

Effects of Different Tree Shapes on Photosynthetic Characteristics and Fruit Quality of *Citrus grandis* var. *Longanyou*

Kangping Zhang^{1,2}, Rongfei Li^{1*}, Qingqing Xia¹, Qiao He¹, Guolu Liang¹, Youwen Yi³, Lirong Su³, Tao Hu⁴, Xueyou Jiang⁴, Qigao Guo^{1#}

¹Key Laboratory of Horticulture Science for Southern Mountainous Regions, Ministry of Education/College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing

²College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing

³Guang'an Science and Technology Development and Training Center, Guang'an Sichuan

⁴Guang'an District Agricultural Bureau, Guang'an Sichuan

Email: #qgguo@126.com

Received: Apr. 29th, 2018; accepted: May 18th, 2018; published: May 25th, 2018

Abstract

Selecting reasonable tree structure can guarantee ventilation and light transmittance in the canopy, which is better for improving the rate of light utilization and high yield, quality or regular bearing. We used the open center shape, Y-shape, double layered shape and natural round shape of *Citrus grandis* var. *longanyou* as the research object in this paper, and then photosynthetic characteristics and fruit quality in different position of four kinds of canopy were measured and their relationships were analyzed. The results showed that: 1) The net photosynthetic rate (Pn) of the upper leaves of four kinds of canopy was higher than that of the lower leaves. The Pn of the leaves of different parts of the Y-shape was higher than that of the other canopies in the day, followed by the open center shape. It is indicated that the photosynthetic abilities of Y-shaped and open center shape were better than the other two. 2) The contents of Chla, Chla/Chlb and SPAD in Y-shaped and open center shape leaves were higher than those in the other two, while the Chlb content was opposite. The two canopies with higher level of carotenoid content were the upper part of open center shape (0.61 mg·g⁻¹) and Y-shape (0.54 mg·g⁻¹), and natural round shape was the lowest. It is indicated that the higher light-harvesting abilities of Y-shape and open center shape enhance its photosynthetic efficiency. 3) The direct reasons for high fruit quality of Y-shape and open center shape were that their fruit peel coloration, soluble solids content and fruit weight were better or higher than those in other two. Moreover, the contents of Vitamin C (Vc) and total sugar were higher, and the titratable acid (TA) was lower in the fruits of upper and lower parts of open center shape, which indicated that its fruit quality was uniform. 4) There was a significant positive correlation between Vc content and Chla/Chlb ($r = 0.838$) and SPAD ($r = 0.866$). The Pn was positively correlated with fruit sugar and sucrose content, fruit weight and fruit shape index, and the correlation coefficient with fruit weight was the highest ($r = 0.712$). In conclusion, Y-shaped and Open center shape have obvious advantages such as better ventilation and light transmittance ability, higher chlorophyll content etc., which could enhance the photosynthetic performance and be

*共同第一作者。

#通讯作者。

beneficial to increase the fruit weight and improve the fruit quality.

Keywords

Citrus grandis var. *Longanyou*, Tree Shape, Photosynthetic Capacity, Fruit Quality, Chlorophyll Content

不同树形对龙安柚光合特性和果实品质的影响

张抗萍^{1,2}, 李荣飞^{1*}, 夏清清¹, 何 桥¹, 梁国鲁¹, 易佑文³, 苏理荣³, 胡 涛⁴, 江学友⁴, 郭启高^{1#}

¹南方山地园艺学教育部重点实验室/西南大学园艺园林学院, 重庆

²西南大学农学与生物科技学院, 重庆

³广安区农业局, 四川 广安

⁴广安市科技开发培训中心, 四川 广安

Email: #qgguo@126.com

收稿日期: 2018年4月29日; 录用日期: 2018年5月18日; 发布日期: 2018年5月25日

摘 要

试验以龙安柚开心形、Y字形、双层分层形和自然圆头形4种树形为研究对象, 测定各树形冠层不同部位的叶片光合特性及果实品质, 并分析二者间的相关性。结果表明: 1) 4种树形上部叶片的净光合速率(Pn)均高于下部叶片; 一天中, Y字形不同部位叶片的Pn均高于其他树形, 其次是开心形, 说明Y字形和开心形光合能力较强。2) Y字形和开心形叶片的Chla、Chla/Chlb和SPAD含量均高于双层分层形与自然圆头形, 而Chlb含量则相反; Car含量以开心形上部最高(0.61 mg·g⁻¹), Y字形上部次之(0.54 mg·g⁻¹), 自然圆头形的叶片中含量最低。表明Y字形和开心形的捕光能力增强从而提高其光合效能。3) Y字形和开心形果实着色程度较好, 单果重和可溶性固形物含量较高。开心形上下部Vc含量、总糖含量均较高, 且可滴定酸(TA)较低。说明Y字形、开心形果实品质优于其他树形, 且开心形冠层上部和下部的果实品质较为均一。4) Vc含量与Chla/Chlb ($r = 0.838$)和SPAD ($r = 0.866$)呈极显著正相关; Pn与果实转化糖及蔗糖含量、单果重、果形指数均呈极显著正相关, 并与单果重的相关性系数最大($r = 0.712$)。综上, 龙安柚的Y字形、开心形冠层透光性好, 叶绿素含量提高, 树体叶片光合性能增强, 有利于增加单果重, 提高果实中糖和Vc含量, 改善果皮色泽。

关键词

龙安柚, 树形, 光合能力, 果实品质, 叶绿素含量

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

龙安柚(*Citrus grandis* var. *longanyou*)是四川省广安市极具地方特色的柑橘名特产品, 2008年获准为国

家地理标志保护产品[1]。近年来,龙安柚在广安发展较快,据2016年行业统计数据显示,其种植面积已从2010年的16,000 hm²增至约23,333 hm²。龙安柚规模化栽培中一直采用不修剪的自然圆头形,致使其树体高大,冠层郁闭,无效光区比例较大,结果部位外移,内膛空虚。尤其是在西南地区高温、多湿、寡日照的气候条件下,树体光合效率极低,冠层不同部位的果实品质差异较大,甚至出现适龄树不挂果的现象。

因此,提高连续结果能力且果实品质均一是龙安柚产业化生产的关键。人工整形修剪通过调整冠层枝类数量和比例,可调节冠层微环境,从而使光合器官捕获更多的光照,利于光合产物的形成和积累[2];同时通过抑制顶端优势,调控树体激素比例和营养物质的运输,调节营养生长和生殖生长,防止隔年结果[3][4];因此,适宜树形培养可实现丰产稳产、优果率较高、成熟度均一的目标。近年来,笔者所在研究组将龙安柚幼树树形培养为开心形、Y字形及双层分层形,以便调整枝梢数量和比例,不同程度地改善冠层通风透光条件,从而达到丰产稳产,保证不同部位果实品质一致的目的,并为后续逐步将成年树改造为适宜树形提供参考。而类似问题已在梨[5][6]、苹果[7][8]、桃[9]、杏[10]等果树上得到证实。

不同树形的冠层结构有差异,使其冠层内光照条件有所不同,这影响着树体的光合作用过程,并最终影响到果实的产量和品质[11][12]。目前,冠层光照和果实品质的相关性已在桃[13]、梨[14][15]、苹果[16]和樱桃[17]等果树上都有所研究,并通过建立果实品质与相对光照强度的回归方程,获得与最佳果实品质对应的相对光照强度。而类似的研究在柑橘类上报道较少。另有研究表明红树莓冠层的光环境影响果皮色素的积累,从而造成果皮着色的差异[18];但实际上,在果实转色后期果皮中叶绿素含量下降,此时果实中碳水化合物的累积主要来源于叶片的光合作用。因此,针对转色后期叶片光合特性进行研究,并探究光合特性与果实品质间的关系具有重要意义。本研究对龙安柚不同树形果实转色后期的光合特性、叶绿素含量及果实品质差异进行比较研究,并进行相关性分析,评价筛选龙安柚的丰产优质树形,以期当前大面积龙安柚老果园的树形改造和后续新建园的树形培养提供科学的理论依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验地点与材料

本试验于2015~2016年在四川省广安市前锋区代市镇大田村进行。当地(106°76'E, 30°50'N)平均海拔320 m,年平均气温17.58℃,最冷月在1月,平均气温4℃。最热月在7月,平均气温27℃。无霜期306~328 d。年平均降水量1240 mm,年平均日照时数为1213 h,具典型的西南地区高温多雨气候特征。

2011年在相对集中且技术管理水平一致的龙安柚园(2010年春季嫁接,2011年春季定植,株行距5.0×5.3 m),选取树势基本一致的龙安柚树进行4种树形(开心形、Y字形、双层分层形、自然圆头形)的培养。其中:1)开心形,树形定干高度50~60 cm,主枝3~4个,每主枝上互生副主枝2~3个;主枝之间的间距约30~40 cm,分枝角呈40°~50°向外开张;主枝间分布夹角约90°~120°(3主枝为120°,4主枝为90°);树形开张,树高与冠幅之比约1:1。2)Y字形,定干高度50~60 cm,全树配置两个主枝,将其斜伸向两个方向,树形类似于字母Y;主枝两侧配侧枝,主枝间夹角40°~60°。3)双层分层形,树形留有中心干,中心干基部为主干,定干高度约50~60 cm;整个树冠分2层,层间距约80~100 cm;下层配大主枝3个,上层配主枝2~3个,全树约配主枝5~6个;主枝两侧直接配侧枝,层内主枝间距15~20 cm,分枝角40°~50°。4)自然圆头形则不做修剪。之后每年定期对龙安柚进行树形维护。2014年冬季选定具有4种树形典型特点且树势基本一致,无病虫害的龙安柚树作为参试植株,2015年开始进行各项指标测定,文中所用数据为平均数值。5株小区,3次重复。

2.2. 试验方法

2.2.1. 不同部位叶片光合和环境因子指标测定

果实转色后期,采用LCPRO+光合作用测定仪测定光合相关指标,测定时间为8:00~18:00,每2 h

为 1 个循环, 测定部位: 将树冠从顶部到第一分枝处等分为 2 层, 分别记为上部和下部。测定点: 在东南西北方位, 其上、下部 1/2 位置水平方向与外围连线的中点, 选取当年生春梢上第 3 片作为标记叶片进行测定(Y 字形测定时, 于主枝两边选侧枝进行测定)。测定的主要光合指标包括: 净光合速率(Net photosynthetic rate, Pn)、气孔导度(Stomata conductance, Gs)、胞间 CO₂ 浓度(Intercellular CO₂ concentration, Ci), 测定的主要环境因子有: 叶片表面光合有效辐射(Leaf surface photosynthetically active radiation, Qleaf)、叶片温度(Temperature of leaf, Tleaf)。

2.2.2. 不同部位叶片光合色素含量测定

果实转色后期, 选择 2.2.1 中光合测定点相同部位的春梢第 3 片叶, 分别采集 15 片健康成熟叶片, 带回实验室, 剪去叶柄, 用蒸馏水冲洗干净, 采用 80%丙酮提取分光光度计法测定叶绿素 a (Chlorophyll a, Chla)、叶绿素 b(Chlorophyll b, Chlb)和类胡萝卜素(Carotenoid, Car), 并计算 Chla/Chlb、Chl (Chla + Chlb) [19]。采用日本 Minolta 公司的便携式叶绿素仪 SPAD-502 测定叶片相对叶绿素含量(Soil and plant analyzer development, SPAD)。

2.2.3. 不同部位果实品质分析

果实成熟期, 在试验树冠层上、下部分东南西北中 5 个方位, 各采 1 个果实。果实洗净、擦干后测定外观品质, 用电子天平测定单果重, 再榨汁混合后测定内部品质。可溶性固形物(Total Soluble Solids, TSS)、可滴定酸(Titratable Acidity, TA)、维生素 C (Vc content)、总糖(Total Sugar)等指标按国家标准 GB8210-87 方法测定。用电子天平测定单果重(Per Fruit Weight)。用日本美能达 CR-10 色差仪测定果皮色泽, 采用色泽亮度 L*、红绿偏差 a*、蓝黄偏差 b*值, 计算色泽饱和度 C*($C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5}$)、色调角 H° ($H^\circ = \arctan b^*/a^*$)和色差综合指标 CCI ($CCI = 1000 \times a^*/(L^* \times b^*)$), CCI 正值代表红黄程度, 负值代表蓝绿程度[20] [21]。

2.3. 数据处理

采用 Excel 2003 整理数据, 并结合 JMP 10 软件绘制图表, 使用 SPSS.13.0 软件分析显著性及相关性。

3. 结果与分析

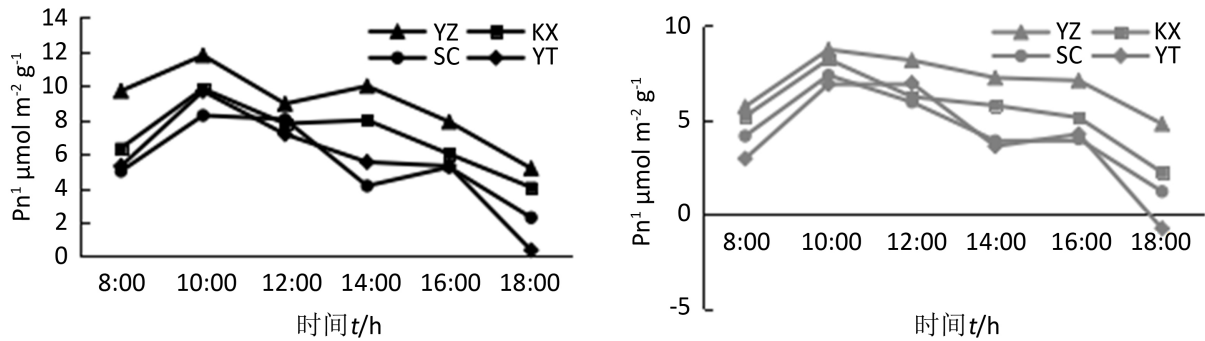
3.1. 不同部位叶片的净光合速率日变化

冠层上部叶片(图 1 左)和下部叶片(图 1 右)的净光合速率日变化研究发现: 不同部位叶片 Pn 日变化大多数呈双峰曲线, 10:00~12:00 出现首峰, 14:00~16:00 出现次峰。四种树形均于 12:00~14:00 出现“光合午休”现象。四种树形上部叶片的 Pn 均高于下部叶片; 一天中 Y 字形不同部位叶片的净光合速率均高于其他树形, 其次是开心形, 但在“光合午休”期间开心形和双层分层形、自然圆头形差异不大。自然圆头形在 18:00 左右, 上部叶片 Pn 接近于 0, 下部叶片出现负值, 说明此时光合能力降低, 呼吸速率开始大于光合速率。一天中自然圆头形、双层分层形、开心形和 Y 字形能达到的最大 Pn 值分别为 $10.9 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $9.8 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $11.3 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $12 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 且开心形和 Y 字形在一天中 Pn 均较高于自然圆头、双层分层形, 说明开心形和 Y 字形光合能力较自然圆头、双层分层形强。

3.2. 不同树形叶片光合生理和环境因子的日变化

图 2 为不同树形上下部叶片气孔导度 Gs、胞间 CO₂ 浓度 Ci、叶片温度 Tleaf 和叶片表面光合有效辐射 Qleaf 的日变化规律。

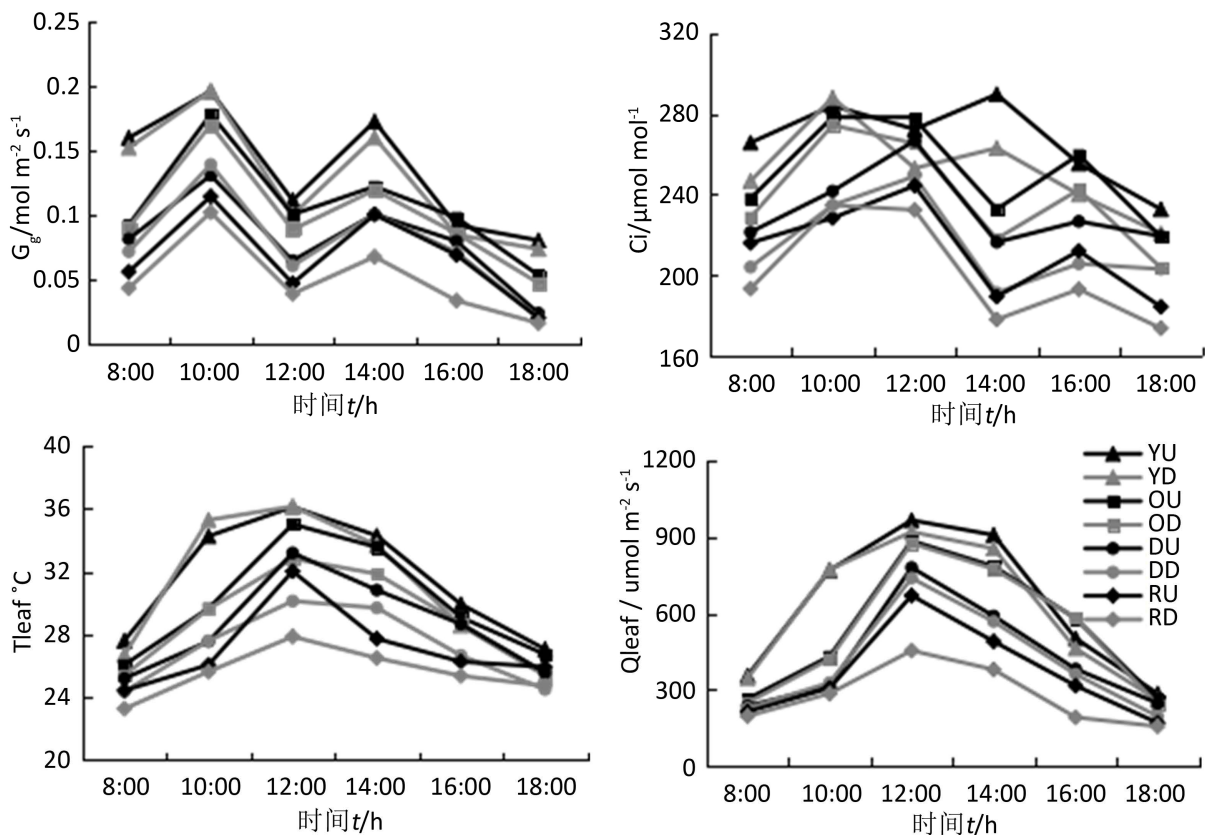
四种树形的 Gs 日变化趋势均呈不对称双峰曲线, 在 10:00 出现首峰; 12:00 时 Gs 快速下降达到低谷,



注: YT: 自然圆头形; SC: 双层分层形; YZ: Y字形; KX: 开心形。

Figure 1. Diurnal variation of net photosynthetic rate in different tree shapes of *Longanyou*

图 1. 不同树形龙安柚上部(左)和下部(右)叶片的净光合速率日变化



注: 图中字母 YU: Y字形上部; YD: Y字形下部; OU: 开心形上部; OD: 开心形下部; RU: 自然圆头形上部; RD: 自然圆头形下部; DU: 双层分层形上部; DD: 双层分层形下部。

Figure 2. Diurnal variation of other photosynthetic indexes and environmental factors in different tree shapes of leaf

图 2. 不同树形叶片的光合和环境因子相关指标的日变化

在 14:00 有小幅上升并达到次峰, 此后缓慢下降。其日变化趋势有明显的上下波动, 与 P_n 变化趋势有所差异, 但均在 10:00 出现首峰, 说明此时 G_s 的提高可能是 P_n 增高的一个主要原因。

四种树形的 C_i 日变化趋势亦均呈不对称双峰曲线, 在 10:00~12:00 出现首峰; 除 Y 字形于 12:00~14:00 缓慢上升, 并在 14:00 出现次峰后逐渐下降外, 其余三种树形均于 12:00~14:00 期间快速下降并于 14:00 达到低谷, 14:00~16:00 期间出现明显的次峰后缓慢下降。四种树形的 C_i 日变化规律与 P_n 的变化趋势相

似, 说明光合速率的增高是 C_i 增高的结果。

Tleaf 和 Qleaf 日变化规律显示: 8:00~12:00 随着光强逐渐增强而升高; 12:00~18:00 期间两项指标逐渐下降, 这与外界环境的变化趋势一致。四种树形中, 由于 Y 字形叶片曝光面积较大, 叶片的 Tleaf 和 Qleaf 较其他树形高, 而自然圆头形树形郁闭程度高, Qleaf 最低。

3.3. 不同部位叶片光合色素含量差异

如表 1 所示, Y 字形和开心形叶片中 Chla、Chla/Chlb 和 SPAD 均高于双层分层形和自然圆头形, 且 4 种树形均表现为上部叶片含量高于下部叶片, 差异达显著水平。不同树形叶片中 Chla 含量变化趋势和 SPAD 变化规律一致, 均是开心形上部叶片中最高, 其次是 Y 字形。Y 字形、开心形、双层分层形中 Car 含量高于自然圆头形, 其中开心形上部叶片中最高($0.61 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$), 其次是 Y 字形上部($0.54 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$), 两者分别比自然圆头形上部叶片高 29.78%、14.89%; 不同树形间均是上部叶片 Car 含量高于下部叶片。双层分层形与自然圆头形中 Chlb 含量高于 Y 字形和开心形, 且前两者均是下部叶片高于上部叶片, 后两者是上部叶片中 Chlb 含量高于下部叶片。综上可见, Y 字形和开心形提高了叶片 Chla 和 SPAD 含量, 这两种树形的龙安柚光合能力更强。

3.4. 不同部位的果实品质分析

如表 2 所示, Y 字形和开心形果实单果重大于双层分层形和自然圆头形, 且前两者在冠层不同部位果实的单果重差异不显著, 但双层分层形和自然圆头形上部果实单果重比下部分别高 17.45%、28.15%。Y 字形和双层分层形上部果实的 C^* 最高, 各树形上部果实 C^* 显著高于下部, 而开心形不同部位果实 C^* 均较高且差异不显著。四种树形的 L^* 差异均达到显著水平, 其中 Y 字形上部果实最高(80.95), 其次是双层分层形上部和开心形上部, 说明修剪树形上部果实色泽亮度较高。自然圆头形下部果实果皮色调角 H° 除了与双层分层形的下部果实果皮色调角 H° 无显著差异外, 与其他树形不同部位果实之间差异达显著水平。各树形不同部位果实 CCI 间差异均达显著水平, 其值均介于 -0.59 至 -1.46 间; 但各树形上部果实的值均高于下部果实, 且自然圆头形和双层分层形的下部果实 CCI 值较其他更低, 说明树形荫蔽程度对下部果实的果皮转色有较大影响。综上表明, 四种树形冠层上部的果实外观品质优于下部果实, 且 Y 字形、开心形果实外观品质优于双层分层形和自然圆头形, 说明前两种树形的果实外观品质具有更高的商品价值。

Table 1. The differences of photosynthetic pigment content in different tree shapes of Longanyou

表 1. 不同树形龙安柚光合色素含量差异

树形 Tree shape	部位 Location	Chla/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	Chlb/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	Car/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	Chla/Chlb	Chl	SPAD
Y 字形 Y-shape	上部 Upper layer	$2.90 \pm 0.07\text{b}$	$1.15 \pm 0.01\text{c}$	$0.54 \pm 0.09\text{ab}$	$2.51 \pm 0.06\text{a}$	$4.05 \pm 0.08\text{b}$	$97.10 \pm 5.37\text{ab}$
	下部 Lower layer	$2.67 \pm 0.02\text{d}$	$1.10 \pm 0.04\text{c}$	$0.44 \pm 0.07\text{b}$	$2.33 \pm 0.16\text{ab}$	$3.77 \pm 0.03\text{d}$	$90.17 \pm 1.85\text{c}$
开心形 Open center shape	上部 Upper layer	$3.11 \pm 0.02\text{a}$	$1.25 \pm 0.08\text{b}$	$0.61 \pm 0.05\text{a}$	$2.51 \pm 0.17\text{a}$	$4.36 \pm 0.09\text{a}$	$98.97 \pm 3.16\text{a}$
	下部 Lower layer	$2.65 \pm 0.09\text{e}$	$1.24 \pm 0.02\text{b}$	$0.47 \pm 0.06\text{ab}$	$2.14 \pm 0.05\text{c}$	$3.89 \pm 0.11\text{c}$	$91.90 \pm 2.41\text{bc}$
双层分层形 Double layered shape	上部 Upper layer	$2.77 \pm 0.03\text{c}$	$1.26 \pm 0.05\text{b}$	$0.51 \pm 0.14\text{ab}$	$2.20 \pm 0.07\text{bc}$	$4.04 \pm 0.08\text{b}$	$92.20 \pm 3.20\text{bc}$
	下部 Lower layer	$2.55 \pm 0.10\text{e}$	$1.38 \pm 0.07\text{a}$	$0.41 \pm 0.06\text{b}$	$1.93 \pm 0.10\text{d}$	$3.94 \pm 0.07\text{bc}$	$82.70 \pm 3.30\text{d}$
自然圆头形 Natural round shape	上部 Upper layer	$2.78 \pm 0.03\text{c}$	$1.23 \pm 0.03\text{b}$	$0.47 \pm 0.10\text{ab}$	$2.26 \pm 0.06\text{bc}$	$4.02 \pm 0.02\text{bc}$	$85.83 \pm 1.90\text{cd}$
	下部 Lower layer	$2.14 \pm 0.06\text{f}$	$1.37 \pm 0.02\text{a}$	$0.41 \pm 0.04\text{b}$	$1.57 \pm 0.04\text{e}$	$3.51 \pm 0.06\text{e}$	$71.97 \pm 5.88\text{e}$

注: 表中同一列中不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著($p < 0.05$)。下同。

不同树形果实内部品质分析如表 3, 四种树形中以 Y 字形的 TSS 含量最高; 开心形上部和自然圆头形下部的果实 TA 含量较低, 但前者的固酸比显著大于后者。开心形上部和下部果实的 Vc 含量均高, 分别比自然圆头形下部增加了 30.98%、32.64%。Y 字形上部果实总糖含量最高(10.28%), 双层分层形和自然圆头形下部果实总糖含量较低, 开心形上部、下部总糖含量基本一致。Y 字形和开心形不同部位果实中还原糖含量差异不显著, 但双层分层形和自然圆头形上部显著高于下部, 其中自然圆头形上、下部果实的差异达 13.71%。不同树形同一冠层果实中蔗糖含量无显著性差异, 但 Y 字形、开心形和双层分层形上部均高于双层分层形下部与自然圆头形。同一冠层果实中转化糖含量以自然圆头形最低, 但双层分层形和自然圆头形的不同部位差异显著。这表明 Y 字形和开心形的果实品质优于其他树形, 且开心形不同部位果实品质较为均一。

3.5. 不同树形光合特性、果实品质的主成分分析

对四种树形冠层上、下部位的 11 项光合生理指标进行主成分分析(图 3(a))。从图 3(a)可以看出, PC1 和 PC2 分别解释了总变量的 66.3%和 24.7%。基于 11 个指标的 PCA 模型中, 可按照其树形被明显地区分为 5 类: 自然圆头形上部、双层分层形均与叶绿素 b 为一类, 这说明 Chlb 是构成自然圆头形和双层分层形的光合特征差异主要因素; 开心形上部与 Chl、Chla、Chla/Chlb、Car、SPAD 和 Pn 在一起, 表明 Pn 与光合色素之间的相关性较高; 开心形下部和 Y 字形上部与 Gs、Ci、Tleaf 和 Qleaf 分为一类, 这说明它们对开心形下部叶片和 Y 字形上部叶片的光合效率的影响较大; 而 Y 字形下部、自然圆头形下部均与光合特性指标及其他树形相隔较远, 两者各为一类, 这可能与自然圆头形下部荫蔽较为严重, 而 Y 字

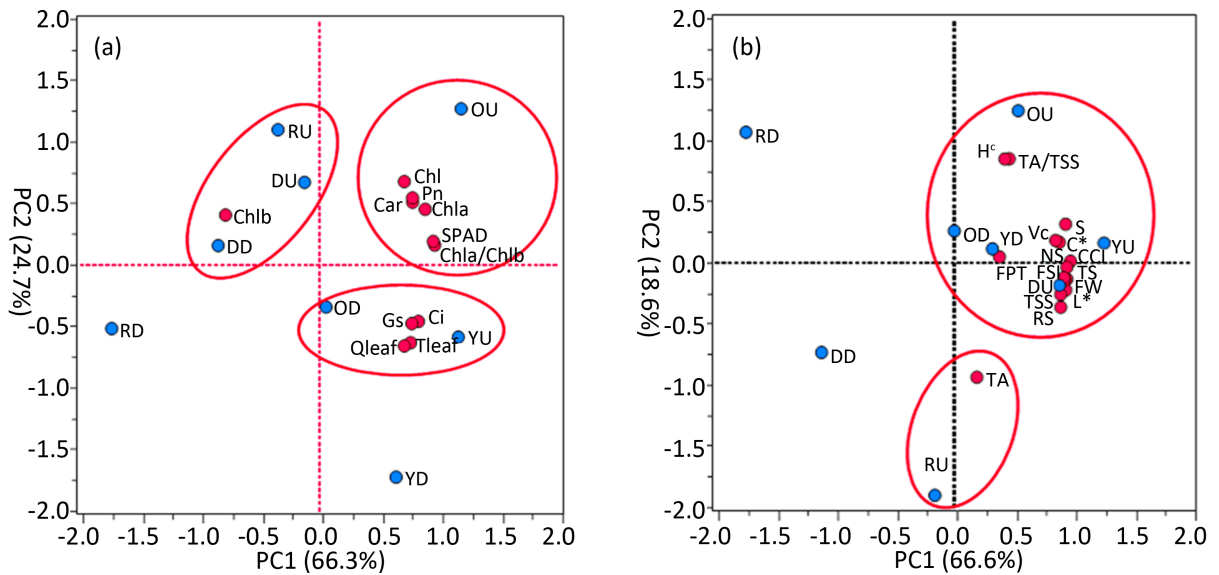
Table 2. Comparison of fruit appearance quality indifferent canopy location of four tree shapes

表 2. 四种树形不同部位果实外观品质比较

树形 Tree shape	部位 Location	单果重(kg) Fruit weight	果形指数 Fruit shape index	果皮厚度(mm) Fruit peel thickness	果皮亮度 L*	色泽饱和度 C*	色调角H°	色差综合指标CCI
Y 字形 Y-shape	上部 Upper layer	1.81 ± 0.04a	1.03 ± 0.00ab	15.92 ± 0.17a	80.95 ± 0.24a	52.01 ± 1.59a	96.27 ± 0.53a	-0.59 ± 0.04a
	下部 Lower layer	1.70 ± 0.01a	1.00 ± 0.00bc	15.10 ± 0.57ab	79.28 ± 0.38d	49.27 ± 0.37b	95.44 ± 0.75a	-0.72 ± 0.06bc
开心形 Open center shape	上部 Upper layer	1.77 ± 0.02a	1.02 ± 0.01abc	15.27 ± 0.34ab	80.27 ± 0.25c	49.46 ± 1.08a	96.07 ± 0.58a	-0.65 ± 0.04ab
	下部 Lower layer	1.76 ± 0.02a	1.01 ± 0.01abc	11.72 ± 0.72d	79.03 ± 0.08d	49.80 ± 0.51b	95.36 ± 0.11a	-0.79 ± 0.02c
双层分层形 Double layered shape	上部 Upper layer	1.75 ± 0.10a	1.04 ± 0.04a	13.01 ± 0.75cd	80.66 ± 0.45ab	51.77 ± 0.56b	95.51 ± 0.14a	-0.61 ± 0.13ab
	下部 Lower layer	1.49 ± 0.08b	0.99 ± 0.01cd	12.89 ± 1.72cd	78.41 ± 0.35e	47.82 ± 0.53c	94.64 ± 1.31ab	-1.23 ± 0.03e
自然圆头形 Natural round shape	上部 Upper layer	1.73 ± 0.12a	1.01 ± 0.01abc	14.93 ± 0.71ab	80.03 ± 0.17c	45.92 ± 0.77cd	95.41 ± 1.13a	-0.92 ± 0.06d
	下部 Lower layer	1.35 ± 0.08c	0.96 ± 0.03d	13.83 ± 0.88bc	76.97 ± 0.09f	46.81 ± 0.37d	93.42 ± 1.25b	-1.46 ± 0.09f

Table 3. Comparison of Longanyou fruit quality for four tree shapes in different fruit tree canopy location
表 3. 龙安柚四种树形不同部位果实内部品质比较

树形 Tree shape	部位 Location	可溶性 固形物 TSS (%)	可滴 定酸 TA (%)	固酸比 TSS/acid	Vc 含量 Vc content (mg·100 ml ⁻¹)	总糖 Total sugar (%)	还原糖 Reducing sugar (%)	蔗糖 Saccharose (%)	转化糖 Nvert sugar (%)
Y 字形 Y-shape	上部 Upper layer	12.57 ± 0.12a	0.93 ± 0.03bc	13.48 ± 0.51b	36.99 ± 0.64a	10.28 ± 0.03a	3.71 ± 0.03a	6.48 ± 0.06a	10.21 ± 0.06a
	下部 Lower layer	12.12 ± 0.41abc	0.92 ± 0.04bc	13.18 ± 0.32cd	36.89 ± 0.73a	9.79 ± 0.63b	3.56 ± 0.03ab	6.22 ± 0.49ab	10.12 ± 0.66ab
开心形 Open center shape	上部 Upper layer	11.75 ± 0.41cd	0.85 ± 0.01d	13.88 ± 0.30a	37.04 ± 0.09a	9.64 ± 0.09b	3.49 ± 0.07b	6.36 ± 0.1ab	10.11 ± 0.04ab
	下部 Lower layer	11.67 ± 0.15cd	0.89 ± 0.02cd	13.09 ± 0.16d	37.51 ± 1.41a	9.60 ± 0.13b	3.58 ± 0.1ab	6.06 ± 0.05bc	9.67 ± 0.2bc
双层 分层形 Double layered shape	上部 Upper layer	12.38 ± 0.23ab	0.93 ± 0.02bc	13.29 ± 0.26c	36.67 ± 1.11a	9.94 ± 0.09ab	3.69 ± 0.09a	6.25 ± 0.05ab	10.22 ± 0.12a
	下部 Lower layer	11.53 ± 0.21d	0.96 ± 0.01ab	12.05 ± 0.12f	33.13 ± 1.32b	9.05 ± 0.16c	3.33 ± 0.07c	5.67 ± 0.06cd	9.26 ± 0.08c
自然 圆头形 Natural round shape	上部 Upper layer	11.98 ± 0.10bc	0.98 ± 0.02a	12.19 ± 0.23e	31.77 ± 0.06b	9.76 ± 0.12b	3.65 ± 0.04ab	5.75 ± 0.33cd	9.93 ± 0.29ab
	下部 Lower layer	11.22 ± 0.18d	0.84 ± 0.03d	13.29 ± 0.39c	28.28 ± 0.87c	9.00 ± 0.19c	3.21 ± 0.16c	5.55 ± 0.08d	9.21 ± 0.07c



注：图中字母 RU：自然圆头形上部；RD：自然圆头形下部；DU：双层分层形上部；DD：双层分层形下部；YU：Y 字形上部；YD：Y 字形下部；OU：开心形上部；OD：开心形下部。Chl：叶绿素；Chla：叶绿素 a；Chlb：叶绿素 b；Car：类胡萝卜素；Chla/Chlb：叶绿素 a/叶绿素 b；SPAD：叶绿素相对含量；Pn：净光合速率；Ci：胞间 CO₂ 浓度；Gs：气孔导度；Tleaf：叶片温度；Qleaf：叶片表面光合有效辐射。L*：果皮亮度；C*：色泽饱和度；H°：色调角；CCI：色差综合指标；TA：可滴定酸；FPT：果皮厚度；TSS：可溶性固形物；RS：还原糖；S：蔗糖；TSS/TA：固酸比；Vc：Vc 含量；FSI：果形指数；NS：转化糖；TS：总糖；FW：单果重。

Figure 3. Principal components analysis of photosynthetic characteristics (a) and fruit quality (b) for four different kinds of trees

图 3. 四种树形不同部位光合特征的主成分分析(a)和果实品质的主成分分析(b)

形下部曝光面积较大有关,从而影响到二者光合效率。

对四种树形冠层上、下部位的 15 种果实品质指标进行主成分分析(图 3(b))。从图 3(b)可以看出, PC1 和 PC2 分别解释了总变量的 66.6%和 18.6%。基于 15 种果实品质指标的 PCA 模型中,可按照其树形被明显地区分为 4 类。其中双层分层形下部、自然圆头形下部与果实品质指标与其它树形相隔较远,单独分为一类。自然圆头形上部与可滴定酸分为一类。双层分层形上部、Y 字形、开心形与可溶性固形物、固酸比、总糖、Vc 含量、单果重、果皮亮度、色泽饱和度、色调角等 14 个果实品质指标分为一类。且果实品质各指标间相隔较近,尤其是可溶性固形物、总糖、蔗糖、转化糖、还原糖、Vc 含量、单果重、果皮亮度、色泽饱和度、色差综合指标等之间。可见,与自然圆头形相比,其他三种树形可明显提高果实品质,尤其是 Y 字形和开心形的果实品质更好。

3.6. 不同树形光合特性和果实品质的相关性分析

光合指标、光合色素含量与果实品质之间的相关性见表 4。各项光合色素指标中, SPAD、Chla/Chlb 除了与 TA 呈负相关外,与其他各项品质指标均呈极显著正相关; Chla 与果实品质所有指标都呈正相关,并与还原糖、转化糖、蔗糖、Vc、单果重、果形指数、L*、C*、H°、CCI 相关性达极显著水平; Chlb 除了与 TSS/TA 呈正相关外,与其他指标均呈负相关,并与还原糖、转化糖、蔗糖、总糖、Vc、单果重等呈极显著负相关; Car 则除了与 TA 显著相关外,与其他果实品质指标的相关性均不显著。各项光合指标中, Pn 与转化糖、蔗糖、单果重、果形指数、L*呈极显著正相关,与还原糖、总糖、Vc、C*、H°、CCI 呈显著正相关; Tleaf、Qleaf 与 TSS、转化糖、单果重、果皮厚度呈显著正相关,而与蔗糖、总糖、Vc、C*、CCI 等则呈极显著正相关。

Table 4. Correlation analysis of fruit quality, photosynthetic characteristics and chlorophyll content
表 4. 光合特性及叶绿素含量与果实品质各指标间相关性分析

R	SPAD	Chla	Chlb	Chla/Chlb	Chl	Car	Pn	Gs	Ci	Tleaf	Qleaf
可溶性固形物 TSS	0.535**	0.467*	-0.573**	0.563**	0.384	-0.145	0.345	0.342	0.326	0.511*	0.523**
可滴定酸 TA	-0.032	0.178	-0.116	0.024	0.113	-0.417*	0.024	-0.186	-0.246	0.010	0.052
固酸比 TSS/TA	0.374	0.222	0.011	0.278	0.198	0.356	0.219	0.367	0.396	0.117	0.088
还原糖 Reducing sugar	0.590**	0.569**	-0.589**	0.673**	0.471*	-0.214	0.496*	0.244	0.327	0.393	0.374
转化糖 Nvert sugar	0.663**	0.553**	-0.612**	0.706**	0.528**	0.029	0.614**	0.374	0.409	0.494*	0.472*
蔗糖 Saccharose	0.766**	0.560**	-0.571**	0.766**	0.519**	0.055	0.564**	0.656**	0.633**	0.609**	0.590**
总糖 Total sugar	0.628**	0.503*	-0.679**	0.682**	0.424*	-0.148	0.500*	0.382	0.434*	0.531**	0.546**
Vc 含量 Vc content	0.866**	0.666**	-0.595**	0.838**	0.591**	0.073	0.475*	0.767**	0.714**	0.663**	0.554**
单果重 Fruit weight	0.764**	0.750**	-0.614**	0.831**	0.679**	0.043	0.712**	0.427*	0.505*	0.469*	0.425*
果形指数 Fruit shape index	0.711**	0.680**	-0.439	0.684**	0.593**	-0.069	0.517**	0.283	0.306	0.278	0.227
果皮厚度 Fruit peel thickness	0.150	0.272	-0.499*	0.387	0.229	0.208	0.463*	0.189	0.273	0.415*	0.511*
果皮亮度 L*	0.758**	0.831**	-0.569**	0.807**	0.761**	0.048	0.699**	0.329	0.346	0.401	0.375
色泽饱和度 C*	0.805**	0.606**	-0.394	0.725**	0.553**	0.116	0.500*	0.785**	0.752**	0.597**	0.572**
色调角H°	0.570**	0.602**	-0.482*	0.595**	0.513*	0.027	0.433*	0.418*	0.289	0.453*	0.385
色差综合指标 CCI	0.849**	0.828**	-0.689**	0.867**	0.653**	0.547**	0.619**	0.584**	0.611**	0.581**	0.530**

注: *表显著相关($p < 0.05$), **表极显著相关($p < 0.01$)。R: 相关系数。

4. 讨论

净光合速率(Pn)是衡量果树光合作用的常用指标,不同植物种类的 Pn 有所差异,现有研究表明,常绿树木叶片的 Pn 比较低,已经被归因于氮营养过量地投资于 Rubisco 和较高的叶内 CO₂ 的扩散阻力,从而降低了光合速率[22]。实际上,田间测定光合速率具有不稳定性和复杂性,往往会造成光合速率与树冠真实的光合效率差距较大,有学者认为测试到的最大光合利用率往往只有理论值或最大值的 1/3 左右,其原因主要由于环境和树体不是光合作用最适宜条件[23]。本研究比较不同树形 Pn 的日变化发现 Y 字形和开心形 Pn 均保持较高水平,波动不明显,这在锥栗不同树形光响应研究中有类似发现[24]。而张显川等[25]发现未经树形培养的苹果树叶面积较大,整个冠层的 Pn 大于新培养树形,但单叶的平均 Pn 显著低于后者。可见,果树单叶与冠层整体的光合速率的相关性仍需要进一步的研究。本试验发现,随着气孔导度(Gs)的增加,胞间 CO₂ 浓度(Ci)增高, Pn 随之增高;当 Gs 快速下降时,而 Ci、Pn 是随之缓慢下降的。说明 Pn 与 Gs、Ci 紧密相关,且 Pn 的下降应主要归因于气孔因素导致的。此外,本研究中 8:00 的 Ci 较低于 10:00,与其他人的结论有所不同,其原因可能是环境、植物本身不同导致,但具体原因有待进一步研究。

光合色素参与光合作用过程中光能的吸收、传递和转化,光合色素含量直接影响果树的光合效能,其中叶绿素(Chl)、类胡萝卜素(Car)与光合作用的关系密切,以叶绿素 a(Chla)最为重要[26];且 Chla 与 Pn 之间呈显著正相关[27]。本研究中 Y 字形与开心形的叶片中 Chla 含量均大于双层分层形、自然圆头形,且以开心形上部叶片中最高,进一步说明开心形和 Y 字形光合能力较自然圆头、双层分层形强,可见树形培养有利于叶绿素的合成与积累,这也在苹果上有类似发现[28]。目前,国内外研究者利用叶绿素计测定的 SPAD 值,可间接反映叶片的叶绿素含量及含氮量等,并与 Chla、Chlb、总叶绿素含量呈极显著相关[29] [30] [31],这在本研究中也得到证实,且 SPAD 值与 Chla 含量具有一致的变化趋势。此外,研究还发现双层分层形和自然圆头形中下部的叶片 Chlb 含量较多,可能是两者下部获得的光照较少,光渗透较少,需要较多的捕光色素所致,这在长春花的研究中有类似发现[32]。树冠开张状态下,暴露于光下的叶面积较多,树体会通过提高 Car 值,进行自我保护[33],本研究发现 Y 字形与开心形的 Car 值较高,这可能是因两种树形开张角度大,叶片暴露在光下较多的缘故。

果树光合能力是其品质形成的基础,90%以上的干物质来自叶片的光合产物[34],因此影响光合能力的因素也就间接影响果实的品质。而 Pn 是直接反应果树叶片光合能力的参数,光合色素含量及 SPAD 也是反应光合能力的指标,说明 Pn、光合色素含量、SPAD 与果实的品质呈显著正相关。本研究中通过对不同树形中光合生理指标进行主成分分析发现,开心形上部位与 Chl、Chla、Chla/Chlb、Car、SPAD 和 Pn 在一起,开心形下部和 Y 字形上部与 Gs、Ci、Tleaf 和 Qleaf 聚集较近。而自然圆头形、双层分层形与光合生理指标的分布距离较远,这说明开心形树形的龙安柚,通过减少枝条数量,改善了冠层光照条件,从而提高了树体光合能力,进而影响果实的品质。这在王琰[35]、张强[36]等人对苹果的研究中也有类似发现。

果实品质是衡量树形的一个主要指标,即适宜树形可显著地提高果实的外观和内在品质[2] [37]。本研究中龙安柚不同树形上部果实内部品质均高于下部果实,这与前人研究一致[38],其中 Y 字形和开心形的上、下部果实内在品质较为均一。而树形对果实品质的影响,主要是改善冠层结构,提高树体受光面积和叶片净光合速率,从而提高果实品质[39] [40] [41]。研究者发现,苹果的 Pn 对果实外观品质有重大影响,对内在品质也呈显著相关,其中 Pn 与单果重、可溶性糖含量、糖酸比等品质指标均呈显著正相关,而 Pn 对维生素 C 含量的作用不明显[42]。范晓明等[24]也发现 Pn 与平均单果重相关性较大($r = 0.854^{**}$)。本研究中 Pn 与蔗糖、单果重呈极显著正相关,但本研究中 Pn 还与总糖、还原糖、Vc 含量等均呈显著正

相关,这与前人的研究报道有所差异,这可能是由于树种不同的缘故。根据主成分分析发现,双层分层形上部、Y字形、开心形与可溶性固形物、固酸比、总糖蔗糖、还原糖、Vc含量、单果重等14个果实品质指标聚集在一起。说明修剪树形与蔗糖、单果重、Vc含量、可溶性固形物、总糖等果实品质指标相关性高,而这些果实品质指标与Pn呈显著正相关,这进一步证实修剪后的树形可提高树体受光面积和叶片净光合速率,从而提高果实品质。此外,本研究还发现,SPAD、Chla/Chlb与TSS、还原糖、转化糖、蔗糖、总糖、Vc、单果重均呈极显著正相关,与TA呈负相关。而Chla与果实品质所有指标都呈正相关,其中与糖、Vc、单果重、果形指数等指标极显著相关,这说明修剪树形通过改善树体内光照条件,提高光合能力,有利于增加单果重和提高果实中糖、Vc含量。

果皮中的糖是调控果皮叶绿体向有色体转化和合成类胡萝卜素的基础物质,其积累量高低与果皮颜色呈正相关[43]。果皮中的糖主要来自果皮自身光合产物的积累以及叶片同化产物的输入,而果皮自身的光合产物很有限[44],因此,果皮颜色主要跟叶片中同化产物的积累与输入量相关[45]。而影响叶片同化产物的因子主要是净光合速率,即叶片净光合速率大小与果皮颜色相关。张晶楠等[28]研究发现苹果冠层光照条件较好的垂柳形的果实着色情况要明显优于疏散分层形,且果皮光泽度高。本研究发现,Y字形和开心形果实色度L*值、色调角h°和色泽饱和度C值均高于自然圆头形相应部位果实果皮色泽,且Y字形和开心形的上、下部果实色泽饱和度较为均一,根据主成分分析发现,双层分层形上部、Y字形、开心形与果皮亮度、色泽饱和度、色调角、色差综合指标等果实外观品质指标分为一类。说明Y字形、开心形改善了树冠内光照条件,提高果实外观品质。而根据相关性分析发现,Pn与L*呈极显著正相关,与C*、h呈显著正相关;SPAD、Chla/Chlb与L*、C*、h均呈极显著正相关;Chla与L*、C*、h相关性达极显著水平,说明Pn、Chla、Chla/Chlb、SPAD与果皮色泽显著相关。可见,龙安柚果实果皮色泽与光合特性相关性较高,这与江才伦等[45]在柑橘中的研究结果一致。综上所述,龙安柚通过树形修剪能有效改善冠层光照条件,从而提高树体光合能力,并利于改善果实的色泽。

5. 结论

- 1) Y字形、开心形冠层透光性好,有效提高叶绿素积累含量,增强树体叶片光合性能。
- 2) Y字形和开心形果实品质相对较高,开心形不同部位的果实品质较为均一,双层分层形上部果实品质仅次于Y字形,但其下部的果实品质较差,自然圆头形下部果实品质最差。
- 3) 改善树体内光照条件,提高光合能力,有利于增加单果重,提高果实中糖和Vc含量,改善果实色泽。

基金项目

“十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAD16B0102-I)。

参考文献

- [1] 熊爱民. 龙安柚高品质果生产技术[J]. 中国南方果树, 2012, 41(5): 83.
- [2] 董然然, 安贵阳, 赵政阳, 等. 不同树形矮化自根砧苹果的冠内光照及其生长和产量比较[J]. 中国农业科学, 2013, 46(9): 1867-1873.
- [3] Spann, T.M., Beede, R.H. and DeJong, T.M. (2009) Contributions of Short- and Long-Shoots to Yield of “Kerman” Pistachio (*Pistacia vera* L.). *Scientia Horticulturae*, **121**, 495-500. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.02.029>
- [4] Lauri, P.É., Combe, F. and Brun, L. (2014) Regular Bearing in the Apple—Architectural Basis for an Early Diagnosis on the Young Tree. *Scientia Horticulturae*, **174**, 10-16. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.001>
- [5] Duga, A.T., Ruysen, K., Dekeyser, D., et al. (2015) Spray Deposition Profiles in Pome Fruit Trees: Effects of Sprayer Design, Training System and Tree Canopy Characteristic. *Crop Protection*, **67**, 200-213. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.10.016>

- [6] Zhang, J., Serra, S., Leisso, R.S., *et al.* (2016) Effect of Light microclimate on the Quality of “d’Anjou” Pears in Mature Open-Centre Tree Architecture. *Biosystems Engineering*, **141**, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.11.002>
- [7] Widmer, A. and Krebs, C. (2000) Influence of Planting Density and Tree Form on Yield and Fruit Quality of “Golden Delicious” and “Royal Gala” Apples. *International Symposium on Orchard and Plantation Systems*, **557**, 235-242.
- [8] Dallabetta, N., Forno, F., Mattedi, L., *et al.* (2014) The Implication of Different Pruning Methods on Apple Training Systems. *Poljoprivredai Sumarstvo*, **60**, 173.
- [9] Gullo, G., Motisi, A., Zappia, R., *et al.* (2014) Rootstock and Fruit Canopy Position Affect Peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] (cv. Rich May) Plant Productivity and Fruit Sensorial and Nutritional Quality. *Food Chemistry*, **153**, 234-242. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.056>
- [10] Almeras, T., Costes, E. and Salles, J.C. (2004) Identification of Biomechanical Factors Involved in Stem Shape Variability between Apricot Tree Varieties. *Annals of Botany*, **93**, 455-468. <https://doi.org/10.1093/aob/mch054>
- [11] 冉辛拓, 宋海舟, 高志货, 等. 梨不同树形对光效能及产量品质的影响[J]. 园艺学报, 2012, 39(5): 957-962.
- [12] Lampinen, B.D., Tombesi, S., Metcalf, S.G., *et al.* (2013) Spur Behaviour in Almond Trees: Relationships between Previous Year Spur Leaf Area, Fruit Bearing and Mortality. *Tree Physiology*, **1**, 700-706.
- [13] 何凤梨, 王飞, 魏钦平, 等. 桃树冠层相对光照分布与果实产量品质关系的研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 502-507.
- [14] 岳玉苓, 魏钦平, 张继祥, 等. 黄金梨棚架树体结构相对光照强度与果实品质的关系[J]. 园艺学报, 2008, 35(5): 625-630.
- [15] He, F.L., Wang, F., Wei, Q.P., *et al.* (2008) Relationships between the Distribution of Relative Canopy Light Intensity and the Peach Yield and Quality. *Agricultural Science in China*, **7**, 297-302. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60069-3](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60069-3)
- [16] 王建新, 牛自勉, 李志强, 等. 乔砧富士苹果不同冠形相对光照强度的差异及对果实品质的影响[J]. 果树学报, 2011(1): 8-14.
- [17] 王小伟, 尚志华, 张强, 等. 樱桃透光和郁闭树冠相对光照强度及其果实品质和产量的差异[J]. 园艺学报, 2009(2): 157-162.
- [18] Wang, S.Y., Chen, C.T. and Wang, C.Y. (2009) The Influence of Light and Maturity on Fruit Quality and Flavonoid Content of Red Raspberries. *Food Chemistry*, **112**, 676-684. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.032>
- [19] 舒展, 张晓素, 陈娟, 等. 叶绿素含量测定的简化[J]. 植物生理学通讯, 2010(4): 399-402.
- [20] Zhou, J.Y., Sun, C.D., Zhang, L.L., *et al.* (2010) Preferential Accumulation of Orange-Colored Carotenoids in Ponkan (*Citrus reticulata*) Fruit Peel Following Postharvest Application of Ethylene or Ethephon. *Scientia Horticulturae*, **126**, 229-235. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.019>
- [21] 傅秀敏. 红肉和白肉枇杷果实类胡萝卜素差异积累机制研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [22] Warren, C.R. and Adams, M.A. (2004) Evergreen Trees Do Not Maximize Instantaneous Photosynthesis. *Trends in Plant Science*, **9**, 270-274. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.04.004>
- [23] 许大全. 光合作用学[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [24] 范晓明, 袁德义, 杨斐翔, 等. 锥栗不同树体结构对光的响应[J]. 生态学报, 2015(22): 7426-7434.
- [25] 张显川, 高照全, 付占方, 等. 苹果树形改造对树冠结构和冠层光合能力的影响[J]. 园艺学报, 2007, 34(3): 537-542.
- [26] 姜卫兵, 高光林, 俞开锦, 等. 水分胁迫对果树光合作用及同化代谢的影响研究进展[J]. 果树学报, 2002, 19(6): 416-420.
- [27] 金孝芳, 贾尚智, 石亚亚, 等. 不同绿茶品种(系)光合特性及叶绿素含量的比较研究[J]. 西南农业学报, 2013, 26(2): 520-523.
- [28] 张晶楠, 张淑燕, 孙培琪, 等. 富士苹果垂柳形树冠光照参数与果实品质的关系[J]. 中国农学通报, 2010(4): 205-209.
- [29] 王瑞, 陈永忠, 陈隆升, 等. 油茶叶片 SPAD 值与叶绿素含量的相关分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(2): 77-80.
- [30] 潘静, 曹兵, 万仲武. 两种果树叶片 SPAD 值与叶绿素含量相关性分析[J]. 北方园艺, 2012(5): 9-12.
- [31] 刘西军, 陈静, 徐小牛, 等. 桂花叶片 SPAD、叶绿素含量和比叶重特征[J]. 安徽农业大学学报, 2013, 40(1): 51-54.

- [32] 周忆堂, 马红群, 梁丽娇, 等. 不同光照条件下长春花的光合作用和叶绿素荧光动力学特征[J]. 中国农业科学, 2008, 41: 3589-3595.
- [33] 王博轶, 冯玉龙. 生长环境光强对两种热带雨林树种幼苗光合作用的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(1): 23-30.
- [34] 南鑫, 孙桂丽. 库尔勒香梨光合特性和果实品质研究进展[J]. 中国园艺文摘, 2014(2): 1-4.
- [35] 王琰. 苹果不同树形树冠特性及其对果实产量和品质的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [36] 张强, 魏钦平, 王小伟, 等. 乔砧富士苹果树冠枝梢数量和分布对产量与品质的影响[J]. 园艺学报, 2010, 37(8): 1205-1212.
- [37] González-Talice, J., Yuri, J.A. and Del Pozo, A. (2013) Relations among Pigments, Color and Phenolic Concentrations in the Peel of Two Gala Apple Strains According to Canopy Position and Light Environment. *Scientia Horticulturae*, **151**, 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.12.007>
- [38] 伍涛, 张绍铃, 吴俊, 等. “丰水”梨棚架与疏散分层冠层结构特点及产量品质的比较[J]. 园艺学报, 2008, 35(10): 1411-1418.
- [39] 王志强, 牛良, 刘淑娥, 等. CO₂ 施肥对大棚油桃光合作用及产量品质的影响[J]. 果树学报, 2001, 18(2): 75-79.
- [40] 李丙智, 阮班录, 君广仁, 等. 改形对红富士苹果树体光合能力及果实品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(5): 119-122.
- [41] 蔺经, 杨青松, 李晓刚, 等. 梨三主枝开心形对光合及果实品质的影响[J]. 江西农业大学学报, 2008(1): 20-24.
- [42] 王瑜, 向青云, 吴亚维, 等. 贵州中部地区苹果的光合特性及其对产量和品质的影响[J]. 园艺学报, 2010, 37(6): 984-990.
- [43] Iglesias, D.J., Tadeo, F.R. and Legaz, F. (2001) *In Vivo* Sucrose Stimulation of Color Change in Citrus Fruit Epicarps: Interactions between Nutritional and Hormonal Signals. *Physiologia Plantarum*, **112**, 238-224. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1120213.x>
- [44] 陶俊, 张上隆, 安新民, 等. 光照对柑桔果皮类胡萝卜素和色泽形成的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1833-1836.
- [45] 江才伦, 彭良志, 曹立, 等. 不同修剪方式对柑橘产量、品质的影响及效益研究[J]. 果树学报, 2012, 29(6): 1017-1021.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5665, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: br@hanspub.org