

宽窄行种植对桃树光照分布与果实 产量和品质的影响

姜凤超^{1,2}, 王玉柱^{1,2}, 孙浩元^{1,2}, 杨 丽^{1,2}, 张俊环^{1,2}

(1.北京市农林科学院林业果树研究所, 北京 100093; 2.农业部华北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 北京 100093)

摘 要:以桃品种‘改良白凤’为试验材料,以常规种植(株行距为 5 m×2 m,999 株·公顷⁻¹)为对照,分析宽窄行种植模式(WN,株距 2 m,宽行 4 m,窄行 1 m,1 998 株·公顷⁻¹)对光照分布、单位面积产量、果实品质的影响。结果表明:常规种植开心形光照主要集中在上层,下层相对光照强度多低于 20%;宽窄行种植 V 型,上层相对光照强度基本保持在 80% 以上,中下层相对光照强度基本保持在 40% 左右;2011、2012 年和 2013 年宽窄行处理单位面积产量分别比常规处理高 31.3%、41.0% 和 33.1%;宽窄行种植显著提高桃果实中蔗糖含量、降低苹果酸含量、提高果实糖酸比。因此,宽窄行种植不仅可以改善树体冠层内光照强度,还能改善果实产量与品质,是一种理想的栽培方式。

关键词: 宽窄行种植;光照分布;产量;品质;桃树

中图分类号: S662.1 文献标志码: A

Effects of wide and narrow row planting system on light distribution and quality & yield of peach

JIANG Feng-chao^{1,2}, WANG Yu-zhu^{1,2}, SUN Hao-yuan^{1,2}, YANG Li^{1,2}, ZHANG Jun-huan^{1,2}

(1. Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Science, Beijing 100093, China;

2. Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (North China), Ministry of Agriculture, Beijing 100093, China)

Abstract: The aim of the present work was to evaluate the effects of different cultivation system including conventional cultivation (CK, spacing 5 m×2 m, 999 trees·hm⁻²) and wide and narrow row planting (WN, spacing 2 m, wide row 4 m, narrow row 1 m, 1 998 trees·hm⁻²) on light intensity distribution, and the content of sugar and acid components, yield per hectare, and fruit quality of ‘GaiLiangBaiFeng’ peach. The results showed that compared with CK, WN allowed the light to be evenly distributed. Under CK, the light was mostly distributed in the top layer and the light intensity in the lower portion was less than 20%. However, it was over 40% in the middle and lower layers under WN. In 2011, 2012 and 2013, it was found that the yield of peach was significantly improved by WN and the yield per hectare was 31.3%, 41.0% and 33.1%, respectively, higher than that by CK. The sucrose content and sugar acid ratio were significantly increased by WN, but the malate content was decreased significantly. Therefore, WN not only could improve canopy light intensity in the tree, but also could enhance the yield and quality of fruit, demonstrating that WN may be an ideal way of cultivation.

Keywords: wide and narrow row planting; light distribution; yield and quality; peach

在北方干旱与半干旱地区,如何通过栽培方式改善冠层光照分布提高作物产量与果实品质具有重要的现实意义。目前,宽窄行种植模式主要用于大田作物、蔬菜与设施栽培中,对提高作物的光照利用、增加产量与改善果实品质也有相应作用。刘武仁等在宽窄行与传统耕作下进行玉米产量比较试验得出,宽窄行各品种比传统耕作增产 5.0% ~

18.7%^[1],而且在宽窄行交替种植模式下有利于改善光合作用,减少漏光损失从而提高玉米籽粒产量^[2-3]。甘蔗宽行双行种植比窄行单行种植明显增加有效茎数,因而增产显著,但对糖分影响差异不大^[4-5]。在日光温室栽培中宽窄行种植能够提高杏果实大小^[6]。肖明刚对草莓的研究结果表明,宽窄行种植可改善草莓的群体结构,提高单果重,产量可

收稿日期: 2014-01-10
基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费(201003043-03); 国家科技支撑计划课题(2014BAD16B04); 科技创新能力建设专项(KJCX20140110)
作者简介: 姜凤超(1982—),男,河北衡水人,博士研究生,研究方向为果树水分生理生态学方向。E-mail: jiangfc2018@163.com。
通信作者: 王玉柱(1960—),研究员,博士生导师,主要研究方向为果树资源育种与生理栽培。E-mail: chinabjwyz@sohu.com。

达每公顷 1 万千克以上^[7]。另外,糖酸在桃果实整个生长期的积累是果实风味形成的基础,它们的组分及其配比与果实的甜酸风味紧密相关^[8]。对不同桃品种糖酸组分的研究发现,成熟时糖酸组分含量差异是形成不同果实风味的重要原因^[9]。赵永红等研究油桃果实中发育过程有机酸含量变化认为,有机酸对油桃果实的风味起决定作用^[10]。但是目前关于种植方式对果实中糖酸组分影响的研究报道较少。宽窄行种植虽然具有众多的优点,但在果树生产上应用较少,并且也缺乏相应理论指导,为此,本文通过研究宽窄行种植与常规种植模式下光照强度的分布状况、桃单位面积产量、果实中糖酸组分和品质相关指标之间的差异,为在园艺作物上应用宽窄行种植技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2011 年 1 月—2013 年 8 月在北京通州区果园进行,试验材料为 5 年生桃品种‘改良白凤’,该品种在 7 月下旬成熟。桃树在每年 1 月进行

冬剪,6 月进行夏剪,桃树整个生长期按其需水规律统一进行灌溉,在必要的时候进行人工除草和病虫害防治等工作。该园地势平坦,土壤质地为中壤土。土壤的理化性质如下:土壤容重 $1.44\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,田间持水量 25.2% ,有机质含量为 $14\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮含量为 $0.74\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷含量为 $0.82\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全钾含量为 $18.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷含量为 $48.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效钾含量为 $358\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

本试验包括两种不同的种植方式,分别为常规种植(图 1a,CK)和宽窄行种植(图 1b,WN)。常规种植的株行距为 $5\text{ m}\times 2\text{ m}$ ($999\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$),宽窄行种植模式中,窄行种植两行桃树,行内每株桃树左右交错栽植,栽植时与地面呈 72.5° 左右的夹角,株距 2 m ,宽行 4 m ,窄行 1 m ($1\text{ 998}\text{ 株}\cdot\text{公顷}^{-1}$)。在果园内共选取管理一致、树势相当、具有代表性的 6 株桃树用于试验测定,3 次重复。常规种植修剪采用 2 主枝开心型,宽窄行种植树型为 V 型,即窄行内膛枝条去掉,仅保留部分枝条保护主干,由于桃树与地面呈一定角度,因此,窄行之间桃树呈 V 型(图 1b)。

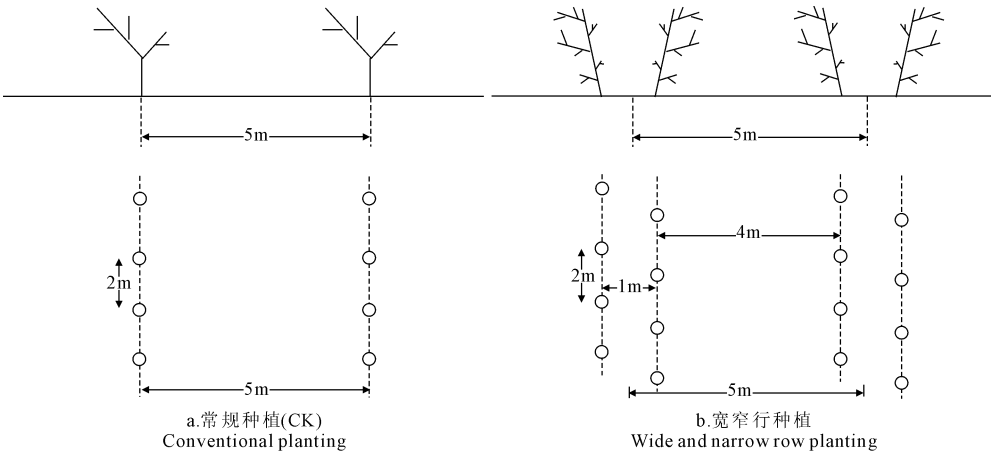


图 1 种植方式示意图
Fig.1 Schematic diagram of planning patterns

1.3 测定指标及方法

光照分布的测定应用树冠立体分区法^[11],并且在夏季修剪之前进行测定。由于种植方式对称,所以常规种植以树干为中心测定同一侧光照度,宽窄行种植以窄行中点为中心测定同一侧光照度,用细竹竿将树冠分成不同层次和方位的 $0.5\text{ m}\times 0.5\text{ m}\times 1\text{ m}$ 立方体,同时把树冠垂直方向分成下层(距地面 $<1.0\text{ m}$)、中层($1.0\sim 2.0\text{ m}$)和上层(距地面 $>2.0\text{ m}$) 3 个层次;每层再以各自的中心,向一侧均匀分为 $0\sim 0.5\text{ m}$ 、 $0.5\sim 1.0\text{ m}$ 、 $1.0\sim 1.5\text{ m}$ 、 $1.5\sim 2.0\text{ m}$ 和 $2.0\sim 2.5\text{ m}$ 五个部位。于 6 月上旬选晴朗天气,用 TSE-1339 型数字式照度计测定各立方体中心位置

的光照强度,每次测定时间为 08:00、11:00、14:00 和 17:00,同时测定树冠上无枝叶部分光照强度作为对照,比值为相对光照强度,以测量的平均值为当年树冠不同层次、部位的相对光照度。

可溶性固形物采用糖度计在 25°C 下进行测定,总糖采用蒽酮比色法进行测定,可滴定酸采用滴定法测定,维生素 C 的测定方法参见李锡香等^[12]。

糖酸组分测定,样品采集于上午 9:00—11:00 进行,分别从标记植株树冠东、西、南、北四个方向随机选取无病虫害的果实装入冰壶,将其带回实验室进行处理。称取桃果实样品约 5 g ,放入研钵中,加入 10 mL 蒸馏水混匀研磨样品, 4°C 、 $10\text{ 000 r}\cdot\text{min}^{-1}$

离心 10 min。上清液经 0.45 μm Sep - Pak 微孔滤膜过滤,消除非极性和较大颗粒。糖和有机酸采用高效液相色谱仪 DIONEX (P680)测定。糖测定色谱条件:糖柱 Transgenomic CARBOSep CHO - 620,流动相重蒸水,流速 0.5 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$,检测器为示差检测器 (Shodex RF - 101);有机酸测定色谱条件:酸柱 Agilent poroshell 120SB C18 (4.6 mm $\times$ 100 mm, 2.7 μm),流动相 A : B = 99.5 : 0.5 (其中, A 表示 2.28 $\text{g}\cdot\text{K}_2\text{HPO}_4\cdot 3\text{H}_2\text{O}$; B 为甲醇),流速 0.5 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$,检测波长为 210 nm,检测器为二极管阵列检测器

(DIONEX PAD - 100)。

1.4 数据分析

采用 SAS 统计软件和 Excel2013 对测定指标进行相应的统计分析与作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理相对光照强度分布

桃树冠层内相对光照强度的分布与树形、树体结构和枝叶的数量及分布有密切关系。从图 2 可以看出,开心型与 V 型冠层内相对光照强度分布总趋

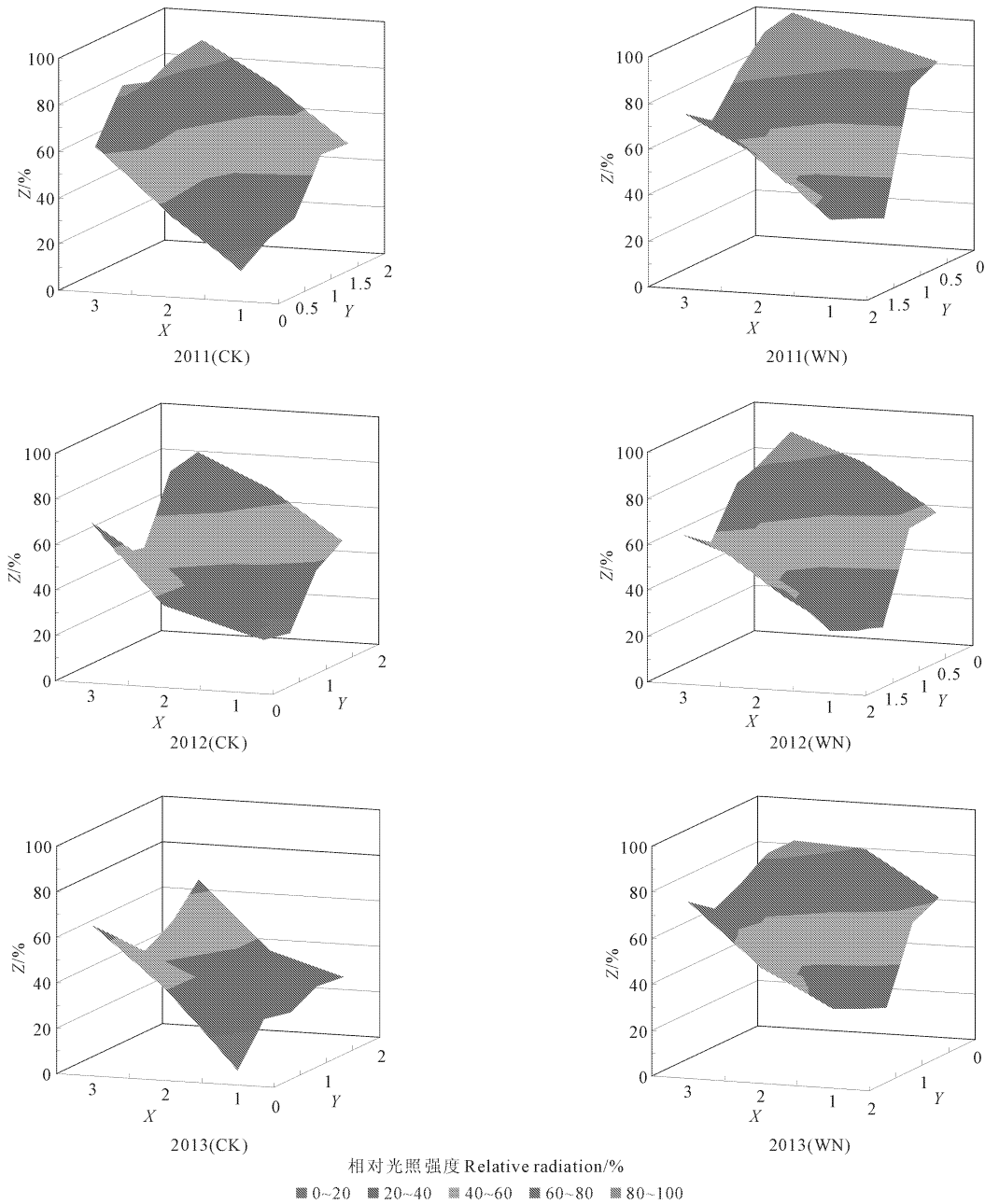


图 2 不同处理相对光照强度分布

Fig.2 Distribution of relative radiation in different treatments

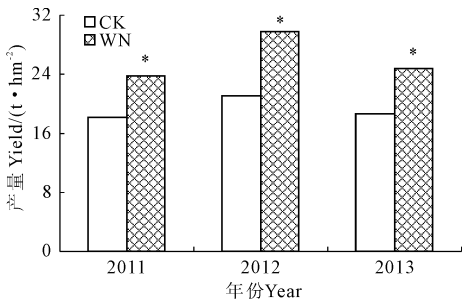
注: X 轴是树冠内某点到地面的垂直距离; Y 轴是树冠某点到对称点的距离; Z 轴是相对光照强度。

Note: X axis was the distance from canopy to ground; Y axis was the distance from point to symmetry point; Z axis was the relative light intensity.

势是从内到外、从上到下逐渐递减;在水平方向上,同一层次,离树干越近,相对光照强度越低;在垂直方向上,同一部位,上、中层高于下层。由图 2 可知,常规种植开心形光照主要集中在上层,并且下层的相对光照强度多低于 20%。对于 V 型,上层相对光照强度基本保持在 80% 以上,中下层相对光照强度基本保持在 40% 左右。宽窄行种植各层光照强度高于开心型同层次光照强度,可见,宽窄行种植处理疏通了树体上下光路,使下层光照强度增加,从而有利于提高桃树冠层对光能的利用。

2.2 不同处理间桃果实产量比较

不同处理桃单位面积产量如图 3 所示,两处理间桃单位面积产量差异达到显著程度。同一处理不同年份间产量差异较大,2012 年宽窄行处理单位面积产量最高,为 29.8 t·hm⁻²。在 2011、2012 和 2013 年宽窄行处理单位面积产量分别比常规处理高 31.3%、41.0% 和 33.1%,表明宽窄行种植方式增产效果明显。



注: * 表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著。下同。
Note: * indicated significant difference at $P < 0.05$ in different treatments. The same below.

图 3 不同处理桃产量

Fig.3 Yield of peach with different treatments

2.3 不同处理桃果实品质比较

从表 1 可以看出,宽窄行处理桃果实品质的可溶性固形物及维生素 C 含量均高于常规处理,但未

达到显著程度。宽窄行处理果实中总糖含量显著高于常规处理,而可滴定酸含量明显低于对照,因此,宽窄行处理糖酸比高于常规种植,并且三年结果基本一致(表 1),糖酸比是衡量果实品质的重要指标,不同处理糖酸差异比达到显著程度,表明宽窄行种植可以明显改善果实品质。

2.4 不同处理桃果实糖酸组分含量

桃果实中糖组分主要包括蔗糖、葡萄糖、果糖和山梨糖醇,酸组分主要为苹果酸、柠檬酸、奎宁酸和莽草酸,它们在成熟桃果实中的含量如表 2 所示。蔗糖、苹果酸含量明显高于其它三种糖、酸含量,说明蔗糖、苹果酸是成熟桃果实中糖、酸的主要积累形式。宽窄行种植蔗糖含量显著高于常规种植,其它三种糖组分具有不同程度的提高,但未达到显著程度。与对照相比,宽窄行种植具有降低果实中各种酸组分含量的趋势,其中苹果酸含量显著降低。果实中糖酸组分含量对果实风味具有重要贡献,因此,宽窄行种植对改善果实口感具有重要作用。

3 讨 论

3.1 宽窄行种植对桃产量的影响

本研究表明宽窄行种植可以明显提高单位面积产量,主要受冠层内光照分布及种植密度的影响。前人研究表明株距配置对于建造良好的群体冠层结构具有重要意义,合理的株行距可以改善冠层内的光照、温度和 CO₂ 等微环境,影响群体的光合效率^[13-16]。由图 1 可知,V 型冠层不同层次光照强度明显高于开心型,宽窄行种植模式调节了枝叶的空间分布,使各层光照相对于开心型分布更为合理,疏通了树体上下光路,从而增加桃树冠层对光能的利用。另外,与常规种植相比,宽窄行增加了种植密度,从而增加单位面积上截获更多的光合有效辐射,增加光合产物的积累,最终提高单位面积产量。

表 1 不同处理桃果实品质指标的比较

Table 1 Comparisons of quality with different treatments

年份 Year	处理 Treatment	可溶性固形物 Soluble solids (Brix)	总糖 Total sugar /(mg·g ⁻¹ FW)	可滴定酸 Titratable acid /(mg·g ⁻¹ FW)	维生素 C Vitaminic C /(ug·g ⁻¹ FW)	糖酸比 Sugar acid ratio
2011	CK	9.6	80.0	3.8*	95.8	21.3
	WN	10.1	85.9*	3.5	95.5	24.2*
2012	CK	10.6	94.4	3.9*	142.2	24.4
	WN	11.2	99.6*	3.6	148.5	27.2*
2013	CK	9.8	86.7	3.6*	122.4	24.0
	WN	10.3	91.4*	3.3	126.8	27.6*

表 2 不同处理桃果实中糖酸组分的含量

Table 2 Contents of sugar component with different treatments

糖酸组分 Sugar and acid components	2011		2012		2013	
	CK	WN	CK	WN	CK	WN
蔗糖 Sucrose/(mg·g ⁻¹ FW)	70.2	75.6 [*]	82.1	86.9 [*]	74.8	78.9 [*]
葡萄糖 Glucose/(mg·g ⁻¹ FW)	3.3	3.5	4.5	4.8 [*]	4.1	4.3
果糖 Fructose/(mg·g ⁻¹ FW)	4.4	4.6	5.4	5.5	4.8	5.0
山梨醇 Sorbitol/(mg·g ⁻¹ FW)	2.1	2.2	2.4	2.4	3.0	3.2
苹果酸 Malate/(mg·g ⁻¹ FW)	2.6 [*]	2.4	2.4 [*]	2.2	2.7 [*]	2.4
柠檬酸 Citrate/(mg·g ⁻¹ FW)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
奎宁酸 Quinate/(mg·g ⁻¹ FW)	0.6	0.6	0.9	0.9	0.5	0.5
莽草酸 Shikimate/(μg·g ⁻¹ FW)	11.1	12.2	13.6	13.2	18.5	18.8

3.2 宽窄行种植对桃果实品质的影响

果实中糖酸含量高低是果实风味形成的基础,它们的组分及其含量将会影响果实的甜酸风味品质。通过比较总糖与可溶性糖含量发现,不同处理可溶性糖含量低于总糖含量(表 1、表 2)。总糖也称为碳水化合物,它包括单糖、寡糖、多糖等。硫酸蒽酮法采用硫酸使糖类脱水生成糠醛进行测定,在这一过程中,淀粉、纤维素等不溶性多糖也在强酸下水解,形成单糖参加蒽酮反应。因此,使用硫酸蒽酮法,在不细致划分各种碳水化合物的前提下,测定的结果包括单糖、寡糖和多糖的含量。所以,本试验中果实总糖含量高于可溶性糖含量。部分二糖与大多数糖(如纤维素、淀粉、几丁质之类)不溶于水,为不可溶性糖,而糖只有溶于水以后才会被味觉器官所感知,因此,果实的甜酸风味等品质与可溶性糖含量密切相关。果实的可溶性固形物含量主要来衡量果实中可溶于水的各物质之和,可以很好用来衡量果实中可溶性糖的含量,并间接评价果实甜酸风味品质。所以,应将可溶性固形物作为衡量果实品质的重要指标。

本研究表明,与常规种植处理相比,宽窄行种植具有提高桃果实中可溶性糖含量并降低有机酸含量的趋势,而这与宽窄行树冠内光照分布及强度得到改善有关。在葡萄和草莓上的研究表明,增加光照可以提高糖的含量,降低酸的含量^[17-18];陈俊伟等研究对温州蜜柑进行遮光处理后发现果实中的蔗糖含量低于对照,表明光照可以明显增加果实中蔗糖含量^[19]。因此,与常规种植方式相比,宽窄行种植改善不同层次光照分布及其强度,从而有利于增加果实中蔗糖含量。

通过以上分析可知,光照对果实品质影响较大,

因此,下一步应进行不同种植方式下桃树不同层次光合效率的研究,为宽窄行种植模式提高果实品质提供更加完备的数据支持。总之,宽窄行种植不仅提高果实产量,同时还使果实品质得到改善,因此,这是一种比较理想的种植方式。

参 考 文 献:

[1] 刘武仁,冯艳春,郑金玉,等.玉米宽窄行种植产量与效益分析[J].玉米科学,2003,11(3):63-65.

[2] 杨吉顺,高辉远,刘 鹏,等.种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光合特性的影响[J].作物学报,2010,36(7):1226-1233.

[3] 刘朝巍,张恩和,谢瑞芝,等.玉米宽窄行交替休闲保护性耕作的根系和光分布特征研究[J].中国生态农业学报,2012,20(2):203-209.

[4] 冯奕玺,张成家.甘蔗宽窄行种植试验示范初报[J].广西蔗糖,2005,9(3):26-27.

[5] 谭显平,李红梅,周英明,等.不同行距对甘蔗产量和品质的影响研究初报[J].广西蔗糖,2008,54(4):3-9.

[6] 杨 恒,魏安智,杨途熙,等.日光温室杏果实发育规律研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(1):175-178.

[7] 肖明刚,刘德军.寒地草莓宽窄行错株畦植栽培技术[J].现代化农业,1997,221(12):22-23.

[8] 赵剑波,梁振昌,杨 君,等.三个类型桃及其杂种后代糖酸含量的差异[J].园艺学报,2009,36(1):93-98.

[9] 牛 景,赵剑波,吴本宏,等.不同来源桃种质果实糖酸组分含量特点的研究[J].园艺学报,2006,33(1):6-11.

[10] 赵永红,李宪利,姜泽盛,等.设施油桃果实发育过程中有机酸代谢的研究[J].中国生态农业学报,2007,15(5):87-89.

[11] 魏钦平,鲁初强,张显川,等.富士苹果高干开心形光照分布与产量品质的关系研究[J].园艺学报,2004,31(3):291-296.

[12] 李锡香.新鲜果蔬的品质及其分析法[M].北京:中国农业出版社,1994.

- 旱区地理, 2008, 31(5): 723-729.
- [8] 国家统计局河南调查总队. 河南调查年鉴 [M]. 郑州: 国家统计局河南调查总队, 2011: 29-33.
- [9] Van Ittersum M K, Cassman K G, Grassini P, et al. Yield gap analysis with local to global relevance — A review [J]. *Field crops research*, 2013, 143: 4-17.
- [10] 范 兰, 吕昌河, 陈 朝. 作物产量差及其形成原因综述 [J]. *自然资源学报*, 2011, 26(12): 2155-2166.
- [11] Liu Zhijuan, Yang Xiaoguang, Hubbard K, et al. Maize potential yields and yield gaps in the changing climate of northeast China [J]. *Global change biology*, 2012, (18): 3441-3454.
- [12] 钟新科, 刘洛, 徐新良, 等. 近 30 年中国玉米气候生产潜力时空变化特征 [J]. *农业工程学报*, 2012, 28(15): 94-101.
- [13] Verdoodt E, Van R, Van A W. Modeling crop production potentials for yield gap analysis under semiarid conditions in GUquka, South Africa [J]. *Soil use and management*, 2003, 19: 372-380.
- [14] Grassini P, Thorburn J, Burr C, et al. High-yield irrigated maize in the Western U.S. Corn Belt: I. On-farm yield, yield-potential, and impact of management practices [J]. *Field crop research*, 2011, 120: 142-150.
- [15] Hochman Z, Holzworth D, Hunt J R. Potential to improve on-farm wheat yield and WUE in Australia [J]. *Crop pasture sciences*, 2009, 60: 708-716.
- [16] Titttonell P, Shepherd K D, Vanlauwe, B, et al. Unravelling the effects of soil and crop management on maize productivity in smallholder agricultural systems of western Kenya — an application of classification and regression tree analysis [J]. *Agricultural, Ecosystems and Environment*, 2008, 123: 137-150.
- [17] Laborte A G, Bie K, Smaling E M A, et al. Rice yields and yield gaps in Southeast Asia: Past trends and future outlook [J]. *European Journal of Agronomy*, 2012, 36: 9-20.
- [18] Lobell D B, Ortiz-Monasterio J I. Regional importance of crop yield constraints: Linking simulation models and geostatistics to interpret spatial patterns [J]. *Ecological modeling*, 2006, 196: 173-182.
- [19] Liang Weili, Peter C, Wang Guiyan, et al. Quantifying the yield gap in wheat-maize cropping systems of the hebei plain, China [J]. *Agricultural systems*, 2011, 124: 180-185.
- [20] Rachel L, Matt J, Jonathan A F, et al. Mind the gap: how do climate and agricultural management explain the 'yield gap' of croplands around the world? [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2010, 19: 769-782.
- [21] 于荣环, 孙孟梅, 孙孚广. 黑龙江省作物气候生产潜力计算方法的研究 [J]. *东北师大学报(自然科学版)*, 1997, (2): 66-71.
- [22] 侯光良, 刘允芬. 我国气候生产潜力及其分区 [J]. *自然资源*, 1985, 8(3): 52-59.
- [23] 王纯枝, 宇振荣, 辛景峰, 等. 基于遥感和作物生长模型的作物产量差估测 [J]. *农业工程学报*, 2005, 21(7): 84-89.
- [24] 王 静, 杨晓光, 吕 硕, 等. 黑龙江省春玉米产量潜力及产量差的时空分布特征 [J]. *中国农业科学*, 2012, 45(10): 1914-1925.
- [25] Tomek de P, Bert R, Martin K I. The crop yield gap between organic and conventional agriculture [J]. *Agricultural Systems*, 2012, 108: 1-9.
- [26] 李树岩, 刘荣花, 成 林, 等. 河南省综合抗旱能力分析与区划 [J]. *生态学杂志*, 2009, 28(8): 1555-1560.
- [27] 李少昆, 王崇桃. 玉米高产潜力途径 [M]. 北京: 科学出版社, 2010: 306-309.
- [28] 黄川荣, 刘 洪. 气候变化对黄淮海平原冬小麦与夏玉米生产潜力的影响 [J]. *中国农业气象*, 2011, 32(增 1): 118-123.
- [29] 李世奎, 侯光良, 欧阳海, 等. 中国农业气候资源和农业气候区划 [M]. 北京: 科学出版社, 1988: 124-127.
- [30] 张 强, 杨贤为, 黄朝迎. 近 30 年气候变化对黄土高原地区玉米生产潜力的影响 [J]. *中国农业气象*, 1995, 16(6): 19-24.
- [31] 曹 雯, 申双和. 我国太阳日总辐射计算方法的研究 [J]. *南京气象学院学报*, 2008, 31(4): 587-591.
- [32] 魏瑞江, 宋迎波, 王 鑫. 基于气候适宜度的玉米产量动态预报方法 [J]. *应用气象学报*, 2009, 20(5): 622-627.
- [33] 朱自玺, 侯建新, 牛现增, 等. 夏玉米耗水量和耗水规律分析 [J]. *华北农学报*, 1987, 2(3): 52-60.
- [34] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2007: 63-66.
- [35] 陈怀亮, 张雪芬. 玉米生产农业气象服务 [M]. 北京: 气象出版社, 1999: 15-31.

(上接第 169 页)

- [13] Jackson J E. Light interception and utilization by orchard systems [J]. *Horticultural Reviews*, 1980, 2: 208-267.
- [14] Sansavini S, Corelli-Grappadelli L. Yield and light efficiency for high quality fruit in apple and peach high density planting [J]. *Acta Horticulturae*, 1996, 451: 559-568.
- [15] Willaume M, Lauri P-E, Sinoquet H. Light interception in apple trees influenced by canopy architecture manipulation [J]. *Trees*, 2004, 18(6): 705-713.
- [16] Marini R P, Sowers D S. Peach tree growth, yield, and profitability as influenced by tree form and tree density [J]. *HortScience*, 2000, 35(5): 837-842.
- [17] Watson R, Wright C, McBurney T, et al. Influence of harvest date and light integral on the development of strawberry flavour compounds [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53(377): 21-9.
- [18] Kliewer W. Effect of day temperature and light intensity on concentration of malic and tartaric acids in *Vitis vinifera* L. grapes [J]. *J Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1971, 96(3): 372-7.
- [19] 陈俊伟, 秦巧平, 谢 鸣, 等. 草莓果实蔗糖和己糖的代谢特性及其与糖积累的关系 [J]. *果树学报*, 2007, 1: 49-54.