

不同树形对苹果幼树树冠中下层光截获与产量及品质的影响

李娜, 李丙智, 王金锋, 王晓琳, 董海强

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以5年生“丽嘎啦”苹果为试材,选取高纺锤形、细纺锤形、自由纺锤形、Y形4种树形,运用三维数字化仪,结合Piaf Digit和Vege STAR 4.0软件,对“丽嘎啦”苹果的4种树形进行了为期2年的模拟,并对其产量、品质进行了分析,为三维数字化仪在树形评价方面的推广应用提供依据。结果表明:高纺锤形中下层的光截获率高于其它树形,总STAR与枝类STAR的线性相关性强于其它树形,中下层产量最高,品质也体现出优势,适合于光照充足的黄土高原地区矮化密植果园大量推广;各树形中皆是短果台副梢(PS)、短营养枝(VS)的STAR值高于其它枝类的STAR值;运用三维数字化仪可以准确地评价果树的总光截获率和各枝类的光截获率,能在果树上进行推广应用。

关键词:苹果;三维;树形;品质;STAR

中图分类号:S 661.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)19-0004-05

在栽培方式已经确定,栽培管理措施相似的情况下,冠层内光照分布主要受树形结构的影响^[1-2]。树形

第一作者简介:李娜(1989-),女,硕士研究生,研究方向为果树三维建模。

责任作者:李丙智(1956-),男,教授,现主要从事果树栽培与生理及生态研究与推广等工作。E-mail:bzhli530530@163.com。

基金项目:国家现代农业(苹果)产业技术体系资助项目(CARS-28);陕西省重大科技专项资助项目(2011KTZB02-02-05);陕西省果业专项资助项目(2011-06)。

收稿日期:2014-05-19

直接影响树冠内的光照分布、光合生产力及枝叶等器官的生理状态,进而影响果实的产量和品质^[3]。苹果树中下层为树形的低光区部位,果实品质的提升空间高于上层,并且有研究发现中下层的病害情况也多于上层^[4],因此中下层是整形修剪、病虫害防治的核心部位,具有很高的研究价值。

冠层光截获率是冠层内部光分布特征的一个评价指标,它反应树冠对太阳光的截获能力,是限制果园总产的主要因素^[5]。传统的研究方法难以获取精准的果树树体三维结构,近年来国内外学者开始利用三维数字

including the edible percentage and the weight of single fruit were investigated, the relationship among these traits and the genetic diversity were analyzed. The results showed that there was positive correlation existed between the seed number and heart chamber number and also the single fruit weight, the correlation between the seed number and kernel percentage was negative correlation, the heart chamber number and the kernel percentage was negative correlation; the heart chamber number and the edible percentage was positive correlation, the heart chamber number and the single fruit weight was positive correlation too; the weight of hundred seeds and the kernel percentage was negative correlation, the weight of hundred seeds and edible percentage was positive correlation, the weight of hundred seeds and the single fruit weight was positive correlation; the kernel percentage and the edible percentage was negative correlation, the kernel percentage and the single weight was negative correlation, the edible percentage and the single fruit weight was positive correlation. The analysis of genetic diversity showed that the kernel percentage had the maximum, the value was 75.60%, and then the variable coefficient of hundred seeds weight was 30.73%, the variable coefficient of seed was 21.52%, the variable coefficient of the number of seed, the heart chamber number and the edible percentage was 9.85%, 9.85% and 4.89% respectively. Among the 7 traits investigated, the kernel percentage, hundred seeds weight and the trait of seed had the significant genetic variation, and could be the main traits for the hawthorn classification in the future.

Keywords: hawthorn (*C. pinnatifida* Bge.); trait of seed; genetic diversity

化仪构建植物模型,对植物形态学特征,光能截获情况进行研究。国外三维数字化仪的应用已比较成熟。如 Sinoquet 等^[6-7]运用三维数字化技术测量和可视化了一棵成龄树并从多尺度离散分析的角度分析了三维数字化树叶片生长的随机性和光能截获。Willaunme 等^[8]运用该技术研究了整形修剪对苹果树光截获的影响。Wunsche 等^[5]探索了不同枝类光截获对苹果产量的影响。Falster 等^[9]测定了不同种间叶子形态大小和角度变化对光截获的影响。国内有关三维数字化仪的报道大田作物居多,在果树的应用上较少。最开始国内是在玉米^[10-11]、水稻^[12-13]上进行研究,近几年有人将其引入果树上应用。章兰芬^[14]基于三维数字化仪测定了高纺锤形苹果树的光截获率。王菲等^[15]进行了高纺锤形苹果树三维重建并对光照特性进行了评价。

该试验运用先进的三维数字化仪,对高纺锤形、细长纺锤形、自由纺锤形、Y 形的苹果树树体结构进行模拟,并对果实产量与品质相关参数进行了测定,探讨不同树形中下部光截获的差异及对产量品质的影响,对指导树形选择、枝叶空间分布调整、光能利用、产量和品质提高等有着重要的理论和实践意义,并为三维数字化仪在果树上的推广应用提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为 5 年生“丽嘎啦”(Malus domestica Borkh cv. 'Li Gala')苹果,基砧为新疆野苹果,中间砧 M₂₆。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 种植行距 4 m,株距 2 m。选取高纺锤形、细纺锤形、自由纺锤形、Y 形 4 种树形,每种树形选取 5 棵树。各纺锤形主干高 1.0 m,树高 3.0~3.5 m,高纺锤形、细长纺锤形、自由纺锤形主枝角度分别为 105°~120°、90°~105°、85°~90°;Y 形,主干高 0.8 m,树高 2.5~3.0 m,2 个主枝成 60°~80°。生长期进行一致的土、肥、水常规管理。于 2012、2013 年春梢停止生长后进行树形的三维模拟,于果实成熟时测定果实品质。试验结果取 2012、2013 年的平均值。

1.2.2 三维采集 在 4 个处理中选取表观长势等方面尽可能一致,树形标准的 3 棵树进行三维模型的构建,其余 2 棵用于异速生长关系的测定。根据软件的要求,将苹果树的当年生新梢分为不结果枝(BA,即落果枝或果实败育枝)、结果枝(BF)、短果台副梢(PS,小于 5 cm)、长果台副梢(PL,大于 5 cm)、短营养枝(VS,小于 5 cm)、长营养枝(VL,大于 5 cm)6 种类型^[6]。所有枝条当年生长的新梢基部和顶部的空间坐标点用电磁 3D 数字化仪(Fastrak, Colchester, Vt. USA)记录在 Palf Digit 软件里面,所得数据用 Vege STAR 4.0 软件加以分析可得

STAR 值,STAR 表示的是树体结构太阳投影的阴影部分面积与总叶面积的比值^[16-17],即 $STAR = PLA / TLA$ ^[18],PLA 表示投影叶面积,TLA 表示树体总叶面积,它反映的是光截获率。依据单一变量原则,每种树形从下到上选取相同的 400 个新梢进行分析,基本上为各树形的中下层。每棵树每一类型的新梢选 6 个枝,于新梢停止生长后进行异速生长关系的测定,包括新梢长度与新梢上叶片数的关系,新梢长度与新梢上叶面积总和的关系,叶片长与叶柄长的关系,叶片长与叶面积的关系,叶片长与叶宽的关系^[19],数据用于三维建模中叶子的模拟。

1.3 项目测定

每年 8 月中旬“丽嘎啦”成熟时,将每种树冠等分为上、中、下 3 层,每棵树于中下层随机各采 5 个果实,进行果实品质的分析。用电子天平测单果质量,用游标卡尺测果实的纵横径计算果形指数,果实硬度采用浙江托普仪器有限公司的 GY-4-J 硬度计测定,可溶性固形物含量用日本 ATAGO 公司的数字手持袖珍折射仪测定,总酸量采用氢氧化钠标准滴定法测定,用 CR-400 色差计测量果实着色情况,采用国际照明组织 CIE 制定的均匀色空间 L*、a*、b* 表色系统评价果实色泽^[20]。每个处理 5 次重复。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2007 制图表,SAS 统计软件进行 $\alpha=0.05$ 的邓肯新复极差法显著性测验和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同树形对光截获能力的影响

从表 1 可以看出,各树形总光截获率波动于 0.20~0.26。由于该试验在模拟不同树形的 STAR 时取的枝量相同,均为 400 枝,所以所模拟的 STAR 结果只与树形和枝类组成有关,而与枝量无关。高纺锤形的光截获率为 0.254,显著高于细长纺锤形和自由纺锤形,Y 形最小。高纺锤形各枝类中 VS 的光截获率最高,比高纺锤形的总 STAR 值高约 30%,且与其它树形相比差异显著;细长纺锤形、自由纺锤形和 Y 形各枝类中均为 PS 的光截获率最高,比总 STAR 分别高出 28.3%、23.0%、21.1%。因为 VS 和 PS 均为小于 5 cm 的短枝,同种枝类相互间遮盖的可能性小于其它枝类^[21],所以各树形中 PS、VS 的 STAR 值都高于其它枝类的 STAR 值。同年生的 Y 形与纺锤形的相比,主枝角度小,冠粗小,所以表现在中下层的总 STAR 上,Y 形的总 STAR 值最小。但与单主枝的纺锤形树相比,Y 形具有 2 个主枝使得冠层更开张,VL 间的相互遮盖小于其它树形,所以在 VL 的 STAR 方面,Y 形显著高于高纺锤形和自由纺锤形,与细长纺锤形间无显著差异。

表 1 不同树形、枝类的光截获率

Table 1 Silhouette to total area ratio of different architectures and branches

树形 Tree shape	不同枝类的 STAR STAR of different branches						总的平均 STAR Mean STAR
	不结果枝 BA	结果枝 BF	短果台副梢 PS	长果台副梢 PL	短营养枝 VS	长营养枝 VL	
高纺锤形 Tall spindle	0.161 a	0.241 a	0.277 b	0.232 a	0.330 a	0.176 b	0.254 a
细长纺锤形 Slender spindle	0.139 b	0.131 c	0.295 a	0.216 c	0.250 bc	0.193 ab	0.230 b
自由纺锤形 Freedom spindle	0.155 ab	0.230 a	0.278 b	0.227 b	0.255 b	0.183 b	0.226 b
Y 形 Y-trellis	0.140 b	0.174 b	0.253 c	0.173 d	0.244 c	0.214 a	0.209 c

注:同一列内不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。
Note: Different lowercase letters in same column show significant difference at 0.05 level, the same below.

综上所述,高纺锤形中下层总的光截获率最大,Y形的光截获率最小。各树形中皆为 PS、VS 的 STAR 值高于其它枝类的 STAR 值。

2.2 不同树形及枝类组成对“丽嘎啦”苹果产量和品质的影响

从表 2 可以看出,各树形所结果实在硬度和可溶性固形物上无显著差异。高纺锤形和细长纺锤形间单果重无显著差异,均显著大于自由纺锤形,约为自由纺锤形的 1.1 倍,而 Y 形与其它三者差异不显著。细长纺锤形的果形指数最大为 0.897,其余 3 种树形间没有显著差异。自由纺锤形亮度最小,其余 3 种树形间没有显著差异。高纺锤形所结果实的红色度最高,显著高于其它

3 种树形;而黄色度则是高纺锤形显著低于细长纺锤形和 Y 形,自由纺锤形与其它 3 种没有显著性差异。果皮颜色的主要成分是花青素,花青素生物合成必须有苯丙氨酸解氨酶的触发,而这个酶是光诱导酶^[22]。在相同光照条件下,高纺锤形的红色度最高,说明其花青素含量高,苯丙氨酸解氨酶的活性高,截获的光能多,这与表 1 中高纺锤形光截获率最大结果一致。酸度是高纺锤形>Y 形>自由纺锤形,且差异显著,细长纺锤形与自由纺锤形和 Y 形差异不显著。

综上所述,高纺锤形和细长纺锤形果实在品质上优于自由纺锤形和 Y 形,细长纺锤形果实果个比高纺锤形大,而色泽和酸度都不及高纺锤形果实。

表 2 不同树形的果实品质比较

Table 2 Fruit quality comparison of different tree shapes

	单果重 Weight per fruit/g	果形指数 Fruit shape index	硬度 Firmness $/(kg \cdot cm^{-2})$	可溶性固形物含量 Soluble solid content $/(mg \cdot g^{-1})$			酸度 Titratable acidity $/(mg \cdot g^{-1})$
				L*	a*	b*	
高纺锤形 Tall spindle	150.23 a	0.851 b	10.09 a	65.66 a	17.12 a	31.15 b	13.45 a
细长纺锤形 Slender spindle	150.63 a	0.897 a	10.36 a	69.00 a	8.54 b	35.76 a	13.96 a
自由纺锤形 Freedom spindle	133.01 b	0.865 b	10.71 a	61.91 b	9.53 b	33.67ab	13.72 a
Y 形 Y-trellis	142.08 ab	0.863 b	10.62 a	65.91 a	10.41 b	34.16a	13.67 a

前人研究表明,纺锤形树形中下部果实所占比例较大^[7],中下部产量越大,暗示着单株产量越高,因此有必要探讨树形中下部的产量。从图 1 可以看出,对于单株中下部的产量而言,高纺锤形的产量最高,Y 形的产量最低。高纺锤形中下部的产量是细长纺锤形的 1.48 倍,是自由纺锤形的 1.38 倍,是 Y 形的 1.9 倍。这可能是因为高纺锤形的短枝比例较高,短枝与长枝相比,有更高的叶枝比,早期有更强地碳同化运出能力,所以产量更高^[11]。

2.3 不同树形总 STAR 和各枝类 STAR 的相关关系

从表 3 可以看出,高纺锤形总 STAR 值与其它枝类的 STAR 值线性相关性强于其它树形,表现为高纺锤形总 STAR 与 BF、VL 的 STAR 极显著正相关,相关系数分别为 0.998、0.999。在各类枝的 STAR 比较中,BF 的 STAR 值和 VL 的 STAR 值也极显著正相关,相关系数为 0.994;BA 和 PS 的 STAR 值,PS 和 PL 的 STAR 值显著正相关,相关系数分别为 0.960 和 0.980。自由纺锤形总 STAR 与 PS 的 STAR 呈极显著正相关,相关系

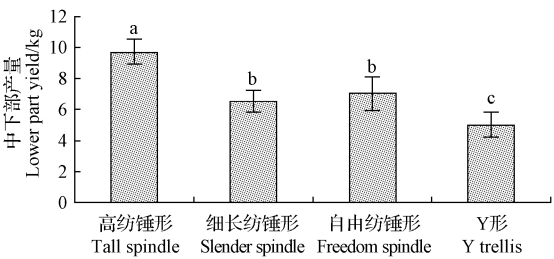


图 1 不同树形中下部的产量

Fig. 1 The yield of lower part in different tree shapes
数 0.997;BA 和 VL 的 STAR 值显著正相关,相关系数 0.965。细长纺锤形和 Y 形的总 STAR 与各类枝 STAR 没有表现出显著的线性相关,但是可能存在非线性相关关系。由此可知,在 4 种树形的总 STAR 与各类枝的 STAR 的比较中,高纺锤形和自由纺锤形的枝类 STAR 和总 STAR 有一定的相关性,但是所相关的枝类不同,并且在各类枝的 STAR 值之间的相关性也不同,细长纺锤形和 Y 形的各枝类的 STAR 与总 STAR 以及各枝类

表 3 不同树形总 STAR 和各枝类 STAR 的相关系数

Table 3 Correlation coefficient of total STAR and STAR of different branches

	光截获率 STAR	不结果枝 BA	结果枝 BF	短果台副 梢 PS	长果台副 梢 PL	短营养枝 VS	长营养枝 VL
G-STAR	1.000						
BA	0.787	1.000					
BF	0.998 **	0.800	1.000				
PS	0.848	0.960 *	0.872	1.000			
PL	0.784	0.895	0.819	0.980 *	1.000		
VS	0.576	0.429	0.523	0.276	0.085	1.000	
VL	0.999 **	0.758	0.994 **	0.819	0.751	0.599	1.000
X-STAR	1.000						
BA	-0.784	1.000					
BF	0.065	-0.046	1.000				
PS	0.938	-0.541	0.207	1.000			
PL	-0.789	0.239	-0.055	-0.934	1.000		
VS	0.839	-0.776	0.563	0.800	-0.545	1.000	
VL	0.013	0.534	-0.472	0.219	-0.548	-0.402	1.000
Z-STAR	1.000						
BA	0.628	1.000					
BF	0.260	0.749	1.000				
PS	0.997 **	0.659	0.255	1.000			
PL	0.698	-0.078	-0.155	0.653	1.000		
VS	0.810	0.875	0.353	0.847	0.159	1.000	
VL	0.810	0.965 *	0.667	0.830	0.183	0.923	1.000
Y-STAR	1.000						
BA	0.512	1.000					
BF	0.806	0.379	1.000				
PS	0.938	0.714	0.620	1.000			
PL	0.944	0.324	0.605	0.894	1.000		
VS	0.582	0.303	0.949	0.375	0.324	1.000	
VL	0.600	0.142	0.032	0.676	0.815	-0.284	1.000

注:“*”表示显著相关($\alpha=0.05$),“**”表示极显著相关($\alpha=0.01$)。G、X、Z、Y 分别代表高纺锤形、细长纺锤形、自由纺锤形和 Y 形。

Note: * show significant difference (* represent $\alpha=0.05$, ** represent $\alpha=0.01$). G, X, Z, Y stands for tall spindle, slender spindle, freedom spindle and Y-trellis respectively.

的 STAR 值之间没有显著线性相关性。因此,不同树形各枝类的 STAR 对总 STAR 值以及相互之间的 STAR 值的影响是完全不同的。总体而言,在树形的整形修剪中,STAR 线性相关明显的树形可以通过一些处理如:拉枝、疏枝、扭梢等,减少枝类的相互遮掩,提高相关性强的枝类的 STAR 值,从而达到提高中下层的总 STAR 值的目的,进一步达到增产的目的。因为已有研究表明在一定范围内,植株光截获率越高相应的产量也会提高^[23]。而对于线性相关不明显的树形,想提高中下层的总 STAR 和产量可能需要更加复杂的操作。

3 讨论与结论

研究表明对果树冠层光合影响最大的因子是太阳高度角和果树的冠层结构^[24]。前者是无法控制的,而后者是可以人为改变的。国内苹果自规模化栽培以来,树形不断改进,从自然圆头形、疏散分层形,到自由纺锤

形、细长纺锤形、开心形、高纺锤形,是向通风透光更为合理的树形演变^[25]。如何通过优质的冠层结构提高果园的总体光截获,进而达到增产的目的是果树研究人员一直关注的。过去苹果树形的评价主要集中在光合效能及树相指标等评价方法,三维数字化仪的应用很少。该试验引进了树形评价的一种新手段,利用三维技术构建的果树模型能够突破传统人工测量方法的某些局限性,精确分析树体冠层内部的光截获特征,从而指导果园管理实践^[17]。

该试验着重讨论的是果树中下层的情况,高纺锤形中下层的光截获率最大,产量最高,品质上也优于其它树形。Y 形前期总枝量少,总叶树少,所以光截获率(表 1)和产量不如纺锤树形,但 Wunsche 等^[5]对 14 年生 Y 形的试验结果表明,其光截获 20%~30% 的多于纺锤形。所以 Y 形树光截获率和产量的上升潜力可能主要在后期表现出来。Hampson 等^[23]研究认为在一定范围内,植株光截获率越高相应的产量也会提高,该试验分析的树体中下部的情况基本上与这条结论一致。实际生产中果实上部的品质优于下部,受光更多,下一步可研究不同树形中上部的光截获率与产量品质的关系,为高产树形提供进一步的理论依据,为树形的局部修整提供方向指导。还可运用三维数字化仪去评价不同的栽植方式^[26]、不同的砧穗组合^[27]、不同的修剪方式^[8]、不同的定干高度对树体光截获率的影响,并通过单棵树的的光截获率对整个果园的产量进行预测。

该试验结果表明,高纺锤形中下层的光截获率高于其它树形,总 STAR 与枝类 STAR 的线性相关性强于其它树形,中下层产量最高,品质也体现出优势,适合于光照充足的黄土高原地区矮化密植果园大量推广。各树形中皆是 PS、VS 的 STAR 值高于其它枝类的 STAR 值。运用三维数字化仪可以准确地评价果树的总光截获率和各枝类的光截获率,能在果树上进行推广应用。

参考文献

- [1] Tustin D S, Hirst P M. Influence of orientation and position of fruiting laterals on canopy light penetration, yield and fruit quality of 'Granny Smith' apple [J]. J Amer Soc Hort Sci, 1998, 113(5): 693-699.
- [2] Weber M S. Optimizing the tree density in apple orchards on dwarf rootstocks [J]. Acta Horticulture, 2001, 557: 229-234.
- [3] 赵彩平, 王秋晓, 韩明玉, 等. 树形对桃树叶片及果实品质和产量的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(6): 160-164.
- [4] 马丽, 刘玉玉, 赵微微, 等. 陕西洛川苹果树冠纹细蛾幼虫空间结构分析 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(3): 168-174.
- [5] Wunsche J N, Lakso A N, Robinson T L, et al. The bases of productivity in apple production systems; the role of light interception by different shoot types [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1996, 121(5): 886-893.
- [6] Sinoquet H, Rivet P. Measurement and visualization of the architecture of an adult tree based on a three-dimensional digitising device [J]. Trees, 1997,

11(5):265-270.

[7] Sinoquet H, Sonohat G, Phattaralerphong J, et al. Foliage randomness and light interception in 3-D digitized trees; an analysis from multiscale discretization of the canopy [J]. Plant, Cell and Environment, 2005, 28(9):1158-1170.

[8] Willaume M, Lauri P É, Sinoquet H. Light interception in apple trees influenced by canopy architecture manipulation[J]. Trees, 2004, 18(6):705-713.

[9] Falster D S, Westoby M. Leaf size and angle vary widely across species; what consequences for light interception? [J]. New Phytologist, 2003, 158(3):509-525.

[10] 刘秀海, 肖伯祥, 郑文刚, 等. 玉米虚拟生长研究综述[J]. 玉米科学, 2006, 14(2):164-167.

[11] 马韞韬, 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.

[12] 郑邦友, 石利娟, 马韞韬, 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.

[13] 郑邦友, 马韞韬, 李保国, 等. 基于三维模型评估全球变暖暗效应对水稻光合生产的影响[J]. 中国科学(地球科学), 2011, 41(3):386-393.

[14] 章兰芬. 苹果树体结构原位数字化及分形特征研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.

[15] 王菲, 张社奇, 李丙智, 等. 高纺锤形苹果树三维重建和光照特性的评价[J]. 北方园艺, 2012(6):5-8.

[16] Parveaud C E, Chopard J, Dauzat J, et al. Modelling foliage characteristics in 3D tree crowns; influence on light interception and leaf irradiance[J]. Trees, 2008, 22(1):87-104.

[17] 章兰芬, 李丙智, 张社奇, 等. 基于三维数字化仪的高纺锤形苹果树

光截获率测定[J]. 北方园艺, 2012(7):9-12.

[18] Sinoquet H, Stephan J, Sonohat G, et al. Simple equations to estimate light interception by isolated trees from canopy structure features; assessment with three-dimensional digitized apple trees[J]. New Phytologist, 2007, 175(1):94-106.

[19] Dahle G A, Grabosky J C. Review of literature on the function and allometric relationships of tree stems and branches[J]. Journal of Arboriculture, 2009, 35(6):311.

[20] 张学英, 张上隆, 叶正文. 不同颜色果袋对李果实着色及花色苷合成的影响因素分析[J]. 果树学报, 2007, 24(5):605-610.

[21] Planchais I, Sinoquet H. Foliage determinants of light interception in sunny and shaded branches of *Fagus sylvatica* (L.) [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1998, 89(3):241-253.

[22] 邹秀华, 姜远茂, 雷世俊. 红富士苹果总枝量对其产量和品质的影响[J]. 山东林业科技, 2007, 171(4):30.

[23] Hampson C, Quamme H, Brownlee R. Tree density or training system—What is important in apple orchard design? [C]. Presented at the 45th Annual IDFTA Conference, 2002.

[24] 高照全, 魏钦平, 王小伟, 等. 果树光合作用数学模拟的研究进展[J]. 果树学报, 2003, 20(5):338-344.

[25] 张显川, 张文和, 牛自勉. 从引入开心形谈苹果优质栽培[J]. 山西果树, 1999, 77(3):6-8.

[26] Juan M, Luis A R, Alejandra L C, et al. Grinmoldi. Yield components, light interception and radiation use efficiency of lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to row spacing [J]. Europ J Agronomy, 2013, 45:87-95.

[27] 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.

Effect of Different Tree Forms on Light Interception, Yield and Quality of Juvenile Apple Tree Lower Part

LI Na, LI Bing-zhi, WANG Jin-feng, WANG Xiao-lin, DONG Hai-qiang

(College of Horticulture, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Taking 5-year-old apple ‘Li Gala’ as test material, 4 kinds of tree forms of tall spindle, slender spindle, freedom spindle and Y-trellis were adopted, using three-dimensional digitizer combined with Piaf Digit and Vege STAR 4.0 software to mock four different tree forms of ‘Li Gala’ in two successive years, and then the yield and quality were analyzed, in order to provide a basis for promoting the application of this apparatus on fruit trees. The results showed that, the total STAR of tall spindle was 0.254, higher than other tree shapes, which had the most significant correlation. Tall spindle tree had the highest lower part production and the apples growing on tall spindle trees had outstanding quality. This shape was suitable for dwarf orchards in the Loess Plateau. The STAR of VS and PS was higher than other branches’ in all tree shapes. The use of three-dimensional digitizer could evaluate the architecture of apple trees and its light interception rate. It could be popularized in fruit trees.

Keywords: apple; three-dimensional; tree shape; quality; STAR