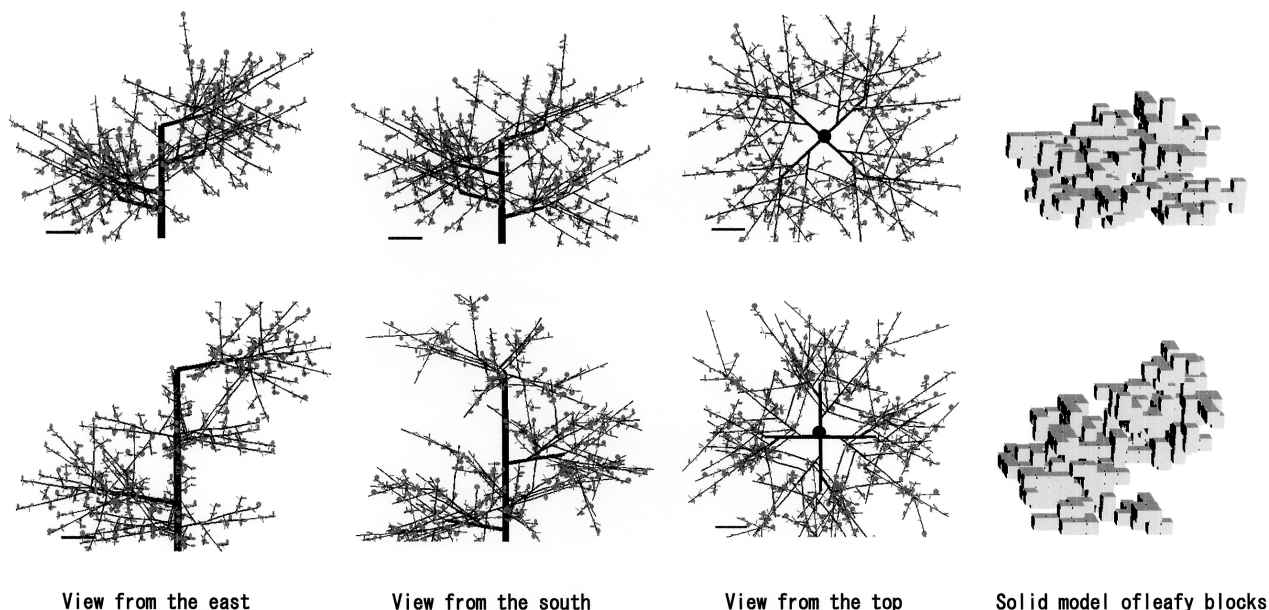


Fig. 12. Examples of the graphics of crown shapes and solid models in CMG9 (upper) and CMG10 (lower) in a case of four PSBs. A horizontal line indicates 50 cm.

## 2. 園地当たりの葉量が等しい条件下の樹幅と樹高の違いが果樹園の光環境などに及ぼす影響

園地当たりの葉量が等しい条件下の樹高と樹幅の違いが果樹園の光環境と光合成および樹冠形状値に及ぼす影響について、以下、主枝数実験区ごとに示す。ただし、4本主枝実験区については比較と解析の結果を詳細に示し、他の主枝数実験区についてはこれらの一部に限定した。

### 1) 4本主枝実験区における解析結果

第13図は4本主枝実験区における残存した各樹冠モデルのCDMPPFDとODMPPFDのデータを1個ずつプロットしたもので、データの多くが近接するため棒状になった。互いに異なる選択枝を組み合わせることで設計したことから、上記数値には大きな分散が見られた(第13図)。さらに、薄形樹冠モデル群(CMG7とCMG8)では散布データが大きく2つに分離した(第13図)。しかしながら、樹冠モデル群間には上記を上回る大きな分散が見られ、樹冠モデル群間に光環境の大きな違いが見いだされた(第13図)。

上述の光環境の大きな違いの原因を解明するため、前報(山本, 2021)と同様、CDMPPFDと各樹冠形状値の間の相関関係を調査した。そのうえで、樹冠形状値の大

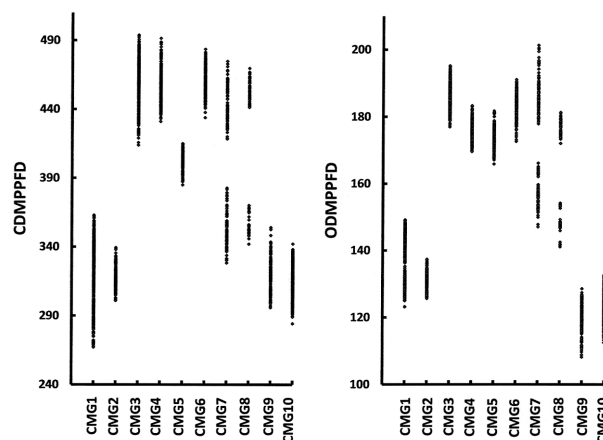


Fig. 13. Scatter diagrams of the CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) of the remained crown models which did not violate the five restrictions in the four PBSs experiment plot (unit:  $\mu\text{E} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

小関係とCDMPPFDの大小関係を検討した。ただし、前報と異なる点は樹冠モデル群間における光環境の違いの原因を明らかにすることである。そこで、樹冠モデル群別に樹冠形状値とCDMPPFDあるいはODMPPFDとの相関関係を調査するとともに(第6表)、全樹冠モデル群全データとの相関関係についても調査した(第6表)。また、樹冠形状値とCDMPPFDの間の相関図を作成した(第14, 15, 16, 17および18図)。LAOとCDMPPFDあ

るいはODMPPFDの間には、全樹冠モデル群全データの場合には高い負の相関が見られたものの、個々の樹冠モデル群内では前報（山本，2021）と同様に正の相関が数多く見られた（第14図および第6表）。MCFNS、MCFVDおよびPNLESとCDMPPFDあるいはODMPPFDとの間には、全樹冠モデル群全データでは負の相関が見られ（第15、16および18図および第6表）、個々の樹冠モデル群内では多くで負の相関が見られた（第15、16および18図および第6表）。一方、PSLBとCDMPPFDあるいは

ODMPPFDの間には、全樹冠モデル群全データでは正の相関が見られたが、個々の樹冠モデル群内では相関係数が低下した（第17図および第6表）。

次に、CDMPPFD、ODMPPFD、CDMPN、ODMPNおよび各樹冠形状値の平均値を樹冠モデル群間で比較した（第7表）。なお、CDMPPFDの樹冠モデル群間の序列と樹冠形状値の序列に関する対応関係を見やすくするため、多重比較検定における分離記号については以下のように統一した、つまり、CDMPPFDの分離記号は降順と

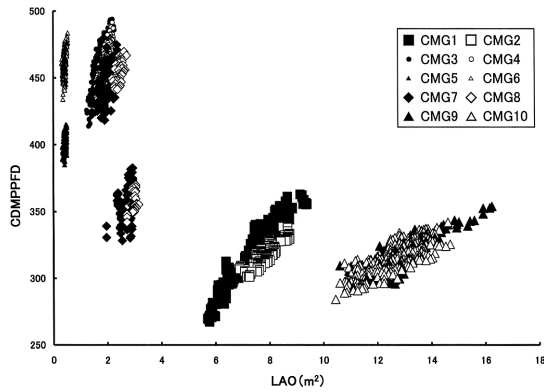


Fig. 14. Relations between LAO and CDMPPFD (unit:  $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ) of crown models in the four PSBs experiment plot. These data were shown by the separate symbol in each CMG.

Table 6. Coefficients of correlations between CDMPPFD, ODMPPFD and other variables in the four PSBs experiment plot. n indicates the number of crown models in each CMG.

CMG		LAO	MCF- NS	MCF- VD	PNL- ES	PSLB	n
CMG1	CDMPPFD	0.909	-0.479	-0.639	-0.507	0.060	504
CMG1	ODMPPFD	0.646	-0.804	-0.878	-0.840	0.480	504
CMG2	CDMPPFD	0.859	-0.857	-0.868	-0.930	0.570	172
CMG2	ODMPPFD	0.751	-0.849	-0.786	-0.901	0.549	172
CMG3	CDMPPFD	0.858	-0.386	-0.621	-0.342	0.001	421
CMG3	ODMPPFD	-0.308	-0.154	-0.127	-0.133	0.038	421
CMG4	CDMPPFD	0.797	-0.242	-0.274	-0.337	-0.007	266
CMG4	ODMPPFD	0.111	-0.340	-0.240	-0.341	-0.083	266
CMG5	CDMPPFD	0.323	-0.222	-0.473	-0.125	0.192	268
CMG5	ODMPPFD	-0.013	-0.257	-0.010	-0.300	0.069	268
CMG6	CDMPPFD	0.470	0.005	-0.289	-0.326	0.244	406
CMG6	ODMPPFD	-0.053	-0.154	-0.268	0.016	0.012	406
CMG7	CDMPPFD	-0.753	-0.807	-0.946	-0.917	0.327	170
CMG7	ODMPPFD	-0.789	-0.834	-0.914	-0.931	0.360	170
CMG8	CDMPPFD	-0.859	-0.806	-0.964	-0.969	0.229	78
CMG8	ODMPPFD	-0.875	-0.842	-0.935	-0.984	0.229	78
CMG9	CDMPPFD	0.839	0.142	-0.738	-0.303	-0.001	172
CMG9	ODMPPFD	0.446	-0.275	-0.657	-0.583	0.139	172
CMG10	CDMPPFD	0.823	0.142	-0.450	-0.091	0.049	410
CMG10	ODMPPFD	0.243	-0.551	-0.592	-0.617	0.169	410
All	CDMPPFD	-0.815	-0.739	-0.648	-0.693	0.633	2867
CMGs	ODMPPFD	-0.917	-0.703	-0.510	-0.615	0.541	2867

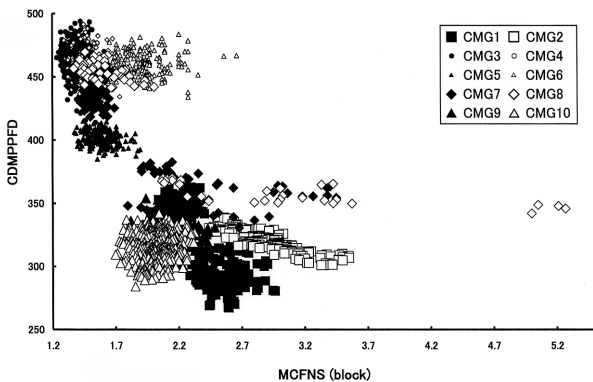


Fig. 15. Relations between MCFNS and CDMPPFD (unit:  $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ) of crown models in the four PSBs experiment plot. These data were shown by the separate symbol in each CMG.

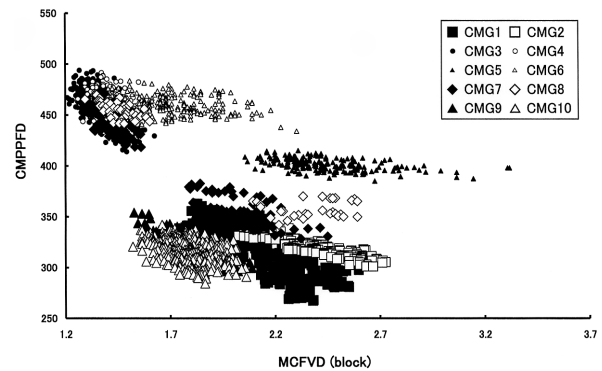


Fig. 16. Relations between MCFVD and CDMPPFD (unit:  $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ) of crown models in the four PSBs experiment plot. These data were shown by the separate symbol in each CMG.

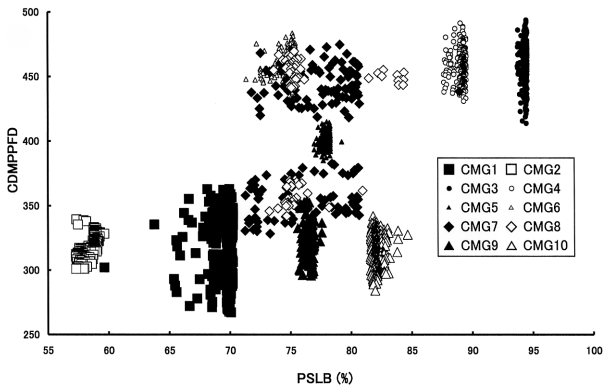


Fig. 17. Relations between PSLB and CDMPPFD (unit:  $\mu\text{E} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) of crown models in the four PSBs experiment plot. These data were shown by the separate symbol in each CMG.

したうえで、これと正の相関関係にあるPSLBの分離記号は降順、負の相関関係にあるLAO, PNLES, MCFNSおよびMCFVDの分離記号は昇順とした。CDMPPFDの樹冠モデル群平均値（単位は $\mu\text{E} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ）はCMG3, CMG6およびCMG4で約460, CMG8, CMG7およびCMG5で約400~416およびCMG10, CMG2, CMG9およびCMG1で約315~320であり、樹冠モデル群間に大きな有意差が認められた（第7表）。また、この平均値には $\text{CMG3} \geq \text{CMG4} \geq \text{CMG6} > \text{CMG8} > \text{CMG7} \geq \text{CMG5} > \text{CMG1} \geq \text{CMG9} \geq \text{CMG2} > \text{CMG10}$ の大小関係が認められた（第7表）。次に、CDMPPFDとの間に負の相関関係にあるLAO, MCFNS, MCFVDおよびPNLESの樹冠モデル群平均値にはそれぞれ次のような大小関係が認められた。LAOでは $\text{CMG6} \leq \text{CMG5} < \text{CMG3} \leq \text{CMG4} < \text{CMG5} < \text{CMG7} < \text{CMG8} < \text{CMG1} < \text{CMG2} < \text{CMG10} < \text{CMG9}$ , MCFNSでは $\text{CMG3} \leq \text{CMG4} < \text{CMG5} < \text{CMG6} = \text{CMG7} < \text{CMG10} < \text{CMG8} \leq \text{CMG9} < \text{CMG1} < \text{CMG2}$ , MCFVDでは $\text{CMG3} < \text{CMG4} < \text{CMG5} < \text{CMG6} = \text{CMG7} < \text{CMG10} < \text{CMG9} \leq \text{CMG8} < \text{CMG1} < \text{CMG2}$ およびPNLESでは $\text{CMG3} < \text{CMG4} < \text{CMG7} < \text{CMG10} < \text{CMG5} < \text{CMG8} \leq \text{CMG9} \leq \text{CMG6} < \text{CMG1} < \text{CMG2}$ の大小関係であった（第7表）。また、CDMPPFDと正の相関関係にあるPSLBの樹冠モデル群平均値には $\text{CMG3} > \text{CMG4} > \text{CMG10} > \text{CMG5} > \text{CMG7} \geq \text{CMG9} > \text{CMG8} > \text{CMG6} > \text{CMG1} > \text{CMG2}$ の大小関係が認められた（第7表）。とりわけ、CDMPPFDの樹冠モデル群平均値が最も大きかったCMG3のPSLBが90%を超えた反面、これが極めて小さかったCMG1とCMG2のPSLBが約58%であった（第7表）ことは大きな特徴といえよう。さらに、

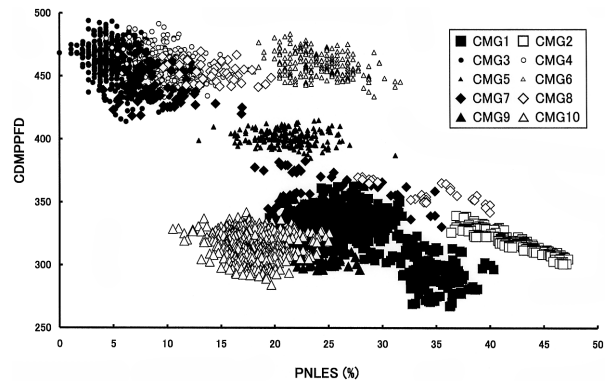


Fig. 18. Relations between PNLES and CDMPPFD (unit:  $\mu\text{E} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) of crown models in the four PSBs experiment of. These data were shown by the separate symbol in each CMG.

Table 7. The comparisons of the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD and PNLES among the ten crown model groups in the four PSBs experiments plot.

Crown model group	Mean CDM-PPFD	Mean ODM-PPFD	Mean CDM-PN	Mean ODM-PN	Mean LAO	Mean PSLB	Mean MCF-NS	Mean MCF-V D	Mean PNL-ES
	Unit1 <sup>a</sup>	Unit1	Unit2 <sup>b</sup>	Unit2	m <sup>2</sup>	%	block	block	%
CMG1	320.5 d <sup>c</sup>	138.1 f	10.10 d	7.82 e	7.48 e	69.6 h	2.28 g	2.07 f	29.3 h
CMG2	318.4 de	131.1 g	9.92 e	7.61 f	7.91 f	58.5 i	2.93 h	2.40 g	42.1 i
CMG3	460.9 a	185.9 a	12.13 a	8.50 a	1.76 b	94.4 a	1.40 a	1.36 a	5.3 a
CMG4	457.5 a	176.6 c	12.03 b	8.33 c	1.88 b	89.1 b	1.48 b	1.41 b	10.1 b
CMG5	401.2 c	173.9 d	11.40 c	8.42 b	0.43 a	78.0 d	1.59 c	2.44 g	21.2 e
CMG6	459.4 a	183.1 b	12.11 ab	8.41 b	0.42 a	74.7 g	1.90 d	1.74 ed	24.1 g
CMG7	401.9 c	172.7 d	11.38 c	8.43 b	2.29 c	76.8 e	1.90 d	1.70 c	16.5 c
CMG8	416.7 b	166.2 e	11.48 c	8.23 d	2.65 d	76.3 f	2.16 f	1.81 de	21.9 ef
CMG9	319.5 de	119.6 i	10.08 d	7.22 h	13.12 h	76.6 ef	2.15 f	1.83 e	23.1 fg
CMG10	315.3 e	123.5 h	10.10 d	7.34 g	12.70 g	82.1 c	2.02 e	1.78 de	18.1 d

<sup>a</sup> $\mu\text{E} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .

<sup>b</sup> $\text{mg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ .

<sup>c</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

CMG3のPNLESが約5%であった反面、CMG2では約42%であったことも顕著な特徴である（第7表）。ところで、樹冠モデル群間におけるLAOの大小は、設定した樹幅の違いにより直接影響されるため、光環境との関連性は明らかではない。

ODMPPFDの樹冠モデル群平均値には $\text{CMG3} > \text{CMG6} > \text{CMG4} > \text{CMG5} \geq \text{CMG7} > \text{CMG8} > \text{CMG1} > \text{CMG2} > \text{CMG10} > \text{CMG9}$ の大小関係が認められた（第7表）。また、この大小関係はCDMPPFDにほぼ類似したものの、必ずしも同じではなかった（第7表）。

樹幅が同じとき、光環境に及ぼす樹高の影響は樹冠モデル群や天候によって異なった（第7表）。大きな特徴として、CDMPPFDあるいはODMPPFDの両平均値とも中樹高のCMG5よりも低樹高のCMG6の方で大きかったことである（第13図）。上記以外の樹冠モデル群間にはCDMPPFD平均値に明瞭な大小関係は認められなかった（第7表）。一方、ODMPPFD平均値は上述のCMG5

とCMG6の場合を除き、全体的に中樹高より低樹高の方が小さく(第7表)。CMG9とCMG10を比較しても、高樹高より中樹高の方が小さかったが、その差は大きくなかった(第7表)。

### 2) 2本主枝実験区における解析結果

2本主枝実験区では、設定条件を満たさないケースが多く、残存率は全体的に低く(第5表)、CDMPPFDとODMPPFDのプロット数は減少した(第19図)。4本主枝と同じく、薄形樹冠モデル群(CMG7とCMG8)では散布データが大きく分離した(第19図)。しかし、樹冠モデル群間には上記を上回る分散が現れ、樹冠モデル群間に光環境の大きな違いが見出された(第19図)。CDMPPFDの樹冠モデル群平均値にはCMG6 > CMG4 ≥ CMG3 > CMG8 ≥ CMG7 ≥ CMG5 > CMG10 ≥ CMG1 ≥ CMG9 ≥ CMG2の大小関係が認められた(第8表)。そのうえ、樹冠形状値における平均値の大小関係はほとんどが4本主枝実験区に類似した(第8表)。全樹冠モデル群全データにはCDMPPFDあるいはODMPPFDとLAOの間に高い負の相関が見られ(第9表)、MCFNSおよびPNLESとの間に負の相関が見られたが(第9表)、PSLBとの間には正の相関が見られた(第9表)。ただし、これらの相関の多くは4本主枝実験区の時より低下した(第9表)。

樹高の違いによる影響は、中樹高のCMG5に対して低樹高のCMG6のCDMPPFD平均値が明らかに大きかったが、他のケースでは有意差が認められなかった(第

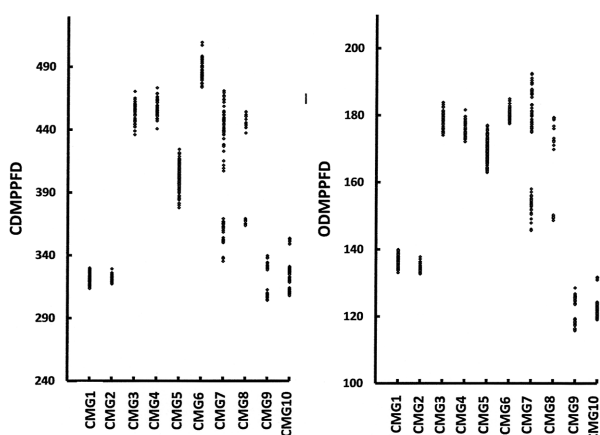


Fig. 19. Scatter diagrams of the CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) of the remained crown models which did not violate the five restrictions in the two PBSs experiment plot (unit:  $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ).

8表)。ODMPPFD平均値にはCMG5 < CMG6およびCMG7 > CMG8の大小関係が認められた(第8表)。

### 3) 3本主枝実験区における解析結果

3本主枝実験区でも設定条件を満たさないケースが多く、残存率は全体的に低く(第5表)、CDMPPFDとODMPPFDの散布数は減少した(第20図)。また、薄形樹冠モデル群(CMG7とCMG8)では分離が見られ、CMG9にも分離が見られた(第20図)。けれども、3本主枝においても樹冠モデル群間に光環境の大きな違いが見出された。CDMPPFDの樹冠モデル群平均値にはCMG6 > CMG3 ≥ CMG4 > CMG8 > CMG7 > CMG5 > CMG1 > CMG9 ≥ CMG2 ≥ CMG10の大小関係が認められた(第10表)。また、樹冠形状値平均値の大小関係はほとんどが4本主枝実験区に類似した(第10表)。全樹冠モデル群の全データでは、CDMPPFDあるいはODMPPFDとLAOあるいはMCFNSとの間に高い負の相関、PNLESとの間に負の相関およびPSLBとの間に低い正の相関が認められた(第9表)。

Table 8. The comparisons of the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD and PNLES among the ten crown model groups in the two PBSs experiments plot.

Crown model group	Mean CDM-PPFD	Mean ODM-PPFD	Mean CDM-PN	Mean ODM-PN	Mean LAO	Mean PSLB	Mean MCF-NS	Mean MCF-VD	Mean PN-ES
	Unit1*	Unit1	Unit2*	Unit2	m <sup>2</sup>	%	block	block	%
CMG1	322.8 d <sup>f</sup>	136.9 e	10.10 de	7.78 d	7.60 d	72.7 h	2.12 cd	2.14 d	26.2 f
CMG2	321.7 d	134.6 e	9.98 e	7.68 e	7.69 d	61.6 i	2.74 e	2.40 e	37.5 g
CMG3	454.1 b	178.6 ab	12.00 b	8.39 a	1.89 b	92.4 a	1.49 a	1.44 a	7.5 a
CMG4	457.7 b	175.9 b	12.02 b	8.31 b	1.91 b	89.3 b	1.53 a	1.49 a	10.1 a
CMG5	402.8 c	169.5 c	11.39 c	8.35 ab	0.57 a	76.1 g	1.82 b	2.63 f	24.0 e
CMG6	488.1 a	180.7 a	12.40 a	8.34 ab	0.53 a	80.6 e	1.87 b	1.62 b	19.7 d
CMG7	410.7 c	171.1 c	11.45 c	8.37 ab	2.73 c	83.5 d	2.17 d	1.74 c	15.7 bc
CMG8	415.2 c	164.9 d	11.45 c	8.21 c	2.90 c	84.8 c	2.49 e	1.79 c	18.8 cd
CMG9	321.9 d	122.1 f	10.15 de	7.25 f	13.34 e	79.2 f	1.93 bc	1.77 c	19.3 d
CMG10	324.7 d	122.8 f	10.21 d	7.26 f	13.12 e	83.5 d	1.92 b	1.82 c	15.2 b

\* $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ .

\* $mg \cdot CO_2 \cdot dm^{-2} \cdot h^{-1}$ .

<sup>d</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

Table 9. The coefficients of correlations in each experiment plot of the PSB number between CDMPPFD, ODMPPFD and other variables in the cases of the all CMGs. The all coefficients were significant at 5% level.

Num. of PSBs	CD-MPPFD	OD-MPPFD	CD-MPN	OD-MPN	LAO	MCFNS	MCFVD	PNLES	PSLB	n
2	CDMPPFD	1	0.926	0.995	0.817	-0.783	-0.489	-0.335	-0.542	924
	ODMPPFD	0.926	1	0.941	0.971	-0.923	-0.423	-0.095	-0.377	924
3	CDMPPFD	1	0.925	0.997	0.828	-0.816	-0.734	-0.512	-0.547	1355
	ODMPPFD	0.925	1	0.940	0.974	-0.936	-0.702	-0.263	-0.411	1355
4	CDMPPFD	1	0.942	0.997	0.862	-0.815	-0.739	-0.648	-0.693	2866
	ODMPPFD	0.942	1	0.952	0.978	-0.917	-0.703	-0.510	-0.615	2866
5	CDMPPFD	1	0.961	0.998	0.910	-0.831	-0.750	-0.756	-0.727	2215
	ODMPPFD	0.961	1	0.966	0.984	-0.926	-0.712	-0.663	-0.679	2215
6	CDMPPFD	1	0.950	0.997	0.894	-0.728	-0.743	-0.754	-0.733	2231
	ODMPPFD	0.950	1	0.957	0.986	-0.875	-0.672	-0.641	-0.688	2231

CDMPPFD平均値は中樹高のCMG5に対して低樹高のCMG6の方がかなり大きかった（第20図および第10表）。差は大きくなかったものの、CDMPPFD平均値はCMG1 > CMG2およびCMG7 < CMG8の大小関係が認められた（第10表）。ODMPPFD平均値は多くのケースで中樹高より低樹高が小さかったが、その差は大きくならなかった（第10表）。

4) 5本主枝実験区における解析結果

5本主枝実験区でも、各樹冠モデル群内にCDMPPFDとODMPPFDの大きな分散が見られた（第21図）。特に、薄形樹冠モデル群（CMG7とCMG8）では分離が見られた（第21図）。しかしながら、樹冠モデル群間にはこれを上

回る光環境の違いが見出された（第21図）。CDMPPFDの樹冠モデル群平均値にはCMG6 ≥ CMG4 > CMG3 > CMG8 > CMG5 > CMG7 > CMG2 > CMG1 ≥ CMG9 > CMG10の大小関係が認められた（第11表）。各樹冠形状値の平均値の大小関係はほとんどが4本主枝実験区に類似した（第11表）。全樹冠モデル群全データには、CDMPPFDあるいはODMPPFDとLAO, MCFNS, MCFVDおよびPNLESとの間に高い負の相関が見られ、PSLBとの間には正の相関が見られた（第9表）。

CDMPPFD平均値は低樹高のCMG6に対して中樹高のCMG5の方がかなり小さかった（第21図）。そのうえ、差は大きくなかったが、CMG1 < CMG2, CMG9 > CMG10の大小関係が見られた（第11表）。ただし、ODMPPFD

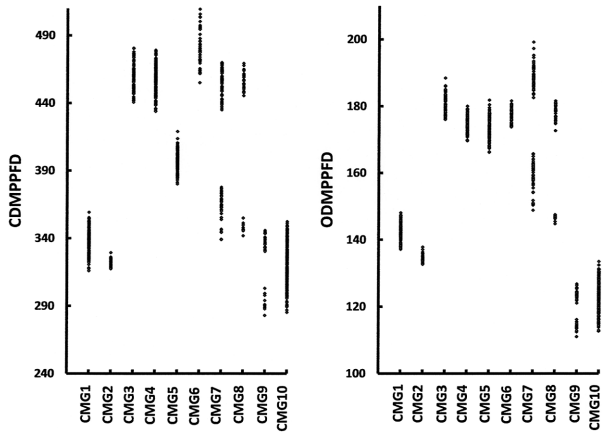


Fig. 20. Scatter diagrams of the CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) of the remained crown models which did not violate the five restrictions in the three PBSs experiment plot (unit:  $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ).

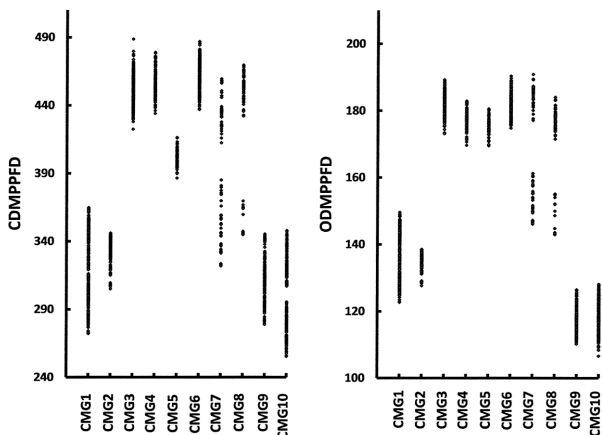


Fig. 21. Scatter diagrams of the CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) of the remained crown models which did not violate the five restrictions in the five PBSs experiment plot (unit:  $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ).

Table 10. The comparisons of the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD and PNLES among the ten crown model groups in the three PSBs experiment plot.

Crown model group	Mean CDM-PPFD	Mean ODM-PPFD	Mean CDM-PN	Mean ODM-PN	Mean LAO	Mean PSLB	Mean MCF-NS	Mean MCF-VD	Mean PNL-ES
	Unit1 <sup>a</sup>	Unit1	Unit2 <sup>b</sup>	Unit2	m <sup>2</sup>	%	block	block	%
CMG1	338.5 f	142.7 e	10.38 e	7.92 c	7.52 d	74.9 f	2.15 e	2.12 d	23.7 f
CMG2	321.7 g	134.6 f	9.98 g	7.68 d	7.69 d	61.6 h	2.74 f	2.40 e	37.5 g
CMG3	459.5 b	180.8 a	12.08 b	8.41 a	1.75 b	95.0 a	1.43 a	1.40 a	5.5 a
CMG4	457.4 b	174.5 bc	12.02 b	8.29 b	1.85 b	88.5 b	1.51 a	1.47 a	11.0 b
CMG5	397.8 e	173.1 cd	11.36 d	8.43 a	0.44 a	78.9 e	1.61 b	2.71 f	21.2 e
CMG6	481.4 a	177.4 ab	12.34 a	8.26 b	0.44 a	72.9 g	1.97 d	1.60 b	24.7 f
CMG7	412.9 d	175.2 bc	11.53 c	8.45 a	2.50 c	80.0 d	1.83 c	1.65 b	15.1 c
CMG8	430.0 c	170.6 d	11.66 c	8.29 b	2.66 c	72.9 g	2.04 de	1.69 b	18.2 d
CMG9	322.9 g	120.9 g	10.15 fg	7.24 f	12.83 f	78.3 e	2.08 e	1.90 c	22.3 ef
CMG10	321.1 g	123.0 g	10.17 f	7.30 e	12.34 e	83.4 c	2.07 e	1.89 c	16.9 d

<sup>a</sup> $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ .

<sup>b</sup> $mg \cdot CO_2 \cdot dm^{-2} \cdot h^{-1}$ .

<sup>c</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

Table 11. The comparisons of the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD and PNLES among the ten crown model groups in the five PSBs experiment plot.

Crown model group	Mean CDM-PPFD	Mean ODM-PPFD	Mean CDM-PN	Mean ODM-PN	Mean LAO	Mean PSLB	Mean MCF-NS	Mean MCF-VD	Mean PNL-ES
	Unit1 <sup>a</sup>	Unit1	Unit2 <sup>b</sup>	Unit2	m <sup>2</sup>	%	block	block	%
CMG1	318.6 g	135.9 e	10.04 g	7.76 e	7.21 e	67.0 i	2.4 f	2.05 e	32.8 g
CMG2	331.1 f	134.5 e	10.14 f	7.69 f	8.16 f	58.8 j	2.9 g	2.30 f	41.6 h
CMG3	451.9 b	182.3 a	12.02 b	8.45 a	1.63 b	92.9 a	1.4 a	1.37 a	6.8 a
CMG4	457.4 ab	177.6 b	12.03 ab	8.36 bc	1.86 bc	88.0 b	1.5 a	1.40 a	10.6 b
CMG5	402.7 d	175.3 b	11.43 d	8.45 a	0.40 a	77.3 f	1.6 b	2.22 f	22.2 d
CMG6	461.0 a	181.8 a	12.12 a	8.39 b	0.44 a	74.6 g	2.0 d	1.71 b	24.5 e
CMG7	392.2 e	168.4 d	11.23 e	8.34 cd	2.14 cd	81.3 c	2.1 e	1.64 b	17.9 c
CMG8	435.5 e	172.0 c	11.74 c	8.31 d	2.49 d	79.8 d	1.8 c	1.70 b	18.0 c
CMG9	313.7 g	117.8 f	9.98 g	7.18 h	12.74 h	73.0 h	2.2 e	1.84 c	25.9 f
CMG10	302.2 h	119.2 f	9.88 h	7.24 g	11.54 g	78.2 e	2.2 e	1.96 d	21.9 d

<sup>a</sup> $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ .

<sup>b</sup> $mg \cdot CO_2 \cdot dm^{-2} \cdot h^{-1}$ .

<sup>c</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.



平均値には樹高の違いによる差は見られなかった (第11表).

### 5) 6本主枝実験区における解析結果

6本主枝実験区でも各樹冠モデル群内にCDMPPFDとODMPPFD大きな分散が見られた (第22図). 特に, 薄形樹冠モデル群 (CMG7とCMG8) では分離が見られた (第22図). ところが, 樹冠モデル群間にはこれを上回る分散が見られ, 6本主枝実験区においても樹冠モデル群間に光環境の大きな違いが見出された (第22図). CDMPPFDの樹冠モデル群平均値にはCMG4 ≥ CMG6 > CMG3 > CMG8 > CMG5 > CMG7 > CMG9 ≥ CMG2 > CMG10 ≥ CMG1の大小関係が認められた (第12表). また, 樹冠形状値の平均値の大小関係はほとんどが4本主枝数実験区に類似した (第12表). 全樹冠モデル群全データの場合, CDMPPFDあるいはODMPPFDとLAO, MCFNS, MCFVDおよびPNLESとの間に高い負の相関が見られた一方, PSLBとの間に高い正の相関が見られた (第9表).

CDMPPFD平均値は中樹高のCMG5に対して低樹高のCMG6の方がかなり大きかった (第22図). 加えて, 差

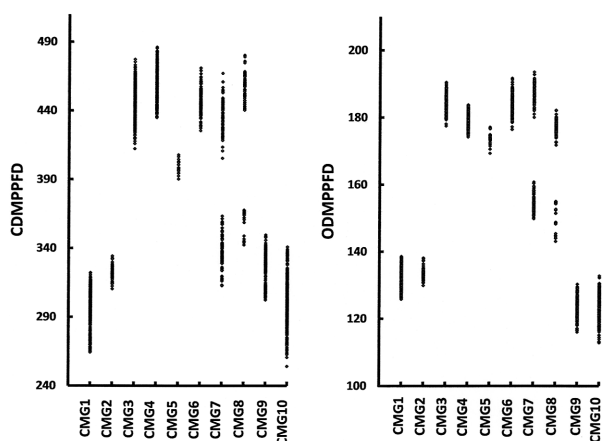


Fig. 22. Scatter diagrams of the CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) of the remained crown models which did not violate the five restrictions in the six PBSs experiment plot (unit:  $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

は大きくなかったが, CMG1 < CMG2, CMG3 < CMG4 およびCMG9 > CMG10の大小関係が見られた (第12表). 一方, ODMPPFD平均値にはCMG5とCMG6を除く多くのケースで樹高の違いによる影響はほとんど見られなかった (第12表).

### 6) 全樹冠モデル群全データにおける光環境, 光合成および樹冠形状値の間の相関行列

主枝数実験区の区別なく, 残存した全ての樹冠モデルにおける光環境, 光合成および樹冠形状値のデータを用いて相関行列を算出した (第13表). その結果, CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPNおよびODMPNの間の相関は非常に高かった (第13表). また, CDMPPFDあるいはODMPPFDとLAOの間に高い負の相関, MCFNS, MCFVDおよびPNLESの間に負の相関およびPSLBの間に正の相関がそれぞれ認められた (第13表). 樹冠形状値のうち, LAOと他の樹冠形状値の間の相関は低かったが, MCFNS, MCFVDおよびPNLESの間には相互に高い正の相関関係が認められた (第13表). 一方, PSLBとMCFNS, MCFVDおよびPNLESの間にはいずれも高い負の相関が認められた (第13表).

Table 12. The comparisons of the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD and PNLES among the ten crown model groups in the six PSBs experiments plot.

Crown model group	Mean CDM-PPFD	Mean ODM-PPFD	Mean CDM-PN	Mean ODM-PN	Mean LAO	Mean PSLB	Mean MCF-NS	Mean MCF-VD	Mean PNL-ES
	Unit1 <sup>1</sup>	Unit1	Unit2 <sup>2</sup>	Unit2	m <sup>2</sup>	%	block	block	%
CMG1	294.7 g <sup>1</sup>	132.0 e	9.68 i	7.69 e	6.80 e	62.7 h	2.60 d	2.28 e	36.1 h
CMG2	322.1 f	133.1 e	10.00 g	7.66 e	7.83 f	56.9 i	2.95 e	2.38 f	42.3 i
CMG3	445.6 b	184.5 a	11.96 b	8.51 a	1.62 b	93.1 a	1.44 a	1.41 a	6.5 a
CMG4	457.8 a	178.5 b	12.04 a	8.38 c	1.91 c	87.2 b	1.47 a	1.37 a	11.8 b
CMG5	398.4 d	173.7 c	11.38 d	8.44 bc	0.37 a	76.0 e	1.67 b	2.11 d	24.3 fg
CMG6	447.4 b	183.7 a	11.97 ab	8.47 b	0.40 a	73.2 g	2.00 c	1.86 c	27.0 g
CMG7	381.1 e	168.8 d	11.10 e	8.37 c	1.87 c	79.8 c	1.96 c	1.81 bc	16.2 c
CMG8	431.1 c	170.0 cd	11.67 c	8.28 d	2.61 d	78.8 d	1.79 b	1.81 bc	18.5 d
CMG9	327.1 f	123.6 f	10.22 f	7.31 g	13.28 h	75.4 f	1.99 c	1.77 b	22.9 f
CMG10	299.2 g	123.6 f	9.86 h	7.36 f	11.56 g	78.8 d	1.95 c	1.82 bc	20.5 e

<sup>1</sup> $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

<sup>2</sup> $\text{mg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ .

<sup>2</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

Table 13. The correlation matrix between CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN and several characteristics of canopy shape of all crown models (n=9,591). The all coefficients of correlation were significant at 5% level.

	CDMPPFD	ODMPPFD	CDMPN	ODMPN	LAO	MCFNS	MCFVD	PNLES	PSLB
CDMPPFD	1	0.944	0.997	0.871	-0.792	-0.706	-0.623	-0.668	0.624
ODMPPFD		1	0.950	0.979	-0.913	-0.652	-0.486	-0.591	0.551
CDMPN			1	0.878	-0.791	-0.734	-0.626	-0.699	0.655
ODMPN				1	-0.937	-0.561	-0.369	-0.484	0.440
LAO					1	0.412	0.190	0.323	-0.343
MCFNS						1	0.711	0.888	-0.816
MCFVD							1	0.790	-0.710
PNLES								1	-0.935
PSLB									1

3. CDMPPFDの序列5位までの樹冠モデルに限定した光環境の比較

2. の第8, 9, 10, 11および12表に記した平均値の比較結果は残存した全ての樹冠モデルのデータを用いたが、この中には光環境が不良なものも含まれた。光環境の改善をもたらす選択枝系列の検出は本研究目的の一つである。そこで、樹冠モデル群別かつ主枝数実験区別にCDMPPFDの序列5位までの樹冠モデルに限定して、選択枝系列、CDMPPFDおよびODMPPFDを列挙した(第14, 15, 16, 17および18表)。なお、光環境の序列を決める際、CDMPPFDの大小をその判断基準にした理由

Table 14. The crown models from the top to the fifth in order of CDMPPFD value in each CMG of the two PSBs experiment plot and their series of the alternatives. The abbreviations of the alternatives refer to Table 2, 3 and 4.

Table with 5 columns: Rank, CMG, Series of the alternatives, CDM-PPFD<sup>y</sup> Mean, ODM-PPFD<sup>y</sup> Mean. It lists various crown models and their corresponding CDMPPFD and ODMPPFD values across different experimental groups (CMG1 to CMG10).

<sup>y</sup>μE·m<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>.
<sup>z</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

は、ODMPPFDに比べて受光強度が格段に大きいためである。次に上述の序列5位までの光環境データを平均し、樹冠モデル群間で比較したところ、このときの平均値の分離は2. に比べ一層鮮明になった。例えば、3本主枝実験区におけるCMG1のCDMPPFD平均値(単位はμE·m<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>)が約355であるのに対し、CMG6のCDMPPFD平均値は約504であり、両者間に顕著な数値差が認められた(第15表)。

上述の序列5位までのCDMPPFD平均値を樹冠モデル群間で比較したところ、主枝数実験区によっては多少前後したものの、おおよそ類似した大小関係が認められ

Table 15. The crown models from the top to the fifth in order of CDMPPFD value in each CMG of the three PSBs experiment plot and their series of the alternatives. The abbreviations of the alternatives refer to Table 2, 3 and 4.

Table with 5 columns: Rank, CMG, Series of the alternatives, CDM-PPFD<sup>y</sup> Mean, ODM-PPFD<sup>y</sup> Mean. It lists various crown models and their corresponding CDMPPFD and ODMPPFD values across different experimental groups (CMG1 to CMG10).

<sup>y</sup>μE·m<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>.
<sup>z</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.



次に、第14, 15, 16, 17および18表に掲載したCDMPPFDとODMPPFDのデータについて、主枝数実験区の区別なく平均し、樹冠モデル群間で比較した（第19表）。以下、この合計25個のデータの平均値を“全体平均値”と表現する。比較結果を見やすくするため、CMG1のCDMPPFD全体平均値を100とし、他の樹冠モデル群のCDMPPFD全体平均値を相対値で表した（第19表および第23図）。その結果、CMG6では約140以上、CMG3とCMG4では約138以上、CMG7とCMG8では約134以上になり、顕著な増大が見られた。この反面、CMG2, CMG9およびCMG10は約100以下であった（第19表お

Table 18. The crown models from the top to the fifth in order of CDMPPFD value in each CMG of the six PSBs experiment plot and their series of the alternatives. The abbreviations of the alternatives refer to Table 2, 3 and 4.

Rank	Series of the alternatives.	CDM-PPFD <sup>y</sup> Mean	ODM-PPFD <sup>y</sup> Mean
1	C6A1K3D6E2H611F5G2P2S8Y6Q4	322.1	137.0
2	C6A1K3D6E2H611F5G2P2S8Y6Q5	321.8	137.1
CMG1	3 C5A1K3D6E3H611F5G2P2S8Y6Q4	320.5	134.0
4	C6A1K3D6E3H611F5G2P2S3Y9Q4	319.1	132.5
5	C5A1K3D6E3H611F5G2P2S8Y6Q5	318.4	133.7
1	C11A1K3D6E2H711F3G2P4S8Y6Q4	334.1	138.2
2	C11A1K3D6E3H211F5G2P4S8Y6Q4	332.8	135.0
CMG2	3 C11A1K3D6E3H711F3G2P4S8Y6Q5	332.5	137.4
4	C11A1K3D6E2H711F3G2P4S8Y6Q5	332.2	137.8
5	C11A1K3D6E3H211F5G2P4S8Y6Q5	332.1	135.2
1	C7A1K3D6E3H611F5G2P2S8Y6Q5	477.2	180.5
2	C6A1K3D6E3H611F5G2P2S3Y9Q4	475.5	180.2
CMG3	3 C6A1K3D6E3H611F5G2P2S3Y9Q5	473.0	181.8
4	C6A1K3D6E3H611F5G2P2S8Y6Q4	471.7	181.5
5	C6A1K3D6E3H611F5G2P2S8Y6Q4	471.6	186.7
1	C11A1K3D6E3H211F3G3P7S3Y6Q4	486.1	176.4
2	C11A1K3D6E2H711F3G3P6S3Y6Q5	485.2	180.0
CMG4	3 C11A1K3D6E3H211F3G3P6S3Y6Q4	483.3	177.6
4	C11A1K3D6E2H711F3G3P6S8Y9Q4	482.9	178.1
5	C11A1K3D6E2H211F3G3P7S3Y6Q4	482.8	176.5
1	C17A1K3D6E2H116F5G2P1S8Y6Q5	407.7	174.1
2	C17A1K3D6E2H116F5G2P1S3Y6Q5	406.4	173.9
CMG5	3 C17A1K3D6E2H116F5G2P1S3Y6Q4	404.5	172.1
4	C17A1K3D6E2H116F5G2P1S3Y6Q4	402.9	173.4
5	C17A1K3D6E2H116F5G2P1S8Y6Q4	402.3	177.2
1	C12A1K3D6E2H416F5G3P1S4Y6Q5	470.9	182.9
2	C12A1K3D6E3H411F3G2P1S3Y9Q5	469.1	179.7
CMG6	3 C12A1K3D6E3H411F3G2P1S3Y6Q4	468.9	181.8
4	C12A1K3D6E3H411F3G2P1S3Y9Q4	466.7	178.9
5	C12A1K3D6E3H411F3G2P1S4Y9Q5	464.4	181.5
1	C7A1K3D6E2H211F3G6P1S8Y6Q5	466.9	187.9
2	C6A1K3D6E3H211F3G6P1S8Y6Q5	460.9	186.3
CMG7	3 C6A1K3D6E2H211F3G6P1S8Y6Q5	460.8	184.6
4	C7A1K3D6E2H211F4G6P1S8Y6Q5	460.7	190.4
5	C7A1K3D6E2H211F4G6P1S8Y6Q4	456.6	190.7
1	C10A1K3D6E3H414F4G6P1S3Y6Q4	480.2	177.9
2	C10A1K3D6E2H414F4G6P1S3Y6Q4	479.0	176.9
CMG8	3 C11A1K3D6E3H414F4G6P1S3Y6Q4	475.8	178.3
4	C11A1K3D6E2H414F4G6P1S3Y6Q4	474.6	177.2
5	C11A1K3D6E3H311F4G6P1S2Y6Q5	468.4	182.2
1	C5A1K3D6E2H611F3G2P4S3Y6Q5	349.6	125.1
2	C6A1K3D6E3H611F3G3P4S8Y6Q4	348.5	129.6
CMG9	3 C5A1K3D6E2H611F5G2P4S3Y6Q5	348.4	124.4
4	C5A1K3D6E2H611F3G2P4S3Y6Q4	348.1	125.5
5	C5A1K3D6E2H611F5G2P4S3Y6Q4	347.8	125.4
1	C18A1K3D6E2H411F3G3P2S3Y9Q4	340.8	128.0
2	C18A1K3D6E3H411F5G2P2S3Y9Q4	339.3	122.6
CMG10	3 C18A1K3D6E2H411F5G3P2S3Y9Q4	338.5	126.2
4	C18A1K3D6E3H411F3G3P2S3Y9Q4	337.7	127.2
5	C17A1K3D6E2H411F3G3P2S3Y9Q4	337.2	125.5

<sup>y</sup>μE・m<sup>2</sup>・s<sup>-1</sup>.

<sup>z</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

び第23図)。また、ODMPPFD全体平均値についても上記同様に相対値で表した（第19表および第23図）。その結果、CMG6では約129以上、CMG3, CMG4およびCMG7では約125以上と増大した反面、CMG9およびCMG10では約90以下であった（第19表および第23図）。

CMG5とCMG6の間およびCMG1とCMG2の間を除き、CDMPPFD全体平均値に及ぼす樹高の影響は見られなかった（第19表および第23図）。また、CMG5とCMG6の間およびCMG9とCMG10の間を除き、ODMPPFD全体平均値は樹高が大きいほど増大したが、その差は僅かであった（第19表および第23図）。

Table 19. The multiple comparisons of the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPPN and ODMPPN between the ten CMGs. These means were calculated using all crown models in the all experiment plots of the PSB number. The relative value was calculated when the value of CMG1 was 100.

CMG	CDM-PPFD	Relative ODM-PPFD value	Relative CD-MPN	Relative OD-MPN	Relative value
	Unit1 <sup>x</sup>	Unit1 <sup>x</sup>	Unit2 <sup>y</sup>	Unit2 <sup>y</sup>	
CMG1	346.2	100.0	142.3	100.0	100.0
CMG2	333.4	96.3	136.4	95.9	97.4
CMG3	477.9	138.1	181.4	127.5	117.6
CMG4	479.2	138.4	178.1	125.1	117.5
CMG5	409.8	118.4	173.3	121.8	110.1
CMG6	488.3	141.1	179.7	126.3	118.8
CMG7	465.7	134.5	184.3	129.5	116.6
CMG8	465.8	134.6	177.0	124.4	116.1
CMG9	345.1	99.7	125.1	87.9	100.3
CMG10	345.3	99.7	126.4	88.9	100.8

<sup>x</sup>μE・m<sup>2</sup>・s<sup>-1</sup>.

<sup>y</sup>mg・CO<sub>2</sub>・dm<sup>-2</sup>・h<sup>-1</sup>.

<sup>z</sup>Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

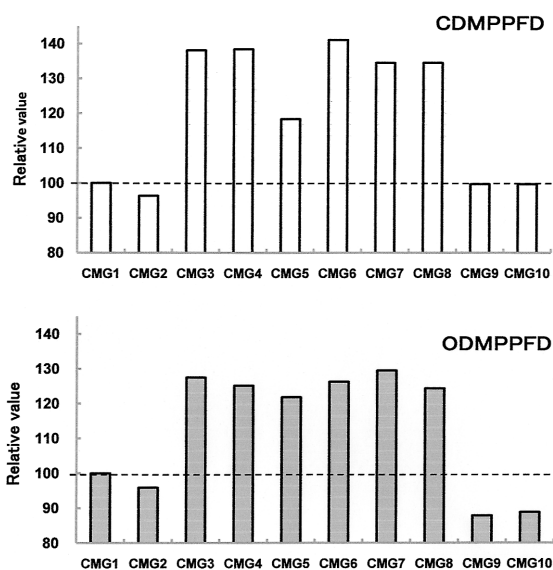


Fig. 23. The relative values of the means of CDMPPFD (upper) and the means of ODMPPFD (lower) between the ten CMGs.

## 考 察

既報（山本，2016）では園地LAIが1.15に相当する1樹当たりの葉ブロック数として656個を用いた。また、その後の研究報告（山本，2017，2018，2020）の中でもこの656個を用いて様々な樹冠モデルの光環境を比較してきた。正確な比較研究には、園地当たりの葉量（あるいは園地LAI）を変えずに実験することが不可欠であるからである。ところで、果樹栽培における指標として園地LAIよりも樹冠占有面積（LAO）当たりの葉面積指数（LAIc）の方が計算しやすい。園地LAIをLAIcに変換するには、園地LAIに（樹間距離×樹列間距離／LAO）の数値を乗ずればよい。園地LAIが1.15であるので、例えば、CMG1のときLAOが8m<sup>2</sup>であればLAIcは3.5になり、CMG5のときLAOが0.4m<sup>2</sup>であればLAIcは5.2になる。

ところで、既報（山本，2016）の中で一度だけ、園地LAIに1.186を用いて解説したが、正確な数値ではなかったことを断っておきたい。既報では複雑な説明を避けるため、（樹間距離×樹列間距離）に目標値（4m×6m）、葉ブロック当たり葉数に15.28枚を用いて説明した。しかしながら、OLEASのプログラムの中では、葉ブロック内葉数は整数値としての15枚、樹間距離×樹列間距離にはその実現値としての4m×6.09mを用いるので、園地LAIの正確な数値は1.149である。園地LAIが1以下では園地LAIの増大により果樹園の純光合成量は急速に増大するが、園地LAIが1以上になると葉層が上下に重なり始め、日陰が生まれるものと考えた。そこで、園地LAIの数値が1を僅かに超えるとき果樹園の純光合成量の増加速度が緩慢に転ずるとする仮定（山本，2014）のもとに、その後の研究報告の中で1.15に設定された経緯がある。しかも、この仮定は本報のCMG1に限定されたもので、本報のように多種多様な果樹園の光環境の研究ではその妥当性については疑問である。ただし、園地LAIを1つの値に固定したうえで比較することは不可欠なため、1.15に設定したことを断っておきたい。

方法の4. に記したように、樹幅や樹高の大きな違いに対応すべく、整枝せん定の選択肢には種々の工夫がなされた。ただし、主枝やユニットの拡大縮小処理がやや機械的に過ぎたなど、これら工夫が必ずしも十分ではなかった。このためか、細形樹冠形モデル群や超細形樹冠形モデル群では、選択肢によっては樹幅制限に抵触するケースが多かったものと考えられる。そのうえ、薄形樹冠

形モデル群では、主枝の発出方角が南北の2つに限られ、さらに、ユニットの回転中心角の増分の選択肢も180°と360°の2つに限られた。東西樹幅が狭いため、これ以外を選択肢を用いれば、東西樹幅制限に抵触する。

前報（山本，2021）では、本報のCMG1に相当する樹冠モデル群を対象に整枝せん定項目内の全ての選択肢による総当たり組み合わせ実験（予備実験）を経たうえで、光環境上位の選択肢に限定して組み合わせ実験（本実験）を行った。しかし、本報では上記の予備実験を省略し、前報の本実験に用いた選択肢を多種多様な樹冠モデル群にそのまま準用した。作業の膨大化の理由からやむを得なかったとはいえ、細形樹冠モデル群や超細形樹冠モデル群などにおける光環境のより一層の改善には、樹冠モデル群ごとの選択肢の細かい検討とともに十分な量の選択肢の組み合わせ実験が必要であると思われる。

結果の2. に記したように、一部の樹冠モデル群に限られたものの、CDMPPFDデータが2つに大きく分離した（第13，19，20，21および22図）。この原因は単純なものと考えられる。本実験では選択肢項目ごと2個ずつの選択肢を設けたことから、設定条件に抵触せず残存した樹冠モデルの中に両方の選択肢が含まれ、かつ、この選択肢項目が光環境の良否に密接であれば、選択肢の違いが強く現れ、分離状態が生じたものと考えられる。

結果の3. に記したように、CMG6，CMG4およびCMG3のCDMPPFD全体平均値（単位は $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）がそれぞれ488.3，479.2および477.9であり、CMG1のCDMPPFD全体平均値の346.2を大きく上回った（第19表）。また、上記数値は前報（山本，2021）の樹冠モデル群（本報のCMG1に相当）におけるCDMPPFDの最大値の370を大きく上回った。さらに、CDS法によらず幾何学的手法を用いて作成した様々な樹冠形における光環境解析結果（山本，2016）を上記数値と比較してみよう。この解析では、合計29種類の樹冠形（合計528樹冠形）を作成し、本報と全く同じ条件でCDMPPFDなどを算出した。これらのうち光環境が最も良好であった類型（異なる樹冠形の南北組み合わせ）のCDMPPFD平均値は444.1で、その最大値は水平棚と双曲線棚を南北に組み合わせた場合の458.7であった。また、2番目に良好であった類型（棚状連続体）のCDMPPFD平均値は428.7で、その最大値は水平棚の480.4であった（山本，2016）。したがって、本報のCMG6，CMG4およびCMG3におけるCDMPPFD全体平均値は既報（山本，2016，2020）の数

値と比較しても遜色ないものと考えられる。以上のことから、立ち木仕立てでも樹幅が小さい方が光環境を大きく改善できるものと考えられる。

第13表の相関関係は上述の光環境改善機構を明らかにするための手掛かりになる。晴天曇天を問わず、樹冠表面葉層の割合が高いほど光環境が良好なことは直観的に分かるが、本報はこのことを定量的に裏付けた。つまり、葉ブロック総数に占める樹冠表面葉ブロック数の割合を示すPSLBが大きいほど光環境は良好になった（第13表）。そして東西樹幅が小さいほど、あるいは東西樹幅と南北樹幅がともに小さいほどPSLBが増大したからである（第17図および第7, 8, 10, 11および12表）。さらに、樹冠内部葉層の割合が高いほど光環境が悪化することは直観的に分かるが、本報はこのことを定量的に裏付けた。つまり、周囲を葉ブロックで囲まれた葉ブロック数の全葉ブロック数に占める割合を示すPNLESが大きいほど光環境は悪化した（第13表）。そして樹幅が大きくなるほどPNLESは増大したからである（第18図、第7, 8, 10, 11および12表）。ただし、超太形樹冠モデル群のように極めて太くなると樹冠には隙間が多くなるため、PNLESはさほど増大しなかった（第18図）。葉層が連続して存在すれば光環境が悪化することも直観的に分かるが、本報はこのことを定量的に裏付けた。つまり、縦方向あるいは南北方向に連続する葉ブロック数の平均値を示すMCFVDあるいはMCFNSが大きいほど光環境が悪化した（第15および16図および第7, 8, 10, 11および12表）。上述のことから、樹幅が小さいほど陰部分が減少し、光環境が顕著に改善するものと考えられる。

樹冠占有土地面積（LAO）に対してCDMPPFDやODMPPFDは全樹冠モデル群では負の相関関係、個々の樹冠モデル群内では正の相関関係が見られた（第14図）。後者の理由として、1樹割り当て土地面積および葉量が等しい条件下、LAOが大きいほど葉層が上下に重ならず、割り当て土地面積いっぱいには拡がり、投射光の地面到達量が減少するものと解釈された（山本, 2021）。前者の場合、樹幅の違いがLAOの数値レベルに直接影響し、結果的に負の相関関係が現れたものと考えられる。

樹冠形状値は異なる切り口を用いて算出される1意性の数値である（山本, 2015, 2016）。しかも、MCFNS, MCFVD, PNLESおよびPSLBの間に互いに高い相関関係が存在した（第13表）。このことから、樹幅が減少するにつれてMCFNS, MCFVD, PNLESは連動して小さ

くなり、PSLBは連動して大きくなり、CDMPPFDが増大するものと考えられる。

ところで、上述の樹冠形状値は1樹における葉ブロックの積木構造（ソリッドモデル）を対象に計算するものであり（山本, 2015）、この計算過程は隣接樹、隣接樹列および園道と独立している。よって、本実験結果におけるCDMPPFDあるいはODMPPFDの大小には上記の樹冠形状値以外の要因も排除できない。本報のように南北樹列並木植えの場合、東西樹幅が大きいほど作業用車両は大型化すると考えられる。よって、本実験では、各樹冠モデル群に対応した園道幅員を組み合わせた。これらの園道幅員が妥当であるかどうかについては議論が分かれるだろう。今後、園道幅員の違いが果樹園の光環境に及ぼす影響についても調査したい。

超細形樹冠群のCDMPPFD平均値は中樹高（CMG5）より低樹高（CMG6）の方が大きかったが、ODMPPFD平均値にはこの傾向は弱かった（第13, 19, 20, 21および22図）。この理由として以下のことが考えられる。超細形樹冠群は樹間距離が短い樹列に沿って林立状になる。これらのソリッドモデル図は壁状を呈し（第10図）、園道も狭いため、東あるいは西からの直射光をさえぎる。このとき、隣接樹列に及ぶ陰は低樹高より中樹高の方で長くなり、上述のCDMPPFD平均値の差をもたらしたものと考えられる。陰がはっきりしない曇天日にはこの傾向は薄まったものと考えられる。園道が狭い薄形樹冠モデル群のCMG7とCMG8の間にも上記と同じことが考えられるが、これらの樹冠形図やソリッドモデル図を見て分かるように（第11図）、樹間距離が大きいので隙間が多くなり、樹高の違いによる影響はさほど大きくならなかったものと考えられる。

開心形や変則主幹形の樹に比べ放任樹や大木（主幹形）の樹冠内部が暗いこと、あるいは、成木に比べ幼木の樹冠内部が明るいことはよく経験する。ただし、これらは個々の樹を観察したときの直観的な判断であり、この判断を果樹園全体としての光環境に当てはめることは危険であろう。なぜならば、1樹当たり葉量は前者では非常に多く、後者では非常に少ないからである。定量的判断を下すためには、果樹園の葉量を等しくしたうえで光環境を数量的に比較せねばならない。しかしながら、この条件を守りながら樹高や樹幅を変えて果樹園の光環境や光合成を比較した研究例はほとんど見当たらない。西欧のせん定システムや樹形の紹介例（福田, 1989；菊

池, 1979a, 1979b, 1979c), 樹形やせん定システムの研究例 (荒木・藤原, 1993; 荒川ら, 1995; Chalmer・Ende, 1988; 文室・村田, 1987; 倉橋, 1997; 倉橋・高橋, 1995; Richard・Barden, 1982; Robinsonら, 1990; 塩崎ら, 1988; Smith, 1991; Wagenmakers, 1989; Widmer, 1992), 樹種別の樹形やせん定システムの総説 (福井, 1984; 木戸, 1996; 北野, 1995; 向井, 2004; 村松, 2000; 中村, 1995; 沖嶋, 1998; Robinsonら, 1991) あるいは果樹精農家による栽培法の紹介例 (農文協編, 2002, 2006, 2007a, 2007b, 2008a, 2008b, 2008c, 2009a, 2009b, 2009c) の中でも果樹園の光環境や光合成の比較例は極めて少ない。これらの実測が困難なためか, 大抵は収量の比較にとどまっている。果実収量と果樹園の光環境や光合成の良否は無関係ではない。しかし, 果実収量には, 用いた台木, 品種などの実験材料, 結実管理法, 肥培管理法, 気象土壌条件などの多くの要因も関係するため, 果実収量の比較結果で光環境の良否を代用することは危険である。とりわけ, 栽培者自身による紹介例には肥培管理などの面で企業秘密ともいふべき「隠し技」があるため注意が必要である。上記のことから, 本報の結果は, モデル手法を用いたとはいえ, 果樹園の葉量を等しくした条件下で樹高や樹幅を変えながら果樹園の光環境や光合成を数量的に比較した初めての研究といえよう。その結果, 立ち木仕立てにおいても全方向の樹幅を小さくする, あるいは樹列に垂直方向の樹幅を小さくすることで光環境が顕著に改善することを明らかにした。また, 樹を低くしても光環境はほとんど悪化しないことを明らかにした。これらの知見は果樹の物質生産の研究における中心的な部分の一つであり, また, 高品質果実の多収かつ安定的生産にとって有意義なものと思われる。

筆者は以前から立ち木仕立てでも全方向の樹幅を小さくすることあるいは樹列に垂直方向の樹幅を小さくすることで光環境が大きく改善できると考えていた。とはいえ, 筆者のこれまでの研究では, 以下の理由から慣行栽培の樹冠モデル (本報のCMG1に相当) の研究を先行した (山本, 2017, 2018, 2020, 2021)。我が国では慣行栽培がまだ圧倒的に多く存在することに加え, 慣行栽培の強みは生産の安定性にあると考えたからである。我が国果樹農業従事者の超高齢化や後継者難に伴い省力化が強く求められる中, 樹幅を小さくすることあるいは樹高を低くすることが取り組まれている。しかし, これに伴い様々な課題, 例えば, トレリスなどの資材や多数の苗木

代のコスト, 樹をコンパクトに維持するための夏季せん定労力, 根量が少ないため収量が不安定になりやすい問題, かん水設備などの経費負担などが指摘されている (中央果実協会, 2018)。

本実験はモデル手法とはいえ, 果樹園内の葉量を等しくしたうえで, 全葉, 全時刻の光環境や光合成を晴天日, 曇天日の両者にわたり, 数量的に算出したものである。本報における全作業にはデスクトップ型パソコン (Intel® core (TM) i3-2120 CPU @3.30GHz) を用いて正味数か月を要したが, たかだか数か月である。仮に実際の樹を用いて光環境や光合成の実測が可能であるとしても, これと同等なことを行うには計り知れないほどの時間, 労力, 経費, 土地面積を要する。さらに, 上記実測が実質的に不可能であることも併せて考えれば, 本報で用いたモデル手法は有効かつ効率的な研究手法ではないだろうか。

## 摘 要

園地当たりの葉量が等しい条件下において, 樹幅および樹高の違いが果樹園の光環境に及ぼす影響を調査するため, モデル手法を用いて以下の実験を行った。4段階の樹幅と3段階の樹高および整枝せん定の様々な選択肢を用いて, 以下の10種類の樹冠モデル群を作成した。すなわち, 太形中樹高樹冠モデル群 (CMG1), 太形低樹高樹冠モデル群 (CMG2), 細形中樹高樹冠モデル群 (CMG3), 細形低樹高樹冠モデル群 (CMG4), 超細型形中樹高樹冠モデル群 (CMG5), 超細形低樹高樹冠モデル群 (CMG6), 薄形中樹高樹冠モデル群 (CMG7), 薄形低樹高樹冠モデル群 (CMG8), 超太形中樹高樹冠モデル群 (CMG9) および超太形高樹高樹冠モデル群 (CMG10) である。さらに, 各樹冠モデル群に対応して妥当と考えられる1種類の園道を設置した。また, 1樹当たりの葉ブロック数を加減することで, 全ての樹冠モデル群の園地LAIを等しくできた。CDS法により, 合計46,080個の樹冠モデルを設計した。各樹冠モデル群の樹高制限, 東西樹幅制限, 南北樹幅制限および1樹当たり葉ブロック数の上限と下限の合計5個の条件に抵触せず残存した樹冠モデルは9,591個であった。これらを対象に既報 (山本, 2015, 2016) に準じた方法で光環境, 光合成および樹冠形状値を解析した。その結果, 樹冠モデル群間に光環境の大きな違いが見出された。例えば, 4本主枝実験区におけるCDMPFFD (晴天日の全葉・全時刻の葉面PPFD

の平均値)の樹冠モデル群の平均値には、 $CMG3 \geq CMG4 \geq CMG6 > CMG8 > CMG7 \geq CMG5 > CMG1 \geq CMG9 \geq CMG2 > CMG10$ の大小関係が認められ、他の主枝数実験区にもほぼ似たような結果が得られた。CDMPPFD平均値の序列と樹冠形状値平均値の序列を比較した結果、両者間には密接な対応関係が見られた。つまり、樹幅が小さいほど樹冠表面の葉層の割合が高くなり、樹冠内部の日陰の葉層が減少することで、立ち木仕立てでも棚仕立て並の光環境の改善が見出された。また、光環境を改善するための整枝せん定の選択枝系列を入手できた。次に、主枝数実験区の区別なくCDMPPFD序列5位までの樹冠モデルのCDMPPFD平均値(全体平均値)を比較した。CMG1のCDMPPFD全体平均値を100(相対値)としたとき、CMG6では約140以上、CMG3とCMG4では約138以上、CMG7とCMG8では約134以上のように顕著に増大した反面、CMG2、CMG9およびCMG10では約100以下であった。しかし、CDMPPFDの全体平均値に及ぼす樹高の影響はCMG5とCMG6の間の関係を除き大きくなかった。

#### 引用文献

- 荒川 修・塩崎雄之輔・菊池卓郎. 1995. マルバカイドウ台木リンゴ‘ふじ’弘大方式半密植主幹形樹の樹冠内光条件と果実分布. 園学雑. 63: 711 - 718.
- 荒木 齊・藤原俊一. 1993. クリの低樹高整枝・せん定と樹冠間隔が園地の生産構造並びに収量と果実重に及ぼす影響. 近畿中国農研. 96: 13 - 24.
- Chalmer, D. J. and B. Van Den, Ende. 1988. Tatura trellis peaches productivity over fifteen years. *Acta Horticulturae*. 254: 303 - 306.
- 中央果実協会. 2018. 平成29年度省力樹形新たな果樹生産技術調査報告書. 中央果実協会調査資料. No. 246: 1 - 99.
- 福田博之. 1989. リンゴわい化栽培におけるスピンドル樹形の歴史. 農業および園芸. 64: 1178 - 1186.
- 福井正夫. 1984. II. 整枝法. 加除式農業技術体系果樹編5. キウイ. p. 基51 - 基58. 農文協. 東京.
- 文室政彦・村田隆一. 1987. 低樹高密植カキ園の整枝法(第2報)整枝法による葉量と光透過及び枝梢の成長の差異. 滋賀農試研報. 28: 78 - 84.
- 木戸啓二. 1996. II. 仕立て方と整枝・せん定. 加除式農業技術体系果樹編3. 西洋ナシ. p. 技45 - 技51
- の5. 農文協. 東京.
- 菊池卓郎. 1979a. 西欧のリンゴ密植栽培(1). 農業および園芸. 54: 41 - 43.
- 菊池卓郎. 1979b. 西欧のリンゴ密植栽培(2). 農業および園芸. 54: 307 - 310.
- 菊池卓郎. 1979c. 西欧のリンゴ密植栽培(3). 農業および園芸. 54: 408 - 414.
- 北野励信. 1995. II. 仕立て方の種類と方法. 加除式農業技術体系果樹編6. ウメ. p. 技63 - 技68. 農文協. 東京.
- 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.
- 倉橋孝夫. 1997. リンゴのY字形棚整枝における物質生産と栽培法に関する研究. 島根県農業試験場研究報告. 31: 1 - 59.
- 向井武男. 2004. II. 各整枝法の特徴. 加除式農業技術体系果樹編3. ナシ. p. 技181 - 技190. 農文協. 東京.
- 村松久雄. 2000. II. 仕立て方の種類と特性. 加除式農業技術体系果樹編4. ビワ. p. 技74 - 技78. 農文協. 東京.
- 中村 一. 1995. II. 樹形構成と仕立て方. 加除式農業技術体系果樹編6. モモ. p. 技117 - 技124. 農文協. 東京.
- 農文協編. 2002. 精農家のクリ栽培技術. 加除式農業技術体系果樹編5. クリ. p. 秋田・門脇1 - 熊本・山本9. 農文協. 東京.
- 農文協編. 2006. 精農家のオウトウ栽培技術. 加除式農業技術体系果樹編4. オウトウ. p. 北海道・佐藤1 - 鹿児島・富永8. 農文協. 東京.
- 農文協編. 2007a. 精農家のイチジク栽培技術. 加除式農業技術体系果樹編5. イチジク. p. 千葉・岡田1 - 福岡・末永6. 農文協. 東京.
- 農文協編. 2007b. 精農家のビワ栽培技術. 加除式農業技術体系果樹編4. ビワ. p. 千葉・穂積1 - 沖縄・島田6. 農文協. 東京.
- 農文協編. 2008a. 精農家のモモ栽培技術. 加除式農業技術体系果樹編6. モモ. p. 山形・山口1 - 愛知・林10. 農文協. 東京.
- 農文協編. 2008b. 精農家のウメ栽培技術. 加除式農業技術体系果樹編6. ウメ. p. 宮城・我妻1 - 福島・



- 松本11. 農文協. 東京.
- 農文協編. 2008c. 精農家のリンゴ栽培技術. 加除式農業技術体系果樹編1. リンゴ. p. 北海道・松田1－岐阜・空野9. 農文協. 東京.
- 農文協編. 2009a. 精農家のカキ栽培技術. 加除式農業技術体系果樹編4. カキ p. 山形・三浦1－熊本・坂本10. 農文協. 東京.
- 農文協編. 2009b. 精農家のブドウ栽培技術. 加除式農業技術体系果樹編2. ブドウ. p. 北海道・佐藤1－鹿兒島・富永8. 農文協. 東京.
- 農文協編. 2009c. 精農家のナシ栽培技術. 加除式農業技術体系果樹編3. ナシ. p. 福島・円谷1－佐賀・高田12. 農文協. 東京.
- 沖嶋秀史. 1998. 樹形のタイプと仕立て方. 加除式農業技術体系果樹編4. カキ. p. 技105－技111. 農文協. 東京.
- Richard, P. M. and J. A. Barden. 1982. Light penetration on overcast and clear days, and specific leaf weight in apple trees as affected by summer or dormant pruning. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107 : 39 – 43.
- Robinson, T. L., W. F. Miller, J. A. Thorpe, S. G. Carpenter and A. N. Lakso. 1990. Mechanical harvestability of Y-shaped and pyramid-shaped 'Empire' and 'Delicious' apple trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115 : 368 – 374.
- Robinson, T. L., A. N. Lakso, and Z. B. Ben. 1991. Modeling apple tree canopies for improved production efficiency. *HortScience.* 26 : 1005 – 1012.
- 塩崎雄之助・菊池卓郎・今満・藤井明彦・三上道彦. 1988. マルバカイドウ台リンゴ半密植栽培の技術確立に関する研究. 弘前大学農学部学術報告. 49 : 22 – 33.
- Smith, M. W. 1991. Influence of tree spacing on performance of 'Garnet Beauty' peach. *Scientia Horticulturae.* 48 : 51 – 60.
- Wagenmakers, P. S. 1989. Productivity, growth and light interception in the ISHS planting systems trial in the Netherland. *Acta Horticulturae.* 243 : 249 – 252.
- Widmer, A. 1992. Effect of training systems on yield and fruit quality in pear (*Pyrus communis L.*). *Erwerbsobstbau.* 34 : 156 – 163.
- 山本隆儀. 1999. 果樹園の光環境解析システム (OLEAS). 山形大学紀要 (農学) 13 : 89 – 116.
- 山本隆儀. 2014. 二つのシミュレーションモデルと純光合成速度推定式を用いたリンゴ園の光環境と光合成の動態に関する研究. 山形大学紀要 (農学) 17 : 51 – 84.
- 山本隆儀. 2015. 仕立て方法および樹冠の形状に関する特性値の違いがリンゴ園の光環境に及ぼす影響—モデル手法を用いた解析例—. 山形大学紀要 (農学) 17 : 153 – 185.
- 山本隆儀. 2016. 樹冠内葉層分布形の3次元構造と果樹園の光環境の関係—モデル手法を用いた解析例—. 山形大学紀要 (農学) 17 : 227 – 259.
- 山本隆儀. 2017. 葉量を変えない条件下の樹冠の部分的変形が果樹園の光環境に及ぼす影響—モデル手法を用いた解析例—. 山形大学紀要 (農学) 17 : 333 – 363.
- 山本隆儀. 2018. 樹冠形の違いおよび樹冠形の部分的変形が果樹園光合成に及ぼす影響—モデル手法と純光合成速度推定式を用いた解析例—. 山形大学紀要 (農学) 18 : 31 – 53.
- 山本隆儀. 2020. 果樹の整枝せん定における選択枝と樹冠設計システム (CDS) を用いた多様な樹冠モデルの作成. 山形大学紀要 (農学) 18 : 157 – 189.
- 山本隆儀. 2021. 立木仕立て果樹における整枝せん定の選択枝が果樹園の光環境に及ぼす影響—モデル手法を用いた解析例—. 山形大学紀要 (農学) 18 : 287 – 320.