

立木仕立て果樹における整枝せん定方法の選択肢が 果樹園光環境に及ぼす影響 —モデル手法を用いた解析—

山本隆儀

山形大学名誉教授

(令和2年5月28日受付・令和2年11月17日受理)

Effects of Alternatives in Training-Pruning Procedures of Fruit Trees on Light Environments in Orchards: Analytical Results Using Model Methods

Takanori YAMAMOTO

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

(Received May 28, 2020 · Accepted November 17, 2020)

Summary

In the previous paper (Yamamoto, 2020), by combining many alternatives concerning training - pruning procedures, a large number of crown models were designed using the crown design system (CDS). In the present study, light environment, photosynthesis and characteristics of canopy shape in those models were compared between the alternatives (Experiment 1). The alternatives were classified into three grades with respect to efficiency to improve the light environment, viz., high, medium and low. Tree crown models were designed newly by combining the alternatives as all-play-all within each grade and analyzed to find out ideal crown models to improve the light environment (Experiment 2). As the results of Experiment 1, the next cases may be effective for the improvement, namely, the increment of central angle of the primary scaffold branches (PSBs) being equal to “360 degree / number of the PSBs”, the trunk being long, the first PSB emerging out of the south side of the crown, the PSBs branching with wide angles, the compound units of stems after secondary scaffold branches (units) being big in size, the units branching with narrow angles and the units rising horizontally at both sides of the PSB. But, some problems such as overreaching the allocated space and shortage or excess of the leafy blocks occurred. Especially, these were remarkable in the case of two PSBs. As the results of Experiment 2, the upper limit of daily mean PPFd at leaf surface on a clear day (CDMPPFD) distributed in a range of about 345–370 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, and that on an overcast day (ODMPPFD) did in a range of about 143–150 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The lower limit of the CDMPPFD distributed in a range of about 250–260 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ and that of ODMPPFD did in a range of about 115–118 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The alternative series necessary to construct tree crown models for the favorable light environment were found.

Key words : characteristics of canopy shape, crown design system (CDS) , land area occupied by a crown, photosynthesis in orchard, tree form

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)。このための研究には、数多くの樹冠を対象に、1樹に割り当てた空間の寸法、葉量、

投射光強度などの諸条件を等しくしたうえで光環境を比較することが求められる。だが、実際の樹冠を用いた光環境の計測や多数樹冠の準備は極めて困難である(山本, 1999, 2014, 2015, 2016)。

上記のことから、筆者はこれまで、計算機を用いて多種多様な樹冠モデルを作成し、果樹園光環境などを比較

した(山本, 2016, 2017). けれども, 上記の研究対象に用いた樹冠モデルは, 3次元の仮想グリッドを用いた幾何学的手法により作成したものにすぎなかった. そのため, 上述の研究成果を整枝, せん定などの栽培技術に十分結びつけることはできなかった. そこで研究を一步進めるために, 前報(山本, 2020)で, 整枝せん定の選択枝を用いた樹冠設計システム(以下, CDS)を新たに開発した. そのうえで, CDSを用いて多様な樹冠モデルを作成した(山本, 2020).

本報では, 前報で作成した樹冠モデルを用いて, 光環境, 光合成および樹冠形状値の解析を行い, 選択枝の間で光環境などを比較した. この比較結果をふまえ, 次に, 整枝せん定処理の各項目における選択枝を光環境改善効果が高, 中および低の3段階に分けた. そのうえで, 各段階に属する選択枝群に限定して, 選択枝の総当たり組み合わせ実験を行い, 光環境良好な樹冠モデルを構築するための選択枝系列を見出そうとした. 本報は前報(山本, 2020)の続報である.

材料および方法

1. 整枝せん定の選択枝

整枝せん定の選択枝については, 前報(山本, 2020)に詳しく記した. 選択枝の設定方法などの詳細については前報(山本, 2020)を参照していただきたい. ここでは主幹, 主枝および亜主枝以降の枝葉複合体ユニット(以下, ユニット)における各項目と個々の選択枝に関して再確認しておく.

主幹の項目には, 長さ(項目記号はC, 以下同様), 傾斜角度(A)および傾斜方位(L)の3項目を設けた(第1表). 主枝の項目には, 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増分(G)の6項目を設けた(第2表). ユニットの項目には, 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3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る. 空間座標の原点に垂直に立てた状態の親枝から子枝が発出する方向について天頂を見上げながら北方位から反時計回りに測った角度である(山本, 2020). また, 上述の選択枝における分布形とは, 親枝の長さを基部, 中間部および先端部の3部分に均等に分け, この3部分における選択枝に関連した数値の分布を示した(山本, 2020). この場合, 子枝数を3等分し, 割り切れたときは上記の分布形に対応して3部分に対応する選択枝を割り振ったが, 割り切れなかったときは基部側を優先して割り振った. ただし, 子枝数が2本のときは中間部を無視した. それから, 親枝の先端には必ず子枝を発出させた(山本, 2020). 以下, 各項目に含まれる選択枝と選択枝

Table 1. The list of the abbreviations (Ab.) of alternatives concerning the trunk. The azimuth shows an angle measured from the z coordinate axis in the counterclockwise.

Trunk length		Inclination angle		Inclination direction		Azimuth	
(cm)	Ab.	(°)	Ab.		(°)	Ab.	
40	C1	90	A1	E	90	L1	
70	C2	80	A2	SE	135	L2	
100	C3	70	A3	S	180	L3	
130	C4	60	A4	SW	225	L4	
160	C5	50	A5	W	270	L5	
190	C6			NW	315	L6	
210	C7			N	0	L7	
				NE	45	L8	

Table 2. 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.

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 (cm)	Tip	Ab.	Base	Mid	Tip	Ab.	Base	Mid	Tip	Ab.	(°)	Ab.	(°)
2	D2	35	35	35	H1	Equal interval	E1	80	80	80	11	90	F1	60	G1	
3	D3	60	60	60	H2	A little sparser as the tip	E2	60	60	60	12	270	F2	72	G2	
4	D4	100	100	100	H3	Very sparser as the tip	E3	40	40	40	13	180	F3	90	G3	
5	D5	100	60	35	H4	A little denser as the tip	E4	80	60	40	14	0	F4	120	G4	
6	D6	35	60	100	H5	Very denser as the tip	E5	40	60	80	15	135	F5	144	G5	
		100	60	100	H6			40	80	40	16	225	F6	180	G6	
		60	100	60	H7			80	40	80	17	45	F7	51	G7	
												315	F8	30	G8	

記号について順に説明する (第1, 2および3表).

1) 主幹長の選択肢

主幹長 (C) の選択肢には40cm (選択肢記号はC1, 以下同様), 70cm (C2), 100cm (C3), 130cm (C4), 160cm (C5), 190cm (C6) および210cm (C7) の7種類を設けた (第1表).

2) 主幹傾斜角度の選択肢

主幹傾斜角度 (A) の選択肢には90° (A1, 直立), 80° (A2), 70° (A3), 60° (A4) および50° (A5) の5種類を設けた (第1表).

3) 斜立主幹における主幹傾斜方位の選択肢

斜立主幹の主幹傾斜方位 (L) の選択肢には東 (L1), 南東 (L2), 南 (L3), 南西 (L4), 西 (L5), 北西 (L6), 北 (L7) および北東 (L8) の8種類を設けた (第1表).

4) 主枝本数の選択肢

主枝本数 (D) の選択肢には2本 (D2), 3本 (D3), 4本 (D4), 5本 (D5) および6本 (D6) の5種類を設けた (第2表).

5) 主枝長分布形の選択肢

主枝長には35cm (短い主枝), 60cm (中位の長さの主枝) および100cm (長い主枝) の3種類を準備した (第1表). 主幹を上述のように3部分に分け, 主枝長分布形 (H) の選択肢にはいずれの部分も短い (H1), いずれの部分も中位の長さ (H2), いずれの部分も長い (H3), 基部側ほど長い (H4), 先端部側ほど長い (H5), 基部側と先端部側は長く, 中間部は中位の長さ (H6) および基部側と先端部側は中位の長さで中間部は長い (H7) の7種類を設けた (第2表).

6) 主枝発出間隔分布形の選択肢

主枝発出間隔分布形の選択肢 (E) には, 等間隔 (E1),

頂部側ほどやや疎になる (E2), 頂部側ほど極めて疎になる (E3), 頂部側ほどやや密になる (E4) および頂部側ほど極めて密になる (E5) の5種類を設けた (第2表). 地面から第1主枝までの距離は全て40cmとした.

7) 主枝分岐角度分布形の選択肢

主枝分岐角度には広角度 (80°), 中位の角度 (60°) および狭角度 (40°) を準備した. 主枝分岐角度分布形 (I) の選択肢には上述の3部分について, いずれの部分も広角度 (I1), いずれの部分も中位の角度 (I2), いずれの部分も狭角度 (I3), 基部側ほど広い (I4), 基部側ほど狭い (I5), 基部側と先端部側は狭角度, 中間部は広角度 (I6) および基部側と先端部側は広角度, 中間部は狭角度 (I7) の7種類を設けた (第2表).

8) 第1主枝の回転中心角の選択肢

第1主枝の回転中心角 (F) の選択肢には, 90° (F1), 270° (F2), 180° (F3), 0° (F4), 135° (F5), 225° (F6), 45° (F7) および315° (F8) の8種類を設けた (第2表).

9) 主枝の回転中心角の増分の選択肢

主枝の回転中心角増分 (G) の選択肢には, 60° (G1), 72° (G2), 90° (G3), 120° (G4), 144° (G5), 180° (G6), 51° (G7) および30° (G8) の8種類を設けた (第2表).

10) ユニットタイプの選択肢

ユニットタイプの選択肢 (K) には, その形状が3又状 (K1), 2又状のもの (K2), 円錐状 (K3), 棒状 (K4) および板状 (K5) の5種類を設けた (第3表).

11) ユニットの発出間隔分布形の選択肢

ユニットの発出間隔分布形の選択肢 (Q) には, 等間隔 (Q1), 頂部側ほど極めて疎 (Q2), 頂部側ほどやや疎 (Q3), 頂部側ほど極めて密 (Q4) および頂部側ほどやや密 (Q5) の5種類を設けた (第3表). 主枝基部から第1

Table 3. The list of the abbreviations (Ab.) of alternatives concerning the units. The central angle shows an angle measured from 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.

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 trifold	K1	Equal interval	Q1	Small	Small	Small	P1	80	80	80	S1	60	Y1
Like advancer	K2	Very sparser as the tip	Q2	Middle	Middle	Middle	P2	60	60	60	S2	72	Y2
Like spindle	K3	A little sparser as the tip	Q3	Large	Large	Large	P3	40	40	40	S3	90	Y3
Like pole	K4	Very denser as the tip	Q4	Large	Middle	Small	P4	80	60	40	S4	120	Y4
Like plate	K5	A little denser as the tip	Q5	Small	Middle	Large	P5	40	60	80	S5	144	Y5
				Middle	Large	Small	P6	40	80	60	S6	180	Y6
				Middle	Small	Large	P7	60	80	40	S7	Like "V" with 60°	Y7
								80	40	60	S8	Like "V" with 90°	Y8
								60	40	80	S9	Lke "V" with 120°	Y9

ユニットまでの距離は全て20cmとした。

12) ユニット大きさ分布形の選択肢

ユニットの大きさ分布形 (P) の選択肢には上述の3部分について、いずれの部分も小さい (P1)、いずれの部分も中位の大きさ (P2)、いずれの部分も大きい (P3)、基部側ほど大きい (P4)、先端部側ほど大きい (P5)、基部側は中位の大きさ、中間部は大きい、先端部側は小さい (P6) および基部側は中位の大きさ、中間部は小さい、先端部側は大きい (P7) の7種類を設けた (第3表)。

13) ユニット分岐角度分布形の選択肢

ユニット分岐角度には広角度 (80°)、中位の角度 (60°) および狭角度 (40°) を準備した。ユニット分岐角度分布形 (S) の選択肢には、いずれの部分も広角度 (S1)、いずれの部分も中位の角度 (S2)、いずれの部分も狭角度 (S3)、基部側ほど広い (S4)、基部側ほど狭い (S5)、基部は狭角度、中間部は広角度、先端部は中位の角度 (S6)、基部は中位の角度、中間部は広角度、先端部は狭角度 (S7)、基部は広角度、中間部は狭角度、先端部は中位の角度 (S8) および基部は中位の角度、中間部は狭角度、先端部は広角度 (S9) の9種類を設けた (第3表)。

14) ユニットの回転中心角の与え方の選択肢

ユニットの回転中心角の与え方の選択肢 (Y) については、回転中心角の増分を用いたものおよび強制的に与えたものに大別した (第3表)。前者の回転中心角増分の選択肢 (Y) として、増分が60° (Y1)、72° (Y2)、90° (Y3)、120° (Y4)、144° (Y5) および180° (Y6) の6種類の選択肢を設けた (第3表)。後者には、主枝上のユニットの発出順番に沿って、交互に上方にV字状に並ぶようにしたもので、V字の狭角が60° (Y7)、90° (Y8) および120° (Y9) の3種類の選択肢を設けた (第3表)。

2. 光環境関連データ、光合成関連データおよび樹冠形状値の算出方法

樹冠モデルの葉ブロック3次元配列データを用いて、光環境関連データ、光合成関連データおよび樹冠形状値のデータを算出した。

光環境関連データはOLEAS (山本, 1999) を用いて算出した。既報 (山本, 2014, 2015, 2016) と同様、樹列を南北方向に取り、樹間距離4mおよび樹列間距離6mとして、同一の形状の樹を並木植えに配植した果樹園を対象とした。また、解析対象時期は光環境が悪化する夏季 (山本, 2014) 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を算出した。上記データを用いて葉面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。

光合成関連データの算出方法は既報 (山本, 2014, 2018) に準じた。8月下旬1日における個葉Pnについて、葉面PPFDと同様、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。

樹冠形状値関連データの算出方法は既報 (山本, 2015, 2016) に準じた。本報では光環境の良否に密接な、以下の6個の樹冠形状値を解析した。すなわち、樹冠占有面積 (LAO)、樹冠表面の葉ブロック数割合 (PSLB)、閉鎖空間内の葉ブロック数割合 (PNLES)、葉塊当たりの葉ブロック数平均値 (MNLBA)、南北方向の葉ブロック連続数の平均値 (MCFNS) および上下方向の葉ブロック連続数の平均値 (MCFVD) であった。既報の調査から、DMPPFDとの間に、LAOとPSLBは正の相関関係、PNLES, MCFNS, MCFVDおよびMNLBAは負の相関関係が見出されている (山本, 2015, 2016)。

3. 各項目内選択肢の違いが果樹園光環境、果樹園光合成、樹冠形状値および設定条件への抵触割合に及ぼす影響に関する実験 (実験1)

前報 (山本, 2020) では、CDSの性能の試験を兼ねて、各項目内の選択肢を変えて樹冠モデルを作成し、樹形・樹冠形の外観や樹冠計測値なども比較した。その際の実験では全項目・全選択肢の総当たり組み合わせ方式を避けた。その代わりに、比較を目的とする項目についてはその中の全ての選択肢を用い、これ以外の多くの項目については選択肢を1個に絞って組み合わせた。その際、樹冠モデルの形状が極端にならないように、穏当無難と思われた選択肢を用いたが、主枝本数によりその中味が異なった。ただし、平均値の多重比較検定に必要な観測数確保のため、以下の2つの項目についてはその中に含まれる全ての選択肢を組み合わせた。つまり、ユニットの分岐角度分布形の9選択肢とユニットの発出間隔分布形の5選択肢を組み合わせた。これにより比較を目的とする項目における1選択肢当たりの観測数は、ほとんどの場合最大45個 (= 9 × 5) を確保できた。なお、全項目・

全選択枝の総当たり組み合わせ方式を避けた理由は考察に記した。

前報の実験で得られた樹冠モデルの葉ブロック配列変数を用いて、2. に記した方法により、CDMPPFD、ODMPPFD、CDMPN、ODMPN、LAO、PSLB、PNLES、MNLBA、MCFNSおよびMCFVDの各データを算出し、これらの平均値を上述の選択枝間で多重比較した。

実験で得られたCDMPPFDやODMPPFDの序列と樹冠形状値の序列の対応関係を見やすくするため、多重比較結果における分離記号の表示については以下のように統一した。CDMPPFDとODMPPFDの分離記号は降順としたうえで、この両者と正の相関関係にあったLAOとPSLBの分離記号は降順、負の相関関係にあったPNLES、MNLBA、MCFNSおよびMCFVDの分離記号は昇順とした。

最後に、5個の設定条件、すなわち樹高が350cm以上、東西樹幅が400cm以上、南北樹幅が400cm以上、葉ブロック数が590個以下あるいは722個以上のとき、設定条件に抵触すると判断し、抵触割合を設定条件ごと算出した。

4. 光環境改善効果が上位、中位および下位の各選択枝群における総当たり組み合わせ実験（実験2）

実験1の結果をふまえ、主枝数実験区別に以下の実験を行った。

各項目内の選択枝を光環境の良否に基づき3段階（上位、中位および下位）に分けた。各段階の選択枝群の範囲内で、選択枝の総当たり組み合わせ実験を行い、CDSを用いて樹冠モデルを作成した。以下、各段階における実験の略称を、それぞれ、上位組み合わせ実験、中位組み合わせ実験および下位組み合わせ実験とした。さらに、3. に記した5つの設定条件のうち、いずれか一つでも抵触した樹冠モデルについては最終的に除いた。

残存した樹冠モデルに限り、2. に記した方法で、光環境関連データ、光合成関連データおよび樹冠形状値を算出した。上位組み合わせ実験の目的は光環境改善効果の上限を見出し、光環境良好な樹冠モデル群を検出することである。一方、中位および下位の各組み合わせ実験の主な目的は光環境改善効果の下限を見出すことであるが、このほかに、全実験データの分布に関する特徴も入手することである。

結 果

1. 各項目における選択枝の違いが果樹園光環境、果樹園光合成、樹冠形状値および設定条件への抵触割合に及ぼす影響（実験1）

各項目とも主枝数実験区別に、果樹園光環境、果樹園光合成および樹冠形状値の各データについて選択枝別に平均し、平均値の多重比較を行った（第4、6、8、10、12、14、16、18、20、22、24、26および28表）。加えて、上記表の右側に5条件それぞれの抵触割合も記した。それから、CDMPPFDとODMPPFDの選択枝別散布図（第1～13図）は4本主枝実験区に限定したもので、他の主枝数実験区については省略した。各項目とも、主枝数実験区別に樹冠モデルの果樹園光環境、果樹園光合成および樹冠形状値の全データを用いて相関行列を算出した（第5、7、9、11、13、15、17、19、21、23、25、27および29表）。

1) 主幹の傾斜角度の違いによる影響（A実験）

いずれの主枝数実験区でも、晴天日の光環境は直立主幹（A1）で最も良好で、主幹が傾くほど総じて悪化した（第4表および第1図）。他方、曇天日の光環境は主幹が傾くほど総じて良かった。相関係数の符号を考慮すれば、LAO、MCFNS、MCFVD、PNLESおよびMNLBAの平均値の序列とCDMPPFD平均値の序列の対応は良好であった（第4表）。上記の平均値比較とは別に、個々のデータとして見たとき、CDMPPFDとLAOやPNLESとの間の相関は高かった（第5表）。一方、ODMPPFDと多くの樹冠形状値の相関は低かった（第5表）。

2本主枝実験区の抵触割合は高かった（第4表）。また、多くの主枝数実験区で傾斜角度が50°（A5）のときの抵触割合は高く、多くの場合、微調節前葉ブロック数が不足した（第4表）。

2) 斜立主幹における主幹の傾斜方位の違いによる影響（L実験）

ほとんどの主枝数実験区において、主幹の傾斜方位が東（L1）、南東（L2）および南（L3）のときにCDMPPFD平均値は総じて大きく、西（L5）、北西（L6）および北（L7）のときに総じて小さかった（第6表および第2図）。他方、ODMPPFD平均値の序列はCDMPPFDと異なり、選択枝間で一貫した傾向は見られなかった（第6表）。このほか、葉ブロック数の微調節処理に伴う僅かな変動を除けば、選択枝間における樹冠形状値平均値の差は小さ

Table 4. The effects of the inclination angles of the trunk on the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD, PNLES and MNLBA, and that on the proportion which did not satisfy the five conditions, namely, the tree height (TH), the tree width along east-west direction (EWW), the tree width along south-north direction (SNW), and the range of the number of leafy blocks (NLB) shown with different number of the primary scaffold branches (PBSs). Ab. indicates the abbreviation of the alternative in A experiment. CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD, PNLES and MNLBA indicates daily mean PPFD on leaf surface on a clear day, that on an overcast day, daily mean net photosynthetic rate on a clear day, that on an overcast day, land area occupied by a crown, proportion of surface leafy blocks for the total leafy blocks, mean continuation frequency of leafy block along north-south direction in a 3D grid, that along vertical direction in a 3D grid, proportion of leafy blocks in enclosed space for the total leafy blocks and mean number of leafy blocks per leafy block agglomeration, respectively. n=45.

Num. of PSBs	Ab.	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	Mean MNL-BA	TH	EWW	SNW	NLB	NLB
												>350 cm	>400 cm	>400 cm	<590 %	>722 %
Unit	Unit1 ^z	Unit1	Unit2 ^y	Unit2	m ²	%	block	block	%	block	%	%	%	%	%	%
2	A1	331	a ^x 138	bc 10.16	a 7.79	cd 8.40	a 69.4	a 2.04	a 1.93	a 29.9	a 1.38	a 0	67	0	0	67
	A2	321	b 137	c 10.03	b 7.77	d 8.00	bc 69.0	b 2.08	a 2.05	b 31.4	b 1.39	b 0	67	0	0	44
	A3	317	b 138	b 9.98	bc 7.82	bc 8.08	b 68.3	c 2.15	b 2.07	b 32.1	bc 1.40	c 0	67	0	0	24
	A4	312	c 140	ab 9.92	cd 7.86	ab 7.81	c 67.8	d 2.25	c 2.17	c 32.6	c 1.41	d 0	67	0	11	2
	A5	308	c 141	a 9.89	d 7.90	a 7.15	d 67.6	e 2.24	c 2.32	d 32.8	c 1.42	e 0	67	0	69	0
3	A1	303	a 128	c 9.72	a 7.53	c 6.83	a 69.4	e 2.04	a 1.93	a 29.9	a 1.38	a 0	0	0	11	0
	A2	301	ab 129	bc 9.69	a 7.58	c 6.83	a 69.0	d 2.08	a 2.05	b 31.4	b 1.39	b 0	0	0	24	0
	A3	298	b 131	ab 9.66	ab 7.63	b 6.61	a 68.3	c 2.15	b 2.07	b 32.1	bc 1.40	c 0	0	0	60	0
	A4	291	c 132	a 9.59	b 7.69	a 6.00	b 67.8	b 2.25	c 2.17	c 32.6	c 1.41	d 0	0	0	100	0
	A5	284	d 132	a 9.50	c 7.71	a 5.40	c 67.6	a 2.24	c 2.32	d 32.8	c 1.42	e 0	0	0	100	0
4	A1	292	a 125	c 9.54	a 7.48	c 6.85	a 60.1	b 2.55	a 2.28	a 38.2	a 1.47	a 0	0	0	0	20
	A2	286	b 124	d 9.43	b 7.45	d 6.58	b 60.3	a 2.64	ab 2.42	b 39.7	b 1.49	b 0	0	0	0	2
	A3	287	b 126	bc 9.46	b 7.50	bc 6.69	ab 59.8	c 2.68	bc 2.48	bc 40.1	b 1.50	c 0	0	0	0	2
	A4	284	b 127	b 9.43	b 7.52	b 6.63	b 59.4	d 2.77	c 2.56	c 40.3	b 1.51	d 0	0	0	0	0
	A5	285	b 129	a 9.46	b 7.61	a 6.26	c 59.3	e 2.70	bc 2.71	d 40.3	b 1.52	e 0	0	0	78	0
5	A1	296	a 126	c 9.60	a 7.49	d 6.79	a 65.6	b 2.50	ab 2.24	a 32.8	a 1.44	a 0	0	0	0	0
	A2	296	a 127	bc 9.60	a 7.51	cd 6.90	a 65.8	a 2.54	b 2.30	ab 33.3	a 1.45	b 0	0	0	0	0
	A3	294	a 127	ab 9.58	ab 7.53	bc 6.87	a 65.3	c 2.54	b 2.35	b 34.3	b 1.45	c 0	0	0	0	0
	A4	289	b 128	ab 9.52	bc 7.55	b 6.45	b 64.8	d 2.51	ab 2.49	c 35.2	bc 1.46	d 0	0	0	0	0
	A5	283	c 128	a 9.45	c 7.59	a 5.73	c 64.6	e 2.46	a 2.73	d 35.8	c 1.47	e 0	0	0	93	0
6	A1	301	a 127	b 9.70	a 7.53	b 6.99	a 67.6	a 2.32	a 2.16	a 31.8	a 1.43	a 0	0	0	0	18
	A2	293	b 125	c 9.58	bc 7.48	c 6.65	c 67.2	b 2.38	ab 2.30	bc 33.4	b 1.44	b 0	0	0	0	2
	A3	296	b 128	b 9.63	b 7.56	b 6.96	a 66.7	c 2.36	ab 2.26	b 33.6	bc 1.46	c 0	0	0	0	11
	A4	294	b 130	a 9.61	b 7.61	a 6.89	ab 66.4	d 2.39	ab 2.33	c 34.5	cd 1.46	c 0	0	0	0	7
	A5	288	c 130	a 9.54	c 7.64	a 6.73	bc 66.0	e 2.42	b 2.36	c 34.9	d 1.46	d 0	0	0	0	0

^zμE·m⁻²·s⁻¹.

^ymg·CO₂·dm⁻²·h⁻¹.

^xDifferent letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

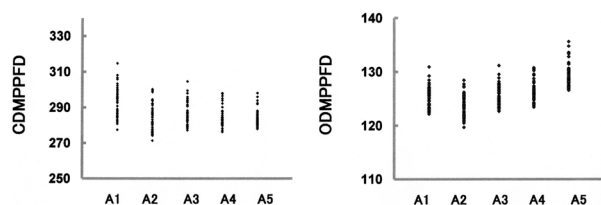


Fig. 1. The effects of the differences of the alternatives in A experiment on the distributions of CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) in the plot of four PSBs where the unit was μE·m⁻²·s⁻¹. The abbreviations of the alternatives refer to Table 1.

Table 5. The coefficients of correlation (r) between CDMPPFD, ODMPPFD and other variables of all crown models (n=225) from each experimental plot of the number of PSBs in the experiment A. The abbreviations in the table refer to Table 4.

Num. of PSBs	CD-MPPFD	OD-MPPFD	CD-MPN	OD-MPN	LAO	PNLES	MCFNS	MCFVD	MNLBA	PSLB	
2	CDMPPFD	1.000 ^z	0.318	0.980	0.178	0.840	-0.841	-0.726	-0.805	-0.632	0.637
	ODMPPFD	0.318	1.000	0.486	0.984	0.205	-0.509	-0.117	-0.094	0.383	-0.293
3	CDMPPFD	1.000	0.212	0.966	0.061	0.837	-0.458	-0.283	-0.461	-0.593	0.559
	ODMPPFD	0.212	1.000	0.447	0.984	-0.145	0.071	0.423	0.408	0.525	-0.469
4	CDMPPFD	1.000	0.515	0.981	0.471	0.802	-0.810	-0.487	-0.544	-0.263	0.238
	ODMPPFD	0.515	1.000	0.652	0.994	0.255	-0.383	-0.149	0.154	0.531	-0.453
5	CDMPPFD	1.000	0.543	0.983	0.315	0.900	-0.847	-0.243	-0.727	-0.519	0.508
	ODMPPFD	0.543	1.000	0.671	0.962	0.292	-0.524	-0.465	0.003	0.283	-0.193
6	CDMPPFD	1.000	0.379	0.979	0.288	0.848	-0.760	-0.583	-0.767	-0.431	0.461
	ODMPPFD	0.379	1.000	0.537	0.989	0.673	-0.237	-0.390	-0.289	0.453	-0.508

^z Significance at 0.1% level, 1% level or 5% level if r > 0.4816, r > 0.3922 or r > 0.3044, respectively.

Table 6. The effects of direction in which the trunk inclines on the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD, PNLES and MNLBA and that on the proportion which did not satisfy the five conditions in L experiment. The explanations of the table refer to Table 4. n=45.

Num. of PSBs	Ab.	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	Mean MNL-BA	TH EWWSNW NLB NLB														
												>350 cm	>400 cm	>400 cm	<590 cm	>722 cm										
Unit	Unit1 ^z	Unit1	Unit2 ^y	Unit2	m ²	%	block	block	%	block	%	%	%	%												
2	L1	327	b ^x	135	c	10.12	bc	7.72	bc	8.09	a	66.7	d	2.30	c	2.09	a	32.1	ab	1.45	e	0	0	67	2	20
	L2	333	a	135	c	10.20	a	7.72	bc	8.08	a	67.1	ab	2.24	abc	2.08	a	31.7	a	1.43	a	0	38	0	62	0
	L3	331	a	135	c	10.16	ab	7.72	bc	8.03	a	67.2	a	2.14	a	2.09	a	32.1	ab	1.43	ab	0	67	0	2	20
	L4	325	b	135	c	10.08	cd	7.71	c	7.92	ab	67.1	ab	2.25	bc	2.12	ab	32.4	ab	1.44	cd	0	0	36	18	2
	L5	319	c	135	c	10.01	de	7.72	bc	7.89	ab	67.1	abc	2.34	c	2.12	ab	32.4	ab	1.44	d	0	0	67	0	24
	L6	312	d	137	ab	9.91	f	7.80	a	7.66	c	67.0	bc	2.33	c	2.18	b	32.9	b	1.44	d	0	38	0	0	0
	L7	316	c	138	a	9.96	ef	7.83	a	7.93	ab	66.9	bcd	2.16	ab	2.11	ab	32.5	ab	1.44	cd	0	67	0	0	24
	L8	319	c	136	bc	10.02	de	7.75	b	7.82	bc	66.9	cd	2.26	bc	2.14	ab	32.5	ab	1.43	bc	0	0	38	13	0
3	L1	308	a	129	abc	9.80	a	7.57	b	6.80	a	60.2	b	2.63	a	2.58	a	37.3	a	1.59	d	0	0	0	49	0
	L2	308	a	128	c	9.78	a	7.54	b	6.80	a	60.9	a	2.66	a	2.55	a	37.8	a	1.56	c	0	0	0	44	0
	L3	306	ab	129	bc	9.77	a	7.56	b	6.79	a	60.9	a	2.66	a	2.58	a	37.4	a	1.55	b	0	0	0	49	0
	L4	300	cd	128	c	9.67	bc	7.56	b	6.72	a	60.9	a	2.68	a	2.58	a	38.1	a	1.55	b	0	0	0	44	0
	L5	297	de	130	ab	9.65	bc	7.62	a	6.61	a	60.8	a	2.65	a	2.62	a	37.6	a	1.54	a	0	0	0	60	0
	L6	294	e	130	ab	9.59	c	7.62	a	6.65	a	60.8	a	2.68	a	2.59	a	38.1	a	1.54	a	0	0	0	49	0
	L7	297	de	131	a	9.65	bc	7.63	a	6.61	a	60.8	a	2.66	a	2.63	a	37.6	a	1.54	a	0	0	0	60	0
	L8	303	bc	129	abc	9.71	ab	7.57	b	6.71	a	60.8	a	2.65	a	2.58	a	37.9	a	1.54	a	0	0	0	44	0
4	L1	297	a	124	bc	9.60	a	7.45	cd	6.75	a	58.0	b	2.70	ab	2.47	a	40.0	a	1.52	c	0	0	0	0	4
	L2	297	a	124	c	9.58	ab	7.43	d	6.70	a	58.3	a	2.78	ab	2.51	a	40.1	a	1.52	d	0	0	0	0	0
	L3	293	ab	125	bc	9.54	ab	7.46	cd	6.74	a	58.3	a	2.67	a	2.47	a	40.2	a	1.52	c	0	0	0	0	4
	L4	287	c	125	abc	9.45	cd	7.47	bc	6.69	a	58.3	a	2.71	ab	2.51	a	40.1	a	1.52	bc	0	0	0	0	0
	L5	281	e	126	a	9.37	de	7.52	a	6.63	a	58.3	a	2.75	ab	2.49	a	40.4	a	1.52	b	0	0	0	0	4
	L6	281	de	126	a	9.37	e	7.52	a	6.64	a	58.3	a	2.79	b	2.52	a	40.2	a	1.51	a	0	0	0	0	0
	L7	286	cd	126	ab	9.44	de	7.50	ab	6.65	a	58.3	a	2.67	a	2.49	a	40.3	a	1.51	a	0	0	0	0	4
	L8	292	b	124	c	9.52	bc	7.45	cd	6.65	a	58.3	a	2.71	ab	2.52	a	40.1	a	1.51	a	0	0	0	0	0
5	L1	298	a	127	a	9.64	a	7.51	b	6.97	a	63.3	b	2.50	a	2.32	a	33.9	a	1.45	a	0	0	0	0	0
	L2	296	ab	127	a	9.60	a	7.52	ab	6.87	ab	64.1	a	2.48	a	2.33	ab	34.0	a	1.46	de	0	0	0	0	0
	L3	292	bc	128	a	9.55	abc	7.55	a	6.99	a	64.2	a	2.50	a	2.31	a	33.9	a	1.46	e	0	0	0	0	0
	L4	287	c	128	a	9.49	bc	7.54	ab	6.78	ab	64.2	a	2.52	a	2.35	ab	34.2	a	1.46	d	0	0	0	0	0
	L5	287	c	128	a	9.49	bc	7.54	ab	6.89	ab	64.2	a	2.52	a	2.34	ab	34.1	a	1.46	c	0	0	0	0	0
	L6	287	c	127	a	9.47	c	7.53	ab	6.66	b	64.2	a	2.53	a	2.38	b	34.5	a	1.46	bc	0	0	0	0	0
	L7	294	ab	127	a	9.58	ab	7.53	ab	6.86	ab	64.1	a	2.53	a	2.35	ab	34.2	a	1.45	b	0	0	0	0	0
	L8	296	ab	127	a	9.60	a	7.51	b	6.76	ab	64.1	a	2.52	a	2.36	ab	34.2	a	1.46	b	0	0	0	0	0
6	L1	301	a	128	a	9.70	a	7.54	ab	6.86	ab	64.3	e	2.43	bc	2.27	ab	33.6	ab	1.46	a	0	0	0	0	9
	L2	301	ab	128	a	9.68	ab	7.53	ab	6.89	a	64.8	bc	2.40	ab	2.30	abc	33.8	ab	1.47	d	0	0	0	0	9
	L3	296	bc	128	a	9.63	ab	7.54	ab	6.93	a	64.9	ab	2.34	a	2.25	a	33.3	a	1.46	cd	0	0	0	0	11
	L4	290	d	128	a	9.53	cd	7.56	a	6.80	abc	64.9	a	2.40	ab	2.33	bcd	33.9	ab	1.46	bc	0	0	0	0	7
	L5	284	ef	128	a	9.45	ef	7.56	a	6.66	bcd	64.9	ab	2.52	d	2.35	cde	34.2	ab	1.46	ab	0	0	0	0	0
	L6	283	f	127	a	9.43	f	7.55	ab	6.56	d	64.8	bcd	2.50	cd	2.41	e	34.5	b	1.46	ab	0	0	0	0	0
	L7	288	de	127	a	9.51	de	7.53	ab	6.58	d	64.7	cd	2.45	bcd	2.36	cde	34.4	b	1.46	bc	0	0	0	0	0
	L8	295	c	127	a	9.60	bc	7.52	b	6.62	cd	64.6	d	2.46	bcd	2.39	de	34.4	b	1.47	d	0	0	0	0	0

^zμE·m⁻²·s⁻¹.

^ymg·CO₂·dm⁻²·h⁻¹.

^xDifferent letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

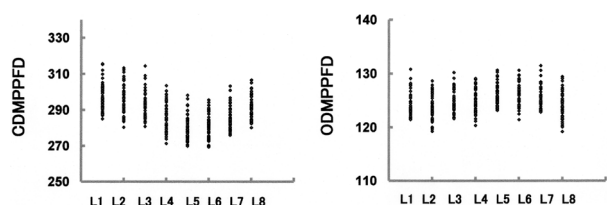


Fig. 2. The effects of the differences of the alternatives in L experiment on the distributions of CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) in the plot of four PSBs where the unit was μE·m⁻²·s⁻¹. The abbreviations of the alternatives refer to Table 1.

Table 7. The coefficients of correlation (r) between CDMPPFD, ODMPPFD and other variables of all crown models (n=360) from each experimental plot of the number of PSBs in the experiment L. The abbreviations in the table refer to Table 4.

Num. of PSBs	CD-MPPFD	OD-MPPFD	CD-MPN	OD-MPN	LAO	PNLES	MCFNS	MCFVD	MNLBA	PSLB
2	CDMPPFD 1.000 ^z	0.304	0.980	0.192	0.768	-0.657	-0.473	-0.577	-0.226	0.222
	ODMPPFD 0.304	1.000	0.452	0.988	0.505	-0.709	-0.388	-0.386	-0.065	0.095
3	CDMPPFD 1.000	0.596	0.986	0.529	0.649	-0.769	-0.588	-0.571	0.338	-0.012
	ODMPPFD 0.596	1.000	0.711	0.992	0.389	-0.856	-0.628	-0.369	-0.117	0.062
4	CDMPPFD 1.000	0.430	0.992	0.297	0.725	-0.631	-0.526	-0.423	0.317	-0.048
	ODMPPFD 0.430	1.000	0.523	0.983	0.680	-0.722	-0.544	-0.329	-0.138	0.135
5	CDMPPFD 1.000	0.785	0.995	0.708	0.880	-0.765	-0.524	-0.666	-0.060	-0.074
	ODMPPFD 0.785	1.000	0.829	0.989	0.891	-0.843	-0.520	-0.681	0.100	0.171
6	CDMPPFD 1.000	0.628	0.995	0.476	0.806	-0.593	-0.520	-0.670	0.213	-0.129
	ODMPPFD 0.628	1.000	0.685	0.975	0.813	-0.717	-0.433	-0.620	0.059	0.125

^z Significance at 0.1% level, 1% level or 5% level if r > 0.4816, r > 0.3922 or r > 0.3044, respectively.

かった（第6表）。なお、LAOやPNLESと光環境データの間に相関が認められた（第7表）。

2本主枝および3本主枝の各実験区の抵触割合は少し高くなったが、他の実験区では低かった（第6表）。

3) 主幹長の違いによる影響（C実験）

晴天曇天とも、C1を例外として、主幹が長いほど光環境は総じて良好になる傾向が見られた（第8表および第3図）。しかしながら、多くの樹冠形状値の平均値の序列と光環境の序列の関係は明瞭ではなかった（第8表）。しかも、いずれの主枝数実験区でも、LAO平均値は選択肢間で分離しなかった（第8表）。にもかかわらず、個々のデータとして見ると、晴天日にはLAOとCDMPPFDの間に高い相関が認められた（第9表）。

2本主枝実験区では、主枝数が少ないことによる葉量の減少を避けるため、本実験では長い主枝のみ（H3）ならびに大きいユニットのみ（P3）の選択肢を用いた。このため、割り当て空間からはみ出しが顕著になったうえに、微調節前の葉ブロック数が過剰になった（山本, 2020）。よって、2本主枝実験区の全ての選択肢で抵触割合が増大した（第8表）。主枝数が3本以上の実験区で主幹長が40cm（C1）のとき、主枝は車枝状に発出した（山本, 2020）。葉層も重なったことから、葉ブロック数の目減りが生まれ、微調節前の葉ブロック数が不足した（第8表）。結局、主幹長が40cm（C1）のとき、いずれの主枝数実験区でも抵触割合が増大した（第8表）。主幹長が210cm（C7）のとき、2本主枝、3本主枝および4本主枝の各実験区では長い主枝のみ（H3）を用いたため、樹高の制限を超え、抵触割合が増大した（第8表）。

4) 主枝の発出間隔分布形の違いによる影響（E実験）

光環境に及ぼす主枝の発出間隔分布形の影響は軽微であり、選択肢間にCDMPPFD平均値の分離は見られなかった（第10表および第4図）。さらに、光環境の良否と多くの樹冠形状値平均値の序列との関連性も認められなかった（第10表）。にもかかわらず、個々のデータとして見ると、光環境データとLAO、PNLES、MCFNSなどとの間に相関が認められた（第11表）。

多くの主枝数実験区において抵触が見られたものの、抵触割合は低かった（第10表）。なお、2本主枝実験区における選択肢は1種類（最基部と主幹先端部の2か所から発出）のため選択肢間比較はできなかった（第10表）。

5) 主枝長分布形の違いによる影響（H実験）

前報の結果（山本, 2020）、主枝長分布形が異なったこ

とで樹冠モデルの骨格が変わった。さらに、主枝長の違いによりユニットの発出間隔も変わり、樹冠モデルの外観と内部構造がともに大きく変貌した（山本, 2020）。よって、光環境はこの違いにより大きな影響を受けた（第12表および第5図）。CDMPPFDとODMPPFDの両平均値には、多くの主枝実験区で、似たような序列が観察された（第12表）。ほとんどの主枝数実験区で、CDMPPFDとODMPPFDの両平均値は、長い主枝のみ（H3）で最も大きく、短い主枝のみ（H1）で最も小さかった（第12表および第5図）。CDMPPFD平均値の序列はLAO平均値の序列にほぼ対応した（第12表）。2本主枝実験区と3本主枝実験区を除き、CDMPPFDあるいはODMPPFDとLAOの間に高い相関関係が認められた（第13表）。加えて、ほとんどの主枝数実験区で、CDMPPFDとPNLESやMCFNSとの間にも相関が認められ、また、ODMPPFDの間にも相関が認められた（第13表）。

選択肢や主枝数の組み合わせによって、葉ブロック数の過不足が生じ、抵触割合が増大した（第12表）。なお、主枝長分布形の選択肢のC6とC7については2本主枝実験区では適用外であった。

6) 第1主枝の回転中心角の違いによる影響（F実験）

ほとんどの主枝数実験区で、第1主枝の回転中心角が0°（F4）、315°（F8）および270°（F2）のとき、つまり、北から西の方位に発出したとき、CDMPPFD平均値は減少した。これとは反対に、第1主枝の回転中心角が90°（F1）、135°（F5）および180°（F3）のとき、つまり、東から南の方位に発出したとき、CDMPPFD平均値は増大した（第14表および第6図）。しかし、ODMPPFD平均値については上述の傾向は見られなかった（第14表）。第1主枝の回転中心角が変わることで、地上部全体がそのまま水平回転しただけなので、ほとんどの樹冠形状値平均値の間には有意差は見られなかった（第14表）。LAOやPNLESを除き、光環境と樹冠形状値の間の相関は総じて低かった（第15表）。

7) 主枝の回転中心角増分の違いによる影響（G実験）

前報の結果（山本, 2020）、主枝数と主枝の回転中心角増分の組み合わせにより、樹冠モデルの外観とその内部構造が大きく変貌した（山本, 2020）。特に重要な点は、回転中心角増分の違いにより、主枝の縦方向の重なり方に大きな違いが発生することである（山本, 2020）。主枝が縦方向に重なれば、上方主枝の枝葉からの陰のため、下方の光環境が悪化することは容易に理解できる。つま

Table 8. The effects of trunk length on the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD, PNLES and MNLBA and that on the proportion which did not satisfy the five onditions in C experiment. The explanations of the table refer to Table 4. n=45.

Num. of PSBs	Ab.	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	Mean MNL-BA	TH EWW SNW NLB NLB														
												>350 cm	>400 cm	>400 cm	<590 cm	>722 cm										
Unit	Unit1 ^z	Unit1	Unit2 ^y	Unit2	m ²	%	block	block	%	block	%	%	%	%												
2	C1	330	b ^x	137	d	10.13	e	7.76	d	8.38	a	66.5	g	2.14	d	1.98	c	32.7	e	1.40	g	0	67	0	0	44
	C2	330	b	138	d	10.16	de	7.80	d	8.40	a	67.6	f	2.04	c	1.93	bc	30.2	d	1.39	f	0	67	0	0	67
	C3	333	ab	140	c	10.22	cd	7.85	c	8.40	a	69.1	e	1.99	abc	1.89	ab	27.2	c	1.38	e	0	67	0	0	76
	C4	334	ab	142	b	10.28	bc	7.90	b	8.35	a	70.6	d	1.95	abc	1.85	a	24.4	b	1.37	d	0	67	0	0	78
	C5	334	ab	143	ab	10.31	ab	7.94	a	8.30	a	72.1	c	1.90	a	1.84	a	21.8	a	1.36	c	13	67	0	0	80
	C6	335	a	144	a	10.34	ab	7.96	a	8.33	a	73.4	b	1.92	ab	1.82	a	20.9	a	1.36	b	100	67	0	0	80
	C7	337	a	144	a	10.36	a	7.95	a	8.35	a	74.4	a	1.99	bc	1.84	a	21.2	a	1.35	a	100	67	0	0	69
3	C1	309	abc	130	b	9.78	cd	7.57	c	6.73	a	59.4	g	2.72	de	2.63	e	39.4	f	1.59	g	0	0	0	80	0
	C2	304	c	127	c	9.70	d	7.52	d	6.83	a	59.8	f	2.75	e	2.58	de	39.1	f	1.55	f	0	0	0	36	0
	C3	304	c	128	c	9.72	d	7.53	cd	6.83	a	60.5	e	2.66	d	2.50	d	37.1	e	1.55	e	0	0	0	11	0
	C4	306	bc	129	bc	9.79	cd	7.57	c	6.82	a	61.7	d	2.53	c	2.34	c	33.2	d	1.53	d	0	0	0	4	0
	C5	308	abc	130	b	9.87	bc	7.63	b	6.81	a	63.3	c	2.43	b	2.23	b	29.7	c	1.51	c	0	0	0	0	0
	C6	311	ab	133	a	9.94	ab	7.69	a	6.78	a	64.8	b	2.33	a	2.15	ab	26.8	b	1.50	b	0	0	0	0	0
	C7	313	a	133	a	9.99	a	7.72	a	6.79	a	66.3	a	2.31	a	2.12	a	25.3	a	1.48	a	82	0	0	0	4
4	C1	299	ab	126	d	9.60	bc	7.48	d	6.81	a	55.5	f	2.97	e	2.63	e	43.5	f	1.58	g	0	0	0	31	0
	C2	292	c	124	e	9.49	d	7.42	e	6.89	a	55.4	f	2.97	e	2.57	e	43.4	f	1.55	f	0	0	0	7	2
	C3	291	c	124	e	9.49	d	7.43	e	6.87	a	56.0	e	2.78	d	2.45	d	41.5	e	1.54	e	0	0	0	0	4
	C4	292	c	125	d	9.54	cd	7.48	d	6.84	a	56.9	d	2.56	c	2.28	c	38.2	d	1.53	d	0	0	0	0	20
	C5	295	bc	127	c	9.62	b	7.54	c	6.81	a	58.2	c	2.40	b	2.17	b	34.7	c	1.51	c	0	0	0	0	36
	C6	298	ab	129	b	9.70	a	7.61	b	6.76	a	59.7	b	2.23	a	2.04	a	31.1	b	1.49	b	0	0	0	0	71
	C7	300	a	131	a	9.76	a	7.65	a	6.72	a	61.3	a	2.14	a	2.00	a	28.9	a	1.47	a	67	0	0	0	91
5	C1	305	a	130	a	9.71	a	7.57	a	6.73	a	59.9	e	2.71	e	2.62	e	39.2	e	1.56	g	0	0	0	91	0
	C2	296	bcd	126	cd	9.55	cd	7.47	cd	6.84	a	59.7	f	2.77	e	2.56	de	39.9	e	1.55	f	0	0	0	24	0
	C3	293	d	124	e	9.50	d	7.43	e	6.83	a	59.6	f	2.70	e	2.49	d	38.8	e	1.54	e	0	0	0	0	0
	C4	295	cd	125	de	9.55	cd	7.45	de	6.81	a	60.1	d	2.58	d	2.36	c	35.7	d	1.52	d	0	0	0	0	0
	C5	297	bcd	126	cd	9.61	bc	7.49	c	6.78	a	61.2	c	2.50	c	2.24	b	32.7	c	1.51	c	0	0	0	0	0
	C6	299	abc	127	bc	9.68	ab	7.54	b	6.74	a	62.5	b	2.33	b	2.15	ab	30.0	b	1.49	b	0	0	0	0	9
	C7	301	ab	128	b	9.73	a	7.57	ab	6.69	a	63.7	a	2.25	a	2.09	a	28.7	a	1.48	a	33	0	0	0	38
6	C1	307	a	130	a	9.75	a	7.57	a	6.98	a	59.5	f	2.62	d	2.54	e	39.1	e	1.56	g	0	0	0	71	0
	C2	299	bcd	127	cd	9.60	cd	7.49	c	7.10	a	59.8	e	2.73	e	2.46	de	39.6	e	1.54	f	0	0	0	13	0
	C3	296	d	125	e	9.56	d	7.45	d	7.08	a	59.9	e	2.67	de	2.46	d	38.6	e	1.54	e	0	0	0	0	0
	C4	298	cd	126	de	9.60	cd	7.47	cd	7.07	a	60.3	d	2.53	c	2.34	c	36.6	d	1.53	d	0	0	0	0	0
	C5	299	bcd	126	cde	9.65	bc	7.50	c	7.04	a	61.2	c	2.41	b	2.23	b	34.1	c	1.51	c	0	0	0	0	7
	C6	301	bc	127	bc	9.70	ab	7.53	b	6.99	a	62.2	b	2.31	a	2.15	a	31.8	b	1.50	b	0	0	0	0	18
	C7	303	ab	128	b	9.75	a	7.57	a	6.94	a	63.2	a	2.25	a	2.11	a	30.2	a	1.49	a	0	0	0	0	44

^zμE·m⁻²·s⁻¹.

^ymg·CO₂·dm⁻²·h⁻¹.

^xDifferent letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

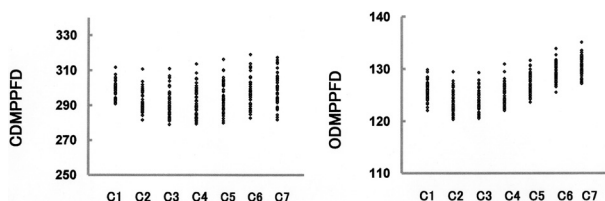


Fig. 3. The effects of the differences of the alternatives in C experiment on the distributions of CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) in the plot of four PSBs where the unit was μE·m⁻²·s⁻¹. The abbreviations of the alternatives refer to Table 1.

Table 9. The coefficients of correlation (r) between CDMPPFD, ODMPPFD and other variables of all crown models (n=315) from each experimental plot of the number of PSBs in the experiment C. The abbreviations in the table refer to Table 4.

Num. of PSBs	CD-PPFD	OD-PPFD	CD-MPN	OD-MPN	LAO	PNLES	MCFNS	MCFVD	MNLBA	PSLB	
2	CDMPPFD	1.000 [*]	0.820	0.940	0.756	0.829	-0.542	-0.476	-0.602	-0.336	0.348
	ODMPPFD	0.820	1.000	0.954	0.991	0.509	-0.857	-0.566	-0.603	-0.697	0.715
3	CDMPPFD	1.000	0.900	0.953	0.831	0.772	-0.517	-0.549	-0.504	-0.249	0.315
	ODMPPFD	0.900	1.000	0.970	0.981	0.511	-0.756	-0.716	-0.606	-0.486	0.589
4	CDMPPFD	1.000	0.708	0.934	0.647	0.750	-0.416	-0.336	-0.305	-0.160	0.289
	ODMPPFD	0.708	1.000	0.896	0.991	0.311	-0.827	-0.771	-0.707	-0.639	0.786
5	CDMPPFD	1.000	0.912	0.974	0.839	0.800	-0.413	-0.358	-0.393	-0.060	0.206
	ODMPPFD	0.912	1.000	0.931	0.971	0.631	-0.396	-0.402	-0.359	-0.052	0.283
6	CDMPPFD	1.000	0.929	0.976	0.902	0.751	-0.350	-0.357	-0.414	-0.033	0.137
	ODMPPFD	0.929	1.000	0.930	0.975	0.561	-0.344	-0.361	-0.322	-0.013	0.147

^{*}Significance at 0.1% level, 1% level or 5% level if r > 0.4816, r > 0.3922 or r > 0.3044, respectively

Table 10. The effects of distribution patterns of generation interval of PSB on the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD, PNLES and MNLBA and that on the proportion which did not satisfy the five conditions in E experiment. The explanations of the table refer to Table 4. n=45.

Num. of PSBs	Ab.	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	TH	EW	SN	NL	NLB
		CDM-PPFD	ODM-PPFD	CDM-PN	ODM-PN	LAO	PSLB	MCF-NS	MCF-VD	PNL-ES	MNL-BA	>350 cm	>400 cm	>400 cm	<590 cm	>722
Unit	Unit1 ^z	Unit1	Unit2 ^y	Unit2	m ²	%	block	block	%	block	%	%	%	%	%	%
2	331	138	10.17	7.80	8.41	69.4	2.04	1.93	29.9	1.38	0	0	0	11	0	
3	E1	303	a ^x 128	a 9.72	a 7.53	a 6.83	c 61.7	c 2.67	a 2.50	a 37.1	a 1.54	d 0	0	0	11	0
	E2	305	a 127	a 9.73	a 7.52	a 8.13	b 62.3	b 2.64	a 2.49	a 37.1	a 1.53	c 0	0	0	13	0
	E3	306	a 127	a 9.75	a 7.52	a 8.40	a 62.3	b 2.64	a 2.46	a 37.1	a 1.52	b 0	0	0	16	0
	E4	303	a 128	a 9.71	a 7.53	a 8.38	ab 62.4	b 2.65	a 2.49	a 36.8	a 1.52	a 0	0	0	11	0
	E5	302	a 128	a 9.71	a 7.55	a 8.40	a 62.6	a 2.64	a 2.48	a 36.4	a 1.52	a 0	0	0	13	0
4	E1	292	a 125	ab 9.54	a 7.48	bc 6.85	a 60.1	b 2.55	ab 2.28	a 38.2	bc 1.47	a 0	0	0	0	20
	E2	294	a 125	b 9.55	a 7.46	cd 6.85	a 60.1	b 2.57	ab 2.30	a 38.9	cd 1.47	b 0	0	0	0	18
	E3	294	a 124	b 9.54	a 7.45	d 6.86	a 59.8	d 2.61	b 2.31	a 39.6	d 1.48	b 0	0	0	0	9
	E4	292	a 126	ab 9.54	a 7.49	ab 6.84	a 59.9	c 2.55	ab 2.27	a 37.5	ab 1.48	b 0	0	0	0	22
	E5	291	a 126	a 9.54	a 7.52	a 6.83	a 60.5	a 2.48	a 2.24	a 36.6	a 1.47	b 0	0	0	0	27
5	E1	296	a 126	abc 9.60	a 7.49	bc 6.79	a 65.6	a 2.50	bc 2.24	a 32.8	a 1.44	a 0	0	0	0	0
	E2	298	a 126	bc 9.62	a 7.47	cd 6.79	a 65.5	a 2.50	bc 2.24	a 34.1	b 1.44	a 0	0	0	0	0
	E3	298	a 125	c 9.61	a 7.45	d 6.79	a 64.9	b 2.52	c 2.25	a 34.9	b 1.44	a 0	0	0	0	0
	E4	297	a 127	ab 9.62	a 7.51	ab 6.79	a 65.0	b 2.44	ab 2.24	a 32.3	a 1.44	a 0	0	0	0	0
	E5	295	a 127	a 9.61	a 7.53	a 6.77	a 65.5	a 2.38	a 2.21	a 32.0	a 1.44	a 0	0	0	0	2
6	E1	301	a 127	bc 9.70	a 7.53	bc 6.99	a 67.6	a 2.32	ab 2.16	a 31.8	a 1.43	a 0	0	0	0	18
	E2	302	a 126	cd 9.70	a 7.50	cd 6.99	a 67.3	b 2.36	bc 2.18	a 32.9	b 1.44	b 0	0	0	0	22
	E3	302	a 126	d 9.69	a 7.49	d 7.01	a 66.6	d 2.39	c 2.20	a 34.3	c 1.45	d 0	0	0	0	11
	E4	300	a 128	ab 9.69	a 7.55	ab 6.99	a 66.6	d 2.30	ab 2.14	a 31.1	a 1.44	cd 0	0	0	0	27
	E5	298	a 129	a 9.68	a 7.58	a 6.99	a 67.1	c 2.28	a 2.15	a 31.4	a 1.44	c 0	0	0	0	24

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

^y $\text{mg}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$.

^zDifferent letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

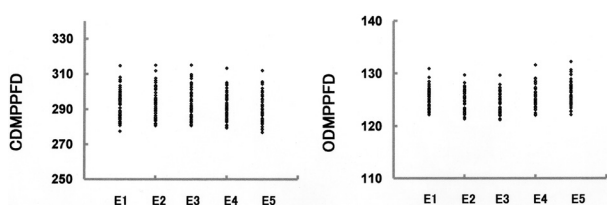


Fig. 4. The effects of the differences of the alternatives in E experiment on the distributions of CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) in the plot of four PSBs where the unit was $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The abbreviations of the alternatives refer to Table 2.

Table 11. The coefficients of correlation (r) between CDMPPFD, ODMPPFD and other variables of all crown models (n=225) from each experimental plot of the number of PSBs in the experiment E. The abbreviations in the table refer to Table 4.

Num. of PSBs		CD-	OD-	CD-	OD-	LAO	PNLES	MCFNS	MCFVD	MNLBA	PSLB
		MPPFD	MPPFD	MPN	MPN						
2	CDMPPFD	1.000 ^z	0.938	0.989	0.904	0.910	-0.819	-0.593	-0.721	-0.072	0.161
	ODMPPFD	0.938	1.000	0.971	0.991	0.811	-0.864	-0.513	-0.588	-0.057	0.151
3	CDMPPFD	1.000	0.918	0.995	0.903	0.197	-0.804	-0.769	-0.689	-0.130	0.144
	ODMPPFD	0.918	1.000	0.950	0.997	0.112	-0.886	-0.728	-0.477	-0.130	0.185
4	CDMPPFD	1.000	0.830	0.989	0.967	0.967	-0.661	-0.541	-0.476	0.083	0.118
	ODMPPFD	0.830	1.000	0.890	0.987	0.854	-0.781	-0.631	-0.604	0.018	0.271
5	CDMPPFD	1.000	0.858	0.993	0.744	0.973	-0.745	-0.499	-0.759	-0.126	0.064
	ODMPPFD	0.858	1.000	0.906	0.978	0.870	-0.868	-0.748	-0.811	-0.140	0.163
6	CDMPPFD	1.000	0.775	0.991	0.726	0.953	-0.512	-0.465	-0.711	-0.120	0.070
	ODMPPFD	0.775	1.000	0.836	0.993	0.817	-0.840	-0.682	-0.770	-0.064	0.054

^z Significance at 0.1 % level, 1% level or 5 % level if $r > 0.4816$, $r > 0.3922$ or $r > 0.3044$, respectively.

Table 12. The effects of distribution patterns of PBS length on the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD, PNLES and MNLBA and that on the proportion which did not satisfy the five conditions in H experiment. The explanations of the table refer to Table 4. n=45.

Num. of PSBs	Ab.	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	Mean MNL-BA	TH	EW	SN	NLB	NLB										
												>350	>400	>400	<590	>722										
Unit	Unit1 ^z	Unit1	Unit1 ^y	Unit2	m ²	%	block	block	%	block	%	cm	cm	cm	%	%										
2	H1	303	d ^x	129	c	9.72	c	7.58	d	6.72	c	62.5	c	2.33	c	2.35	c	37.7	c	1.53	d	0	0	0	33	40
	H2	314	b	132	b	9.89	b	7.65	bc	7.50	b	62.4	c	2.24	b	2.14	b	35.7	b	1.50	c	0	0	0	20	47
	H3	330	a	138	a	10.15	a	7.80	a	8.35	a	64.2	b	2.00	a	1.94	a	30.3	a	1.46	b	0	67	0	0	78
	H4	312	bc	131	b	9.85	b	7.63	cd	7.44	b	65.1	a	2.29	bc	2.25	bc	35.2	b	1.45	a	0	0	0	2	7
	H5	309	c	133	b	9.86	b	7.69	b	7.32	b	65.0	a	2.30	bc	2.26	bc	34.4	b	1.45	ab	0	0	0	4	4
3	H1	296	bc	126	a	9.59	c	7.50	a	5.97	d	61.4	ab	2.59	ab	2.67	c	38.1	ab	1.56	b	0	0	0	82	0
	H2	295	c	126	a	9.59	c	7.50	a	5.97	d	61.1	d	2.59	a	2.67	c	38.2	ab	1.56	b	0	0	0	82	0
	H3	298	bc	127	a	9.63	bc	7.51	a	6.23	cd	61.1	cd	2.63	abc	2.59	bc	38.0	ab	1.57	b	0	0	0	62	0
	H4	304	a	128	a	9.73	a	7.53	a	6.83	a	61.3	bc	2.67	bc	2.50	a	37.0	a	1.56	b	0	0	0	11	0
	H5	297	bc	126	a	9.60	bc	7.50	a	6.49	bc	61.5	ab	2.68	c	2.56	ab	39.0	b	1.55	a	0	0	0	38	0
	H6	300	ab	126	a	9.68	ab	7.51	a	6.53	ab	61.5	ab	2.65	abc	2.52	ab	37.4	a	1.55	a	0	0	0	31	0
	H7	298	bc	127	a	9.63	bc	7.52	a	6.59	ab	61.6	a	2.67	c	2.53	ab	37.6	a	1.55	a	0	0	0	36	0
4	H1	290	d	124	d	9.50	c	7.45	c	6.55	c	61.7	f	2.51	bc	2.23	bcd	36.6	b	1.44	b	0	0	0	0	4
	H2	294	bcd	125	cd	9.59	bc	7.48	bc	6.77	bc	62.0	e	2.42	b	2.16	b	36.1	b	1.44	b	0	0	0	0	38
	H3	309	a	129	a	9.83	a	7.58	a	7.32	a	62.8	d	2.20	a	2.02	a	33.5	a	1.43	a	0	0	0	0	98
	H4	292	cd	125	bcd	9.54	c	7.48	bc	6.85	b	63.0	bc	2.57	c	2.29	cd	38.1	c	1.43	a	0	0	0	0	20
	H5	297	bc	126	bc	9.65	b	7.51	b	6.72	bc	62.9	cd	2.42	b	2.20	bc	34.5	a	1.44	b	0	0	0	0	33
	H6	292	cd	127	b	9.55	c	7.51	b	6.73	bc	63.0	ab	2.55	c	2.32	d	36.3	b	1.45	c	0	0	0	0	22
	H7	298	b	126	bc	9.66	b	7.51	b	6.75	bc	63.1	a	2.41	b	2.18	b	34.4	a	1.45	d	0	0	0	0	49
5	H1	281	d	123	e	9.40	e	7.44	e	5.91	c	61.7	f	2.51	bc	2.23	bcd	36.6	b	1.44	b	0	0	0	0	0
	H2	292	c	126	d	9.57	d	7.49	d	6.57	b	62.0	e	2.42	b	2.16	b	36.1	b	1.44	b	0	0	0	0	0
	H3	317	a	133	a	9.96	ab	7.65	a	7.50	a	62.8	d	2.20	a	2.02	a	33.5	a	1.43	a	0	0	0	0	91
	H4	313	ab	130	b	9.86	bc	7.58	b	7.64	a	63.0	bc	2.57	c	2.29	cd	38.1	c	1.43	a	0	0	0	0	78
	H5	308	b	128	c	9.81	c	7.54	c	6.87	b	62.9	cd	2.42	b	2.20	bc	34.5	a	1.44	b	0	0	0	0	11
	H6	297	c	126	d	9.61	d	7.49	d	6.79	b	63.0	ab	2.55	c	2.32	d	36.3	b	1.45	c	0	0	0	0	0
	H7	320	a	130	b	9.99	a	7.61	b	7.51	a	63.1	a	2.41	b	2.18	b	34.4	a	1.45	d	0	0	0	0	91
6	H1	302	d	128	b	9.76	c	7.56	b	6.14	d	68.8	g	2.47	d	2.25	e	30.3	c	1.42	g	0	0	0	0	0
	H2	309	c	128	b	9.85	bc	7.57	b	6.76	c	68.9	f	2.43	d	2.12	d	29.8	c	1.41	f	0	0	0	0	2
	H3	329	a	133	a	10.14	a	7.67	a	7.87	a	69.6	e	2.12	c	1.93	c	27.5	b	1.40	e	13	0	0	0	69
	H4	316	b	132	a	9.95	b	7.65	a	7.49	b	70.2	d	1.95	ab	1.83	b	28.1	b	1.38	d	0	0	0	0	100
	H5	324	a	132	a	10.08	a	7.66	a	7.42	b	70.7	c	1.96	ab	1.83	b	26.0	a	1.37	c	53	0	0	0	100
	H6	317	b	132	a	9.95	b	7.63	a	7.42	b	71.0	b	1.99	b	1.87	b	27.6	b	1.36	b	0	0	0	0	100
	H7	324	a	132	a	10.09	a	7.67	a	7.39	b	71.3	a	1.90	a	1.76	a	25.7	a	1.35	a	53	0	0	0	100

^zμE·m⁻²·s⁻¹.

^ymg·CO₂·dm⁻²·h⁻¹.

^xDifferent letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

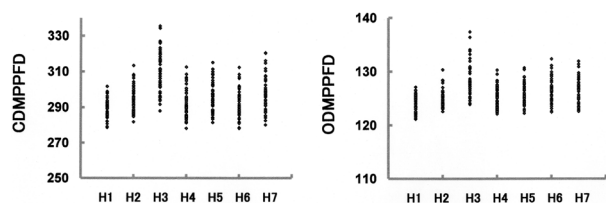


Fig. 5. The effects of the differences of the alternatives in H experiment on the distributions of CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) in the plot of four PSBs where the unit was μE·m⁻²·s⁻¹. The abbreviations of the alternatives refer to Table 2.

Table 13. The coefficients of correlation (r) between CDMPPFD, ODMPPFD and other variables of all crown models (n=315) from each experimental plot of the number of PSBs in the experiment H. The abbreviations in the table refer to Table 4. n=225 in the cases of 2 PSBs.

Num. of PSBs	CD-MPPFD	OD-MPPFD	CD-MPN	OD-MPN	LAO	PNLES	MCFNS	MCFVD	MNLBA	PSLB	
2	CDMPPFD	1.000 [*]	0.897	0.983	0.881	0.548	-0.842	-0.771	-0.335	-0.254	0.252
	ODMPPFD	0.897	1.000	0.958	0.994	0.218	-0.936	-0.658	0.029	-0.179	0.287
3	CDMPPFD	1.000	0.831	0.989	0.834	0.575	-0.606	-0.608	-0.472	-0.006	0.139
	ODMPPFD	0.831	1.000	0.889	0.995	0.135	-0.833	-0.664	-0.043	0.092	0.166
4	CDMPPFD	1.000	0.928	0.997	0.928	0.919	-0.813	-0.686	-0.615	-0.033	0.251
	ODMPPFD	0.928	1.000	0.937	0.995	0.888	-0.743	-0.609	-0.517	0.056	0.355
5	CDMPPFD	1.000	0.952	0.997	0.933	0.955	-0.510	-0.459	-0.370	0.112	0.640
	ODMPPFD	0.952	1.000	0.957	0.992	0.918	-0.555	-0.560	-0.489	-0.002	0.559
6	CDMPPFD	1.000	0.921	0.996	0.919	0.935	-0.841	-0.551	-0.698	-0.452	0.445
	ODMPPFD	0.921	1.000	0.920	0.988	0.893	-0.831	-0.646	-0.707	-0.482	0.488

^{*} Significance at 0.1 % level, 1% level or 5 % level if r > 0.4816, r > 0.3922 or r > 0.3044, respectively.

Table 14. The effects of the central angles of the 1st PBS on the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD, PNLES and MNLBA and that on the proportion which did not satisfy the five conditions in F experiment. The explanations of the table refer to Table 4. n=45.

Num. of PSBs	Ab.	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	Mean MNL-BA	TH EWWSNWNLBNLB														
												>350 cm	>400 cm	>400 cm	<590 cm	>722 cm										
Unit	Unit1 ^z	Unit1	Unit2 ^y	Unit2	m ³	%	block	block	%	block	%	%	%	%												
2	F1	330	ab ^x	138	ab	10.15	ab	7.79	ab	8.39	a	69.2	c	2.01	a	1.93	a	30.2	a	1.38	d	0	67	0	0	78
	F2	329	ab	138	ab	10.14	ab	7.79	ab	8.38	a	69.4	a	2.01	a	1.94	a	30.3	a	1.38	abc	0	67	0	0	78
	F3	331	ab	136	b	10.17	ab	7.75	b	8.38	a	69.4	a	2.07	a	1.92	a	30.2	a	1.38	a	0	0	67	0	78
	F4	327	b	137	ab	10.12	b	7.77	ab	8.38	a	69.5	a	2.07	a	1.93	a	30.3	a	1.38	cd	0	0	67	0	78
	F5	333	a	138	ab	10.21	a	7.77	ab	8.41	a	69.4	a	2.03	a	1.92	a	30.6	a	1.38	bcd	0	0	42	0	78
	F6	333	a	138	ab	10.21	a	7.78	ab	8.41	a	69.3	b	2.03	a	1.91	a	30.7	a	1.38	abc	0	42	0	0	78
	F7	334	a	138	ab	10.21	a	7.79	ab	8.40	a	69.2	bc	2.03	a	1.93	a	30.8	a	1.38	abc	0	42	0	0	78
	F8	329	ab	139	a	10.15	ab	7.80	a	8.37	a	69.1	c	2.03	a	1.93	a	30.6	a	1.38	abc	0	0	42	0	78
3	F1	303	a	128	c	9.72	a	7.53	c	6.83	a	61.7	d	2.67	a	2.50	a	37.1	a	1.54	e	0	0	0	11	0
	F2	295	b	130	ab	9.61	bc	7.61	ab	6.84	a	62.3	c	2.67	a	2.50	a	37.0	a	1.53	d	0	0	0	11	0
	F3	305	a	128	bc	9.75	a	7.54	c	6.83	a	62.5	ab	2.63	a	2.49	a	37.0	a	1.53	d	0	0	0	11	0
	F4	293	b	130	ab	9.58	c	7.61	ab	6.83	a	62.5	a	2.63	a	2.50	a	37.1	a	1.52	c	0	0	0	11	0
	F5	307	a	128	bc	9.78	a	7.54	c	6.81	a	62.5	ab	2.62	a	2.51	a	36.7	a	1.52	bc	0	0	0	18	0
	F6	302	a	129	abc	9.71	ab	7.56	bc	6.80	a	62.5	ab	2.61	a	2.50	a	36.8	a	1.52	b	0	0	0	18	0
	F7	302	a	129	abc	9.71	ab	7.56	bc	6.80	a	62.5	ab	2.61	a	2.51	a	36.8	a	1.52	b	0	0	0	18	0
	F8	293	b	131	a	9.59	c	7.63	a	6.80	a	62.4	b	2.61	a	2.50	a	36.7	a	1.51	a	0	0	0	18	0
4	F1	292	b	125	bc	9.54	ab	7.48	cd	6.85	a	60.1	c	2.55	a	2.28	a	38.2	a	1.47	b	0	0	0	0	20
	F2	286	c	126	ab	9.46	bc	7.52	bc	6.82	a	60.5	b	2.56	a	2.29	a	38.1	a	1.47	a	0	0	0	0	18
	F3	298	a	124	c	9.62	a	7.45	d	6.85	a	60.6	a	2.55	a	2.28	a	38.0	a	1.47	b	0	0	0	0	20
	F4	280	d	128	a	9.39	c	7.56	ab	6.82	a	60.6	a	2.56	a	2.30	a	38.2	a	1.47	c	0	0	0	0	18
	F5	298	a	125	c	9.62	a	7.46	d	6.90	a	60.6	a	2.58	a	2.35	a	38.5	a	1.48	d	0	0	0	0	16
	F6	295	ab	125	bc	9.58	a	7.48	cd	6.91	a	60.6	a	2.57	a	2.35	a	38.7	a	1.48	e	0	0	0	0	16
	F7	295	ab	125	bc	9.58	a	7.49	cd	6.91	a	60.6	a	2.57	a	2.35	a	38.7	a	1.49	f	0	0	0	0	16
	F8	282	cd	128	a	9.41	c	7.56	a	6.90	a	60.6	a	2.59	a	2.36	a	38.6	a	1.49	f	0	0	0	0	16
5	F1	296	a	126	c	9.60	ab	7.49	d	6.79	a	65.6	f	2.50	a	2.24	a	61.2	d	1.44	d	0	0	0	0	0
	F2	284	bc	129	a	9.46	cd	7.59	a	6.81	a	66.0	e	2.50	a	2.24	a	71.9	b	1.43	b	0	0	0	0	0
	F3	295	a	126	bc	9.60	ab	7.50	cd	6.79	a	66.1	d	2.46	a	2.24	a	62.5	d	1.43	ab	0	0	0	0	0
	F4	284	bc	127	bc	9.44	cd	7.53	bc	6.81	a	66.1	d	2.46	a	2.23	a	72.9	ab	1.43	a	0	0	0	0	0
	F5	298	a	126	bc	9.64	a	7.50	cd	6.73	a	66.2	c	2.50	a	2.29	a	62.2	d	1.43	a	0	0	0	0	0
	F6	289	b	128	ab	9.53	bc	7.56	ab	6.75	a	66.3	b	2.48	a	2.29	a	66.3	c	1.43	b	0	0	0	0	0
	F7	289	b	128	ab	9.52	bcd	7.55	ab	6.75	a	66.4	ab	2.48	a	2.29	a	66.5	c	1.44	c	0	0	0	0	0
	F8	282	c	129	a	9.43	d	7.59	a	6.76	a	66.4	a	2.48	a	2.28	a	74.7	a	1.44	c	0	0	0	0	0
6	F1	301	ab	127	c	9.70	ab	7.53	d	6.99	a	67.6	f	2.32	a	2.16	a	31.8	a	1.43	f	0	0	0	0	18
	F2	289	c	130	a	9.55	c	7.63	a	7.05	a	67.8	e	2.31	a	2.15	a	31.7	a	1.42	bc	0	0	0	0	24
	F3	303	a	128	bc	9.74	a	7.56	cd	7.00	a	67.9	de	2.34	a	2.15	a	31.5	a	1.42	b	0	0	0	0	18
	F4	288	c	130	ab	9.53	c	7.61	ab	7.07	a	67.9	cd	2.33	a	2.14	a	31.7	a	1.42	a	0	0	0	0	29
	F5	304	a	127	c	9.74	a	7.53	d	6.95	a	68.0	bc	2.34	a	2.20	a	31.9	a	1.42	a	0	0	0	0	16
	F6	296	b	129	ab	9.65	b	7.59	b	6.98	a	68.0	ab	2.30	a	2.18	a	31.8	a	1.42	cd	0	0	0	0	20
	F7	296	b	129	ab	9.65	b	7.59	bc	6.97	a	68.1	ab	2.32	a	2.20	a	31.8	a	1.42	de	0	0	0	0	20
	F8	285	c	131	a	9.49	c	7.64	a	7.02	a	68.1	a	2.32	a	2.17	a	31.6	a	1.42	e	0	0	0	0	27

^zμE·m⁻²·s⁻¹.

^ymg·CO₂·dm⁻²·h⁻¹.

^xDifferent letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

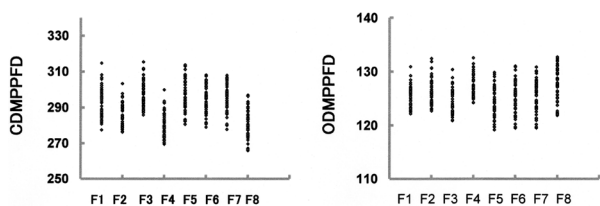


Fig. 6. The effects of the differences of the alternatives in F experiment on the distributions of CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) in the plot of four PSBs where the unit was μE·m⁻²·s⁻¹. The abbreviations of the alternatives refer to Table 2.

Table 15. The coefficients of correlation (r) between CDMPPFD, ODMPPFD and other variables of all crown models (n=360) from each experimental plot of the number of PSBs in the experiment F. The abbreviations in the table refer to Table 4.

Num. of PSBs	CD-MPPFD	OD-MPPFD	CD-MPN	OD-MPN	LAO	PNLES	MCFNS	MCFVD	MNLBA	PSLB	
2	CDMPPFD	1.000 ^a	0.868	0.985	0.825	0.823	-0.751	-0.517	-0.633	-0.114	0.085
	ODMPPFD	0.868	1.000	0.919	0.990	0.688	-0.776	-0.395	-0.460	-0.069	0.047
3	CDMPPFD	1.000	0.648	0.990	0.581	0.661	-0.728	-0.611	-0.586	0.005	0.034
	ODMPPFD	0.648	1.000	0.741	0.993	0.581	-0.837	-0.659	-0.482	-0.237	0.214
4	CDMPPFD	1.000	0.382	0.990	0.282	0.742	-0.619	-0.541	-0.473	0.037	0.082
	ODMPPFD	0.382	1.000	0.496	0.988	0.828	-0.772	-0.546	-0.452	0.107	0.132
5	CDMPPFD	1.000	0.538	0.992	0.412	0.789	-0.721	-0.508	-0.645	-0.090	-0.092
	ODMPPFD	0.538	1.000	0.629	0.987	0.853	-0.819	-0.576	-0.672	-0.042	0.289
6	CDMPPFD	1.000	0.324	0.995	0.136	0.677	-0.522	-0.369	-0.542	-0.007	-0.052
	ODMPPFD	0.324	1.000	0.403	0.977	0.829	-0.640	-0.468	-0.614	-0.140	0.267

^a Significance at 0.1 % level, 1% level or 5 % level if r > 0.4816, r > 0.3922 or r > 0.3044, respectively.

り、LAOは減少し、枝葉に遮られずに地面に逃げる投射光も増大することになる。主枝が縦方向に重なることを避けるには、主枝の回転中心角の増分として、(360°/主枝数)に相当する角度を用いれば良い。このことを反映して、CDMPPFD平均値の最も大きかった回転中心角増分は、2本主枝では180°(G6)、3本主枝では120°(G4)および4本主枝では90°(G3)であった(第16表および第7図)。とは言え、主枝数が多くなると上記の傾向はやや薄れ、5本主枝では72°(G2)と90°(G4)、6本主枝では72°(G2)のとき、CDMPPFD平均値が最も大きかった(第16表)。一方、CDMPPFD平均値の小さいときの回転中心角の増分は、多くの主枝数実験区で30°(G8)、51°(G7)、60°(G1)などであった(第16表)。

ODMPPFD平均値の序列はCDMPPFDのそれとは少し異なった(第16表)。LAOやPNLESの平均値の序列はCDMPPFD平均値の序列にほぼ対応した(第16表)。個々のデータとして見ると、MNLBAとPSLBを除く多くの樹冠形状値とCDMPPFDの間の相関は高かった(第17表)。ODMPPFDについてもこれとほぼ似た相関関係が認められた(第17表)。

8) 主枝の分岐角度分布形の違いによる影響 (I実験)

主枝の分岐角度分布形が異なることで樹冠モデルの骨格と外観が大きく変貌するため(山本, 2020)、光環境もこの違いにより大きく影響された(第18表)。CDMPPFDとODMPPFDの両平均値の序列は良く似ており、両者とも広い角度のみ(I1)が最も大きく、狭い角度のみ(I3)が最も小さかった(第18表および第8図)。CDMPPFDとODMPPFDの両平均値の序列はLAO平均値の序列に良く対応した(第18表)。個々のデータとして見ると、CDMPPFDあるいはODMPPFDとLAOの間に高い相関が認められた(第19表)。また、MCFVDやPNLESとの間に相関が認められた(第19表)。

2本主枝実験区と6本主枝実験区の多くの選択枝で抵触割合が非常に高かった(第18表)。なお、2本主枝実験区のI6とI7の選択枝は適用外である。

9) ユニットのタイプの違いによる影響 (K実験)

ユニットのタイプが異なることで樹冠モデルの外観が大きく変貌するため(山本, 2020)、光環境も大きく影響された(第20表)。CDMPPFDとODMPPFDの両平均値にはほぼ似たような序列が観察され、いずれの主枝数実験区においても、2又状ユニット(K2)が最も大きく、3又状ユニット(K1)が次に大きかった(第20表および第

9図)。多くの主枝数実験区において、CDMPPFD平均値やODMPPFD平均値の序列は樹冠形状値平均値の序列に対応した(第20表)。個々のデータとして見たとき、CDMPPFDやODMPPFDとPNLESとの間に高い相関が認められた(第21表)。さらに、2本主枝実験区を除き、両DMPPFDとLAO、MCFNSおよびMCFVDとの間に相関関係が認められた(第21表)。

2本主枝実験区の抵触割合は特に高かった(第20表)。全ての主枝数実験区の2又状ユニット(K2)で、樹幅の超過や葉ブロック数の不足などが目立ち、抵触割合が増大した(第20表)。さらに、多くの主枝数実験区の板状ユニット(K5)で、葉ブロック数の不足が目立ち、抵触割合が増大した(第20表)。2本主枝実験区および3本主枝実験区の棒状ユニット(K4)でも、葉ブロック数の不足が目立ち、抵触割合が増大した(第20表)。

10) ユニットの大きさ分布形の違いによる影響 (P実験)

前報の結果(山本, 2020)、ユニットの大きさ分布形が異なったことで1樹当たりのユニット総数も大きく変わり、樹冠の外見や内部構造も大きく変貌した(山本, 2020)。よって、光環境も大きく影響された(第22表および第10図)。CDMPPFDとODMPPFDの両平均値の間には似たような序列が観察され、大きいユニットのみの選択枝(P3)のとき両平均値とも最も大きかった(第22表および第10図)。逆に、小さいユニットのみの選択枝(P1)あるいは中位の大きさのユニットのみの選択枝(P2)のとき光環境は悪化した(第22表および第10図)。CDMPPFDとODMPPFDの両平均値の序列は、LAO、MCFVD、PNLESなどの平均値の序列に良く対応した(第22表)。いずれの主枝数実験区でも、小さいユニットのみ(P1)のときLAOの平均値が著しく減少した(第22表)。個々のデータとして見た場合、CDMPPFDあるいはODMPPFDとPNLESとの間に高い相関が認められ、さらに、LAO、MCFNSおよびMCFVDとの間にも相関が認められた(第23表)。

ほとんどの主枝数実験区において、P1とP2のときには葉ブロック数の不足、P3のときには葉ブロック数の過剰が目立ち、いずれも抵触割合が増大した(第22表)。また、6本主枝実験区のP6とP7で、葉ブロック数の過剰により、抵触割合が増大した(第22表)。

11) ユニットの発出間隔分布形の違いによる影響 (Q実験)

前報の結果(山本, 2020)、ユニットの発出間隔分布形

Table 16. The effects of increment of central angle of PBS on the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD, PNLES and MNLBA and that on the proportion which did not satisfy the five conditions G experiment. The explanations of the table refer to Table 4. n=45.

Num. of PSBs	Ab.	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	Mean MNL-BA	TH EWWSNW NLB NLB														
												>350 cm	>400 cm	>400 cm	<590 cm	>722 cm										
Unit	Unit1 ^z	Unit1	Unit2 ^y	Unit2	m ²	%	block	block	%	block	%	%	%	%												
2	G1	291	f ^x	127	e	9.54	e	7.53	e	7.13	de	62.3	f	2.59	d	2.35	de	37.2	de	1.48	g	0	0	0	0	7
	G2	298	e	130	d	9.65	d	7.59	d	7.36	d	62.8	e	2.51	d	2.28	d	36.2	d	1.48	f	0	0	0	0	9
	G3	306	d	133	c	9.79	c	7.67	c	7.75	c	63.5	d	2.36	c	2.16	c	34.0	c	1.47	e	0	0	0	0	29
	G4	318	c	136	b	9.97	b	7.74	b	8.14	b	64.4	c	2.25	b	2.06	b	32.6	b	1.46	d	0	67	0	0	42
	G5	325	b	138	a	10.08	a	7.80	a	8.36	ab	65.1	b	2.10	a	1.98	ab	31.3	a	1.45	c	0	42	0	0	64
	G6	330	a	138	a	10.16	a	7.79	a	8.39	a	65.8	a	2.05	a	1.94	a	30.3	a	1.44	a	0	67	0	0	67
	G7	287	g	126	f	9.47	e	7.50	e	6.91	e	65.8	a	2.62	d	2.43	e	38.2	e	1.44	a	0	0	0	0	4
	G8	282	h	123	g	9.39	f	7.44	f	6.49	f	65.2	b	2.77	e	2.57	f	39.7	f	1.44	b	0	0	0	4	0
3	G1	289	ef	129	ab	9.53	cd	7.59	a	6.04	c	62.1	e	2.74	de	2.77	c	37.4	ab	1.57	g	0	0	0	91	0
	G2	294	cd	129	a	9.60	bc	7.60	a	6.39	b	62.2	d	2.73	cde	2.64	b	37.1	ab	1.56	f	0	0	0	78	0
	G3	299	bc	129	a	9.66	ab	7.58	a	6.67	a	62.4	c	2.73	cde	2.53	a	36.4	a	1.55	e	0	0	0	38	0
	G4	304	a	127	bcd	9.72	a	7.53	b	6.83	a	62.5	a	2.66	abc	2.50	a	37.1	ab	1.54	d	0	0	0	11	0
	G5	301	ab	127	d	9.68	ab	7.51	b	6.81	a	62.5	ab	2.63	ab	2.44	a	37.3	ab	1.53	c	0	0	0	13	0
	G6	290	de	127	cd	9.53	cd	7.53	b	5.96	c	62.4	bc	2.59	a	2.44	a	37.3	ab	1.52	a	0	0	0	11	0
	G7	285	f	129	abc	9.48	d	7.58	a	5.87	c	62.4	c	2.70	bcd	2.83	cd	37.4	ab	1.52	a	0	0	0	100	0
	G8	279	g	126	d	9.39	e	7.53	b	5.49	d	62.4	c	2.78	e	2.92	d	37.9	b	1.53	b	0	0	0	100	0
4	G1	282	d	126	a	9.40	c	7.50	a	6.46	cd	61.6	a	2.70	c	2.54	cd	38.3	ab	1.52	f	0	0	0	2	0
	G2	287	bc	125	ab	9.48	ab	7.50	a	6.68	ab	60.9	b	2.69	c	2.45	c	38.9	ab	1.51	f	0	0	0	0	4
	G3	292	a	125	ab	9.54	a	7.48	ab	6.84	a	60.6	cd	2.56	b	2.28	b	38.0	a	1.51	e	0	0	0	0	20
	G4	291	ab	124	c	9.52	a	7.44	c	6.57	bc	60.6	c	2.46	ab	2.29	b	38.9	ab	1.50	d	0	0	0	0	36
	G5	286	c	124	bc	9.44	bc	7.46	bc	6.62	abc	60.5	de	2.46	ab	2.28	b	38.9	ab	1.49	c	0	0	0	0	38
	G6	281	de	125	ab	9.38	cd	7.49	a	6.07	e	60.4	ef	2.36	a	2.22	b	38.5	ab	1.48	a	0	0	0	0	42
	G7	277	e	125	abc	9.32	d	7.49	a	6.34	d	60.5	ef	2.76	c	2.59	d	39.2	bc	1.48	a	0	0	0	4	0
	G8	269	f	122	d	9.21	e	7.42	c	5.93	e	60.4	f	2.76	c	0.01	a	40.0	c	1.49	b	0	0	0	9	0
5	G1	292	ab	125	abc	9.55	ab	7.48	ab	6.63	abc	65.8	cd	2.61	d	2.35	c	33.3	a	1.47	g	0	0	0	0	0
	G2	296	a	126	ab	9.60	a	7.49	ab	6.79	a	66.1	a	2.50	c	2.24	b	32.7	a	1.46	f	0	0	0	0	0
	G3	294	a	127	a	9.58	a	7.51	a	6.44	c	66.1	a	2.37	b	2.14	a	32.5	a	1.45	e	0	0	0	0	22
	G4	296	a	127	a	9.61	a	7.50	a	6.72	ab	66.0	b	2.16	a	2.10	a	32.8	a	1.44	d	0	0	0	0	56
	G5	292	ab	125	bc	9.54	ab	7.45	b	6.63	abc	65.9	c	2.23	a	2.12	a	33.3	a	1.44	c	0	0	0	0	67
	G6	280	c	126	abc	9.37	c	7.50	a	5.78	e	65.7	e	2.19	a	2.08	a	33.9	a	1.43	a	0	0	0	0	67
	G7	287	b	126	abc	9.48	b	7.49	ab	6.50	bc	65.8	de	2.64	de	2.51	d	33.1	a	1.43	a	0	0	0	2	0
	G8	269	d	124	c	9.23	d	7.47	ab	6.07	d	65.7	e	2.70	e	2.59	d	36.3	b	1.43	b	0	0	0	0	0
6	G1	301	abc	127	cd	9.70	abc	7.53	cde	6.99	abc	67.6	e	2.32	d	2.16	c	31.8	c	1.43	g	0	0	0	0	18
	G2	307	a	128	bcd	9.78	a	7.54	cd	7.17	ab	67.8	d	2.19	c	2.05	b	30.8	bc	1.42	f	0	0	0	0	67
	G3	305	ab	129	ab	9.75	ab	7.57	abc	7.23	a	68.1	c	2.06	b	1.95	a	29.1	a	1.41	e	0	0	0	0	91
	G4	300	bc	130	a	9.67	bc	7.60	ab	6.96	bc	68.4	b	1.97	a	1.90	a	29.6	ab	1.39	d	0	0	0	0	98
	G5	297	cd	129	abc	9.63	cd	7.56	bcd	7.21	ab	68.5	a	1.95	a	1.89	a	29.3	a	1.39	b	0	0	0	0	100
	G6	291	d	130	a	9.56	d	7.61	a	6.94	bc	68.6	a	1.96	a	1.89	a	29.3	a	1.38	a	0	7	0	0	100
	G7	292	d	126	d	9.57	d	7.52	de	6.73	c	68.5	a	2.46	e	2.32	d	33.5	d	1.38	a	0	0	0	0	4
	G8	267	e	124	e	9.57	d	7.50	e	6.36	d	68.1	c	2.61	f	2.46	e	35.5	e	1.39	c	0	0	0	0	2

^xμE·m²·s⁻¹.

^ymg·CO₂·dm²·h⁻¹.

^zDifferent letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

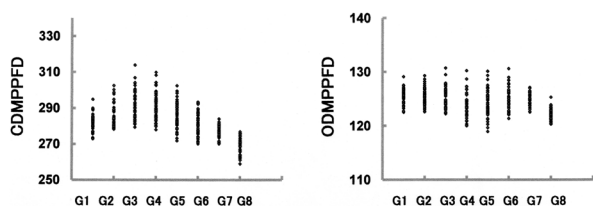


Fig. 7. The effects of the differences of the alternatives in G experiment on the distributions of CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) in the plot of four PSBs where the unit was μE·m²·s⁻¹. The abbreviations of the alternatives refer to Table 2.

Table 17. The coefficients of correlation (r) between CDMPPFD, ODMPPFD and other variables of all crown models (n=360) from each experimental plot of the number of PSBs in the experiment G. The abbreviations in the table refer to Table 4.

Num. of PSBs	CD-MPPFD	OD-MPPFD	CD-MPN	OD-MPN	LAO	PNLES	MCFNS	MCFVD	MNLBA	PSLB	
2	CDMPPFD	1.000 ^z	0.981	0.998	0.974	0.955	-0.954	-0.898	-0.897	-0.186	0.256
	ODMPPFD	0.981	1.000	0.987	0.998	0.937	-0.958	-0.865	-0.865	-0.109	0.186
3	CDMPPFD	1.000	0.821	0.986	0.621	0.855	-0.591	-0.529	-0.723	0.131	0.206
	ODMPPFD	0.821	1.000	0.722	0.983	0.683	-0.762	-0.427	-0.160	0.257	-0.142
4	CDMPPFD	1.000	0.706	0.990	0.586	0.851	-0.597	-0.647	-0.729	0.375	0.095
	ODMPPFD	0.706	1.000	0.782	0.980	0.628	-0.763	-0.506	-0.468	0.219	0.224
5	CDMPPFD	1.000	0.776	0.996	0.653	0.846	-0.834	-0.500	-0.657	0.342	0.444
	ODMPPFD	0.776	1.000	0.819	0.979	0.669	-0.847	-0.501	-0.598	0.031	0.235
6	CDMPPFD	1.000	0.802	0.997	0.700	0.891	-0.798	-0.622	-0.715	0.386	-0.131
	ODMPPFD	0.802	1.000	0.817	0.978	0.856	-0.896	-0.748	-0.823	-0.045	0.217

^z Significance at 0.1 % level, 1% level or 5 % level if r > 0.4816, r > 0.3922 or r > 0.3044, respectively.

Table 18. The effects of distribution patterns of branching angles of the PBS on the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD, PNLES and MNLBA and that on the proportion which did not satisfy the five conditions in I experiment. The explanations of the table refer to Table 4. n=45.

Num. of PSBs	Ab.	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	TH	EW	SN	NLB	NLB
		CDM-PPFD	ODM-PPFD	CDM-PN	ODM-PN	LAO	PSLB	MCF-NS	MCF-VD	PNL-ES	MNL-BA	>350	>400	>400	<590	>722
Unit	Unit1 ^z	Unit1	Unit2 ^y	Unit2	m ²	%	block	block	%	block	%	cm	cm	cm	%	%
2	I1	345 a ^x	142 a	10.38 a	7.87 a	8.90 a	67.4 b	2.27 c	1.96 ab	32.6 b	1.36 a	0	100	0	0	20
	I2	330 b	138 b	10.15 b	7.80 b	8.37 b	68.1 a	2.01 a	1.93 a	30.3 a	1.36 b	0	67	0	0	78
	I3	297 d	129 d	9.64 d	7.58 d	6.97 e	68.0 a	2.18 bc	2.21 c	32.8 b	1.38 c	0	0	0	0	58
	I4	327 b	138 b	10.15 b	7.80 b	8.13 c	68.0 a	2.15 b	2.02 ab	30.0 a	1.39 d	0	20	0	0	38
	I5	320 c	136 c	10.01 c	7.74 c	7.88 d	68.1 a	2.14 b	2.04 b	32.0 b	1.40 d	0	20	0	0	47
3	I1	328 a	134 a	10.11 a	7.68 a	7.58 a	63.0 a	2.60 ab	2.32 a	35.9 bc	1.47 a	0	0	0	36	0
	I2	303 cd	127 c	9.72 c	7.53 c	6.83 bc	63.1 a	2.66 bc	2.50 bc	37.1 cd	1.49 b	0	0	0	11	0
	I3	280 f	123 e	9.38 d	7.43 e	5.70 e	62.4 bc	2.73 c	2.80 e	38.5 d	1.51 c	0	0	0	47	0
	I4	309 b	130 b	9.86 b	7.60 b	6.60 c	62.4 bc	2.51 a	2.41 b	33.7 a	1.52 d	0	0	0	51	0
	I5	299 de	128 bc	9.64 c	7.53 cd	6.72 bc	62.5 b	2.72 c	2.61 d	38.6 d	1.52 d	0	0	0	18	0
	I6	297 e	125 d	9.65 c	7.48 de	6.30 d	62.2 c	2.66 bc	2.54 cd	36.5 bc	1.52 d	0	0	0	22	0
	I7	308 bc	133 a	9.83 b	7.67 a	6.85 b	62.4 bc	2.51 a	2.45 bc	34.9 ab	1.52 d	0	0	0	56	0
4	I1	312 a	130 a	9.85 a	7.58 a	7.61 a	60.9 a	2.50 ab	2.21 d	37.9 ab	1.47 b	0	0	0	0	16
	I2	292 bc	125 c	9.54 c	7.48 cd	6.85 b	61.0 a	2.55 bc	2.29 cd	38.1 ab	1.46 a	0	0	0	0	20
	I3	270 e	120 e	9.21 e	7.37 f	5.92 d	60.1 b	2.86 e	2.69 a	40.5 c	1.48 c	0	0	0	2	0
	I4	296 b	127 b	9.63 b	7.53 b	6.86 b	59.7 c	2.55 abc	2.26 d	37.1 a	1.49 e	0	0	0	0	4
	I5	285 d	123 d	9.41 d	7.42 e	6.54 c	59.8 c	2.70 d	2.49 b	40.0 c	1.49 de	0	0	0	0	4
	I6	292 bc	125 c	9.53 c	7.46 d	6.75 bc	59.7 c	2.45 a	2.24 d	38.7 b	1.49 e	0	0	0	0	42
	I7	290 c	125 c	9.54 c	7.50 bc	6.65 bc	59.7 c	2.63 cd	2.37 c	37.9 ab	1.48 d	0	0	0	0	0
5	I1	319 a	131 a	9.97 a	7.60 a	7.71 a	68.4 a	2.19 a	2.00 a	31.1 bc	1.38 a	0	7	0	0	13
	I2	302 c	127 bc	9.71 c	7.54 bc	7.01 c	68.5 a	2.30 c	2.14 bc	31.6 c	1.40 b	0	0	0	0	0
	I3	273 f	122 d	9.31 e	7.44 d	5.88 e	67.7 b	2.46 e	2.40 d	33.4 d	1.42 c	0	0	0	0	0
	I4	304 c	128 bc	9.77 c	7.55 b	6.86 c	67.7 b	2.22 ab	2.11 b	29.8 a	1.43 d	0	0	0	0	9
	I5	296 d	127 c	9.62 d	7.51 c	6.93 c	67.8 b	2.37 d	2.20 c	32.9 d	1.43 d	0	0	0	0	2
	I6	311 b	129 b	9.85 b	7.56 b	7.31 b	67.6 b	2.17 a	2.02 a	31.2 bc	1.42 d	0	0	0	0	20
	I7	291 e	127 c	9.60 d	7.56 b	6.56 d	67.8 b	2.26 bc	2.15 bc	30.3 ab	1.42 c	0	0	0	0	0
6	I1	319 a	131 a	9.97 a	7.60 a	7.71 a	68.4 a	2.19 a	2.00 a	31.1 bc	1.38 a	0	0	7	0	91
	I2	302 c	127 bc	9.71 c	7.54 bc	7.01 c	68.5 a	2.30 c	2.14 bc	31.6 c	1.40 b	0	0	0	0	18
	I3	273 f	122 d	9.31 e	7.44 d	5.88 e	67.7 b	2.46 e	2.40 d	33.4 d	1.42 c	0	0	0	0	0
	I4	304 c	128 bc	9.77 c	7.55 b	6.86 c	67.7 b	2.22 ab	2.11 b	29.8 a	1.43 d	0	0	0	0	47
	I5	296 d	127 c	9.62 d	7.51 c	6.93 c	67.8 b	2.37 d	2.20 c	32.9 d	1.43 d	0	0	0	0	31
	I6	311 b	129 b	9.85 b	7.56 b	7.31 b	67.6 b	2.17 a	2.02 a	31.2 bc	1.42 d	0	0	0	0	98
	I7	291 e	127 c	9.60 d	7.56 b	6.56 d	67.8 b	2.26 bc	2.15 bc	30.3 ab	1.42 c	0	0	0	0	36

^zμE·m²·s⁻¹.

^ymg·CO₂·dm⁻²·h⁻¹.

^xDifferent letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

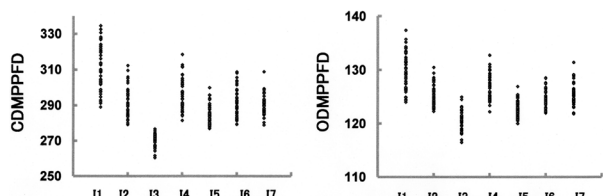


Fig. 8. The effects of the differences of the alternatives in I experiment on the distributions of CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) in the plot of four PSBs where the unit was μE·m²·s⁻¹. The abbreviations of the alternatives refer to Table 2.

Table 19. The coefficients of correlation (r) between CDMPPFD, ODMPPFD and other variables of all crown models (n=315) from each experimental plot of the number of PSBs in the experiment I. The abbreviations in the table refer to Table 4 (n=225 in the case of 2 PSBs).

Num. of PSBs		CD-	OD-	CD-	OD-	LAO	PNLES	MCFNS	MCFVD	MNLBA	PSLB
		MPPFD	MPPFD	MPN	MPN						
2	CDMPPFD	1.000 ^z	0.976	0.996	0.957	0.968	-0.436	-0.140	-0.684	-0.463	-0.428
	ODMPPFD	0.976	1.000	0.987	0.994	0.924	-0.519	-0.137	-0.634	-0.387	-0.353
3	CDMPPFD	1.000	0.917	0.993	0.887	0.848	-0.673	-0.594	-0.765	-0.421	0.344
	ODMPPFD	0.917	1.000	0.939	0.992	0.710	-0.726	-0.648	-0.600	-0.279	0.259
4	CDMPPFD	1.000	0.960	0.996	0.931	0.961	-0.737	-0.657	-0.770	-0.117	0.323
	ODMPPFD	0.960	1.000	0.976	0.990	0.901	-0.802	-0.629	-0.712	-0.134	0.305
5	CDMPPFD	1.000	0.952	0.996	0.909	0.968	-0.721	-0.667	-0.863	-0.316	0.354
	ODMPPFD	0.952	1.000	0.965	0.987	0.937	-0.766	-0.703	-0.827	-0.259	0.288
6	CDMPPFD	1.000	0.922	0.994	0.850	0.967	-0.579	-0.739	-0.880	-0.386	0.319
	ODMPPFD	0.922	1.000	0.949	0.980	0.901	-0.746	-0.776	-0.878	-0.303	0.270

^zSignificance at 0.1% level, 1% level or 5% level if r > 0.4816, r > 0.3922 or r > 0.3044, respectively.

Table 20. The effects of the unit types on the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD, PNLES and MNLBA and that on the proportion which did not satisfy the five conditions in K experiment. The explanations of the table refer to Table 4. n=45.

Num. of PSBs	Ab.	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	TH	EW	SN	NLB	NLB
		CDM-PPFD	ODM-PPFD	CDM-PN	ODM-PN	LAO	PSLB	MCF-NS	MCF-VD	PNL-ES	MNL-BA	>350 cm	>400 cm	>400 cm	<590 cm	>722 cm
Unit	Unit1 ^z	Unit1	Unit2 ^y	Unit2	m ²	%	block	block	%	block	%	%	%	%	%	%
2	K1	345 ab ^x	146 ab	10.45 ab	7.97 a	8.79 b	74.3 c	2.07 b	1.96 b	24.6 b	1.40 d	0	76	0	0	0
	K2	350 a	147 a	10.51 a	8.00 a	9.34 a	75.8 a	1.87 a	1.79 a	20.7 a	1.37 b	0	69	89	0	98
	K3	330 d	138 d	10.15 d	7.79 c	8.34 c	75.2 b	2.01 b	1.93 b	30.2 d	1.36 a	0	67	0	0	78
	K4	339 c	144 c	10.32 c	7.90 b	7.14 d	74.1 c	2.24 c	2.50 c	26.3 c	1.38 c	0	0	0	96	0
	K5	345 b	145 bc	10.39 b	7.93 b	7.32 d	73.8 d	2.61 d	2.66 d	27.3 c	1.42 e	0	13	0	100	0
3	K1	326 b	138 b	10.15 a	7.77 b	7.74 b	69.5 c	2.30 b	2.18 b	28.7 b	1.46 b	0	4	20	16	0
	K2	332 a	140 a	10.23 a	7.84 a	8.31 a	71.2 a	2.01 a	1.93 a	25.2 a	1.44 a	0	56	0	0	82
	K3	304 d	128 d	9.72 d	7.53 d	6.83 c	70.1 b	2.66 c	2.49 c	37.0 e	1.44 a	0	0	0	11	0
	K4	313 c	132 c	9.89 c	7.65 c	6.56 c	68.3 d	2.64 c	2.61 d	34.1 d	1.47 b	0	0	0	67	0
	K5	322 b	134 c	10.01 b	7.67 c	6.23 d	67.9 e	2.87 d	2.84 e	31.5 c	1.50 c	0	0	0	100	0
4	K1	317 a	135 b	9.99 a	7.71 b	7.79 a	66.6 c	2.24 b	2.06 b	31.2 b	1.41 b	0	0	0	0	47
	K2	318 a	137 a	10.00 a	7.76 a	7.78 a	68.3 a	2.02 a	1.97 a	27.3 a	1.40 a	0	42	67	0	91
	K3	292 c	125 d	9.54 c	7.48 d	6.84 b	67.3 b	2.56 c	2.29 c	38.1 d	1.41 b	0	0	0	0	20
	K4	295 bc	127 c	9.58 bc	7.52 c	6.43 c	65.6 d	2.74 d	2.58 d	36.2 c	1.43 c	0	0	0	16	0
	K5	298 b	128 c	9.63 b	7.53 c	5.99 d	64.8 e	3.23 e	2.88 e	37.2 cd	1.46 d	0	0	0	91	0
5	K1	311 b	134 b	9.91 b	7.69 b	7.37 b	72.1 c	2.18 b	2.05 b	26.0 b	1.39 c	0	47	0	0	27
	K2	330 a	138 a	10.18 a	7.79 a	8.42 a	73.6 a	1.78 a	1.70 a	22.4 a	1.35 a	0	27	33	0	100
	K3	297 c	126 c	9.61 c	7.49 c	6.79 c	72.7 b	2.50 c	2.23 c	32.8 c	1.35 a	0	0	0	0	0
	K4	288 d	126 c	9.50 d	7.49 c	6.27 d	70.8 d	2.70 d	2.55 d	33.5 c	1.38 b	0	0	0	0	0
	K5	293 cd	127 c	9.58 c	7.51 c	5.91 e	69.6 e	3.02 e	2.72 e	33.6 c	1.42 d	0	0	0	64	0
6	K1	316 b	135 b	9.98 b	7.71 b	7.63 b	73.1 b	2.04 b	1.96 b	25.3 b	1.36 c	100	0	67	0	51
	K2	322 a	137 a	10.07 a	7.77 a	7.95 a	73.9 a	1.75 a	1.72 a	23.7 a	1.33 a	27	13	60	0	98
	K3	301 c	127 c	9.71 c	7.53 c	7.00 c	72.9 b	2.31 c	2.16 c	31.9 c	1.34 b	0	0	0	0	18
	K4	292 d	126 d	9.58 d	7.50 d	6.43 d	71.4 c	2.59 d	2.51 d	32.1 c	1.37 d	0	0	0	0	0
	K5	293 d	124 d	9.58 d	7.48 d	6.05 e	70.2 d	3.10 e	2.72 e	33.9 d	1.41 e	0	0	0	4	0

^zμE·m⁻²·s⁻¹.

^ymg·CO₂·dm⁻²·h⁻¹.

^xDifferent letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

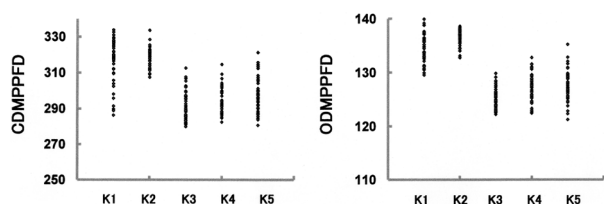


Fig. 9. The effects of the differences of the alternatives in K experiment on the distributions of CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) in the plot of four PSBs where the unit was μE·m⁻²·s⁻¹. The abbreviations of the alternatives refer to Table 3.

Table 21. The coefficients of correlation (r) between CDMPPFD, ODMPPFD and other variables of all crown models (n=225) from each experimental plot of the number of PSBs in the experiment K. The abbreviations in the table refer to Table 4.

Num. of PSB	CD-MPPFD	OD-MPPFD	CD-MPN	OD-MPN	LAO	PNLES	MCFNS	MCFVD	MNLBA	PSLB	
2	CDMPPFD	1.000 ^z	0.918	0.983	0.876	0.478	-0.732	-0.202	-0.257	0.211	0.022
	ODMPPFD	0.918	1.000	0.964	0.983	0.324	-0.805	-0.123	-0.107	0.306	-0.074
3	CDMPPFD	1.000	0.955	0.994	0.942	0.685	-0.803	-0.631	-0.555	0.101	0.160
	ODMPPFD	0.955	1.000	0.977	0.996	0.684	-0.874	-0.715	-0.598	0.034	0.239
4	CDMPPFD	1.000	0.947	0.992	0.930	0.827	-0.878	-0.715	-0.680	-0.361	0.365
	ODMPPFD	0.947	1.000	0.971	0.996	0.767	-0.938	-0.750	-0.676	-0.408	0.407
5	CDMPPFD	1.000	0.953	0.994	0.930	0.917	-0.928	-0.827	-0.847	-0.338	0.590
	ODMPPFD	0.953	1.000	0.976	0.997	0.904	-0.971	-0.857	-0.841	-0.244	0.557
6	CDMPPFD	1.000	0.964	0.997	0.959	0.927	-0.920	-0.819	-0.840	-0.560	0.692
	ODMPPFD	0.964	1.000	0.974	0.998	0.933	-0.967	-0.878	-0.891	-0.601	0.743

^z Significance at 0.1% level, 1% level or 5% level if r > 0.4816, r > 0.3922 or r > 0.3044, respectively.

Table 22. The effects of distribution patterns of the unit sizes on the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPPN, ODMPPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD, PNLES and MNLBA and that on the proportion which did not satisfy the five conditions in P experiment. The explanations of the table refer to Table 4. n=45.

Num. of PSBs	Ab.	CDM-PPFD	ODM-PPFD	CDM-PN	ODM-PN	LAO	PSLB	MCF-NS	MCF-VD	PNL-ES	MNL-BA	TH	EW	SN	NLB	NLB											
												>350	>400	>400	<590	>722											
Unit	Unit1 ²	Unit1	Unit2 ²	Unit2	m ²	%	block	block	%	block	%	cm	cm	cm	%	%											
2	P1	273	f*	127	e	9.29	f	7.56	e	3.61	g	57.0	f	2.86	d	4.96	e	41.0	d	2.58	f	0	0	0	100	0	
	P2	298	e	130	d	9.65	e	7.61	d	5.64	f	59.2	e	2.88	d	3.13	d	36.6	c	2.14	e	0	0	0	100	0	
	P3	330	a	138	a	10.15	a	7.79	a	8.37	a	62.4	d	2.01	a	1.92	a	30.2	a	1.80	d	0	67	0	0	78	
	P4	306	d	132	cd	9.77	d	7.64	cd	6.39	e	63.6	c	2.58	c	2.69	c	36.8	c	1.68	c	0	0	0	89	0	
	P5	321	b	137	a	10.00	b	7.76	a	7.55	b	64.2	b	2.31	b	2.37	b	30.3	a	1.63	b	0	67	0	0	20	0
	P6	313	c	134	bc	9.88	c	7.67	bc	7.03	d	64.9	a	2.49	c	2.49	b	33.9	b	1.61	ab	0	0	0	56	0	
	P7	317	bc	135	b	9.95	bc	7.70	b	7.29	c	65.1	a	2.51	c	2.41	b	33.2	b	1.59	a	0	0	0	40	0	
3	P1	300	d	131	bc	9.74	d	7.61	bc	4.51	f	63.4	e	2.84	e	3.79	f	34.8	c	1.95	f	0	0	0	100	0	
	P2	302	d	126	d	9.67	d	7.50	e	6.34	e	63.0	f	2.84	e	2.81	e	36.9	d	1.82	e	0	0	0	76	0	
	P3	341	a	140	a	10.33	a	7.81	a	8.79	a	65.0	d	1.84	a	1.78	a	26.7	a	1.63	d	0	67	33	0	100	
	P4	304	d	128	d	9.73	d	7.53	de	6.83	d	65.9	c	2.67	d	2.49	d	37.1	d	1.55	c	0	0	0	11	0	
	P5	338	a	139	a	10.26	a	7.77	a	8.72	a	66.4	b	2.06	b	1.95	b	26.4	a	1.53	b	0	67	33	0	58	
	P6	315	c	130	c	9.88	c	7.58	cd	7.59	c	66.9	a	2.43	c	2.25	c	33.6	c	1.51	a	0	0	0	2	7	
	P7	323	b	133	b	10.03	b	7.66	b	7.95	b	66.9	a	2.35	c	2.15	c	31.7	b	1.50	a	0	0	0	0	7	
4	P1	278	d	126	cd	9.38	d	7.51	c	3.86	e	58.5	f	2.84	d	4.28	e	38.8	d	2.10	f	0	0	0	100	0	
	P2	279	d	122	e	9.33	d	7.40	d	5.47	d	58.5	f	3.07	e	2.99	d	40.2	e	1.90	e	0	0	0	89	0	
	P3	321	a	135	a	10.02	a	7.72	a	7.94	a	60.9	e	1.87	a	1.80	a	29.3	a	1.67	d	0	33	0	0	100	
	P4	292	c	125	d	9.54	c	7.48	c	6.85	c	62.3	d	2.55	c	2.28	c	38.0	d	1.57	c	0	0	0	0	20	
	P5	308	b	130	b	9.75	b	7.56	b	7.31	b	62.6	c	2.38	b	2.23	bc	32.0	b	1.54	b	0	33	0	0	0	
	P6	302	b	127	c	9.67	b	7.51	c	7.32	b	63.2	b	2.33	b	2.14	b	34.4	c	1.52	ab	0	0	0	0	36	
	P7	306	b	129	b	9.75	b	7.55	b	7.42	b	63.5	a	2.29	b	2.13	b	33.3	c	1.51	a	0	0	0	0	31	
5	P1	283	e	127	cd	9.50	e	7.54	c	4.08	g	61.5	f	2.81	f	3.80	e	35.9	e	1.95	f	0	0	0	100	0	
	P2	280	e	122	f	9.39	f	7.43	f	5.35	f	61.3	f	3.02	g	2.88	d	38.0	f	1.82	e	0	0	0	78	0	
	P3	321	a	135	a	10.03	a	7.72	a	7.75	a	63.4	e	1.81	a	1.73	a	27.6	a	1.64	d	0	0	0	0	100	
	P4	291	d	126	e	9.56	de	7.51	de	6.51	e	64.7	d	2.33	c	2.20	c	35.0	e	1.55	c	0	0	0	0	40	
	P5	307	b	130	b	9.81	b	7.60	b	7.27	b	65.1	c	2.19	b	2.07	b	30.1	b	1.52	b	0	0	0	0	33	
	P6	297	c	126	de	9.61	d	7.49	e	6.78	d	65.5	b	2.50	e	2.24	c	32.8	d	1.50	ab	0	0	0	0	0	
	P7	304	b	127	c	9.73	c	7.53	cd	7.02	c	65.8	a	2.42	d	2.17	bc	31.3	c	1.49	a	0	0	0	0	0	
6	P1	286	d	127	d	9.56	e	7.55	d	4.51	e	64.3	f	2.80	c	3.33	e	34.8	e	1.77	g	0	0	0	100	0	
	P2	283	d	123	e	9.44	f	7.44	e	5.77	d	63.9	g	7.47	d	2.74	d	36.5	f	1.67	f	0	0	0	9	0	
	P3	320	a	137	a	10.07	a	7.79	a	7.60	a	66.1	e	7.46	d	1.82	a	24.9	a	1.56	e	0	0	0	0	100	
	P4	296	c	128	d	9.67	d	7.59	c	6.54	c	67.7	d	7.45	d	2.07	b	31.6	d	1.50	d	0	0	0	0	100	
	P5	305	b	130	c	9.76	c	7.58	c	7.08	b	68.1	c	2.28	b	2.18	c	29.1	c	1.48	c	0	0	0	0	7	
	P6	316	a	132	b	9.94	b	7.63	b	7.43	a	68.7	b	1.99	a	1.87	a	27.8	b	1.46	b	0	0	0	0	100	
	P7	319	a	133	b	9.98	b	7.65	b	7.54	a	69.2	a	1.98	a	1.88	a	27.3	b	1.44	a	0	0	0	0	100	

²μE·m⁻²·s⁻¹.

³mg·CO₂·dm⁻²·h⁻¹.

⁴Different letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

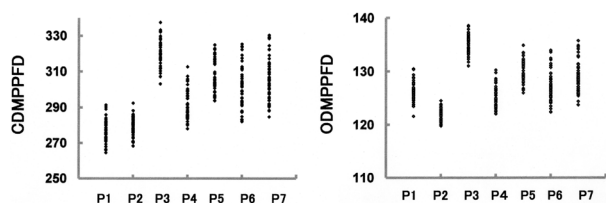


Fig. 10. The effects of the differences of the alternatives in P experiment on the distributions of CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) in the plot of four PSBs where the unit was μE·m⁻²·s⁻¹. The abbreviations of the alternatives refer to Table3.

Table 23. The coefficients of correlation (r) between CDMPPFD, ODMPPFD and other variables of all crown models (n=315) from each experimental plot of the number of PSBs in the experiment P. The abbreviations in the table refer to Table 4.

Num. of PSBs	CD-MPPFD	OD-MPPFD	CD-MPN	OD-MPN	LAO	PNLES	MCFNS	MCFVD	MNLBA	PSLB	
2	CDMPPFD	1.000 ²	0.918	0.996	0.850	0.953	-0.912	-0.820	-0.925	-0.796	0.751
	ODMPPFD	0.918	1.000	0.946	0.983	0.797	-0.927	-0.791	-0.730	-0.624	0.597
3	CDMPPFD	1.000	0.946	0.992	0.933	0.857	-0.942	-0.914	-0.752	-0.471	0.399
	ODMPPFD	0.946	1.000	0.976	0.996	0.660	-0.953	-0.830	-0.518	-0.258	0.259
4	CDMPPFD	1.000	0.946	0.992	0.933	0.857	-0.942	-0.914	-0.752	-0.471	0.399
	ODMPPFD	0.946	1.000	0.976	0.996	0.660	-0.953	-0.830	-0.518	-0.258	0.259
5	CDMPPFD	1.000	0.901	0.990	0.856	0.855	-0.916	-0.847	-0.721	-0.504	0.452
	ODMPPFD	0.901	1.000	0.949	0.992	0.612	-0.880	-0.823	-0.469	-0.214	0.207
6	CDMPPFD	1.000	0.916	0.990	0.856	0.890	-0.913	-0.834	-0.770	-0.643	0.625
	ODMPPFD	0.916	1.000	0.954	0.986	0.746	-0.930	-0.823	-0.661	-0.476	0.479

² Significance at 0.1 % level, 1% level or 5 % level if r > 0.4816, r > 0.3922 or r > 0.3044, respectively.

が異なっても、樹冠モデルの外見は大きく変わらなかったが、内部構造には違いが見出された(山本, 2020)。よって、光環境もこの違いによって影響された(第24表および第11図)。なお、選択肢当たりの観測数が9個であったため、平均値の分離は劣った。CDMPPFDとODMPPFDの両平均値の間には似たような序列が観察され、両平均値とも先端部ほどやや密(Q5)のときに最も大きく、先端部ほどやや疎(Q3)のときに最も小さかった(第24表および第11図)。CDMPPFDとODMPPFDの両平均値の序列はLAO平均値の序列に良く対応したが、他の樹冠形状値には対応しなかった(第24表)。個々のデータとして見たとき、CDMPPFDあるいはODMPPFDとLAOやPNLESとの間に高い相関が認められ、MCFVDやMCFNSとの間にも相関が認められた(第25表)。

2本主枝実験区では、樹幅の超過や葉ブロック数過剰により抵触割合が増大した(第24表)。

12) ユニットの分岐角度分布形の違いによる影響 (S実験)

前報の結果(山本, 2020)、ユニットの分岐角度分布形が異なっても、樹冠の外見はさほど大きく変わらなかったが、内部構造には違いが見出された(山本, 2020)。よって、光環境もこの違いによって影響された(第26表)。S実験では多重比較のための観測数が5個であり、平均値の分離は劣った。2本主枝実験区を除き、CDMPPFDとODMPPFDの両平均値には似たような序列が観察され、両平均値とも狭い分岐角度のみ(S3)のとき最も大きく、広い分岐角度のみ(S1)のとき最も小さかった(第26表および第12図)。CDMPPFDとODMPPFDの両平均値の序列はLAO平均値の序列に良く対応し、PNLES平均値の序列にもほぼ対応したが、他の樹冠形状値の平均値の序列には対応しなかった(第26表)。CDMPPFDあるいはODMPPFDとLAOあるいはPNLESとの間に高い相関が認められ、MCFNSやMCFVDとの間にも相関が認められた(第27表)。

13) ユニットの回転中心角の与え方の違いによる影響 (Y実験)

前報の結果(山本, 2020)、ユニットの回転中心角の与え方の違いにより、樹冠モデルの外見と内部構造に大きな違いが見出された(山本, 2020)。よって、光環境もこの違いにより強く影響された(第28表および第13図)。CDMPPFDとODMPPFDの両平均値には似たような序

列が観察された。すなわち、両平均値ともユニットの回転中心角の増分が180°(Y6)のときに最も大きく、60°のV字状になるように回転中心角を強制的に与えたとき(Y7)に最も小さかった(第28表および第13図)。CDMPPFDとODMPPFDの両平均値の序列はLAO平均値の序列あるいはPNLES平均値の序列にそれぞれ対応したが、他の樹冠形状値の序列には対応しなかった(第29表)。個々のデータとして見たとき、CDMPPFDあるいはODMPPFDとLAOやPNLESとの間に高い相関が認められ、NCFNSやMCFVDとの間に相関が認められた(第28表)。

2本主枝実験区における全ての選択肢で樹幅の超過が目立ち、Y8とY9では葉ブロック数の過剰が見られ、抵触割合は増大した(第28表)。3本主枝実験区の多くの選択肢で葉ブロック数の不足が見られ、抵触割合が増大した(第28表)。また、4本主枝、5本主枝および6本主枝実験区の多くの選択肢で葉ブロック数の過剰が見られ、抵触割合が増大した(第28表)。

2. 光環境改善効果が上位の選択肢群、中位の選択肢群あるいは下位の選択肢群それぞれにおける総当たり組み合わせ効果 (実験2)

材料および方法の4. に記した実験2を実施するには、実験1の結果を参考にする必要があった。よって、組み合わせ方法の具体的な中味については本節に記した。

この組み合わせに当たり、実験1の結果に見られたCDMPPFD平均値の大小関係を基準に、主枝数実験区別および項目別に、各選択肢の光環境改善効果を3段階(上位、中位および下位)に分けた。この場合、受光強度や純光合成速度のレベルを考慮し、CDMPPFDの大小関係を判断基準に用いるべきと考え、ODMPPFDを無視した。また、設定5条件への抵触割合が極めて高かった選択肢についてはあらかじめ除外したうえで、残りの選択肢を対象に、上述の3段階に分ける作業を行った。この理由は、1. の実験結果中、光環境改善効果は見られたものの、抵触割合も非常に高かった選択肢が存在したことである。このような選択肢を組み合わせると樹冠モデルを作成しても、最終的に除外される可能性が非常に高いからである。

ところで、項目当たりの選択肢総数は5個から9個までに及んだ。よって、3段階に分けるとすれば、段階当たり何個まで選ぶかの問題が生じる。本研究目的が光環境

Table 24. The effects of distribution patters of the generation intervals of the units on the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD, PNLES and MNLBA and that on the proportion which did not satisfy the five conditions in Q experiment. The explanations of the table refer to Table 4. n=9.

Num. of PSBs	Ab.	CDM-PPFD	ODM-PPFD	CDM-PN	ODM-PN	LAO	PSLB	MCF-NS	MCF-VD	PNL-ES	MNL-BA	TH	EW	SN	NL	NL									
												>350	>400	>400	<590	>722									
Unit	Unit1 ^z	Unit1	Unit2 ^y	Unit2	m ²	%	block	block	%	block	%	cm	cm	cm	%	%									
2	Q1 333	ab ^x	139	abc	10.19	ab	7.81	abc	8.48	ab	68.9	b	1.99	a	1.88	a	30.0	a	1.39	b	0	67	0	0	89
	Q2 327	bc	137	bc	10.11	bc	7.78	bc	8.26	ab	69.4	a	2.01	a	1.94	a	30.4	a	1.37	a	0	67	0	0	78
	Q3 323	c	136	c	10.04	c	7.74	c	8.14	b	69.1	ab	2.03	a	1.98	a	31.6	a	1.38	ab	0	67	0	0	67
	Q4 336	ab	140	ab	10.24	a	7.84	ab	8.59	ab	69.1	ab	1.99	a	1.89	a	29.5	a	1.38	ab	0	67	0	0	89
	Q5 338	a	141	a	10.28	a	7.86	a	8.66	a	69.4	a	2.00	a	1.89	a	28.7	a	1.38	ab	0	67	0	0	67
3	Q1 302	bc	127	ab	9.71	bc	7.53	ab	6.86	bc	61.7	b	2.61	ab	2.54	b	37.7	b	1.55	c	0	0	0	11	0
	Q2 299	bc	127	b	9.65	bc	7.51	b	6.58	c	61.6	b	2.71	ab	2.54	b	38.1	b	1.55	c	0	0	0	22	0
	Q3 296	c	125	b	9.60	c	7.48	b	6.48	c	61.4	b	2.74	b	2.61	b	39.1	b	1.54	bc	0	0	0	22	0
	Q4 308	ab	128	ab	9.80	ab	7.56	ab	7.11	ab	61.6	b	2.61	ab	2.44	ab	36.1	ab	1.54	b	0	0	0	0	0
	Q5 315	a	131	a	9.92	a	7.61	a	7.43	a	62.2	a	2.55	a	2.30	a	34.0	a	1.53	a	0	0	0	0	0
4	Q1 293	bc	125	bc	9.56	bc	7.49	bc	6.88	bc	60.2	ab	2.51	ab	2.27	bc	38.0	ab	1.46	a	0	0	0	0	11
	Q2 288	c	124	cd	9.47	cd	7.45	cd	6.68	c	60.2	ab	2.65	bc	2.37	cd	38.8	ab	1.47	a	0	0	0	0	0
	Q3 286	c	123	d	9.43	d	7.42	d	6.57	c	59.9	b	2.72	c	2.46	d	39.3	b	1.48	b	0	0	0	0	0
	Q4 297	ab	126	ab	9.62	ab	7.51	ab	7.07	ab	60.0	ab	2.42	a	2.18	ab	37.0	ab	1.48	b	0	0	0	0	33
	Q5 302	a	128	a	9.70	a	7.55	a	7.26	a	60.4	a	2.42	a	2.10	a	36.5	a	1.47	a	0	0	0	0	56
5	Q1 299	abc	126	bc	9.64	abc	7.50	b	6.83	abc	65.8	a	2.44	ab	2.23	bc	32.4	ab	1.43	a	0	0	0	0	0
	Q2 293	bc	124	cd	9.55	bc	7.45	c	6.64	bc	65.7	a	2.53	b	2.29	cd	33.6	bc	1.44	b	0	0	0	0	0
	Q3 289	c	123	d	9.48	c	7.43	c	6.45	c	65.1	b	2.64	c	2.37	d	34.7	c	1.45	d	0	0	0	0	0
	Q4 302	ab	128	ab	9.70	ab	7.53	ab	7.04	ab	65.4	b	2.45	ab	2.16	ab	31.2	a	1.44	cd	0	0	0	0	0
	Q5 306	a	129	a	9.76	a	7.56	a	7.21	a	65.9	a	2.38	a	2.12	a	30.8	a	1.44	bc	0	0	0	0	0
6	Q1 303	ab	128	bc	9.74	ab	7.55	bc	7.08	ab	68.2	a	2.27	a	2.13	abc	31.4	b	1.43	bc	0	0	0	0	11
	Q2 298	bc	126	cd	9.66	bc	7.51	cd	6.77	b	67.7	b	2.35	ab	2.22	bc	32.8	c	1.43	ab	0	0	0	0	11
	Q3 294	c	125	d	9.60	c	7.48	d	6.74	b	67.2	c	2.44	b	2.25	c	33.5	c	1.44	c	0	0	0	0	0
	Q4 305	ab	128	ab	9.76	ab	7.56	ab	7.20	a	67.3	c	2.29	a	2.12	ab	31.2	b	1.43	ab	0	0	0	0	11
	Q5 309	a	130	a	9.84	a	7.60	a	7.37	a	67.7	b	2.25	a	2.07	a	29.9	a	1.43	a	0	0	0	0	56

^zμE·m⁻²·s⁻¹.

^ymg·CO₂·dm⁻²·h⁻¹.

^xDifferent letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

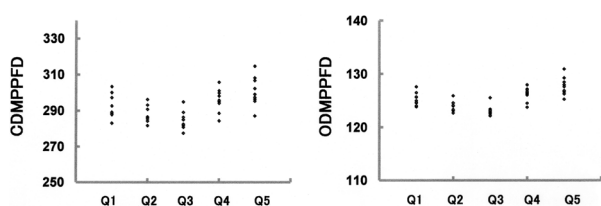


Fig. 11. The effects of the differences of the alternatives in Q experiment on the distributions of CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) in the plot of four PSBs where the unit was μE·m⁻²·s⁻¹. The abbreviations of the alternatives refer to Table 3.

Table 25. The coefficients of correlations between CDMPPFD, ODMPPFD and other variables of all crown models (n=45) from each experimental plot of the number of PSBs in the experiment Q. The abbreviations in the table refer to Table 4.

Num. of PSBs	CD-MPPFD	OD-MPPFD	CD-MPN	OD-MPN	LAO	PNLES	MCFNS	MCFVD	MNLBA	PSLB	
2	CDMPPFD	1.000 ^z	0.916	0.989	0.875	0.917	-0.792	-0.545	-0.729	-0.231	0.339
	ODMPPFD	0.916	1.000	0.955	0.991	0.806	-0.828	-0.446	-0.561	-0.223	0.361
3	CDMPPFD	1.000	0.936	0.996	0.931	0.795	-0.782	-0.746	-0.697	-0.498	0.559
	ODMPPFD	0.936	1.000	0.962	0.998	0.587	-0.868	-0.692	-0.472	-0.360	0.534
4	CDMPPFD	1.000	0.946	0.996	0.932	0.977	-0.794	-0.589	-0.462	0.163	0.366
	ODMPPFD	0.946	1.000	0.959	0.994	0.923	-0.728	-0.611	-0.554	0.081	0.291
5	CDMPPFD	1.000	0.951	0.998	0.908	0.981	-0.854	-0.618	-0.784	-0.231	0.407
	ODMPPFD	0.951	1.000	0.965	0.991	0.931	-0.902	-0.715	-0.866	-0.186	0.383
6	CDMPPFD	1.000	0.956	0.997	0.954	0.966	-0.722	-0.418	-0.755	-0.515	0.309
	ODMPPFD	0.956	1.000	0.958	0.994	0.928	-0.826	-0.504	-0.763	-0.528	0.296

^z Significance at 0.1 % level, 1% level or 5 % level if r > 0.974, r > 0.917 or r > 0.814, respectively.

Table 28. The effects of specification of the rotaion angles of the units on the means of CDMPPFD, ODMPPFD, CDMPN, ODMPN, LAO, PSLB, MCFNS, MCFVD, PNLES and MNLBA and that on the proportion which did not satisfy the five conditions in Y experiment. The explanations of the table refer to Table 4. n=45.

Num. of PSBs	Ab.	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	Mean MNL-BA	TH	EWWS	SNW	NLB	NLB
												>350 cm	>400 cm	>400 cm	<590 cm	>722 cm
Unit	Unit1 ^z	Unit1	Unit2 ^y	Unit2	m ²	%	block	block	%	block	block	%	%	%	%	%
2	Y1 323	cd ^x	138 b	10.07 cd	7.80 b	7.99 cd	66.3 f	2.14 c	2.04 bc	33.0 c	1.41 e	0	100	0	2	4
	Y2 328	b	139 b	10.13 bc	7.81 b	8.19 bc	67.5 e	2.06 abc	2.00 ab	30.4 a	1.41 d	0	100	0	0	2
	Y3 321	d	138 b	10.06 cd	7.82 b	7.92 d	68.1 c	2.02 ab	1.95 a	31.3 ab	1.40 b	0	82	0	0	13
	Y4 319	d	138 b	10.02 d	7.81 b	7.79 de	68.2 c	2.14 c	2.09 cd	31.6 ab	1.40 b	0	100	0	0	0
	Y5 327	bc	139 b	10.13 bc	7.82 b	8.16 bc	68.4 b	2.05 abc	1.95 a	30.5 a	1.40 b	0	100	0	0	7
	Y6 349	a	143 a	10.46 a	7.91 a	9.10 a	68.5 a	2.09 bc	1.97 ab	31.5 ab	1.40 a	0	100	0	2	27
	Y7 289	f	128 d	9.50 f	7.56 d	6.61 f	68.1 c	2.39 d	2.44 e	36.8 d	1.41 c	0	67	0	0	11
	Y8 310	e	133 c	9.82 e	7.67 c	7.60 e	67.6 d	2.11 c	2.12 d	32.5 bc	1.42 f	0	69	0	0	40
	Y9 330	b	138 b	10.15 b	7.80 b	8.36 b	67.7 d	2.00 a	1.95 a	30.3 a	1.42 f	0	67	0	0	78
3	Y1 301	c	127 de	9.68 c	7.52 c	6.94 bc	60.9 e	2.53 a	2.32 a	37.5 bc	1.47 a	0	0	0	2	0
	Y2 299	c	127 cd	9.68 c	7.54 bc	6.78 bc	61.0 de	2.46 a	2.33 a	37.6 bc	1.48 bc	0	0	0	4	0
	Y3 298	c	128 bcd	9.68 c	7.56 b	6.73 c	61.0 cd	2.49 a	2.35 a	37.6 bc	1.47 b	0	0	0	11	0
	Y4 307	b	130 b	9.79 b	7.58 b	7.09 b	61.2 c	2.48 a	2.35 a	36.9 b	1.48 c	0	0	0	13	0
	Y5 301	c	129 bc	9.70 bc	7.58 b	6.83 bc	61.4 b	2.45 a	2.42 ab	37.6 bc	1.48 d	0	0	0	4	0
	Y6 329	a	136 a	10.14 a	7.73 a	7.50 a	61.7 a	2.49 a	2.33 a	35.1 a	1.49 e	0	0	0	51	0
	Y7 284	d	125 e	9.46 d	7.49 cd	5.72 e	61.8 a	2.78 c	2.93 d	38.6 c	1.50 f	0	0	0	69	0
	Y8 290	d	125 e	9.51 d	7.47 d	6.25 d	61.5 b	2.75 bc	2.71 c	38.9 c	1.51 g	0	0	0	27	0
	Y9 304	bc	128 cd	9.73 bc	7.53 bc	6.83 bc	61.5 b	2.67 b	2.49 b	37.0 b	1.51 h	0	0	0	11	0
4	Y1 293	b	124 c	9.55 b	7.45 d	6.72 b	58.9 d	2.49 bc	2.27 a	38.6 bc	1.48 d	0	0	0	0	44
	Y2 295	b	125 bc	9.59 b	7.47 bcd	6.80 b	59.1 c	2.40 ab	2.23 a	39.0 bc	1.48 c	0	0	0	0	38
	Y3 297	b	126 b	9.63 b	7.51 b	6.92 b	59.1 c	2.36 a	2.20 a	38.9 bc	1.48 ab	0	0	0	0	38
	Y4 293	b	125 bc	9.55 b	7.47 cd	6.84 b	59.0 cd	2.41 ab	2.29 a	39.8 cd	1.47 a	0	0	0	0	42
	Y5 294	b	126 b	9.57 b	7.49 bc	6.83 b	59.0 cd	2.36 a	2.26 a	38.7 bc	1.48 a	0	0	0	0	36
	Y6 315	a	131 a	9.90 a	7.61 a	7.47 a	59.4 a	2.43 ab	2.25 a	36.7 a	1.48 bc	0	0	0	4	7
	Y7 270	d	121 d	9.22 c	7.38 e	5.49 d	59.4 a	2.89 e	2.90 c	40.5 d	1.49 e	0	0	0	16	0
	Y8 278	c	121 d	9.30 c	7.37 e	6.20 c	59.3 b	2.75 d	2.57 b	39.7 cd	1.50 f	0	0	0	0	0
	Y9 292	b	125 b	9.54 b	7.48 bcd	6.84 b	59.3 b	2.56 c	2.28 a	38.2 b	1.50 f	0	0	0	0	20
5	Y1 284	de	123 de	9.43 de	7.43 de	6.25 c	63.9 c	2.29 a	2.13 a	33.5 b	1.43 c	0	0	0	0	42
	Y2 292	cd	125 cd	9.55 cd	7.47 cd	6.61 b	64.4 b	2.22 a	2.06 a	33.1 ab	1.42 b	0	0	0	0	58
	Y3 301	b	126 bc	9.68 b	7.50 c	6.83 b	64.6 a	2.26 a	2.06 a	33.2 ab	1.42 a	0	0	0	0	47
	Y4 300	bc	126 bc	9.67 b	7.49 c	6.91 ab	64.6 a	2.31 a	2.11 a	34.1 bc	1.42 a	0	0	0	0	27
	Y5 295	bc	127 b	9.65 bc	7.54 bc	6.61 b	64.4 b	2.22 a	2.07 a	33.9 bc	1.42 a	0	0	0	0	49
	Y6 312	a	131 a	9.89 a	7.62 a	7.23 a	64.7 a	2.26 a	2.13 a	31.8 a	1.42 a	0	0	0	0	13
	Y7 275	f	121 f	9.32 e	7.40 e	5.75 d	64.6 a	2.75 c	2.69 d	35.7 d	1.43 bc	0	0	0	9	0
	Y8 281	ef	122 ef	9.40 e	7.41 e	6.21 c	64.3 b	2.53 b	2.42 c	35.1 cd	1.44 d	0	0	0	0	4
	Y9 297	bc	126 bc	9.61 bc	7.49 c	6.79 b	64.3 b	2.49 b	2.23 b	32.7 ab	1.44 d	0	0	0	0	0
5	Y1 295	c	125 cd	9.60 c	7.48 de	6.71 cd	67.6 d	2.12 a	1.98 a	30.8 bcd	1.38 b	0	0	0	0	42
	Y2 303	b	127 bc	9.72 b	7.51 cd	6.96 bc	68.1 b	2.06 a	1.92 a	30.1 ab	1.37 a	0	0	0	0	58
	Y3 303	b	127 b	9.74 b	7.54 bc	6.82 bcd	68.1 ab	2.04 a	1.92 a	31.1 bcd	1.37 a	0	0	0	0	47
	Y4 304	b	127 b	9.75 b	7.54 bc	7.03 b	67.9 c	2.05 a	1.90 a	31.4 cd	1.37 a	0	0	0	0	27
	Y5 298	bc	127 b	9.69 bc	7.56 b	6.58 d	67.9 c	2.04 a	1.93 a	30.2 abc	1.37 a	0	0	0	0	49
	Y6 317	a	133 a	9.96 a	7.66 a	7.57 a	68.2 a	2.11 a	1.95 a	28.9 a	1.37 a	0	0	0	0	13
	Y7 271	e	121 e	9.26 e	7.41 f	5.81 f	67.9 c	2.67 c	2.63 d	35.7 f	1.38 c	0	0	0	9	0
	Y8 280	d	124 d	9.39 d	7.46 e	6.23 e	67.3 e	2.39 b	2.32 c	33.5 e	1.40 d	0	0	0	0	4
	Y9 301	bc	127 b	9.71 b	7.54 bc	7.00 b	67.2 e	2.31 b	2.15 b	31.8 d	1.40 e	0	0	0	0	0

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

^y $\text{mg}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$.

^xDifferent letters indicate significance at 5% level by Tukey's multiple range test.

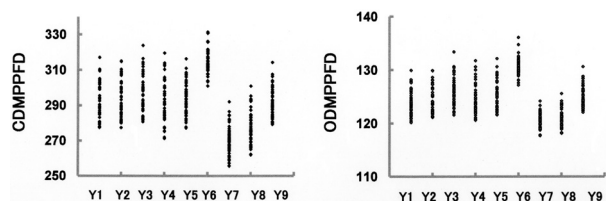


Fig. 13. The effects of the differences of the alternatives in Y experiment on the distributions of CDMPPFD (left) and ODMPPFD (right) in the plot of four PSBs where the unit was $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The abbreviations of the alternatives refer to Table 3.

Table 29. The coefficients of correlations between CDMPPFD, ODMPPFD and other variables of all crown models (n=405) from each experimental plot of the number of PSBs in the experiment Y. The abbreviations in the table refer to Table 4.

Num. of PSBs	CD-MPPFD	OD-MPPFD	CD-MPN	OD-MPN	LAO	PNLES	MCFNS	MCFVD	MNLBA	PSLB	
2	CDMPPFD	1.000 [*]	0.936	0.995	0.893	0.957	-0.701	-0.644	-0.771	-0.228	0.100
	ODMPPFD	0.936	1.000	0.964	0.992	0.879	-0.789	-0.665	-0.766	-0.300	0.118
3	CDMPPFD	1.000	0.942	0.995	0.915	0.874	-0.819	-0.635	-0.686	-0.111	0.086
	ODMPPFD	0.942	1.000	0.966	0.994	0.741	-0.861	-0.649	-0.565	-0.114	0.173
4	CDMPPFD	1.000	0.919	0.996	0.882	0.950	-0.796	-0.798	-0.810	-0.403	-0.004
	ODMPPFD	0.919	1.000	0.942	0.991	0.816	-0.785	-0.750	-0.695	-0.399	0.067
5	CDMPPFD	1.000	0.954	0.995	0.902	0.967	-0.821	-0.748	-0.763	-0.297	0.251
	ODMPPFD	0.954	1.000	0.972	0.985	0.894	-0.847	-0.755	-0.720	-0.316	0.258
6	CDMPPFD	1.000	0.953	0.998	0.921	0.966	-0.878	-0.802	-0.838	-0.344	0.289
	ODMPPFD	0.953	1.000	0.963	0.991	0.932	-0.869	-0.725	-0.733	-0.290	0.301

^{*} Significance at 0.1% level, 1% level or 5% level if $r > 0.4816$, $r > 0.3922$ or $r > 0.3044$, respectively.

良好な樹冠モデルの検出であることから、上位組み合わせ実験においては、組み合わせ漏れを防ぐため、選択枝数の多い項目では3個まで用い、通常2個とした（第30表）。とは言え、選択枝数が5個のケースもあり、また上述のように最初から除外される選択枝も存在するため、2個ないし3個ずつ組み合わせようとしても不足するケースが見られた。この場合、別段階に属する選択枝で不足分を補った（第30表）。さらに、総当たり組み合わせ総数をできるだけ減らすために、主幹の傾斜角度の選択枝については90°の1種類（A1）、ユニットのタイプの選択枝については円錐状の1種類（K3）に制限した（第30表）。なお、この理由は考察に記した。さらに、主幹の傾斜角度が90°だけのため、主幹の傾斜方位（L）の項目は削除した。

以下、実験2の結果について、主枝数実験区別に記した。なお、第30表の右側には各実験における組み合わせ総数および設定5条件のいずれにも抵触しなかった樹冠モデル数の割合（以下、残存割合）も併記した。

1) 2本主枝実験区における総当たり組み合わせ効果

2本主枝実験区の残存割合は上位組み合わせ実験で10%以下と低く、中位組み合わせ実験および下位組み合わせ実験では2%以下と極めて低かった（第30表）。

上記実験で残存した全樹冠モデルのCDMPPFDを横軸に取り、ODMPPFDを縦軸に取って散布図を作成した（第14図）。その結果、CDMPPFD最大値は345.5 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であった（第14図）。

CDMPPFDの序列が1位から10位までの樹冠モデルに限り、これらの選択枝系列、CDMPPFD、ODMPPFD、CDMPNおよびODMPNの各数値および5種類の樹冠形状値を第31表に示した。なお、第31表中にはユニット総数も表示した。ユニット総数はCDSのプログラム計算の中で自動的に算出されたもので、主枝総長およびユニットの大きさ分布形の組み合わせによってその数値は変化した（山本, 2020）。

序列1位の樹冠モデルに限り、樹形図とソリッドモデル図を第15図に示した。序列1位の樹冠モデルにおける選択枝を列挙すると以下の通りであった。主幹長（C）は160cm、主枝の大きさ分布形（H）は基部ほど長い、主枝分岐角度分布形（I）は広角度均等分布、第1主枝の回転中心角（F）は北から225°（南西方位）、主枝の回転中心角の増分（G）は180°、ユニットサイズの分布形（P）は大均等、ユニットの分岐角度分布形（S）は基部60°、中間部80°および先端部40°、ユニットの回転中心角の与え方（Y）は120°V字状、ユニットの着生間隔の分布形（Q）は先端部ほどやや密であった（第31表および第15図）。

2) 3本主枝実験区における総当たり組み合わせ効果

3本主枝実験区の残存割合は上位組み合わせ実験では8%以下と低く、中位組み合わせ実験および下位組み合わせ実験でそれぞれ約21%および約26%であった（第30表）。

1) と同様な散布図を描いたところ、CDMPPFD最大

Table 30. Combinations as all-play-all of the alternatives for training and pruning procedures within the each order, namely, high, medium and low effect for improvement of the light environment, which were found in the Experiment 1. Abbreviations of the alternatives refer to Table 1, Table 2 and Table 3. The proportions of the remained crown models which did not violate the five conditions were shown in the right end of the table.

Orders	Num. of PSBs	Alternatives													Total Num.	Remained %
		A	K	C	E	F	G	H	I	P	Q	S	Y			
High order	2	A1	K3	C5, C4	E3, E2	F7, F6	G6, G5	H3, H2, H4	I1, I2	P3, P5	Q5, Q4	S4, S7	Y6, Y9, Y2	2304	9.7	
	3	A1	K3	C6, C5	E3, E2	F5, F3	G4, G5	H4, H6, H3	I1, I4	P3, P5	Q5, Q4	S3, S5	Y6, Y4, Y9	2304	7.9	
	4	A1	K3	C6, C5	E3, E2	F5, F3	G3, G4	H2, H7, H5	I1, I4	P7, P5	Q5, Q4	S3, S5	Y6, Y3, Y2	2304	9.1	
	5	A1	K3	C7, C6	E3, E2	F5, F3	G2, G4	H4, H7, H5	I1, I6	P7, P5	Q5, Q4	S3, S9	Y6, Y3, Y4	2304	12.8	
	6	A1	K3	C7, C6	E3, E2	F5, F3	G2, G3	H2, H1, H3	I1, I6	P6, P7	Q5, Q4	S3, S8	Y6, Y4, Y9	2304	14.0	
Medium order	2	A1	K3	C3, C2	E1, E4	F5, F3	G4, G3	H5, H2	I4, I5	P7, P6	Q1, Q2	S8, S6	Y3, Y7	1024	1.8	
	3	A1	K3	C4, C3	E1, E4	F1, F6	G3, G2	H7, H4	I7, I2	P7, P6	Q1, Q2	S8, S9	Y5, Y1	1024	21.1	
	4	A1	K3	C4, C3	E1, E4	F6, F7	G2, G5	H2, H6	I2, I6	P7, P6	Q1, Q2	S6, S7	Y1, Y4	1024	74.4	
	5	A1	K3	C5, C4	E1, E4	F1, F7	G3, G1	H5, H4	I4, I2	P7, P6	Q1, Q2	S8, S6	Y9, Y5	1024	67.1	
	6	A1	K3	C5, C4	E1, E4	F1, F6	G4, G1	H2, H6	I4, I2	P7, P6	Q1, Q2	S9, S5	Y9, Y2	1024	41.1	
Low order	2	A1	K3	C6, C1	E5, E4	F1, F2	G2, G1	H1, H5	I3, I5	P4, P2	Q3, Q2	S2, S5	Y4, Y8	1024	1.4	
	3	A1	K3	C1, C2	E5, E4	F7, F2	G6, G1	H3, H7	I5, I6	P4, P2	Q3, Q2	S6, S2	Y3, Y2	1024	25.9	
	4	A1	K3	C2, C7	E5, E4	F1, F2	G6, G1	H4, H6	I7, I5	P4, P2	Q3, Q2	S9, S8	Y4, Y9	1024	38.1	
	5	A1	K3	C2, C3	E5, E4	F6, F4	G5, G7	H2, H4	I5, I7	P4, P1	Q3, Q2	S5, S4	Y2, Y1	1024	33.0	
	6	A1	K3	C2, C3	E5, E4	F7, F2	G5, G7	H4, H6	I5, I7	P4, P2	Q3, Q2	S2, S7	Y5, Y1	1024	45.5	

値は $361.9\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であった (第16図)。中位と下位の各組み合わせで生じた樹冠モデルのCDMPPFDデータは多くが重なって分布した (第16図)。

CDMPPFDの序列が1位から10位までの樹冠モデルについて1)と同様な表を作成した (第32表)。序列1位の樹冠モデルに限り、樹形図とソリッドモデル図を第17図に示した。序列1位の樹冠モデルの選択枝を列挙すると以下の通りであった。主幹長 (C) は190cm, 主枝着生間隔の分布形 (E) は先端部ほど極めて疎, 主枝の大

Table 31. The crown models from the top to the tenth in order of CDMPPFD value from the plot of two PSBs in the experiment 2, their series of the alternatives in training and pruning procedures, total numbers of the units, ODMPPFD, and other variables. The explanations of the alternatives refer to Table 1, 2 and 3. The abbreviations of the variables refer to Table 4.

Ranking	Series of the alternatives in training and pruning procedure	Total	CDM-	ODM-	LAO	PSLB	MCF-	MCF-	PNL-
		units	PPFD	PPFD	m ²	%	NS	VD	ES
1	C5A1K3D2E2H4I1F6G6P3S7Y9Q5	13	345.5	142.5	7.84	72.0	2.22	2.06	24.8
2	C5A1K3D2E3H4I1F6G6P3S7Y9Q5	13	345.5	142.3	7.84	71.8	2.21	2.07	26.2
3	C5A1K3D2E2H4I1F5G6P3S7Y9Q4	13	345.3	142.2	7.76	71.7	2.26	2.04	24.9
4	C5A1K3D2E2H4I1F5G6P3S7Y9Q5	13	345.1	142.1	7.84	72.1	2.20	2.07	25.9
5	C5A1K3D2E3H4I1F5G6P3S7Y9Q5	13	344.4	141.9	7.84	71.8	2.26	2.09	25.9
6	C5A1K3D2E3H4I1F6G6P3S7Y9Q4	13	344.3	142.3	7.76	71.5	2.24	2.09	24.3
7	C5A1K3D2E3H4I1F5G6P3S7Y9Q4	13	343.9	142.3	7.77	71.5	2.25	2.07	24.7
8	C5A1K3D2E2H4I1F6G6P3S7Y9Q4	13	343.8	142.1	7.77	71.7	2.22	2.07	25.0
9	C4A1K3D2E2H4I1F5G6P3S7Y9Q4	13	342.9	141.4	7.77	71.6	2.32	2.07	27.1
10	C4A1K3D2E2H4I1F6G6P3S7Y9Q5	13	342.8	141.3	7.84	71.6	2.37	2.10	29.1

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

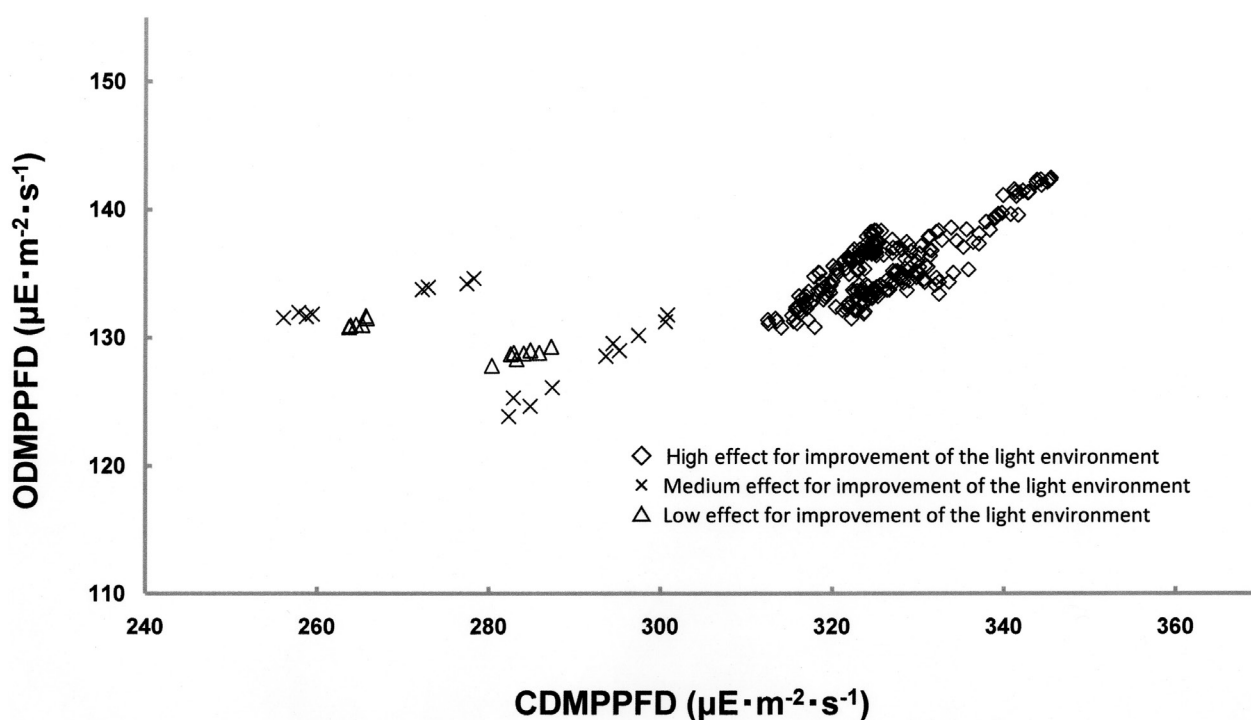


Fig.14. The scatter diagram between CDMPPFD and ODMPPFD of the remained crown models of the two PSBs after Experiment 2. The combinations were done as all-play-all of the alternatives for training-pruning procedures within the each order, namely, high, medium and low effect for improvement of the light environment, which were found in the Experiment 1.

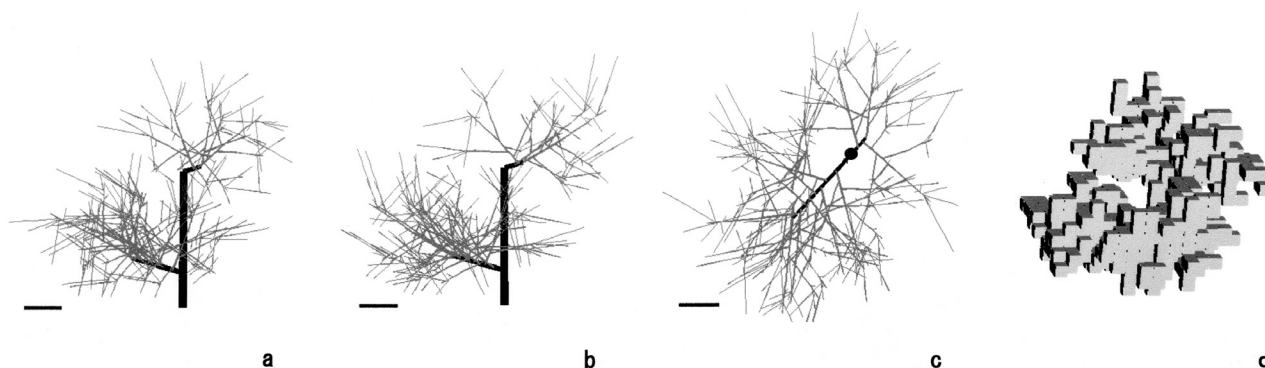


Fig.15. The view from the south (a), that from the east (b), that from the top (c) and the solid model (d) of the top ranking model in the experimental plot of two PSBs, which series of the alternatives was C5A1K3D2E2H4I1F7G6P3S7Y9Q5 shown in Table 31. A horizontal line indicates 50 cm.

きさ分布形 (H) は基部ほど長い, 主枝分岐角度分布形 (I) は広角度均等分布, 第1主枝の回転中心角 (F) は北から 135° (南東方位), 主枝の回転中心角の増分 (G) は 120°, ユニットサイズの分布形 (P) は大均等, ユニットの分岐角度分布形 (S) は基部ほど狭い, ユニットの回転中心角の与え方 (Y) は増分 120°, ユニットの着生間隔の分布形 (Q) は先端部ほど極めて密であった (第 32 表および第 17 図).

3) 4本主枝実験区における総当たり組み合わせ効果

Table 32. The crown models from the top to the tenth in order of CDMPPFD value from the plot of three PSBs in the experiment 2, their series of the alternatives and other variables. The explanations of the alternatives refer to Table 1, 2 and 3. The abbreviations of the variables refer to Table 4.

Ranking	Series of the alternatives.	Total units	CDM-	ODM-	LAO	PSLB	MCF-	MCF-	PNL-
			PPFD	PPFD	m ²	%	NS	VD	ES
1	C6A1K3D3E3H41F5G4P3S5Y4Q4	14	373.3	148.0	9.11	74.7	2.15	1.92	23.8
2	C6A1K3D3E3H41F5G4P3S5Y6Q4	14	371.2	147.3	9.11	74.7	2.16	1.93	23.8
3	C6A1K3D3E2H41F5G4P3S5Y9Q4	14	362.0	144.2	9.29	74.8	2.04	1.76	25.2
4	C6A1K3D3E2H41F5G5P3S5Y9Q4	14	360.5	146.3	9.15	74.8	1.95	1.75	24.7
5	C5A1K3D3E2H41F5G4P3S5Y9Q4	14	357.9	142.6	9.25	74.6	2.00	1.78	26.7
6	C6A1K3D3E3H41F5G5P3S5Y9Q4	14	357.0	145.4	8.96	74.7	1.90	1.76	23.0
7	C5A1K3D3E3H41F5G5P3S5Y9Q4	14	356.5	144.2	9.18	74.8	1.93	1.74	25.0
8	C6A1K3D3E2H41F5G4P3S5Y9Q5	14	356.2	142.9	8.85	75.9	2.17	1.83	26.4
9	C6A1K3D3E2H41F5G4P3S5Y6Q4	14	355.7	142.4	8.56	74.8	2.14	1.95	22.6
10	C6A1K3D3E3H41F5G5P3S5Y9Q5	14	355.1	145.3	8.82	76.0	1.92	1.79	23.5

²μE·m²·s⁻¹.

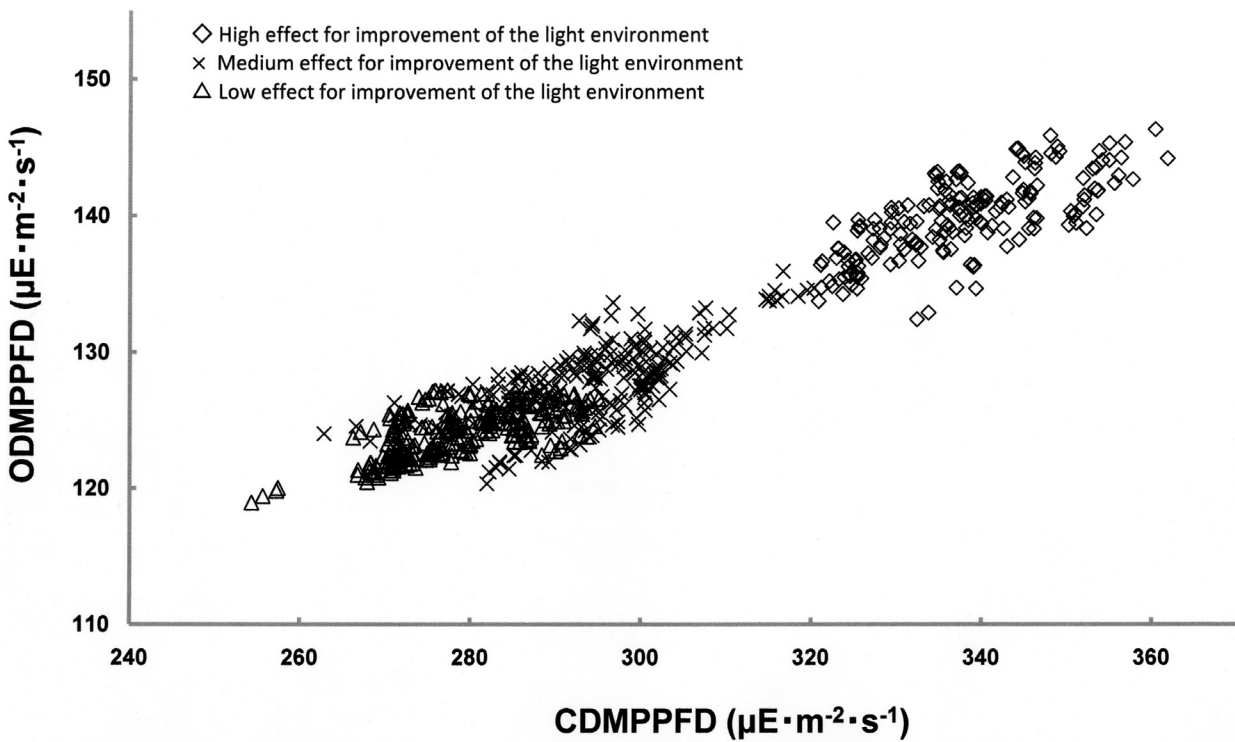


Fig.16. The scatter diagram between CDMPPFD and ODMPPFD of the remained crown models of the three PSBs after Experiment 2. The combinations were done as all-play-all of the alternatives for training – pruning procedures within the each order, namely, high, medium and low effect for improvement of the light environment, which were found in the Experiment 1.

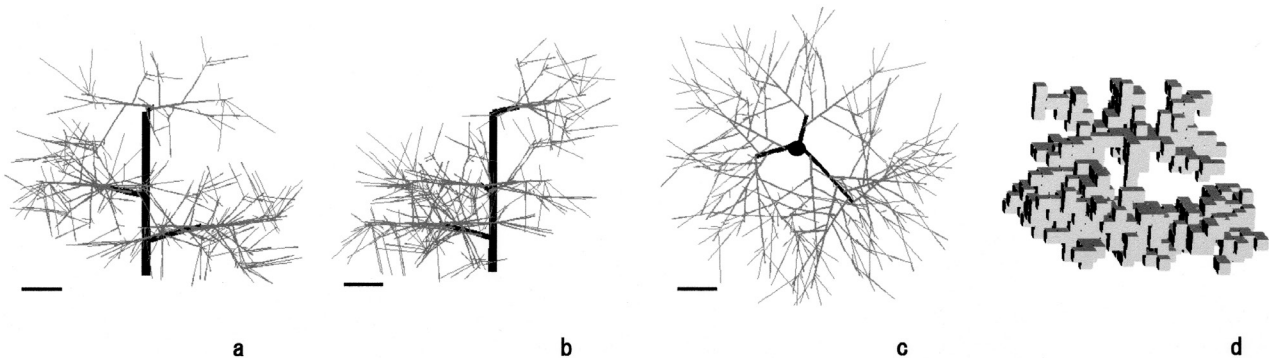


Fig.17. The view from the south (a), that from the east (b), that from the top (c) and the solid model (d) of the first ranking model in the experimental plot of three PSBs, which series of the alternatives was C6A1K3D3E3H41F5G4P3S5Y4Q4 shown in Table 32. A horizontal line indicates 50 cm.

4本主枝実験区の残存割合は上位組み合わせ実験で約9%と低く、中位組み合わせ実験で約74%および下位組み合わせ実験で約38%であった(第30表)。

CDMPPFD最大値は $369.8\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった(第18図)。中位および下位の組み合わせから生じた樹冠モデルのCDMPPFDデータは多くが重なって分布した(第18図)。

CDMPPFDの序列が1位から10位までの樹冠モデルについて1)と同様な表を作成した(第33表)。序列1位

Table 33. The crown models from the top to the tenth in order of CDMPPFD value from the plot of four PSBs in the experiment 2, their series of the alternatives and other variables. The explanations of the alternatives refer to Table 1, 2 and 3. The abbreviations of the variables refer to Table 4.

Ranking	Series of the alternatives.	Total CDM-units	ODM-PPFD		LAO m ²	PSLB %	MCF-NS block	MCF-VD block	PNL-ES %
			Unit1 ²	Unit1 ²					
1	C5A1K3D4E2H2I1F3G3P3S3Y6Q4	15	369.8	149.0	10.02	75.76	2.10	1.71	25.5
2	C6A1K3D4E3H2I1F3G3P3S3Y6Q4	15	369.0	149.2	10.02	75.35	1.98	1.66	22.4
3	C6A1K3D4E3H7I1F3G3P3S3Y6Q4	15	368.8	149.5	9.25	74.19	1.99	1.76	20.0
4	C5A1K3D4E3H2I1F3G3P3S3Y6Q4	15	368.7	148.5	9.98	75.90	2.01	1.67	25.2
5	C5A1K3D4E3H7I1F3G3P3S3Y6Q4	21	368.4	149.4	9.22	75.85	2.19	1.84	23.3
6	C6A1K3D4E2H2I1F3G3P3S3Y6Q4	15	368.1	150.8	9.94	75.62	2.01	1.66	24.5
7	C6A1K3D4E2H7I1F3G3P3S3Y6Q4	15	367.4	148.9	9.36	74.22	2.04	1.76	21.6
8	C5A1K3D4E3H2I1F3G3P3S3Y6Q5	15	366.9	147.7	9.87	76.06	2.10	1.66	26.8
9	C6A1K3D4E2H7I1F3G3P3S3Y6Q4	21	366.9	150.4	9.18	75.81	2.15	1.90	21.9
10	C6A1K3D4E2H2I1F3G3P3S3Y6Q5	15	366.2	150.2	9.83	76.28	2.06	1.69	24.1

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

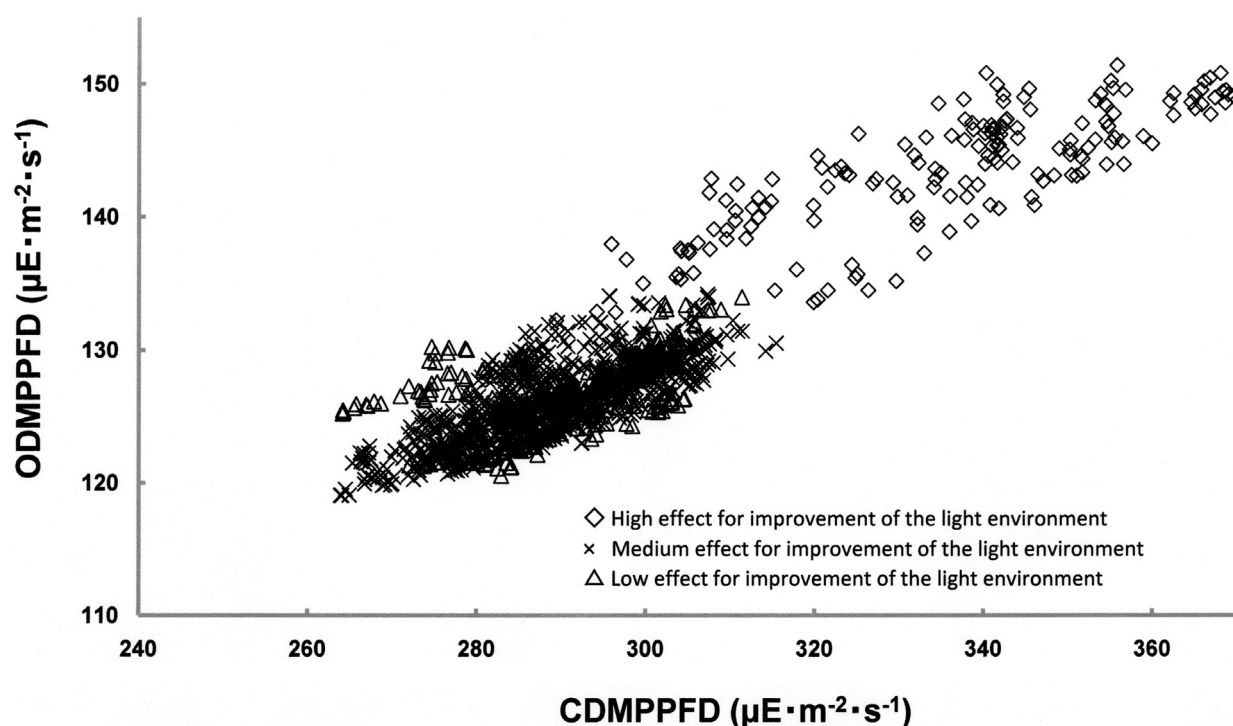


Fig.18. The scatter diagram between CDMPPFD and ODMPPFD of the remained crown models of the four PSBs after Experiment 2. The combinations were done as all-play-all of the alternatives for training – pruning procedures within the each order, namely, high, medium and low effect for improvement of the light environment, which were found in the Experiment 1.

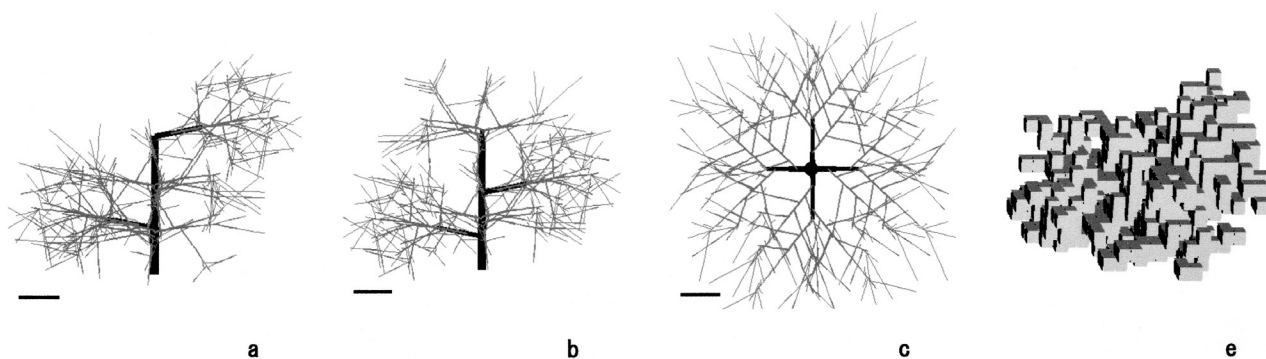


Fig.19. The view from the south (a), that from the east (b), that from the top (c) and the solid model (d) of the first ranking model in the experimental plot of four PSBs, which series of the alternatives was C5A1K3D4E2H2I1F3G3P3S3Y6Q4 shown in Table 33. A horizontal line indicates 50 cm.

の樹冠モデルに限り、樹形図とソリッドモデル図を第19図に示した。序列1位の樹冠モデルの選択肢を列挙すると以下の通りであった（第33表）。主幹長（C）は160cm、主枝着生間隔の分布形（E）は先端部ほどやや疎、主枝の大きさ分布形（H）は中位の長さの均等分布、主枝分岐角度分布形（I）は広角度均等分布、第1主枝の回転中心角（F）は北から180°（南方位）、主枝の回転中心角の増分（G）は90°、ユニットサイズの分布形（P）は大均等、ユニットの分岐角度分布形（S）は40°均等、ユニットの回転中心角の与え方（Y）は増分180°、ユニットの着生間隔の分布形（Q）は先端部ほど極めて密であった（第33表および第19図）。

4) 5本主枝実験区における総当たり組み合わせ効果

5本主枝実験区の残存割合は上位組み合わせ実験で約13%と低く、中位組み合わせ実験で約67%および下位組み合わせ実験で約33%であった（第30表）。

CDMPPFD最大値は $364.4\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であった（第20図）。中位と下位の各組み合わせから生じた樹冠モデルのCDMPPFDデータは多くが重なって分布した（第20図）。

CDMPPFDの序列が1位から10位までの樹冠モデルについて1)と同様な表を作成した（第34表）。序列1位の樹冠モデルに限り、樹形図とソリッドモデル図を第21図に示した。序列1位の樹冠モデルの選択肢を列挙すると以下の通りであった（第34表）。主幹長（C）は190cm、主枝着生間隔の分布形（E）は先端部ほどやや疎、主枝の大きさ分布形（H）は基部ほど長い、主枝分岐角度分布形（I）は広角度均等分布、第1主枝の回転中心角（F）は北から135°（南東方位）、主枝の回転中心角の増分（G）は72°、ユニットサイズの分布形（P）は基部が中位、中間部が小および先端部が大、ユニットの分岐角度分布形（S）は基部60°、中間部40°および先端部80°、ユニットの回転中心角の与え方（Y）は増分90°、ユニットの着生間隔の分布形（Q）は先端部ほど極めて密であった（第34表および第21図）。

5) 6本主枝実験区における総当たり組み合わせ効果

6本主枝実験区の残存割合は上位組み合わせ実験で14%と低く、中位組み合わせ実験で約41%および下位組み合わせ実験で約46%であった（第30表）。

CDMPPFD最大値は $350.6\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であった（第22図）。中位とおよび下位の各組み合わせから生じた樹冠モデルのCDMPPFDデータは多くが重なって分布し

た（第22図）。

CDMPPFDの序列が1位から10位までの樹冠モデルについて1)と同様な表を作成した（第35表）。序列1位の樹冠モデルに限り、樹形図とソリッドモデル図を第23図に示した。序列1位の樹冠モデルの選択肢を列挙すると以下の通りであった（第35表）。主幹長（C）は210cm、主枝着生間隔の分布形（E）は先端部ほど極めて疎、主枝の大きさ分布形（H）は中位の長さの均等、主枝分岐角度分布形（I）は広角度均等分布、第1主枝の回転中心角（F）は北から135°（南東方位）、主枝の回転中心角の増分（G）は72°、ユニットサイズの分布形（P）は基部が中位、中間部が小および先端部が大、ユニットの分岐角度分布形（S）は40°均等、ユニットの回転中心角の与え方（Y）は120°V字状、ユニットの着生間隔の分布形（Q）は先端部ほど極めて密であった（第35表および第23図）。

6) 実験2における光環境、光合成および樹冠形状値の各データ間の相関関係

実験2における樹冠モデルの光環境、光合成および樹冠形状値の各データの間の相関行列を主枝数実験区別に算出した（第36表）。その結果、3本主枝、4本主枝および5本主枝の各実験区におけるCDMPPFDとODMPPFDの相関は非常に高かった（第36表）。また、CDMPPFDとCDMPNの相関、あるいは、ODMPPFDとODMPNの相関はいずれも非常に高かった（第36表）。

LAOとCDMPPFDの相関はほとんどの主枝数実験区でかなり高かったが、LAOとODMPPFDの相関はこれよりも幾分低下した（第36表）。このほかの樹冠形状値と光環境データの相関は3本主枝、4本主枝および5本主枝の各実験区で高かったが、2本主枝と6本主枝の両実験区では低かった（第36表）。

考 察

表題にあるモデル手法には2つの意味が含まれる。一つ目は、前報（山本, 2020）のCDS法のように、実際の樹の代わりに計算機を用いて樹冠モデルを作成することである。二つ目は、本報のように、これらのモデルが光環境、光合成、樹冠形状値などの面でどのように振る舞うかを調査すること、言わば、モデル実験である。整枝せん定方法の違いが光環境に及ぼす影響を多数樹冠を用いながら等しい条件下で比較するとき、このモデル手法は極めて有効であると思われる。

プログラム計算を用いるCDSは、いずれの選択枝の値も正確に設定でき、設計された樹冠モデルには偶然誤差が極めて少ない(山本, 2020)。たとえば、実際の樹を用いて分岐角度60°の主枝を発生させるとき、正確に60°にならず、多少なりとも誤差を伴うであろう。プログラム計算には、この誤差は発生しない。他の選択枝についても同様なことが言えよう。実験1における平均値分離が良かった原因として、この偶然誤差がほとんど存在しないことが考えられる。ところで、材料および方法の3.に

Table 34. The crown models from the top to the tenth in order of CDMPPFD value from the plot of five PSBs in the experiment 2, their series of the alternatives and other variables. The explanations of the alternatives refer to Table 1, 2 and 3. The abbreviations of the variables refer to Table 4.

Ranking	Series of the alternatives.	Total units	CDM-	ODM-	LAO	PSLB	MCF-	MCF-	PNL-
			PPFD	PPFD	m ²	%	block	block	%
1	C6A1K3D5E2H411F5G2P7S9Y3Q4	22	364.4	146.6	8.67	74.8	2.00	1.91	22.6
2	C6A1K3D5E3H411F5G2P7S3Y3Q4	22	362.9	148.5	8.67	76.5	1.94	1.85	21.8
3	C7A1K3D5E2H711F5G2P7S9Y3Q4	22	362.6	144.9	8.71	75.0	1.99	1.77	22.3
4	C6A1K3D5E2H411F5G2P7S9Y3Q5	22	362.3	145.9	8.56	75.5	2.03	1.96	22.5
5	C6A1K3D5E2H411F5G2P7S3Y3Q4	22	362.1	149.1	8.60	76.5	1.94	1.93	23.2
6	C6A1K3D5E2H711F5G2P7S3Y3Q4	22	361.7	148.2	8.64	76.4	1.96	1.82	21.5
7	C7A1K3D5E2H711F5G2P7S3Y3Q4	22	360.8	147.9	8.67	76.3	1.96	1.81	21.2
8	C6A1K3D5E2H711F5G2P7S9Y3Q4	22	360.3	144.3	8.67	74.6	1.97	1.78	22.7
9	C7A1K3D5E3H711F5G2P7S9Y3Q4	22	359.6	144.3	8.71	74.9	1.90	1.72	20.6
10	C6A1K3D5E3H711F5G2P7S9Y3Q4	22	359.6	144.1	8.75	74.8	1.96	1.75	21.2

³μE·m²·s⁻¹.

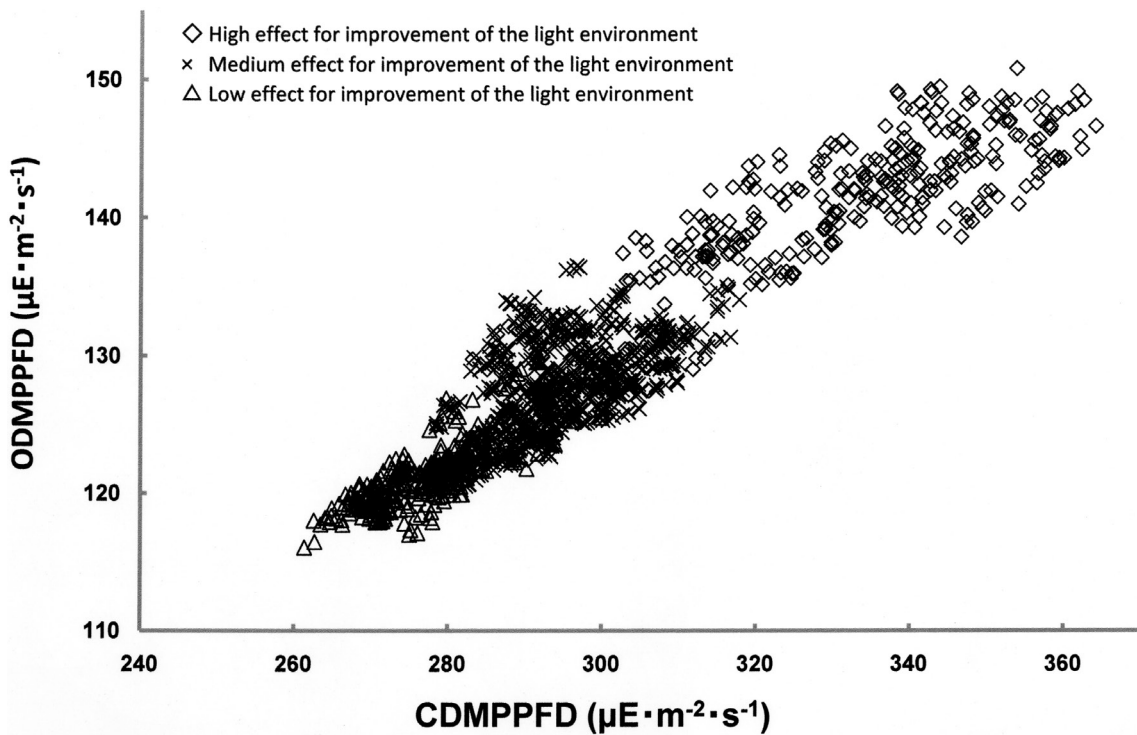


Fig.20. The scatter diagram between CDMPPFD and ODMPPFD of the remained crown models of the five PSBs after Experiment 2. The combinations were done as all-play-all of the alternatives for training – pruning procedures within the each order, namely, high, medium and low effect for improvement of the light environment, which were found in the Experiment 1.

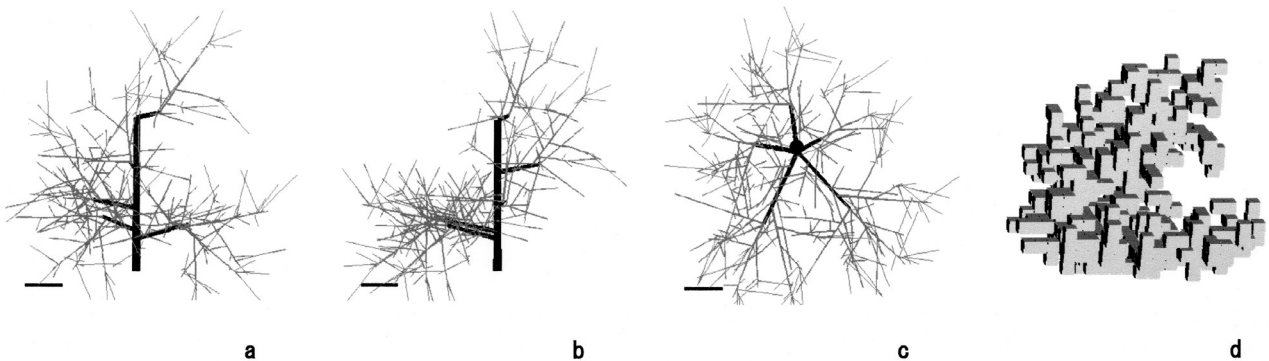


Fig. 21. The view from the south (a), that from the east (b), that from the top (c) and the solid model (d) of the first ranking model in the experimental plot of five PSBs, which series of the alternatives was C6A1K3D5E2H411F5G2P7S9Y3Q4 shown in Table 34. A horizontal line indicates 50 cm.

記したように、平均値の多重比較検定に必要な観測数の確保のため人為的な分散を導入したが、これは偶然誤差とは言えない。本実験における偶然誤差を強いてあげれば、葉ブロック数の微調節処理に用いた乱数による分散ぐらいである。

上述のモデル実験手法の1つ、3次元仮想グリッドを用いた葉ブロックの空間配置とOLEASによる光環境の解析手法の近似性については既報（山本, 2016, 2017）に詳しく論じた。また、純光合成速度を推定する手法の

Table 35. The crown models from the top to the tenth in order of CDMPPFD value from the plot of six PSBs in the experiment 2, their series of the alternatives and other variables. The explanations of the alternatives refer to Table 1, 2 and 3. The abbreviations of the variables refer to Table 4.

Ranking	Series of the alternatives.	Total units	CDM-	ODM-	LAO	PSLB	MCF-	MCF-	PNL-
			PPFD	PPFD	m ²		NS	VD	
			Unitl ²	Unitl ²		%	block	block	%
1	C7A1K3D6E3H2I1F5G2P7S3Y9Q4	23	350.6	145.1	9.11	70.2	2.04	1.66	25.6
2	C7A1K3D6E3H2I1F5G2P7S3Y9Q5	23	348.5	143.9	9.04	74.7	2.06	1.64	24.2
3	C7A1K3D6E2H2I1F5G2P7S3Y9Q4	23	347.4	145.0	9.11	70.5	2.02	1.70	25.8
4	C6A1K3D6E3H2I1F5G2P7S3Y9Q5	23	346.4	142.8	9.15	72.2	1.96	1.68	25.5
5	C7A1K3D6E2H2I1F5G2P7S3Y9Q5	23	345.1	144.5	9.00	72.9	2.06	1.74	25.5
6	C6A1K3D6E2H2I1F5G2P7S3Y9Q4	23	344.1	143.2	9.00	70.5	2.15	1.73	27.4
7	C6A1K3D6E2H2I1F5G2P7S3Y9Q5	23	344.0	143.2	8.89	70.9	2.10	1.73	26.4
8	C7A1K3D6E3H2I1F3G2P7S3Y9Q4	23	341.3	145.7	8.85	70.3	2.11	1.63	24.7
9	C7A1K3D6E3H2I1F5G2P6S3Y9Q4	23	339.6	141.7	8.60	70.2	2.10	1.73	25.6
10	C6A1K3D6E3H2I1F5G2P6S3Y9Q4	23	338.9	140.5	8.71	70.7	2.13	1.72	26.4

²μE・m²・s⁻¹.

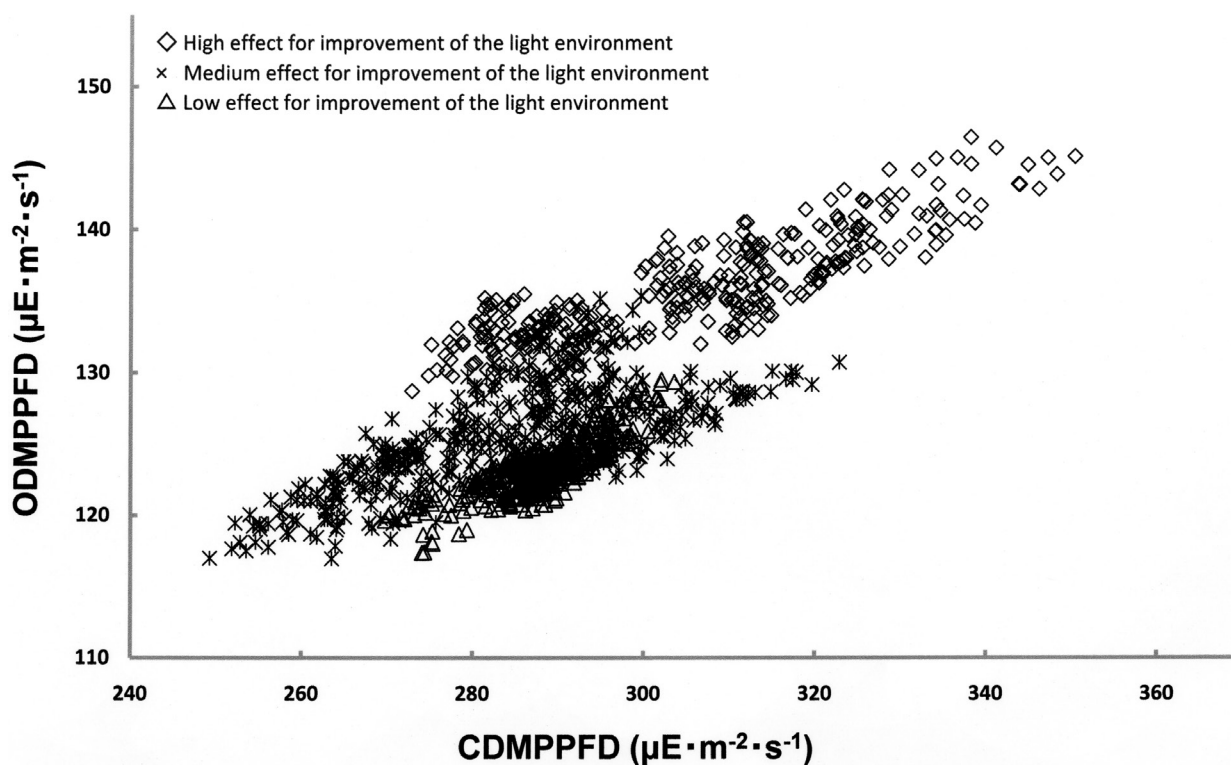


Fig.22. The scatter diagram between CDMPPFD and ODMPPFD of the remained crown models of the six PSBs after Experiment 2. The combinations were done as all-play-all of the alternatives for training – pruning procedures within the each order, namely, high, medium and low effect for improvement of the light environment, which were found in the Experiment 1.

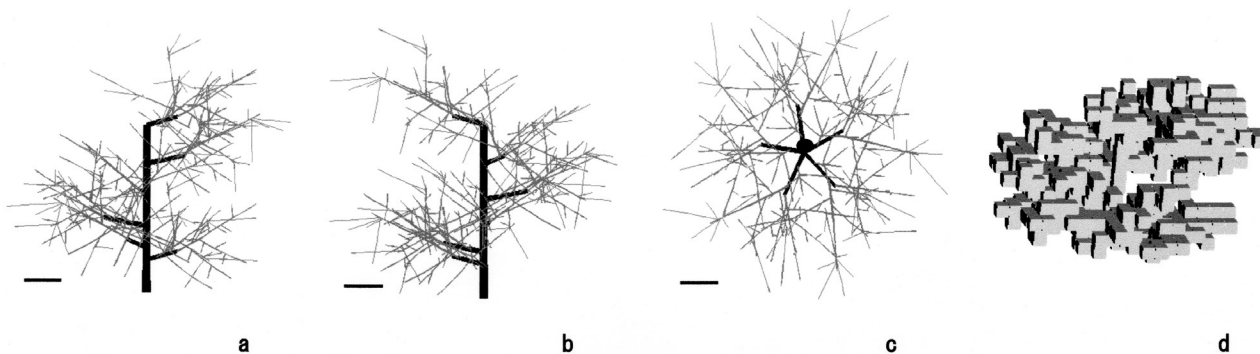


Fig.23. The view from the south (a), that from the east (b), that from the top (c) and the solid model (d) of the first ranking model in the experimental plot of six PSBs, which series of the alternatives was C7A1K3D6E3H2I1F5G2P7S3Y9Q4 shown in Table 35. A horizontal line indicates 50 cm.

Table 36. The coefficients of correlations between CDMPPFD or ODMPPFD and other variables of the remained crown models which did not violate the five conditions from each experimental plot of the number of PSBs in the experiment 2. n indicates the number of the remained crown models. The all correlation were significant at 0.1 % level. The abbreviations in the table refer to Table 4.

Num. of PSB	2		3		4		5		6	
	CDM-PPFD	ODM-PPFD	CDM-PPFD	ODM-PPFD	CDM-PPFD	ODM-PPFD	CDM-PPFD	ODM-PPFD	CDM-PPFD	ODM-PPFD
CDMPPFD	1	0.716	1	0.959	1	0.915	1	0.934	1	0.774
ODMPPFD	0.716	1	0.959	1	0.915	1	0.934	1	0.774	1
CDMPN	0.988	0.789	0.997	0.971	0.991	0.950	0.991	0.962	0.973	0.881
ODMPN	0.441	0.925	0.939	0.996	0.883	0.995	0.905	0.994	0.699	0.990
LAO	0.922	0.654	0.937	0.913	0.914	0.843	0.909	0.834	0.864	0.651
PNLES	-0.407	-0.561	-0.921	-0.936	-0.776	-0.880	-0.865	-0.881	-0.498	-0.828
MCFNS	-0.562	-0.401	-0.878	-0.892	-0.634	-0.728	-0.702	-0.779	-0.448	-0.761
MCFVD	-0.742	-0.558	-0.916	-0.910	-0.714	-0.736	-0.822	-0.849	-0.627	-0.867
MNLBA	-0.821	-0.528	-0.926	-0.924	-0.789	-0.861	-0.827	-0.839	-0.418	-0.805
PSLB	0.623	0.464	0.931	0.928	0.794	0.875	0.811	0.829	0.360	0.746
n	256	256	665	665	1320	1320	1322	1322	1210	1210

近似性についても既報 (山本, 2018) で詳しく考察した。よって、本報ではこれらに関する考察は省略した。

しかしながら、葉ブロックの取扱いについて、1つだけ断わっておきたい。要するに葉量を等しくすることが大前提であるから、樹冠モデルの葉ブロック数および葉ブロック内の葉密度を強制的に等しくせねばならない。やむを得ないとは言え、このことによる近似性は否定し難い。葉ブロック内の葉密度が等しいことは通常あり得ず、多少なりとも変動するからである。とは言え、自然植生と違い、栽培果樹では冬季せん定や夏季せん定を通じて、樹冠内の葉密度に大きな違いが発生しないように気が配られる。加えて、既報 (山本, 2016, 2017, 2018) でも1樹当たりの葉ブロック数および葉ブロック内葉密度を等しくしており、既報の結果と比較できる長所もある。

全項目・全選択枝の総当たり組み合わせを行えば、組み合わせ漏れの危険性は存在しない。にもかかわらず、この方法を避けたのは、以下のことを危惧したためである。つまり、全項目・全選択枝の総当たり組み合わせによる樹冠モデルの総数は天文学的数 (約622億個) にも及ぶことである (山本, 2020)。そればかりでなく、作成した樹冠モデルの大半が本実験の設定条件を満たさないことが予想される。おまけに、CDS (山本, 2020) を用いて、これだけの数の樹冠モデルを設計し、関連するデータを保存しなければならない。それに加え、1樹冠モデルにつき、全葉 (リング'ふじ'では9,840枚) の葉面PPFDとPnの瞬時分布データを、全時刻 (13時刻) 分について計算せねばならない。この作業の量・時間は膨大である。実験1における、選択枝を一部抜粋し、組み合

わせる方法は傾向を探るためのものにすぎず、理想的、万全なものとは言えないだろう。けれども、実験2の散布図や樹冠モデルの選択枝系列を見る限り、そこには実験1で得られた光環境改善効果が相加的に現われていると思われる。

結果の2. に記したように、主幹の傾斜角度 (A) を90°の1種類ならびにユニットのタイプ (K) を円錐状の1種類に限定した。この主な理由は組み合わせ総数をできるだけ減らすことであった。さらに、前者の理由として次の2点をあげたい。1つ目は、斜立主幹は立木仕立に属するものの、低樹高化の目的が強く、慣行栽培の中では普及度が低かった (中央果実協会, 2018)。2つ目は、斜立は選択枝としては極めて異質であり、これを混ぜて組み合わせる場合、結果全体が混乱し易い。後者の理由として、2又状や3又状のユニットの抵割割合が非常に高かったこと (第20表) および板状や棒状のユニットの形状がやや特殊であったこと (山本, 2020) があげられる。

A実験 (結果の1.の1)) で、主幹が傾くほどLAOが減少した (第4表)。この理由として、直立樹に対して枝葉をできるだけ横に拡げるための選択枝をあらかじめ用いたこともあり、主幹が傾けば、枝葉はむしろ立ち気味になり、LAOが減少した (第4表) ことが考えられる。また、晴天日と曇天日の間で光環境良否の序列が異なり (第4表)、CDMPPFDとODMPPFDの間の相関が低かった (第5表)。この理由として斜立の場合晴天日には樹先端部分の陰が割り当て区域北側境界近くまで伸び、この傾向は主幹が傾くほど大きくなる。他方、陰が長く伸びない曇天日にはこの傾向が薄れるものと考えられる。

L実験 (結果の1.の2)) で、主幹が南半分側の方位に傾くときにはCDMPPFD平均値は総じて大きく、北側半分側の方位に傾くときには総じて小さかった (第6表および第2図)。けれども、ODMPPFD平均値にはそのような傾向は見られなかった (第6表)。この理由は単純である。要するに、主幹が北側に傾くと、樹先端部分の陰は北側隣接樹に及ぶ。逆に、南側に傾けばその陰は北側隣接樹に及ばない。ただ、樹先端部分と言っても、主幹先端部分のことではなく、そこに着生した主枝やユニットのことである。これらの発出方位はまちまちであることから、CDMPPFD平均値の最小値が出現する方位は北を中心に一定の範囲に分布した (第6表) ものと考えられる。一方、CDMPPFD平均値の最大値が出現する方位

は南を中心に一定の範囲に分布した(第6表)。この理由として上記と逆なことが考えられる。曇天日には、はっきりした陰が生じないため、ODMPPFD平均値の序列には一貫した傾向が見られなかった(第6表)ものと解釈される。

C実験(結果の1.の3))で、晴天曇天とも主幹が長いほど光環境が総じて良好になったが(第8表)、その原因は主幹が長いほど横方向の隙間が増えることであろう。したがって、葉塊当たり平均葉ブロック数(MNLBA)、閉鎖空間内葉ブロック数の割合(PNLES)および水平方向の連続葉ブロック数の平均値(MCFNS)はいずれも減少した(第8表)ものと考えられる。さらに、樹冠表面葉ブロック数の割合(PSLB)も増大した(第8表)ことが考えられる。

ところで、複数の主幹が40cmのような短い主幹から発出するとき、主幹間の段差がほとんど無くなる。よって、他の主幹による陰が減少し、結果的に光環境が改善することが考えられる。しかしながら、短幹に主幹が多く発出すれば、これは車枝状態になり、それ自体問題であろう。

E実験(結果の1.の4))で主幹の発出間隔分布が変わっても、垂直方向の投影はあまり変わらなかった(山本, 2020)。したがって、LAO, PSLB, MCFVDなどの数値には大きな変化が現われなかった(第10表)ものと考えられる。

H実験(結果の1.の5))で、主幹長分布形が短い主幹のみのとき(H1)に光環境は悪化したが(第12表)、その原因として以下の諸点をあげたい。主幹が短いため、割り当て空間の端まで枝葉が拡がらず、LAOの減少をもたらすこと、さらに、ユニット発出間隔が狭いため葉層が混雑し、陰部分が増えることである。長い主幹のみのとき(H3)、上述とは逆の関係になり(第12表)、光環境は改善するものと考えられる。

F実験(結果の1.の6))で、第1主幹が西から北の方位を向いて発出したとき、CDMPPFD平均値が最も小さくなったが(第14表)、その原因として、以下のことが考えられる。ただし、このための前提知識として以下の点を知っておく必要がある。すなわち、実験1を通じてG実験以外の実験では、主幹の回転中心角増分に(360°/主幹数)の角度を常に用いたことである(山本, 2020)。このため、最基部の主幹から最先端部の主幹まで主幹の回りを一周せず、主幹が縦方向に重なることはない。夏

季、直射光は1日を通し、およそ南半分側の方向から斜め下に投射する。それ故、F実験で、最下部に相当する第1主幹が北半分側の方位に発出するとき、第1主幹への直射光は上部の主幹に遮られ、日陰になりやすい。これとは反対に、第1主幹が南半分側の方位に発出するとき、これよりも上にある主幹によって直射光が遮られることはほとんどない。上述の説明は第1主幹に限定したが、第1主幹に続く主幹についてもほぼ当てはまるものと考えられる。

G実験(結果の1.の7))における光環境改善効果の原因は単純明快である。要するに、主幹が縦方向に重ならないければ、LAOは増大し、PNLES, MCFVDおよびMCFNSは減少するため(第16表)、晴天曇天を問わず、光環境が改善するものと考えられる。

I実験(結果の1.の8))で、主幹の分岐角度が大きいほど、枝葉が横に拡がるため、LAOの増大(第18表)や地面への投射光漏れの減少、ひいては光環境の改善をもたらすものと考えられる。一方、主幹の分岐角度が小さいと上記と逆の関係になる。主幹が立つと、同一主幹内の枝葉分布位置に上下関係が生じやすく、上部葉層の陰が下部葉層にも及ぶものと考えられる。したがって、MCFNS, MCFVD, PNLESなどは増大するものと考えられる。また、上記の関係は異なる主幹の間にもほぼ当てはまるものと考えられる。

K実験(結果の1.の9))で、2又状ユニット(K2)や3又状ユニット(K1)のとき、他の選択枝に比べてCDMPPFDやODMPPFDが大きかった(第20表)。この理由は単純で、他の選択枝に比べ、この2選択枝のLAOは明らかに大きく、PNLESは明らか小さかったことである(第20表)。上記のユニットの場合、葉層は密集せず、拡がったため(山本, 2020)、LAOは増大し、PNLES, MCFVD, MCFNSなどは減少した(第20表)。他方、棒状(K4)や板状(K5)の場合、葉層が密集するため、PNLES, MCFVDおよびMCFNSは増大し、LAOは減少し(第20表)、CDMPPFDやODMPPFDも減少した(第20表)ものと考えられる。

P実験(結果の1.の10))で、小さいユニットのみ(P1)あるいは中位の大きさのユニットのみ(P2)のとき、必要な葉量を確保するため、ユニット総数は増え、ユニットの発出間隔は短くなった(山本, 2020)。このためユニットどうしが入り乱れ、PNLES, MCFNS, MCFVD, MNLBAなどが大きくなった(第22表)ものと考えられ

る。さらに、ユニット自体が小さいので、葉層が割り当て空間全体に拡がらず、LAOやPSLBが減少した(第22表)ものと考えられる。

Q実験(結果の1.の11))で、Q2やQ3のように、ユニット発出間隔が先端部側ほど疎の場合、樹冠中心部に葉層が密集し、樹冠周辺部の葉層がまばらになった(山本, 2020)。この状態はLAOの減少とともにPNLESやMCFVDの増大をもたらした(第24表)ものと考えられる。よって、光環境はQ3やQ2で悪化し、Q5やQ4で向上した(第24表)ものと考えられる。

S実験(結果の1.の12))において、S1の場合、ユニットは主枝に対して80°の角度で分岐する。このため、他の主枝から発出するユニットと縦方向に重なりやすく、LAOは減少し、PNLESは増大した(第26表)ものと考えられる。一方、S3の場合、ユニットは40°の角度で分岐するから、他の主枝から発出するユニットと縦方向に重なりにくく、LAOは増大し、PNLESが減少した(第26表)ものと考えられる。

Y実験(結果の1.の13))で、Y7あるいはY8の場合ユニットが立つ。このため、ユニット上部の葉層の陰は下部の葉層までに及び、さらに、周辺の別ユニットにも及ぶものと考えられる。よって、Y7やY8ではLAOが減少し、PNLES、MCFVD、MCFNSなどは増大した(第28表)ものと考えられる。一方、Y6では、着生順番に関わらずユニットは主枝の左右両側(横方向)に広がる。このため、上述の陰は減少し、LAOの増大やPNLESの減少をもたらした(第28表)、光環境が改善したものと考えられる。ユニットの回転中心角の増分が180°以外(Y1~Y5)のとき、発出順番によってユニットは様々な方向に発出した(山本, 2020)。このため、光環境データや樹冠形状値は中間的なものになった(第28表)ものと考えられる。

ところで、L実験(結果の1.の2))の結果を選択肢間で比較しても、樹冠形状値に差が見られなかった(第6表)。さらに、これらの序列はCDMPPFDやODMPPFDの平均値の序列にほとんど対応しなかった(第6表)。一方、平均値ではなく、個々のデータを用いたとき、光環境データとLAOやPNLESなどとの間の相関が見られた(第7表)。このことには一見疑問の生じるところである。そこで、この原因について少し詳細に説明したい。材料および方法に記したように、多重比較検定における観測数確保のため、ユニットの発出間隔分布形の選択肢(5

種類)とユニットの分岐角度分布形の選択肢(9種類)を組み合わせた。この組み合わせによりCDMPPFDやODMPPFDの各数値に分散が生まれたが、平均処理によりこれらの平均値の差はほぼ消失した。一方、個々のデータにはこの分散をもつため、データ間の相関が高まったものと考えられる。要するに、数値の大小に関わらず相関が生まれたことである。これと同じことが、C実験(結果の1.の3))、E実験(結果の1.の4))、F実験(結果の1.の6))およびH実験(結果の1.の5))にも言えよう。

実験1における抵触状況については前報(山本, 2020)に記したうえ、抵触の原因についても考察したので、本報では省略する。

実験2の全結果を通じて、CDMPPFDの下限は約250~260 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の範囲、ODMPPFDの下限は約115~118 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の範囲にあった(第14, 16, 18, 20および22図)。光環境の改善にとって、樹冠内側葉層の分布構造が極めて不都合なものであっても、樹冠表面には光が当たる。よって、投射光、割り当て空間、葉量などが同じ条件下、上述の下限がこれよりも小さくなることはまず考えられない。一方、CDMPPFDの上限は約345~370 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の範囲、ODMPPFDの上限は約143~150 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であることが見出された(第14, 16, 18, 20および22図)。立木仕立ての慣行栽培で、整枝せん定の選択肢を変えることで、光環境のこれだけ大きい違いを予見できたことの意義は大きい。

整枝せん定によらず、幾何学的な手法で作成した29種類の樹冠類型(合計528樹冠モデル)のCDMPPFD(山本, 2016)を上述のCDMPPFDと比較しよう。前者の樹冠モデルの構築方法は本報とは全く異なったが、割り当て空間、葉ブロック数および光環境の算出方法などは全く同じであった。全類型におけるCDMPPFD平均値は約470~270 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の範囲に分布した(山本, 2016)。これらのうち、棚状樹冠モデルのCDMPPFDの範囲は約480~295 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、その平均値は約428 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であり、このときの上限(約480 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)は本報の立木仕立て樹冠モデルの上限より明らかに大きかった。

一方、CACOAS(山本ら, 2004)を用いて作成した立木仕立て樹冠モデル群のCDMPPFDの範囲は約335~287 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、その平均値は約309 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であり(山本, 2016)。その上限(約335 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)は本報のものより小さかった。また、これらの樹冠モデル群は開心形、変則主幹形およびY字形に仕立てたシミュレ

ーション実験結果であった(山本, 2016). 棚状樹冠モデルやCACOAS起源の樹冠モデルを除く残り27種類の樹冠モデルは, 作成手法から見て, 整枝せん定とは全く無縁であった(山本, 2016). それゆえに, 本報の結果と比較することはできない.

実験2の散布図(第14, 16, 18, 20および22図)において, 中位や下位の組み合わせ実験のデータが互いに一部重なった. この背景には, 実験1における中位や下位の選択枝間で光環境改善効果に大きな差が見られなかったこと, 実験2において中位や下位の組み合わせ実験に一部同じ選択枝が重複して用いられたこと(第30表)などが考えられる.

樹形あるいはせん定システムに関連する研究論文は数多く報告されている. たとえば, 品種や栽植方式が同じであっても, 長く続けてきた3本主枝開心形から2本主枝開心形への変更のような整枝法の変更(塩崎ら, 1988; 岸本・清家, 1972), 低樹高栽培への切り替え(荒木・藤原, 1993; 文室・村田, 1987; 村岡, 1995), 樹形改造(倉橋, 1997; 大東ら, 1980), 部分的変形による受光態勢の改善(荒川ら, 1995; 倉橋・高橋, 1995)および夏季せん定(Richard・Barden, 1982; Saure, 1987)などである. これらのほかに, 技術書籍への投稿として, 収穫直後のせん定(秋季せん定), 吊り上げ, スコアリング(目傷), 誘引, 捻枝などの記事が認められる(福井, 1984; 北野, 1995; 木戸, 1996; 向井, 2004; 村松, 2000; 中村, 1995; 沖嶋, 1998; 千野, 1981). さらに, 栽培者の高齢化などを背景に, 省力樹形(農文協編, 2002, 2006, 2007a, 2007b, 2008a, 2008b, 2008c, 2009a, 2009b, 2009c)や作業の安全性確保(Robinsonら, 1990)などに重点が置かれている. 省力化や作業空間確保については, これらを実施したときの効果が明白であることから, 以前から取り組まれてきたものと思われる.

ところが, 果樹の光環境や光合成の研究報告例は既報(山本, 1999, 2014, 2015, 2016)でも紹介したように多くない. とりわけ, 整枝せん定の選択枝に関連する光環境や光合成の研究例は極めて少ない.

それにもかかわらず, 果実生産性の向上に不可欠な葉量確保と受光態勢の改善に対する栽培者の関心は常に高く, いずれの精農家も栽培目標にこれらを取り上げている(精農家技術集). 例えば, 受光態勢の改善のための枝管理として, 上の枝, 重なり枝, 平行枝, 逆行枝, 交差枝, 車枝, 共枝, ふところ枝などの剪除, 適度な枝間隔,

三角形の側枝(決して逆三角形にしない)などをあげている. これらの技術はせん定達人らの経験と勘の賜物であることに違いない. 当然ながら, 上述の枝管理には, 受光態勢の改善のほかに, 樹の発育, 結実, 果実品質管理, 作業空間, 農薬散布効率などに関連した樹管理目標が混在する. 残念なことに, 上述の記事には光環境に関連したデータが示されていないので, 本実験結果と比較できない.

実験1と実験2は, モデル手法を用いたとは言え, 整枝せん定の選択枝だけを変え, 他の条件を全く同じにして, 果樹園光環境を比較した最初の試みと言えよう. その結果, 立木仕立て慣行栽培における光環境改善には, 主幹を長くすること, 主枝の回転中心角の設定に(360° /主枝数)の増分を用いること, 第1主枝を南側半分の方位にとること, 主枝の分岐角度を広くすること, ユニットのサイズを大きくすること, ユニットの分岐角度を狭くすること, および, ユニットを主枝の左右両側に水平状に発出することが有利であることが考えられる.

上述に共通した光環境改善要因として, 葉層が重ならないこと, 樹冠占有面積を大きくすること, 地面への光漏れを減らすことおよび樹冠内葉層どうしの陰を減らすことなどが考えられる. 上記要因はこれまでの光環境良好な棚仕立て(平棚)に生かされているものと考えられる. しかし, 上記要因を立木仕立てに生かそうとすれば, 起伏に満ち, 均整を欠いた樹冠形になると考えられる(第15, 17, 19, 21および23図).

本実験の結論として光環境良好な樹冠モデルの選択枝系列を提示した(第31, 32, 33, 34および35表). でも, これらのうち光環境良否に関する序列1位の樹冠モデルのみにこだわる必要はないだろう. なぜならば, 上記表における樹冠モデル間のCDMPPFDの差は僅かであるうえ, 光環境の良否のみで樹冠を選ぶことはできないからである. 光環境改善以外に, 様々な樹管理(樹種・品種の特性, 結実管理, 作業空間の確保, 機械的強度など)の目標も当然必要になる.

なお, 主枝数, 特に2本主枝や6本主枝と選択枝の組み合わせによっては, 割り当て空間からはみ出しや葉ブロック数の過不足などの面で問題が発生しやすいので注意が必要である. 加えて, 本実験では選択枝に関連した数値, 例えば, 主幹の長さなどは段階的なものに限られたきらいがある. このほか, ユニットの形状も万全とは言えない. よって, これら数値やユニット形状の微調整

については今後検討する必要がある。

本報で扱わなかった慣行栽培以外の特殊樹冠（例えば、様々な省力樹形、垣根仕立て、トレリス誘引、細形樹の高密植栽培など）や全く新しいタイプの樹冠を対象に、CDSを用いた樹冠モデルの設計と光環境の解析が今後の課題となろう。

摘 要

前報（山本，2020）で、立木仕立て果樹の整枝せん定処理の各項目における数多くの選択枝を組み合わせながら、樹冠設計システム（CDS）により多数の樹冠モデルを作成した。本報では、これらの樹冠モデルを対象に、光環境、光合成および樹冠形状値の解析を行い、各項目内の選択枝の間で光環境改善効果を比較した（実験1）。それに加えて、項目ごと光環境改善効果を3段階に分け、各段階に属した選択枝の総当たり組み合わせ実験を行い、光環境改善に有利な樹冠モデル群を主枝数実験区別に見出そうとした（実験2）。実験1の結果、主枝の発出順番に伴う回転中心角の増分に（ 360° /主枝数）の角度を用いるとき、主幹を長くするとき、第1主枝を南半分側の方位に発出させるとき、主枝を広く分岐させるとき、ユニットのサイズを大きくするとき、ユニットを狭い角度で分岐させるとき、および、主枝の左右にユニットを水平状に発出させるとき、光環境改善に有利であることが見出された。ただし、主枝数と選択枝の組み合わせによっては、割り当て空間からはみ出しや葉ブロック数の過不足などの面で問題が発生した。特にこのことは2本主枝と6本主枝において顕著であった。実験2の結果、異なる主枝数実験区を通じて、晴天日の日平均葉面PPFD（CDMPPFD）の上限は約 $345\sim 370\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲、曇天日の日平均葉面PPFD（ODMPPFD）の上限は約 $143\sim 150\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲にあった。これに対して、下限はCDMPPFDで約 $250\sim 260\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲、ODMPPFDで約 $115\sim 118\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲にあった。また、光環境良好な樹冠モデルを構築するのに必要な選択枝系列を明らかにした。

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 斉・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.
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.
福井正夫. 1984. II. 整枝法. 加除式農業技術体系果樹編. 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.
岸本 修・清家金嗣. 1972. 日本ナシの整枝法の変更に伴う果実生産要因の推移. 園学雑. 41: 331 - 338.
北野勲信. 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. 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.
村岡那三. 1995. IV. 樹高の切り下げ. 加除式農業技術体系果樹編6. ウメ. p. 技74の2 - 技74の7. 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－鹿児島・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.
- 大東 宏・小野祐幸・富永茂人・森永邦久・工藤和典. 1980. ウンシュウミカンの栽植方式と樹形に関する研究（第1報）異なる樹形における着果部位別日射量, 気温, 果実温の日変化と1日の積算日射量. 園学雑誌. 49 : 331－346.
- 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.
- 佐藤孝宣. 2003. 仕立て方とせん定の実際. 加除式農業技術体系果樹編4. オウトウ. p. 技65－技68. 農文協. 東京.
- Saure, M. C. 1987. Summer pruning effects in apple – a review. *Scientia Horticulturae.* 30 : 253－282.
- 千野知長. 1981. II. わが国ブドウ栽培技術の歴史. 加除式農業技術体系果樹編2. ブドウ. p. 基5－基19. 農文協. 東京.
- 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.
- 山本隆儀. 1999. 果樹園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・宮田裕美・野口マキ・奥山定治. 2004. 樹冠情報の長期予測を目的とした果樹の樹形構築解析システム (CACOAS) の開発. 山形大学紀要 (農学) 14 : 59－93.
- 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一. 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次元構造と果樹園光環境の関係—モデル手法を用いた解析例一. 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光環境に及ぼす影響—モデル手法を用いた解析例一. 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一. 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.