

# 基于三维数字化仪的高纺锤形苹果树光截获率测定

章兰芬<sup>1</sup>, 李丙智<sup>2</sup>, 张社奇<sup>1</sup>, 张林森<sup>2</sup>, 王菲<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 理学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**利用三维数字化仪, 结合 Pleaf Digit 和 Vege STAR 软件, 建立了 13 a 生高纺锤形苹果树数字化模型, 并对树体模型进行立方单元分割以及分析总冠层及冠层内各类型枝条的光截获率。结果表明: 不同类型的枝条, 光截获率(STAR 值)有差异。大树的短果台副梢、长果台副梢、短营养枝和长营养枝的 STAR 值分别小于中树, 中树小于小树; 每棵果树的短果台副梢和短营养枝的 STAR 值分别小于长果台副梢和长营养枝; 不遮阴枝条的光截获率比遮阴枝条大, 并且短果台副梢和短营养枝因其它类型枝条遮阴减少的 STAR 值分别比长果台副梢和长营养枝大。果树由底部到顶部及由冠层中部到外部, 光截获率逐渐增大, 与用光量子探头(LS190)测得的透光率递增趋势相符。冠层 STAR 值越大, 果树产量越高。因此, 冠层光截获率能够作为冠层内部光分布特征的一个评价指标, 并能有效指导果树管理, 提高果实产量。

**关键词:**三维数字化; 高纺锤形; 模拟树; 光截获率

**中图分类号:**S 661.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)07-0009-04

在果园管理中, 树体结构是影响果树生长和产量的重要因素。在不同的树体冠层结构中, 树体的器官位置、形态和方向有所区别<sup>[1]</sup>。当入射光、散射光和透射光进入树体, 不同的冠层结构制约着树体对光的截获率。因此, 研究冠层结构对树体光截获率的影响规律, 对指导果树管理有着重要的科学价值和实践意义。

然而, 传统的研究方法难以获取精准的果树树体三维结构。近年来, 国内外的学者开始了利用三维数字化仪对植物形态学特征的研究。在国内, 马韞韬等<sup>[2]</sup>利用数字化仪在田间观测了玉米叶片的空间形态, 郑邦友等<sup>[3]</sup>使用三维数字化仪, 并结合虚拟层切法, 精确、多角度地分析了水稻冠层元素在三维空间的分布状况。在国外, 一些学者利用三维数字化仪获取果树的形态特征, 并建立模型以评价树体冠层光截获规律<sup>[4-9]</sup>。

高纺锤形果树是我国北方最为优产、高产的果树树形之一。但有关高纺锤形树体冠层结构对树体光截获率的影响规律研究还不多见。该研究以 13 a 生高纺锤形果树为试材, 利用三维数字化仪对果树树体冠层结构

进行观测, 并结合 Pleaf Digit 和 Vege STAR 软件, 旨在获得高纺锤形树体冠层结构对树体光截获率的影响规律, 以为高纺锤形果树的整形修剪提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为 13 a 生高纺锤形“富士”苹果树(*Malus domestica* Borkh.)。基砧为新疆野苹果(*M. sieversii*), 中间矮化砧为 M26, 2 种树形株行距为 2.0 m×3.5 m, 行方向为南北方向。选 3 棵树冠中等大小“富士”苹果树用于构建异速生长关系, 每棵树选取 6 个类型枝条, 分别为不结果果枝、结果果枝、短果台副梢、长果台副梢、短营养枝和长营养枝, 每棵树每一类型枝条选 5 条。选取大、中、小树冠高纺锤形苹果树各 4 棵进行三维模型重构和三维特征研究。

### 1.2 试验地概况

试验在陕西省宝鸡市苹果专家大院(国家现代农业产业技术体系凤翔苹果综合试验站)试验园进行。试验苹果园地处北纬 34°33′273″, 东经 107°23′969″, 海拔 850 m。土壤质地为壤土。

### 1.3 试验方法

**1.3.1 果树冠层的枝量统计** 于 2011 年 9~10 月, 分别统计了 12 棵高纺锤形“富士”苹果试验树(大、中、小冠层树各 4 棵)枝量和树体结构(干高、干径、主枝粗度和冠径), 然后对不同长度范围的枝条数量进行统计并取平均值。

**1.3.2 三维数字化树重构及三维模型立方单元的获**

**第一作者简介:**章兰芬(1987-), 女, 在读硕士, 研究方向为果树的三维建模及光截获的评价。E-mail: ffflanzi@163.com。

**责任作者:**张社奇(1964-), 男, 博士, 教授, 现主要从事土壤生态与环境生物物理等方面的教学与研究工作。E-mail: zhangsheqi@nwsuaf.edu.cn。

**基金项目:**农业部“948”资助项目(2011-Z24); 国家苹果产业技术体系资助项目(CARS-28)。

**收稿日期:**2012-01-04

得 所有 1 a 生枝条基部和顶部的空间坐标点可用 1 个电磁 3D 数字化仪记录(三维空间, Fastrak; Polhemus, Colchester, VT, USA)), Piaf Digit<sup>[10]</sup> 和 Vege STAR 软件<sup>[11]</sup> 分析。苹果树叶片的重构基于异速生长关系<sup>[12-14]</sup>。三维树模型立体单元获取步骤如下:首先,构建 13 a 生高纺锤形“富士”苹果树的异速生长关系,将这些关系用于 Make Apple Tree 程序中,运行程序产生了包含不结果果枝、结果果枝、短果台副梢、长果台副梢、短营养枝和长营养枝 6 个枝条类型的叶片和果实的 vgx 文件。其次,将该 vgx 文件导入到 Vege STAR v. 4 软件中,沿垂直向上(—Z)、东西(±Y)和(±X)方向,将果树冠层分成边长为 50 cm 的小立方单元。

1. 3. 3 真实树树冠立方单元的透光率 为测量真实树树冠立方单元的透光率,沿垂直向上(—Z)、东西(±Y)和(±X)方向,利用竹竿和绳子将果树冠层分成边长为 50 cm 的小立方单元。每个立方单元均匀取 5 个点,利用光量子探头,测量每个点的透光率,5 个值取平均即为小立方单元的透光率。

1. 3. 4 三维数字化树的光截获率 三维模型的光截获率可通过任一方向模型形状的映射面积计算得到。利

用 Vege STAR v. 4 软件计算 STAR<sup>[15-16]</sup>。STAR 值即三维数字化模型树的光截获率<sup>[15]</sup>。在 Vege STAR 软件中设定某一天(2011 年 10 月 10 日),从 0:30~23:30 模拟全天太阳移动的直射光,每隔 30 min 测 1 次光截获率,取平均值即为该天树体冠层的光截获率。

1. 3. 5 遮阴和不遮阴枝条的光截获率 利用 Vege STAR v. 4 运行三维模拟树,可分别得到被其它 5 种类型枝条遮阴的短果台副梢、长果台副梢、短营养枝和长营养枝的 STAR 值,为该类型枝条的遮阴 STAR 值;分别运行三维模拟树的短果台副梢、长果台副梢、短营养枝和长营养枝,可计算出每一类型枝条不遮阴 STAR 值。

2 结果与分析

2. 1 树体高纺锤形结构特征及枝量统计

由表 1 可知,大树冠苹果树的总枝量和主枝数大于中树冠,中树冠果树的总枝量和主枝数大于小树冠。大树冠苹果树的干高、干径、主枝粗度和冠径大于中树冠,中树冠果树的这些参数大于小树冠。由于所选取的苹果树属于短枝型“富士”,因此,长枝、中枝和短枝中,短枝所占比例最大。

表 1 树体高纺锤形结构及枝量的人工统计与数字化结果

Table 1 Manual statistics and digitizing results about tree configuration and branch quantity

冠层 Canopy	干高 Height of stem/cm	干径 Diameter of stem/cm	冠径 Diameter of canopy/cm	主枝数 Number of bough /个·株 <sup>-1</sup>	主枝粗度 Diameter of bough/cm	长枝 Long shoots /个·株 <sup>-1</sup>	中枝 Middle shoots /个·株 <sup>-1</sup>	短枝 Short shoots /个·株 <sup>-1</sup>	长枝:中枝:短枝 Long: middle: short shoots	总枝量 Total number /个·hm <sup>-2</sup>
大树 Large	86	19. 4	280	28	2. 83	150	170	1 593	1: 1: 8	3 108 345
* 大树 * Large	87	19. 7	282	28	2. 80	151	174	1 596	1: 1: 8	3 121 344
中树 Middle	85	12. 4	263	26	2. 60	83	155	1 030	1: 2: 10	2 248 951
* 中树 * Middle	86	11. 8	263	26	2. 62	81	153	1 028	1: 2: 10	2 424 573
小树 Small	76	9. 6	230	24	2. 43	60	63	607	1: 1: 8	1 676 762
* 小树 * Small	77	9. 2	230	25	2. 39	59	64	602	1: 1: 8	1 848 899

注: \* 表示数字化的结果。  
Note: \* stands for digitizing results.

2. 2 树体三维模型立方单元特征

该试验构建的异速关系成立,将根据异速关系建立的苹果树三维模型划分为边长 50 cm 的立方单元,并利用 Make Apple Tree 程序和 Vege STAR 软件,运行每 1 个立方单元的数据,得出每 1 个立方单元的光截获率。计算树体底部到顶部每 50 cm 冠层内立方单元 STAR 的平均值,即为该层树冠的 STAR 值;计算由冠层中部到外部每 50 cm 冠层内立方单元 STAR 的平均值,即为该部分树冠的 STAR 值。可知,果树由底部到顶部及由冠层中部到外部,光截获率逐渐增大,与用光量子探头测得的透光率递增趋势吻合(表 2)。

2. 3 三维模型各枝条类型的光截获率

大树的短果台副梢、长果台副梢、短营养枝和长营养枝的 STAR 值分别小于中树,中树分别小于小树。每棵果树的长营养枝和长果台副梢的 STAR 值分别大于短营养枝和短果台副梢(图 1)。不遮阴枝条的光截获率

表 2 三维数字化高纺锤形“富士”苹果树冠层横向和纵向分层特性

Table 2 Horizontal and vertical layered characteristics of apple trees trained to tall spindle shape

高度 Height /cm	苹果树冠层横向分层特性 Horizontal layered characteristics of apple tree trained to tall spindle shape		水平间隔 Horizontal distance/cm	苹果树冠层纵向分层特性 Vertical layered characteristics of apple tree trained to tall spindle shape	
	实测透光率 Light transmittance	光截获率 STAR		实测透光率 Light transmittance	光截获率 STAR
0~50	0. 238412	0. 275015	0~40	0. 256929	0. 238380
50~100	0. 256896	0. 249235	40~80	0. 312672	0. 254350
100~150	0. 298527	0. 242922	80~120	0. 390111	0. 250212
150~200	0. 406424	0. 231693	120~137	0. 451125	0. 287790
200~250	0. 551871	0. 227510	—40~0	0. 378942	0. 205394
250~300	0. 672711	0. 225678	—80~—40	0. 428076	0. 239878
300~350	0. 725512	0. 229557	—120~—80	0. 392674	0. 220198
350~400	0. 763317	0. 283035	—145~—120	0. 448055	0. 255815

比遮阴枝条大,并且短果台副梢和短营养枝因其它类型枝条的遮阴作用减少的 STAR 值分别比长果台副梢和长营养枝大(图 2)。说明每棵果树的不同类型枝条的光截获率不同,长枝的光截获率大于短枝,并且受其它枝条的遮阴程度没有短枝严重。

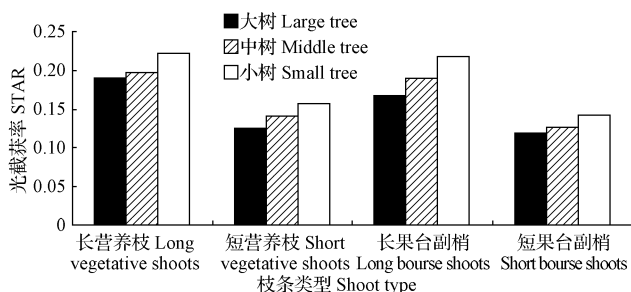


图 1 高纺锤形苹果树三维模型各类型枝条的光截获率(STAR)

Fig. 1 Light interception (STAR) of each type of shoots of apple trees trained to tall spindle shape

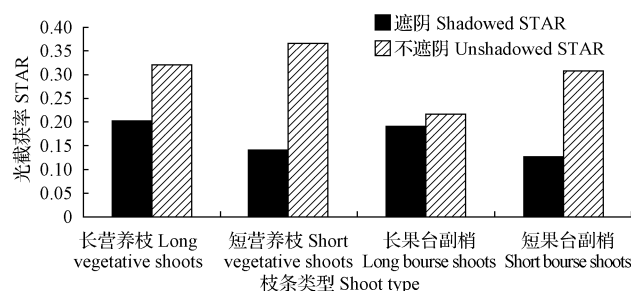


图 2 遮阴和不遮阴枝条的光截获率

Fig. 2 Light interception of shadowed and unshadowed shoots

## 2.4 高纺锤形苹果树产量与光截获率(STAR)的关系

3D 模型的光截获率与果实产量存在着正相关关系,决定系数  $R^2$  为 0.9375。因此,果树冠层 STAR 越大,即光截获率越高,果实产量越高(图 3)。光截获率可以作为果实产量的评估的一个指标,通过果树 3D 模型光截获率的计算可对果实产量进行预测。

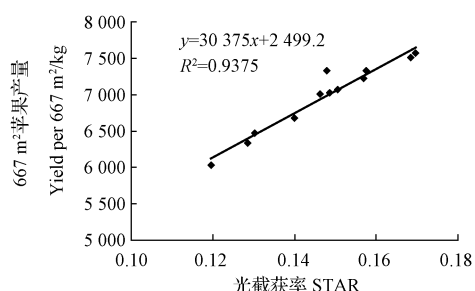


图 3 高纺锤形苹果树光截获率(STAR)与产量的关系

Fig. 3 Relationship between light interception (STAR) and yield of trees trained to tall spindle shape

## 3 讨论与结论

该试验对苹果树冠层不同位置、不同类型和遮阴条件枝条的光截获率进行了测定。果树由底部到顶部及

由冠层中部到外部,光截获率逐渐增大。不同类型枝条和光截获率有差异,不结果果枝、短果台副梢和短营养枝分别小于结果果枝、长果台副梢和长营养枝。不遮阴枝条的光截获率比遮阴枝条大,并且短果台副梢和短营养枝因遮阴减少的 STAR 值分别比长果台副梢和长营养枝大。冠层光截获率越高,果实产量越高。因此,利用果树三维模型能够突破人工测量的局限性,精确分析树体冠层内部的光分布特征,从而指导果园管理实践,提高果实产量。

## 参考文献

- [1] Ross J K. The radiation regime and the architecture of plant stands [M]. The Hague: Junk W. Pubs., 1981.
- [2] 马福福,郭焱,李保国. 应用三维数字化仪对玉米植株叶片方位分布的研究[J]. 作物学报, 2006, 32(6): 791-798.
- [3] 郑邦友,石利娟,马福福,等. 水稻冠层的田间原位三维数字化及虚拟层切法研究[J]. 中国农业科学, 2009, 42(4): 1181-1189.
- [4] Farque L, Sinoquet H, Colin F. Canopy structure and light interception in *Quercus petraea* seedlings in relation to light regime and plant density [J]. Tree Physiology, 2001, 21: 1257-1267.
- [5] Giuliani R, Magnanini E, Fragassa C, et al. Ground monitoring the light-shadow windows of a tree canopy to yield canopy light interception and morphological traits [J]. Plant Cell and Environment, 2000, 23: 783-796.
- [6] Pearcy R W, Wang W M. A three-dimensional crown architecture model for assessment of light capture and carbon gain by understory plants [J]. Oecologia, 1996, 108: 1-12.
- [7] Sinoquet H, Rivet P. Measurement and visualisation of the architecture of an adult tree based on a three-dimensional digitizing device [J]. Trees, 1997, 11: 265-270.
- [8] Sonohat G, Sinoquet H, Kulandaivelu V, et al. Three-dimensional reconstruction of partially 3D digitised peach tree canopies [J]. Tree Physiology, 2006, 26: 337-351.
- [9] Willaume M, Lauri P E, Sinoquet H. Light interception in apple trees influenced by canopy architecture manipulation [J]. Trees, 2004, 18: 705-713.
- [10] Donès N, Adam B, Sinoquet H. PIAF Digit-software to drive a Polhemus Fastrak 3 SPACE 3D digitiser and for the acquisition of plant architecture [M]. UMR PIAF INRA-UBP, Clermont-Ferrand, 2006: 15.
- [11] Adam B, Donès N, Sinoquet H. VegeSTAR-software to compute light interception and canopy photosynthesis from images of 3D digitized plants [M]. UMR PIAF INRA-UBP, Clermont-Ferrand, France, 2002.
- [12] Aboala J R, Arévalo J R, Fernández Á. Allometric relationships of different tree species and stand above ground biomass in the Gomera laurel forest (Canary Islands) [J]. Flora, 2005, 200: 264-274.
- [13] Casella E, Sinoquet H. A method for describing the canopy architecture of coppice poplar with allometric relationships [J]. Tree Physiology, 2003, 23: 1153-1170.
- [14] Michael S, Watta, Miko U F. Kirschbaum. Moving beyond simple linear allometric relationships between tree height and diameter [J]. Ecological Modelling, 2011, 222: 3910-3916.
- [15] Carter G A, Smith W K. Influence of shoot structure on light interception and photosynthesis in conifers [J]. Plant Physiology, 1985, 79: 1038-1043.
- [16] Oker-Blom P, Smolander H. The ratio of shoot silhouette area to total needle area in scots pine [J]. Forest Science, 1988, 34: 894-906.

## Light Interception Measurement of Apple Trees Trained to Tall Spindle Shape Based on Three-dimensional Digitizer

ZHANG Lan-fen<sup>1</sup>, LI Bing-zhi<sup>2</sup>, ZHANG She-qi<sup>1</sup>, ZHANG Lin-sen<sup>2</sup>, WANG Fei<sup>1</sup>

(1. College of Science, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. College of Horticulture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** Three-dimensional digitizer associated with software Paf Digit and Vege STAR was used to reconstruct digitizing models of the 13-year-old apple trees trained to tall spindle shape, partition the model into cubes and analyzed the light interception of whole canopy and each types of shoots in canopy. The results showed that light interception (STAR) varied by the types of shoots. STAR values of short bourse shoots, short vegetative shoots, long bourse shoots and long vegetative shoots of large size trees were smaller than middle trees respectively, which were smaller than that of small trees. STAR values of short bourse shoots and short vegetative shoots of each trees were smaller than that of long bourse shoots and long vegetative shoots. The light interception of unshadowed shoots was larger than shadowed ones. Decreasing STAR of short bourse shoots and short vegetative shoots by shadowing of other types of shoots were larger than that of long bourse shoots and long vegetative shoots. STAR values of fruit trees increased by the height of ones and from inner to peripheral canopy, which fit the increasing trends of light transmittance measured by light quantum probes (LS190). The yield of fruit trees increased with STAR. Therefore, the light interception of canopy could be used to evaluate the light distribution, guide the management of fruit trees, and improve the yield.

**Key words:** 3-D digitizing; tall spindle shape; visual tree; light interception

## 蔬菜轮作应遵循的规律

一、需求肥料种类不同:如青菜、菠菜等叶菜类需要氮肥较多,瓜类、番茄、辣椒等果类需要磷肥较多,马铃薯、淮山药等根茎类需要钾肥较多,把它们轮流栽培,可以充分利用土壤中的各种养分。

二、根的深浅不同:如深根性的茄、瓜、豆类同浅根性的白菜、葱蒜类轮作,可使土壤中不同层次的肥料都能得到利用。

三、互不传染病虫害:不同种类的作物轮作,能改变病虫的生活条件,达到减轻病虫害的目的。如粮菜轮作、水旱轮作可以控制土传病害。

四、改良土壤结构:豆类蔬菜有根瘤菌固氮,可提高肥力,接着可种植需氮较多的白菜、茄子等,再种植需氮较少的葱蒜类。

五、不同蔬菜对土壤酸碱度的要求不同:包菜、马铃薯等种植后,能增加土壤酸度,而南瓜、甜玉米等种植后,能降低土壤酸度,因此,对土壤酸度敏感的洋葱作为南瓜后作可增产,而洋葱作为包菜后作则减产。

另外,各种蔬菜的轮作年限也各不相同,如白菜、芹菜、包菜、花菜、葱蒜等在没有严重发病的地块可连作几茬,但需增施底肥。需隔 1~2 a 栽培的有西瓜;需隔 2~3 a 栽培的有马铃薯、山药、生姜、黄瓜、辣椒等;需隔 3~4 a 栽培的有番茄、芋头、茄子、香瓜、豌豆、大白菜等。

(来源:中国农资网)