

网络出版时间:2015-03-12 14:17

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.04.009

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150312.1417.009.html>

整形方式对黄冠梨幼树生长及光能利用的影响

徐金涛¹, 赵会英², 李永红¹, 张海娥¹, 刘金利¹, 高丽娟¹, 乐文全¹, 韩继成¹

(1 河北省农林科学院 昌黎果树研究所, 河北 昌黎 066600; 2 晋州市林业局, 河北 晋州 052200)

【摘 要】 【目的】筛选黄冠梨密植省力化栽培模式下的适宜树形。【方法】以采取倒伞形、“Y”字形、纺锤形、圆柱形整形的黄冠梨幼树为试材, 研究 4 种树形对梨树主要树相指标、树冠光能分布、叶片光合速率和光合色素含量以及果实产量、品质的影响。【结果】在(1 m×4 m)~(2 m×4 m)的栽植密度下, 纺锤形具有成形快的优点, 3 年生幼树平均株高 2.64 m, 总枝量 54.0 条/株, 短枝量 27.7 条/株, 短枝量、短枝比例(49.0%)显著高于其他树形。纺锤形总花芽量 141.6 个/株, 顶花芽量 50.8 个/株, 高于其他树形。在相似的疏果(疏花)条件下, 纺锤形选留果范围大, 平均留果量 64.47 个/株, 果实在树冠内呈立体分布。纺锤形叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素及叶绿素 a+b 的含量均高于“Y”字形树, 而低于圆柱形与倒伞形。纺锤形树冠平均透光率 57.58%, 有效光辐射 702.21 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 净光合速率 17.90 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 光能利用率高, 果实产量达 24.56 t/hm²; 果实可溶性糖含量 62.31 mg/g, 显著高于其他树形树。【结论】纺锤形是黄冠梨密植省力化栽培的适宜树形。

【关键词】 梨; 密植; 树形; 光能利用; 果实品质

【中图分类号】 S661.2

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2015)04-0085-06

Effect of trimming pattern on growth and light utilization of ‘Huang-guan’ (*Pyrus bretschneideri* Rehd.) seedlings

XU Jin-tao¹, ZHAO Hui-ying², LI Yong-hong¹, ZHANG Hai-e¹,
LIU Jin-li¹, GAO Li-juan¹, YUE Wen-quan¹, HAN Ji-cheng¹

(1 Changli Institute of Pomology, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Changli, Hebei 066600, China;

2 Jinzhou City Forestry Administration of Hebei Province, Jinzhou, Hebei 052200, China)

Abstract: 【Objective】 This study aimed to select suitable tree structure for labor-saving and intense planting of *Pyrus bretschneideri* cv. ‘Huang-guan’. 【Method】 Young trees with four structures (inverted umbrella shape, Y-shape, spindle shape and pillar shape) were used to study effects of trimming pattern on morphological characteristics, light distribution in canopy, photosynthetic rate, photosynthetic pigment content in leaf, as well as fruit yield and quality. 【Result】 Spindle shape had the advantage of fast formation when planting density was (1 m×4 m)~(2 m×4 m). The average tree height (2.64 m), total shoot number (54.0), spur number (27.7), ratio of spur to total shoot (49.0%), numbers of total flower bud (141.6) and terminal flower bud per tree (50.8) of 3 years old trees with spindle shape were all higher than other types. With the similar flower and fruit management, spindle shape provided more choice when considering fruit thinning and it could reach 64.47 fruits per tree, and fruits were well distributed spatially.

【收稿日期】 2013-11-25

【基金项目】 河北省农林科学院基本科研业务费项目; 河北省科技支撑计划项目(11220602D); 国家梨产业技术体系建设专项(CARS-29-23)

【作者简介】 徐金涛(1984—), 男, 湖北蕲春人, 助理研究员, 硕士, 主要从事果树栽培与生理研究。

【通信作者】 张海娥(1977—), 女, 山东潍坊人, 副研究员, 博士, 主要从事梨新品种选育及配套栽培技术研究。

E-mail: zhang33haie4@163.com

The contents of chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid and chlorophyll(a+b) of trees with spindle shape were higher than those of trees with Y-shape but lower than those of trees with pillar shape and inverted umbrella shape. The average light transmittance, photosynthetic active radiation, net photosynthetic rate, total yield, and total soluble sugar content of fruit of trees with spindle shape were 57.58%, 702.21 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 17.90 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 24.56 t/hm^2 , and 62.31 mg/g , respectively, all higher than those of other treatments. 【Conclusion】 Spindle shape was the optimal tree structure for intense planting of Huang-guan pear.

Key words: pear; high-density planting; tree shape; utilization of light energy; fruit quality

河北省是我国梨产业第一大省,地处华北白梨生长优势区。20 世纪 70 年代,鸭梨和雪花梨产量曾占河北省梨总产量的 80% 以上^[1]。近年来,随着新品种的不断涌现,栽培品种结构发生了较大变化,鸭梨、雪花梨的栽培面积和产量在不断下降,以黄冠梨(*Pyrus bretschneideri* cv. ‘Huang-guan’) 为代表的新品种栽培面积和产量增加显著^[1]。笔者所在课题组 2009—2012 年的调查结果显示,近年来,河北省梨主产区开展了较大面积的“高改”,由传统的鸭梨、雪花梨改接为黄冠梨,并在短期内获得了较好的经济效益。

大树高改虽能在短期内取得较好的经济效益,但仍无法摆脱乔冠梨树冠大、管理费工等问题的困扰^[2],随着生产成本的增加和劳动力的紧缺,省力化密植栽培已然成为我国梨产业发展的方向。前人对苹果^[3-5]、梨^[6-7]、桃^[8]等的树形、光利用效能及果实产量和品质都曾进行过研究,但主要针对乔冠树,对密植省力化栽培模式下不同树形的幼树研究甚少^[9-12]。

本研究对密植省力化栽培模式下,不同树形黄冠梨幼树生长、光合效能差异及果实产量和品质进行比较研究,旨在为梨品种更新换代及传统栽培模式的变革提供适宜的树形参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为黄冠梨品种,基础为杜梨,苗龄 2 年。于 2009-04 定植于河北省昌黎果树研究所孔庄核心示范园,南北行向栽植。分别按照倒伞形(单层一心形)、“Y”字形、自由纺锤形(Free spindle shape,以下简称“纺锤形”)、圆柱形开展整形工作,2010 年初初见形,2011 年挂果。不同树形定植密度与栽培面积见表 1。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2012 年进行,每种树形

(表 1)随机选择长势较为一致的幼树 10 株进行调查。全园按照密植省力化栽培技术要求进行管理,肥水管理水平一致,行间生草。果实套袋,带袋采摘。

表 1 不同树形黄冠梨定植密度与栽培面积

Table 1 Planting spacing and cultivating area of Huang-guan pear trees with different shapes

树形 Tree shape	株行距/ $(\text{m} \times \text{m})$ Planting spacing	栽培面积/ hm^2 Cultivating area
倒伞形 Inverted umbrella	2×4	0.17
“Y”字形 Y-shape	2×4	0.17
纺锤形 Spindle	2×4	0.17
圆柱形 Pillar	1×4	0.10

1.2.2 测定项目与方法 (1)树相指标。于 2012-04 修剪后进行调查。调查指标包括树高、干直径、枝展、枝量、花芽量。调查标准与方法参照文献[13]。单株小区,10 次重复。

(2)树冠光照强度。用水平仪和台湾产 TASI-631 照度计点式探头,测量树冠不同层次、部位的光照强度,以开阔地带相同高度处的自然光强作为对照,其比值作为测量点的相对光照强度(透光率)。单株小区,5 次重复。树冠按高度分为上部和下部 2 个层次,“Y”字形树分别测定树冠上部和下部 2 个层次东北、东南、西北、西南 4 个方位中间部位的光照强度,其余树形树分别测定树冠 2 个层次东、南、西、北 4 个方位中间部位的光照强度,即每株树单次测光点为 8 个,结果取算术平均值。测定时间为叶幕形成初期(6 月)至叶幕形成终期(8 月),每月 10 和 15 日分 08:00、12:00、16:00 3 个时段定点进行测定,阴雨天顺延。

(3)叶片光合速率。分别于 6—8 月中旬,选择晴朗天气在 09:00 和 15:00 定点测定处理树在自然光照条件下的叶片净光合速率和有效光辐射等参数,每月测 1 次。所用仪器为美国 CID 公司生产的 CI-310 型光合仪。单株小区,5 次重复。测定层次为树冠中部成熟叶片,每树单次测定 4 个点,每点选 3 片叶重复测定后取算术平均值。

(4)叶片光合色素含量。单株小区,每单株 8 个采样点,5 次重复。采样时间为 6—8 月,每月 15 日采样。使用乙醇浸提法提取叶片中的色素^[14],用上海凤凰公司生产的 UV1901PC 型紫外可见分光光度计测定,每处理平行测定 3 次,取算术平均值。

(5)果实产量和品质。于 8 月下旬统计不同树形 10 株试验树的单株产量,计算出平均株产后,按单位面积折算总产量;参照曹玉芬等^[13]确定的标准,测定果实平均单果质量、果实硬度(用浙江托普仪器有限公司生产的 GY-J 型数显式水果硬度计测定)、可溶性固形物含量(用 WYT-32 型手持折光仪测定)、可溶性糖含量^[15]和可滴定酸含量^[16](碱式滴定法测定)。

1.2.3 数据处理 试验数据采用 Excel 2003 和 SPSS 20.0 进行统计分析,用 Duncan’s 新复极差法对差异显著性进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 树形对黄冠梨树相指标的影响

从表 2 可以看出,纺锤形的树体最高,与其他 3 种整形方式相比具有极显著差异;“Y”字形树体最

低,与其他 3 种整形方式相比亦有显著或极显著差异;倒伞形与圆柱形树高居中,两者之间差异不显著。圆柱形的树干直径最小,与其他 3 种整形方式相比具有极显著差异。各树形树的枝展表现为:倒伞形、“Y”字形和圆柱形树东西枝展大于南北枝展,纺锤形树南北枝展大于东西枝展;最大东西枝展为 1.75 m(“Y”字形树),最大南北枝展为 1.68 m(纺锤形树),相对于其定植的株行距 1 m×4 m(圆柱形)、2 m×4 m(其他 3 种树形)而言,其间留出的作业道宽度完全能够满足机械化作业的要求;圆柱形树因枝展较小,且与其他三者相比具有极显著差异,适宜于高密度、超高密度栽培,在不影响机械化作业的同时,其行距可适当缩小。在枝条数量上,除纺锤形树短枝数量超过其长枝数量外,其他 3 种树形树均以长枝数量占据优势,纺锤形则以短枝数量占据优势,并与其他三者相比具有显著差异。各树形树的总枝量表现为:圆柱形最少,纺锤形最多,其短枝数量/总枝数量也呈现类似规律。从表 3 可以看出,纺锤形的总花芽数最多,但与其他三者差异不显著;顶花芽以纺锤形数量最多(50.8 个/株),倒伞形最少(7.1 个/株)。

表 2 不同树形黄冠梨树相指标的比较

树形 Tree shape	树高/m Tree height	干直径/cm Trunk diameter	枝展/m Branch spread		枝条数量 Shoot number				
			东西/m E to W	南北/m S to N	长枝/ (条·株 ⁻¹) Long shoot	中枝/ (条·株 ⁻¹) Medium shoot	短枝/ (条·株 ⁻¹) Spur shoot	总枝量/ (条·株 ⁻¹) Total shoot	(短枝/ 总枝)/% Spur/total
倒伞形 Inverted umbrella	2.23 bBC	3.98 aA	1.72 aA	1.59 aA	21.0 abA	2.6 bA	11.2 bcB	34.8 bcBC	30.64 bB
“Y”字形 Y-shape	2.02 cC	4.10 aA	1.75 aA	1.43 aA	23.9 aA	4.9 abA	15.5 bAB	44.2 abAB	34.93 bAB
纺锤形 Spindle	2.64 aA	3.97 aA	1.40 bB	1.68 aA	18.0 bcAB	8.3 aA	27.7 aA	54.0 aA	49.00 aA
圆柱形 Pillar	2.30 bB	2.85 bB	1.03 cC	0.96 bB	13.9 cB	6.3 abA	2.8 cB	23.0 cC	11.16 cC

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$),标不同大写字母者表示差异极显著($P<0.01$),下同。
Note:Different lowercase letters in each column indicate significant difference at $P<0.05$ level,while different capital letters indicate extremely significant difference at $P<0.01$ level. The same below.

表 3 不同树形黄冠梨花芽数量的比较

Table 3 Comparison of flower bud numbers of Huang-guan pear trees with different shapes				个/株
树形 Tree shape	总花芽 Total flower bud	腋花芽 Axillary flower bud	顶花芽 Terminal flower bud	
倒伞形 Inverted umbrella	128.4 a	121.3 a	7.1 bB	
“Y”字形 Y-shape	137.4 a	92.4 a	45.0 aA	
纺锤形 Spindle	141.6 a	90.8 a	50.8 aA	
圆柱形 Pillar	120.3 a	106.2 a	14.1 bB	

2.2 树形对黄冠梨光合效应的影响

从表 4 可以看出,4 种树形的上部透光率以纺锤形树最高,圆柱形树最低,但差异不显著;“Y”字形树下部透光率最好,与倒伞形树有显著差异;平均透光率以“Y”字形树最高,倒伞形树最低,但均未呈

现显著性差异。“Y”字形树有效光辐射及净光合速率均最低,这可能与其受光面积较小有关,但与其他三者差异不显著。可见,透光率并非越高越好。从表 4 还可以看出,4 种树形中以纺锤形树净光合速率最高,圆柱形树次之,但优势均不明显。

表 4 不同树形对黄冠梨透光率、有效光辐射及净光合速率的影响

Table 4 Effects of tree shape on transmittance,photosynthetic active radiation and net photosynthetic rate of Huang-guan pear

树形 Tree shape	透光率/% Light transmittance			有效辐射/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Photosynthetic active radiation	净光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Net photosynthetic rate
	上部 Upper	下部 Lower	平均 Average		
倒伞形 Inverted umbrella	61.91 a	33.25 bA	47.48 a	637.79 a	17.27 a
“Y”字形 Y-shape	65.20 a	53.89 aA	59.54 a	615.78 a	15.97 a
纺锤形 Spindle	71.72 a	43.84 abA	57.78 a	702.21 a	17.90 a
圆柱形 Pillar	57.22 a	48.24 abA	52.73 a	719.02 a	17.56 a

2.3 树形对叶片光合色素含量的影响

从表 5 可以看出,不同树形树叶片光合色素含量也不尽相同。叶绿素 a 的含量为:圆柱形树>倒伞形树>纺锤形树>“Y”字形树;其他色素含量及叶绿素 a+b 的含量也呈类似规律。叶绿素 a 是梨

树叶片重要的光合色素,经 Pearson 相关性分析可知,4 种色素(含叶绿素 a+b)中,叶绿素 a 与净光合速率的相关系数最大($r=0.587$),但相关性不显著。因此,不能简单地应用叶绿素含量的高低来评价叶片光合速率。

表 5 不同树形对黄冠梨叶片光合色素含量的影响

Table 5 Effects of tree shape on photosynthetic pigment content in leaf of Huang-guan pear

mg/g

树形 Tree shapes	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	叶绿素 a+b Chlorophyll a+b	类胡萝卜素 Carotenoid
倒伞形 Inverted umbrella	2.60 abA	0.93 a	3.53 abAB	0.36 abAB
“Y”字形 Y-shape	2.35 cB	0.85 a	3.20 cB	0.33 bB
纺锤形 Spindle	2.45 bcAB	0.87 a	3.32 bcAB	0.34 bB
圆柱形 Pillar	2.70 aA	0.94 a	3.64 aA	0.39 aA

2.4 树形对果实产量与品质的影响

从表 6 可以看出,4 种树形树中以“Y”字形树平均单果质量最大,倒伞形树最小,但均未呈现显著性差异。除与树形相关外,留果数量也直接影响到平均单果质量。倒伞形树、“Y”字形树、纺锤形树、圆柱形树单株平均留果数量依次为 69.87,47.34,64.47和 23.70个。4 种树形优质果率以“Y”字形树

最低,倒伞形树最高,但四者间无显著性差异。实际生产中,“Y”字形树的棚架结构使果实更易受到碰伤,这可能是造成其优质果率低的原因之一。4 种树形树的果实硬度以圆柱形树显著高于其他三者,可溶性固形物和可滴定酸含量四者间无显著差异,纺锤形树可溶性糖含量极显著高于其他三者。

表 6 不同树形对黄冠梨果实产量及品质的影响

Table 6 Effects of tree shape on yield and fruit quality of Huang-guan pear

树形 Tree shape	单果质量/g Fruit mass	株产/kg Yield per tree	产量/ ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$) Total yield	优质果率/% Ratio of high quality fruit	硬度/ ($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$) Hardness	可溶性固形物/% Soluble solids	可滴定酸/% Titrable acid	可溶性糖/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) Soluble sugar
倒伞形 Inverted umbrella	282.53 a	19.74 aA	24.58 a	81.67 a	7.63 bAB	11.28 a	0.248 a	54.73 bB
“Y”字形 Y-shape	350.87 a	16.61 aA	20.68 a	76.67 a	6.99 bB	11.18 a	0.329 a	56.51 bB
纺锤形 Spindle	305.90 a	19.72 aA	24.56 a	78.33 a	7.65 bAB	11.41 a	0.280 a	62.31 aA
圆柱形 Pillar	308.87 a	7.32 bA	18.22 a	78.33 a	8.95 aA	10.99 a	0.320 a	52.91 bB

3 讨 论

密植省力化栽培模式是当前我国梨生产发展的方向,全国各地正处于尝试和探索阶段。根据不同整形方式下幼树的生长和结果状况选择不同栽植密度下适宜的树形,对于生产具有重要的意义。当前我国梨生产中矮化砧应用较少,品种的发枝及成花特性是实现省力化密植栽培的重要基础。黄冠梨因具有较好的品质风味及发枝、成花特性,适宜于发展

密植栽培模式。开展华北平原生态条件下适宜密植栽培的梨树品种不同树形光利用效能及生长结果的比较研究,是评价该地区良种及良法实现配套栽培的重要途径。

本试验结果表明,纺锤形树早期成形快,总枝量大,短枝比例高,顶花芽数量相对较多,这是由树形特点决定的,其树高、枝展均在可控范围内。与同龄树相比,倒伞形、“Y”字形和圆柱形树总枝量均不及纺锤形树,且长枝比例相对较高,这主要是由其整形

修剪特点决定的。

Schultz^[17]、Wertheim 等^[18]研究表明,植物冠层的几何结构和枝叶的空间分布,对其光截获、能量流动、光合作用等都有重要影响。本研究以“Y”字形树平均透光率最高,但其有效光辐射、净光合速率却最低,这与其单层薄叶幕的冠层结构有关。冉辛拓等^[7]研究表明,透光率并非越高越好,一般透光率超过 35%时,说明枝叶量不足,可能会影响产量;而透光率低于 20%则会降低光合效果,产量和果实品质也会受到影响。因此,在充分考虑栽植密度的同时,应注意调整幼树枝展和树冠。本研究认为,“Y”字形可能不是本研究中的高光效树形,这有待进一步跟踪研究。安贵阳等^[9]的研究也指出,“Y”字形树叶面积指数较低,对光能的截获能力低,一定程度上造成了光能浪费。

李伟明等^[19]从光照面积的角度提出,理想的树形应具有树冠表面积相对较大、体积相对较小、通风透光相对较高等特点,并计算得出单位面积上圆柱形树的相对表面积较大。纺锤形树树冠类似圆柱形树,因此纺锤形树能有效截获并利用光能。倒伞形树可看作是中心干上部枝条(即“伞柄”部分,培养目标为小型结果枝组)枝展相对较小的纺锤形树,因此也能较好地截获和利用光能。倒伞形树与纺锤形树最大的区别在于其基部枝展较大,“伞柄”部分枝展较小。纺锤形、倒伞形、圆柱形控冠要求难度依次增大,圆柱形要求有较小的冠幅,生产中适宜更高密度栽培。

果实产量是评价树形的重要标准之一,在省力化密植栽培中亦如此。本研究结果显示,在花芽数量相当的情况下,倒伞形与纺锤形黄冠梨幼树在相同疏果(疏花)原则下更适合多留果,果实树冠内呈现立体空间分布,“Y”字形树主要在两侧平面上挂果,相同的疏果(疏花)原则不利于“Y”字形树多留果,其最佳疏果(疏花)原则有待于进一步研究。圆柱形树因树冠小、密度高,单株上不宜留太多果实,其单株产量也显著低于其他 3 种树形树,总产量也较低,但与其他 3 种树形树无显著差异。总产量以倒伞形与纺锤形树最高,适当减少留果量,有利于提高单果质量。

树形不同,树冠内的微域气候条件以及果实产量和品质就会存在明显差异^[20-21]。本研究表明,除受光照等因素影响外,由于冠层结构的不同,其疏留果数量及方位也会影响到果实的产量和品质,纺锤形树因果实空间立体分布更强,有更多的留果选择,

也更容易形成早期产量,达到以果压冠的目的。“Y”字形树尽管枝条和花芽数量较多(仅次于纺锤形树),但留果选择度最低。本研究中“Y”字形树的果实含酸量较高,与前人在苹果^[9]、油桃^[12]上报道的观点不一致。其原因除与品种特性相关外,可能与黄冠梨在生产中采前不用摘袋,一般多带袋采摘及果际间相对光照强度低有关,这有待于进一步研究。

本研究是在黄冠梨幼树上完成的,其树冠较小,受光照的影响也相对较小,结果部位多集中于树冠中下部,树冠中上部尚未发挥功效。另外,幼树期占生命周期的时间相对较短,盛果期时间相对较长,幼树期的优势是否能够长期保持,需进一步跟踪研究。

[参考文献]

- [1] 张海娥,乐文全,冉辛拓,等. 河北省梨品种应用现状、存在问题及对策 [J]. 河北农业科学, 2010, 14(10): 24-25, 30.
Zhang H E, Yue W Q, Ran X T, et al. Application status problems and solutions of pear varieties in Hebei Province [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2010, 14(10): 24-25, 30. (in Chinese)
- [2] 冉辛拓,乐文全,魏建梅,等. 梨树稀植大冠栽培的问题与对策 [J]. 河北农业科学, 2009, 13(12): 10-12, 28.
Ran X T, Yue W Q, Wei J M, et al. Problems and countermeasures of sparse planting and large crown of pear [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2009, 13(12): 10-12, 28. (in Chinese)
- [3] 高登涛,韩明玉,李丙智,等. 渭北 3 种不同类型苹果园冠层特征及光照特性 [J]. 果树学报, 2007, 24(3): 259-262.
Gao D T, Han M Y, Li B Z, et al. Canopy characteristics and light distribution in three types of apple orchards in Weibei area, Shaanxi province [J]. Journal of Fruit Science, 2007, 24(3): 259-262. (in Chinese)
- [4] 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.
Zhang X C, Gao Z Q, Fu Z F, et al. Influences of tree form reconstruction on canopy structure and photosynthesis of apple [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2007, 34(3): 537-542. (in Chinese)
- [5] 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, 28(1): 8-14.
Wang J X, Niu Z M, Li Z Q, et al. Influences of different canopy structures on their relative light intensity and fruit quality of Naganofuji No. 2 apple [J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(1): 8-14. (in Chinese)
- [6] 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.

Wu T,Zhang S L,Wu J,et al. Comparative studies on canopy structure characteristics, yield and fruit quality in horizontal trellis system and delayed-open central leader system of ‘Hosui’ pear tree [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2008, 35(10): 1411-1418. (in Chinese)

[7] 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.

Ran X T,Song H Z,Gao Z H,et al. The effects of different tree shapes of pear on the light and fruit yield and quality [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2012, 39(5): 957-962. (in Chinese)

[8] 鲁韧强,王小伟,郭宝林,等. 桃树倾斜主干偏展形的光照分布与果实产量品质的关系 [J]. *果树学报*, 2003, 20(6): 509-511.

Lu R Q,Wang X W,Guo B L,et al. Effects of light distribution on yield and fruit quality of Ruipan 5 Flat Peach variety trained in slanting central leader system [J]. *Journal of Fruit Science*, 2003, 20(6): 509-511. (in Chinese)

[9] 安贵阳,赵政阳,梅立新,等. 矮化自根砧苹果(5年生)不同树形的光照和生长结果比较 [C]//中国现代苹果生产关键问题研讨会会议论文集. 北京:中国农业大学出版社, 2011: 1-8.

An G Y,Zhao Z Y,Mei L X,et al. Comparison on light intercepted ability and growth and yield of different apple tree shapes on dwarf rootstock(5-years-old) [C]//Proceedings of symposium on key issues in Chinese modern apple production. Beijing:China Agriculture University Press, 2011:1-8. (in Chinese)

[10] 范崇辉,王 琰,江道伟,等. 不同树形对红富士苹果嫁接幼树树体结构和果实产量及品质的影响 [C]//中国现代苹果生产关键问题研讨会会议论文集. 北京:中国农业大学出版社, 2011:9-15.

Fan C H,Wang Y,Jiang D W,et al. Effects of different fruit shape on tree composition of grafted saplings, fruit yield and quality of “Red Fuji” apple [C]//Proceedings of symposium on key issues in Chinese modern apple production. Beijing: China Agriculture University Press, 2011:9-15. (in Chinese)

[11] 王岱立,黄绍虎. 不同栽植密度与整形方式对翠冠梨早产丰产性研究 [J]. *北方园艺*, 2008(7): 33-36.

Wang D L,Huang S H. Research on the productivity and early ripening of cui-guan pear under different cultivated densities and different pruning means [J]. *Northern Horticulture*, 2008(7): 33-36. (in Chinese)

[12] 高清华,叶正文,章 镇,等. 树形对油桃幼树光截获能力和结果的影响 [J]. *中国农业科学*, 2006, 39(6): 1294-1298.

Gao Q H,Ye Z W,Zhang Z,et al. Effects of different training systems on the light interception ability and fruiting of young nectarine trees in greenhouse [J]. *Scientia Agricultural Sinica*, 2006, 39(6): 1294-1298. (in Chinese)

[13] 曹玉芬,刘凤之,胡红菊,等. 梨种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京:中国农业出版社, 2006.

Cao Y F,Liu F Z,Hu H J,et al. Descriptors and data standard for pear [M]. Beijing:China Agriculture Press, 2006. (in Chinese)

[14] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 北京:高等教育出版社, 2006.

Gao J F. Experimental guidance for plant physiology [M]. Beijing:Higher Education Press, 2006. (in Chinese)

[15] 冯 吉,朱 岩,唐新硕. 改良的 DNS 法测定新鲜果蔬中的糖分 [J]. *浙江农业大学学报*, 1989, 15(3): 267-272.

Feng J,Zhu Y,Tang X S. New method for determination of sugar in vegetables and fruits [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Zhejiangensis*, 1989, 15(3): 267-272. (in Chinese)

[16] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京:高等教育出版社, 2000.

Li H S. The principle and technology of plant physiology and biochemistry test [M]. Beijing:China High Education Press, 2000. (in Chinese)

[17] Schultz H R. Extension of a farquhar model for limintations of leaf photosynthesis induced by light environment, phonology and leafage in gra-pevines [J]. *Functional Plant Biol*, 2003, 30: 673-687.

[18] Wertheim S J, Wagenm Akers P S, Bootsma J H. Orchard systems for apple and pear: Conditions for success [J]. *Acta Hort*, 2011, 557: 209-227.

[19] 李伟明,覃 芳,李桂芬,等. 一个数字模型在果树栽培学中的应用 [J]. *果树学报*, 2006, 23(1): 129-132.

Li W M,Qin F,Li G F,et al. A mathematical model in cultivation of fruit trees [J]. *Journal of Fruit Science*, 2006, 23(1): 129-132. (in Chinese)

[20] Buler Z,Mika A,Treder W,et al. Influence of new training systems of dwarf and semidwarf apple tree on yield, its quality and canopy illumination [J]. *Acta Horticulture*, 2001, 557: 253-259.

[21] Widmer A,Krebs C. Influence of planting density and tree form on yield and quality of Golden Delicious and Royal Gala apples [J]. *Acta Horticulturae*, 2001, 57: 235-241.