

四个南疆杏树品种的光合生理特性

姜凤超^{1,2}, 孙浩元^{1,2}, 王玉柱^{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:以南疆地区 4 个杏品种‘阿克乔儿胖’、‘克孜郎’、‘胡安娜’和‘大佳娜丽’为材料研究它们在当地生态环境下的光响应曲线、净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)和水分利用效率(WUE)。采用 LI-6400XT 对杏树光合作用相关指标进行测定。结果表明,随着光强增加,各品种的净光合速率均相应升高,在相同的光照强度下,‘克孜郎’的净光合速率最高。各品种光补偿点的顺序由低到高为:‘大佳娜丽’<‘克孜郎’<‘阿克乔儿胖’<‘胡安娜’。‘阿克乔儿胖’的光饱和点为 $935\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,明显低于其它品种。4 个杏品种净光合日变化均呈双峰曲线变化,但‘胡安娜’光合午休现象不明显。不同品种的蒸腾日变化基本呈单峰变化规律,‘大佳娜丽’、‘克孜郎’、‘阿克乔儿胖’和‘胡安娜’的日均蒸腾速率分别为 4.2、3.9、3.4、2.7 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。‘胡安娜’的蒸腾速率较低,但水分利用效率较高,且全天变化比较平稳。以上各品种的光合生理数据将为指导南疆地区杏树栽培管理、良种选择和果粮间作提供理论基础。

关键词: 杏;南疆地区;光响应曲线;光合日变化

中图分类号: S601 **文献标志码:** A

Photosynthetic characteristics of apricot cultivars
(*Prunus armeniaca*) in southern Xinjiang regions

JIANG Feng-chao^{1,2}, SUN Hao-yuan^{1,2}, WANG Yu-zhu^{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: To investigate the photosynthetic characteristics including light response curve, net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (Tr) and water use efficiency (WUE) of four apricot cultivars, Akeqiaoerpan, Kezilang, Huanna and Dajianali in their local ecological environment, an Li-6400XT was used to measure the related physiological indexes. The results indicated that P_n values of different varieties all became increased correspondingly with the increase of light intensity. The P_n of Kezilang was the highest among all cultivars. The levels of light compensation point was in order of Dajianani < Kezilang < Akeqiaoerpang < Huanna. Light saturation point of Akeqiaoerpan was $935\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, significantly lower than that of others. Diurnal variations of P_n of the cultivars were in a bimodal curve, but mid-day depression phenomenon of ‘Huanna’ was not obvious. The diurnal variations of transpiration of different species showed a unimodal curve mode. The average daily transpiration rates of Dajianani, Kezilang, Akeqiaoerpang and Huanawere 4.2, 3.9, 3.4, 2.7 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, respectively. It was found that Huana had low transpiration rate, high water use efficiency and relatively stable changes during a day. All the above photosynthetic physiological data for the cultivars would provide a theoretical basis for apricot cultivation and management, seed selection and fruit crop intercropping in southern Xinjiang regions.

Keywords: 4 apricot cultivars; southern Xinjiang regions; light response curve; diurnal variation of P_n

杏(*Prunus armeniaca*)是原产于我国的一种古老温带落叶果树,在我国有着悠久的栽培历史,在长期的人为驯化和生态适应过程中,形成了丰富多样的种类、品种与生态类型^[1]。在南疆地区,由于气候异常干燥、土壤贫瘠,从而形成适应南疆地区独特生态气候类型的杏栽培品种。杏是比较耐干旱和瘠薄的

收稿日期: 2014-02-15
基金项目: 林业公益性行业科研专项(201004037), 公益性行业(农业)科研专项(201003043-03); 国家科技支撑计划课题(2014BAD16B04); 北京市科委重大项目(D131100000113001)
作者简介: 姜凤超(1982—), 男, 博士, 研究方向为果树水分生理生态。E-mail: jiangfc2018@163.com。
通信作者: 王玉柱(1960—), 男, 研究员, 主要从事果树资源育种与生理栽培研究。E-mail: chinabjwywz@126.com。

经济林树种之一,所以成为该地区农业发展和农民增收致富的首选树种。

光合作用是否生长发育过程中非常重要的生理过程,直接影响果实产量和品质。光饱和点、光补偿点、最大净光合速率、暗呼吸速率和光合量子效率等参数是研究光合生理的基础,它们可以反映不同品种对环境的适应状况^[2-3]。光补偿点和光饱和点是植物光合能力的重要体现,光补偿点能够反映不同品种对弱光的适应能力,光饱和点能够反映不同品种对强光的适应能力^[4-5]。光合、蒸腾日变化是植物在实际生长环境条件下光合速率的周期性变化,直接反映环境条件对光合作用的影响,同时还可反映植物对生态环境的适应性^[3]。以光合作用为基础对某个生态类型中各品种的光合生理差异进行研究,揭示不同品种对生态环境的响应,不仅对指导不同地区品种类型选择具有积极的实践意义,还对确立理想的树形和栽培密度具有一定指导意义^[6]。

近年来,国内对桃、苹果、梨、葡萄等树种的光合作用进行了系统研究^[6-10],而对杏树的光合特性研究相对较少,而且对南疆地区生态环境条件下杏树光合特性研究则更少。因此,南疆地区由于缺少光合生理特性方面的研究,致使杏的栽培与管理缺乏科学的理论指导,增产潜力有限。基于此,本研究对南疆地区主要杏树栽培品种的光合速率、蒸腾速率和水分利用效率等生理指标进行测定和对比分析,以了解其生理生态特性,为南疆地区杏树栽培管理、良种选择和果粮间作提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2011 年 5 月 23—28 号(天气晴朗)在新疆和田地区农技推广中心农科所试验场(N37°06'59", E79°55'3")进行。试验材料为 10 年生杏树品种‘阿克乔儿胖’、‘克孜郎’、‘胡安娜’和‘大佳娜丽’。试验区域属于暖温带极端干旱荒漠气候,全年平均气温 11.0℃~12.1℃,年降水量 28.9~47.1 mm,年蒸发量 2 198~2 790 mm,≥10℃的积温 4 300℃左右,无霜期为 200 d 左右,试验地土壤为灌淤土类型。

1.2 测定方法

选取长势基本一致的四个杏树品种各 3 株,使用 Li-6400XT 便携式光合测定仪于北京时间上午 11:00—13:00 点(试验在新疆和田进行,和田与北京有 2 h 时差,北京时间 11:00—13:00 点相当于新疆地区 09:00—11:00 点)测树冠中部外侧 1 年生枝条功能叶的光响应曲线、光合日变化、蒸腾日变化和叶

片水分利用效率等。

光响应曲线在 11:00—13:00 进行测定,采用 Li-6400XT 便携式光合测定仪自带的 LED 红蓝光源,按照光照强度由强到弱的顺序手动测定净光合速率,光强梯度为 2 000,1 500,1 000,800,500,300,200,100,50 μmol·m⁻²·s⁻¹和 0 μmol·m⁻²·s⁻¹。测定时叶室温度为 26℃,气体流速为 400 mmol·s⁻¹,外加 CO₂ 钢瓶设定参比室 CO₂ 浓度为 400 μmol·mol⁻¹。每个品种分别测定三次光响应曲线。

日变化观测选择晴朗天气,从北京时间 08:00 开始,20:00 结束,每隔 2 h 观测 1 次。采用活体叶片对光合速率和蒸腾速率等生理指标进行测定,同时得到光合有效辐射(*Par*)、空气相对湿度、气温等参数。

1.3 数据分析

光合曲线的数据采用 Farquhar 模型来进行拟合,通过计算得到光补偿点和光饱和点。Farquhar 模型的理论公式如下:

$$A = \frac{light \times Q + A_{\max} - \sqrt{(Q \times light + A_{\max})^2 - 4 \times Q \times A_{\max} \times light \times k}}{2 \times k} - R_{day}$$

其中,*light* 为光照强度,*A* 为净光合速率,*A*_{max} 是最大净光合速率,*Q* 是表观量子效率,*k* 为曲角,*R*_{day} 是暗呼吸速率。

统计方法采用 SPSS19.0 统计软件进行,将数据录入 SPSS 软件,利用其中的非线性统计分析模块,再结合 Farquhar 模型进行计算,最终通过自动迭代计算统计分析得到 *A*_{max}、*Q*、*R*_{day} 和 *k* 的值,然后根据这些数值计算得出光饱和点和光补偿点^[11]。

表观量子效率应用光响应曲线初始部分的斜率进行计算:

$$A = Q \times light - R_{day}$$

采用 Excel2013 软件对测定指标进行作图。

2 结果与分析

2.1 南疆地区 4 个杏树品种的光响应

由图 1 可以看出,在光照强度小于 50 μmol·m⁻²·s⁻¹时,4 个品种的净光合速率均较低且差别不大。随着光强的增加,各品种净光合速率均相应升高,在相同的光照强度下,‘克孜郎’的净光合速率最高,其次为‘大佳娜丽’和‘阿克乔儿胖’,‘胡安娜’最低。各品种光饱和点、光补偿点、最大净光合速率、暗呼吸速率和光合量子效率如表 1 所示。4 个品种的光饱和点、光补偿点和最大净光合速率差异明显,‘阿克乔儿胖’的光饱和点最低,为 935 μmol·m⁻²·s⁻¹,克孜郎最高,为 1 095 μmol·m⁻²·s⁻¹;光补偿点的顺

序由低到高为:‘大佳娜丽’<‘克孜郎’<‘阿克乔儿胖’<‘胡安娜’;‘大佳娜丽’的最大光合速率最高,达到 $14.3\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,其次为‘克孜郎’和‘阿克乔儿胖’,‘胡安娜’最低。‘胡安娜’的暗呼吸速率为 $2.5\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,明显高于其它品种。‘胡安娜’的光合量子效率最低。

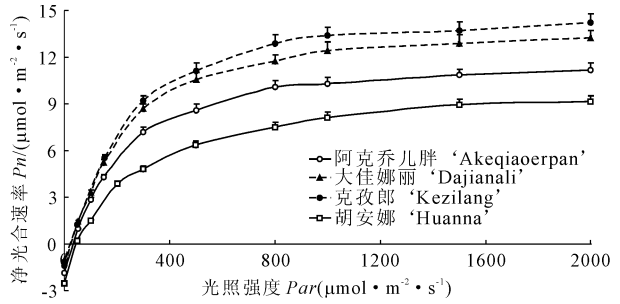


图 1 4 个杏树品种的光响应曲线

Fig.1 The curve of Pn responses to Par in four apricot cultivars

2.2 南疆地区 4 个杏树品种净光合速率的日变化

杏净光合速率反映了品种各自的光合生物学特性,其相应的净光合日变化曲线则反映了不同杏树内在节律差异,同时也反映各品种对环境的适应能力。4 个杏品种净光合日变化(图 2)呈双峰曲线变化,部分品种双峰并不明显,如‘大佳娜丽’,两个峰值出现的时间分别在 14:00 和 18:00,午休现象发生在 16:00。‘胡安娜’净光合速率从 10:00 至 18:00 变化平稳,无剧烈波动现象,在 16:00 光合速率未明显降低,故‘胡安娜’光合午休现象不明显。‘阿克乔儿胖’的净光合速率基本上低于同时刻其它三个品种。在 20:00,虽然光照强度明显降低,但各品种的净光合速率并未明显下降,基本维持在上午 10:00 左右的水平。各品种日最大净光合速率表现为‘克孜郎’>‘大佳娜丽’>‘胡安娜’>‘阿克乔儿胖’,并且它们的日均净光合速率分别为 10.1 、 8.6 、 $9.4\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $8.1\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

表 1 4 个杏树品种的主要光合特征

Table 1 The major photosynthetic characteristics of four apricot cultivars

品种 Cultivars	光合特性 Photosynthetic characteristics				
	光饱和点	光补偿点	最大净光合速率	暗呼吸速率	表观量子效率 AQY
	Light saturation point $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	Light compensation point $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	Maximum net photosynthetic rate $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	Dark respiration rate $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	
‘阿克乔儿胖’ ‘Akeqiaoerpan’	935d	16.0b	11.4b	1.2c	0.033c
‘大佳娜丽’ ‘Dajianali’	1000c	10.7c	14.3a	1.1c	0.041a
‘克孜郎’ ‘Kezolang’	1095a	15.0b	14.2a	1.5b	0.038ab
‘胡安娜’ ‘Huanna’	1044ab	24.0a	9.3c	2.5a	0.020d

注:不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。 Note: Different letters indicated significant level at $P<0.05$.

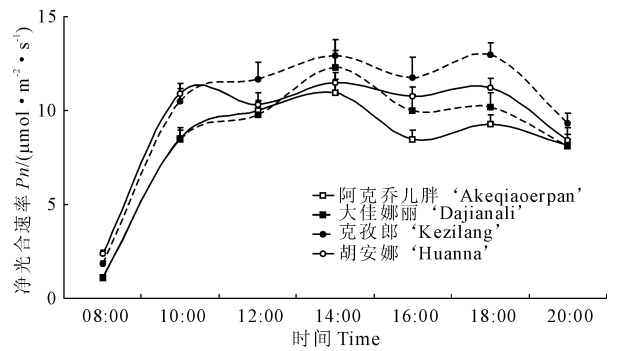


图 2 4 个杏树品种的净光合速率日变化

Fig.2 Diurnal variations of Pn in four apricot cultivars

2.3 南疆地区 4 个杏树品种蒸腾速率的日变化

在新疆和田地区,水分是限制果树生长的主要因素,因此在评价树种的生理特性时,杏树的蒸腾耗水量是一个重要指标。从各品种的蒸腾日变化(图 3)可以看出,不同品种的日变化均呈现一个显著的单峰变化趋势。‘克孜郎’蒸腾速率的峰值出现在 16:00,

其它三个品种蒸腾速率的峰值均出现在14:00。与其它品种相比,‘胡安娜’全天的蒸腾速率最低。各品种日最大蒸腾速率排序均为‘大佳娜丽’>‘克孜郎’>‘阿克乔儿胖’>‘胡安娜’,并且它们的日均蒸腾速率分别为 4.2 、 3.9 、 3.4 、 $2.7\ \text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

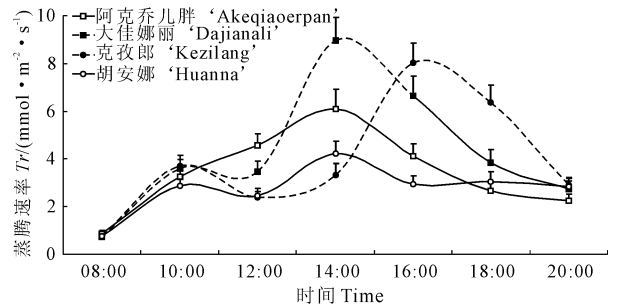


图 3 4 个杏树品种的蒸腾速率日变化

Fig.3 Diurnal variations of Tr in four apricot cultivars

2.4 南疆地区 4 个杏树品种水分利用效率

水分利用效率通常用叶片的净光合速率与蒸腾

速率的比值来表示,其值越大,说明植物对土壤水分的利用效率越高。对不同杏品种水分利用效率日变化进行分析,结果如图 4 所示,‘阿克乔儿胖’的水分利用效率在 10:00—16:00 之间变化平稳,无明显峰值出现,16:00 以后水分利用效率迅速提高,并且高于其它三个品种。‘大佳娜丽’和胡安娜’基本呈双峰变化规律,峰值分别出现在 12:00 与 18:00。与其它品种相比,‘克孜郎’水分利用效率变化剧烈。各品种日平均水分利用效率由高到低为‘胡安娜’、‘克孜郎’、‘阿克乔儿胖’和‘大佳娜丽’(表 2)。

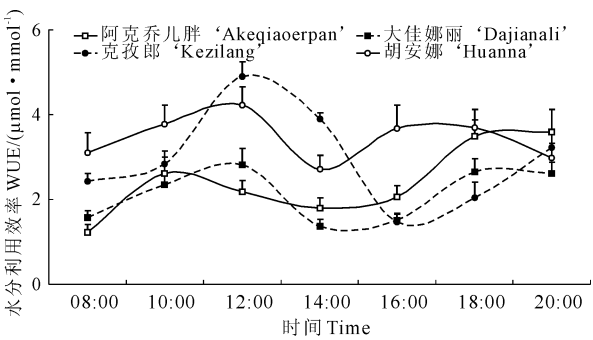


图 4 4 个杏树品种的水分利用效率日变化

Fig.4 Diurnal variations of WUE in four apricot cultivars

表 2 4 个杏树品种平均日水分利用效率

Table 2 Average WUE of a day in four apricot cultivars

品种 Cultivars	‘阿克乔儿胖’ ‘Akeqiaoerpang’	‘大佳娜丽’ ‘Dajianali’	‘克孜郎’ ‘Kezilang’	‘胡安娜’ ‘Huanna’
水分利用效率 WUE/($\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$)	2.4	2.1	3.0	3.5

3 讨 论

通过本文研究发现,南疆地区 4 个杏树品种光饱和点在 900~1 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,而对光合日变化数据分析可知,南疆地区晴朗天气下 08:00~20:00 的平均光强在 1 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,因此,南疆地区的光照条件完全满足各杏树品种生长的需求,而这也可能是新疆果树比内地果树生长茂盛的主要原因。另外,由于南疆地区杏树生长特别旺盛,因而容易造成杏树内膛光照不足,所以光饱和点数据可为指导杏树的修剪提供理论依据,通过修剪措施改善树体内膛光照条件,使杏树内部光照强度维持在光饱和点附近,从而有利于充分发挥杏树光合潜力,为杏树丰产和品质提高奠定基础。

不同品种杏树光补偿点在 10~25 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,而‘凯特’、‘大果’和‘金太阳’在 40 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右^[8],‘龙王帽’、‘一窝蜂’和‘优一’在 60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右^[12],因此,可看出南疆地区杏树的光补偿点比较低,对于这种差异,首先可能是计算方法不同导致的,其它学者采用拟合方程的方法计算光补偿点,而本文采用国际上普遍采用的 Farquhar 模型来进行拟合。其次还可能是品种差异的原因,因为它们长期处在南疆地区特殊的生态环境下,从而形成独特的种类,因而光补偿点与内地品种存在较大差异。最后,南疆地区浮尘比较严重,一年当中有 2/3 的时间处在浮尘天气当中,浮尘不仅影响光强,还落在叶片表面,因而可能会对杏树的光合

作用产生影响,对此还有待进一步研究。南疆地区主要杏树品种净光合日变化在全天维持在较高的水平,而白志强等对野生杏净光合日变的研究发现,净光合速率在 14 时之后,基本呈现一直下降的趋势^[3],窦春蕊等对仁用杏净光合日变化研究也具有类似的趋势^[12],这种现象可能与它们各自所处的地区和生态环境有关。

光合速率是指示光合作用机构运转调节的探针,也是植物生产力和作物产量高低的根本决定因素^[13]。本研究通过对南疆地区 4 个杏树品种光合速率、光补偿点、光饱和点、光合、蒸腾和水分利用效率的日变化等光合生理指标进行对比和分析,初步掌握了各杏树品种的光合生理特性,可为南疆地区杏树的栽培管理、良种选择和果粮间作提供理论指导。

参 考 文 献:

[1] 张加延.中国果树志(杏卷)[M].北京:中国林业出版社,2003.
[2] 刘 娟,马 媛,廖 康,等.新疆主栽杏品种的光响应曲线[J].经济林研究,2012,30(1):45-50.
[3] 白志强,毛培利,刘 华,等.天山西部野杏光合作用日变化特征与其生理生态因子的关系[J].西北植物学报,2012,32(11):2321-2327.
[4] 王红霞,张志华,玄立春.果树光合作用研究进展[J].河北农业大学学报,2003,26(1):49-52.
[5] 孙 猛,吕德国,刘威生.杏属植物光合作用研究进展[J].果树学报,2009,26(6):878-885.
[6] 张小全.杉木中龄林不同部位和叶龄针叶光合特性的日变化和季节变化[J].林业科学,2000,36(3):19-26.

3 结 论

1) 玉米间作针叶豌豆时,施用农民习惯化学施氮量 90%的效果最好,虽然该模式下玉米籽粒产量下降了 0.63%,但是差异不显著,而且可以多收针叶豌豆籽粒 $1\,987.34\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、针叶豌豆干草 $1\,374.35\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,同时经济效益最高,为 $36\,364\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$,高于农民习惯施肥 18.05%。

2) 玉米间作毛叶苕子时,虽然所有化学氮肥减施处理的玉米籽粒产量均低于农民习惯施肥,但是在施用农民习惯化学施氮量 90%的情况下减产幅度最低,只有 2.76%,达到了 $14\,263\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,与农民习惯施肥处理之间的差异不显著,而且可以多收毛叶苕子干草 $3\,175.47\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,同时经济效益最高,为 $32\,136\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$,高于农民习惯施肥4.33%。

3) 在农民习惯化学氮肥用量减少 5%~10%的情况下间作针叶豌豆和在农民习惯化学氮肥用量减少 10%~30%的情况下间作毛叶苕子时,土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量与农民习惯施肥处理之间的差异不显著。

可见,在河西绿洲灌区进行玉米种植时,间作收获籽粒为主的针叶豌豆和间作以收获豆科饲草为主的毛叶苕子,均能替代 10%的化学氮肥用量,值得推广,其中间作针叶豌豆的经济效益高于间作毛叶苕子。

参 考 文 献:

[1] 赵 秋,高贤彪,宁晓光,等.华北地区春玉米-冬绿肥轮作对碳、氮蓄积和土壤养分以及微生物的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(4):1005-1011.

[2] 杨 璐,曹卫东,白金顺,等.种植翻压二月兰配施化肥对春玉

米养分吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(4):799-807.

[3] 王劲松,戴茨华,徐 红,等.红壤连续施用绿肥和有机肥对玉米产量及土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2012,(5):27-30.

[4] 王 婷,包兴国,胡志桥.河西绿洲灌区玉米间作绿肥高效种植模式研究[J].甘肃农业科技,2010,(8):3-6.

[5] 张久东,包兴国,曹卫东,等.间作绿肥作物对玉米产量和土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2013,(4):43-47.

[6] 李 婧,张达斌,王 峥,等.施肥和绿肥翻压方式对旱地冬小麦生长及土壤水分利用的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(3):136-142.

[7] 包兴国,杨文玉,曹卫东,等.豆科与禾本科绿肥饲草作物混播增肥及改土效果研究[J].中国草地学报,2012,34(1):43-47.

[8] 李继明,黄庆海,袁天佑,等.长期施用绿肥对红壤稻田水稻产量和土壤养分的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(3):563-570.

[9] 杨滨娟,黄国勤,王 超,等.稻田冬种绿肥对水稻产量和土壤肥力的影响[J].中国生态农业学报,2013,21(10):1209-1216.

[10] 李燕青,孙文彦,许建新,等.黄淮海地区绿肥与化肥配施对棉花生长期和肥料利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(6):1398-1404.

[11] 刘国顺,李 正,敬海霞,等.连年翻压绿肥对植烟土壤微生物量及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(6):1472-1478.

[12] 林新坚,黄东风,李卫华,等.施肥模式对茶叶产量、营养累积及土壤肥力的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(2):151-157.

[13] 杨春霞,赵志平,杨丽萍,等.不同覆盖绿肥养分特性及其对橡胶园土壤理化性质的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(2):467-474.

[14] 盛良学,黄道友,夏海鳌,等.红壤橘园间作经济绿肥的生态效应及对柑橘产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2004,10(6):677-679.

[15] 陈 娇,吴良欢.两种野生绿肥对小白菜生长和营养品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(3):625-630.

[16] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.

(上接第 105 页)

[7] 汪良驹,姜卫兵,高光林,等.幼年梨树品种光合作用的研究[J].园艺学报,2005,32(4):571-577.

[8] 王金政,张安宁,单守明.3个设施或露地栽培常用杏品种光合特性的研究[J].园艺学报,2005,32(6):980-984.

[9] 刘文海,高东升,束怀瑞.不同光强处理对设施桃树光合及荧光特性的影响[J].中国农业科学,2006,39(10):2069-2075.

[10] 赵德英,吕德国,刘国成,等.冷凉气候区‘寒富’苹果及其亲本

光合特性的研究[J].园艺学报,2009,36(7):945-952.

[11] 钱莲文,张新时,杨智杰,等.几种光合作用响典型模型比较研究[J].武汉植物学研究,2009,27(2):197-203.

[12] 窦春蕊,吴万兴,李文华,等.黄土高原地区3个大扁杏品种的光合特性日变化研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(6):93-97.

[13] 许大全.光合作用效率[M].上海:上海科学技术出版社,2002.