

不同生态群杏种质资源的光合特性研究

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

(¹北京市林业果树科学研究所, 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:【目的】探讨不同生态群杏种质资源的光合特性,并筛选高光效资源为优异种质挖掘和育种服务。【方法】利用LI-6400XT对4个生态群共103个杏品种的 P_n 、 G_s 、 C_i 和 T_r 等参数进行检测。【结果】杏种质资源的 P_n 、 G_s 、 C_i 和 T_r 均呈正态分布,其遗传差异主要取决于品种,相关性分析表明 P_n 主要受 G_s 、 T_r 影响。东北亚生态群 P_n 的变化为7.81~15.75 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,其平均 P_n 高于其他生态群。不同生态群之间水分利用效率存在显著差异,其中华北生态群水分利用效率变化范围最大,变幅为4.45。东北亚生态群 P_n 与 G_s 、 T_r 的相关性一般高于其他3个生态群,在各生态群中 P_n 与 G_s 、 T_r 的相关系数较高,与 C_i 的相关系数较低。【结论】 P_n 、 G_s 、 C_i 和 T_r 的遗传差异主要受品种影响;东北亚生态群平均光合速率和水分利用效率较高,光合利用潜力较大;筛选出5份高光效材料为育种服务。

关键词: 杏;种质资源;生态群;光合特性

中图分类号: S662.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2018)10-1216-09

Study on the photosynthetic characteristics of apricots in different ecological groups

JIANG Fengchao^{1,2}, SUN Haoyuan^{1,2}, YANG Li^{1,2}, ZHANG Junhuan^{1,2}, WANG Yuzhu^{1,2*}

(¹Beijing Academy of Forestry and Pomology Science, Beijing 100093, China; ²Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (North China), Ministry of Agriculture, P.R. China, Beijing 100093, China)

Abstract: 【Objective】The objective of this study was to compare the photosynthetic characteristics of apricots in different ecological groups, and to screen high photosynthetic efficiency resources for mining excellent germplasm and breeding. 【Methods】The P_n (net photosynthesis rate, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), T_r (transpiration rate, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), G_s (stomatal conductance, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) and C_i (mesophyll CO_2 concentration, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) of 103 cultivars in 4 ecological groups were detected using LI-6400XT. The measurements were conducted by the same person and under the same conditions with a light intensity of 1 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (red and blue light sources), a leaf chamber temperature of 26 °C and a gas flow rate of 500 $\text{mmol}\cdot\text{s}^{-1}$. The P_n , G_s , C_i and T_r of 1-year-old shoots in the middle canopy were determined with a Li-6400XT portable photosynthesis analyzer at 08:30—11:00 am on 3 to 5 leaves selected from each apricot plant. Water use efficiency (WUE) and carboxylation rate (CE) were calculated: $\text{WUE}=\text{P}_n/\text{T}_r$; $\text{CE}=\text{P}_n/\text{C}_i$. 【Results】 P_n , G_s , C_i and T_r in different apricot cultivars showed a normal distribution pattern, indicating that photosynthetic traits are typical quantitative traits and controlled by polygenes. Based on F test, the differences in P_n , G_s , C_i and T_r among the cultivars were significant, suggesting strong genetic background of photosynthetic traits. The average photosynthetic rate of the apricot cultivars was 9.86 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ and its range was 10.18 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, indicating that there was a significant genetic variation in photosynthetic characteristics. P_n ranged from 7.81 to 15.75 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in the ecological group of Northeast Asia, and its average photosynthetic rate was higher than those of the other

收稿日期: 2018-03-23

接受日期: 2018-07-20

基金项目: 北京市农林科学院青年基金(QNJJ201702); 科技创新能力建设专项(KJCX20161504); 国家科技支撑计划课题(2014BAD16B04)

作者简介: 姜凤超,男,助理研究员,主要从事果树生理研究。Tel: 010-82595857, E-mail: jiangfc2018@163.com

*通信作者 Author correspondence. Tel: 010-82595857, E-mail: chinabjwyz@126.com

three ecological groups. The difference in G_s between different ecological groups was small, and the G_s of Northeast Asia group was the highest in the four ecological groups. The order of C_i in different ecological groups was Central Asian sub > North China > Northeast Asia Ecosystem > European. The largest range of C_i was found in the North China group, which was from 156.52 to 294.77 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. The average transpiration rate in the North China group was the lowest (4.28 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), and the highest was in the European ecological group (4.35 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). The photosynthetic parameters in different ecological groups had extreme values, which provide potential for breeding of better apricot cultivars. There were significant differences in WUE among different ecological groups, and its range was 4.45 in the North China group, indicating genetic variation among apricot cultivars in the North China group was large. The correlation between P_n , G_s and T_r in the Northeast Asia group was generally stronger than that in the other three groups. The correlations of WUE, carboxylation rate and photosynthetic parameters of apricots in different ecological groups, suggested that WUE was negatively correlated with P_n , G_s , C_i , and T_r (except for P_n of North China Ecological group), and the correlation of WUE with T_r was stronger than with P_n , G_s and C_i , but none of them was significant. The CE was positively correlated with P_n , G_s , and T_r , and the correlation of CE with P_n was higher than with G_s and T_r , and the correlation between CE and P_n in the North China group and the Central Asia ecological group was significant. There were significant positive correlations between P_n and G_s , C_i , and T_r in different ecological groups (except for C_i of the Northeast Asia and the Central Asia group). The correlations between P_n and G_s and T_r in the Northeast Asia group was generally higher than those in the other three ecological groups. The correlation coefficients among P_n , G_s and T_r were high in each ecological group, and that between P_n and C_i was relatively lower, and there was a similar pattern in the other three ecological groups, indicating that P_n was mainly affected by G_s and T_r . Using photosynthetic rate as the main indicator, and other photosynthetic parameters as reference indicators, 5 cultivars with high photosynthetic performance were screened out from the ecological group of North China. Their photosynthetic rate was at least 47% higher than the average of all the cultivars tested. 【Conclusion】 P_n , G_s , C_i and T_r are strongly affected by the genetic background. The average P_n and WUE in the ecological group of Northeast Asia were higher than in the other ecological groups. Five cultivars with high photosynthetic performance were screened.

Key words: Apricot; Germplasm resources; Ecological group; Photosynthetic characteristics

光合作用是果树产量和品质形成的基础,改善光合作用有助于提高果树产量和果实品质。我国是杏的起源中心,种质资源丰富,在长期的人工选择和生态适应过程中形成了中亚细亚、欧洲、准噶尔-伊犁、华东、东北亚和华北等6个生态群^[1-2],从不同的生态群杏种质资源中挖掘高光合速率的资源为进行光合性状的改良提供了种质材料,是进行高光合效率育种的前提。光合作用是反映植物生理功能的核心指标,不同树种间光合参数的变化规律各不相同^[3]。在苹果上研究发现不同种质资源间光合作用各个参数均存在显著差异,净光合速率与气孔导度和蒸腾速率显著相关,不同生长发育时期影响光合的主导因素也存在差异^[4-5];不同梨品种间净光合速

率各不相同,且它们的光合日变化一部分呈单峰型曲线,另一部分呈双峰型^[6];在桃和樱桃上研究发现,品种是导致净光合速率差异的主要原因,并受环境条件影响^[7-10];葡萄品种间净光合速率存在显著差异,光合速率与温度、光强呈正相关,相关系数分别为0.92和0.82,净光合速率与蒸腾速率和胞间 CO_2 浓度呈正相关,而与气孔导度无显著性相关^[11-14]。杏树光合特性的研究主要集中在逆境对光合特性影响方面,在山杏上研究表明,减少土壤水分的供应导致净光合速率、蒸腾速率、暗呼吸速率、光饱和点均呈降低趋势^[15-17],另外,还有人探讨了不同发育时期、温度、栽培措施对杏光合参数的影响^[18-19]。研究杏种质资源的光合特性是筛选和评价高光效种质资源的前

提,目前有关杏种质资源光合特性及不同生态群杏光合能力方面的研究较少,在资源评价及高光效亲本选择时存在一定的盲目性。笔者以华北生态群(75份)、中亚西亚生态群(11份)、东北亚生态群(7份)和欧洲生态群(10份)共103份杏种质资源为材料,研究杏种质资源光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间CO₂浓度、水分利用效率和羧化速率之间的差异,并筛选高光效材料,以期为杏高光效育种和遗传改良提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料

试验于2015年在北京市农林科学院林业果树研究所杏资源圃进行,品种名称见表1,每个品种3株,相当于3次重复。

1.2 方法

通过预实验发现,环境中的光照强度和温度对光合测定结果影响较大,受CO₂影响较小,因此,实

表1 供试杏品种
Table 1 Germplasm resources of apricot in the experiment

生态群 Ecological group	品种 Cultivar
华北生态群 North China group	白玉扁(北京柏峪)、北安河(北京海淀)、北山大扁(北京)、北寨红(北京平谷)、串铃(北京海淀)、串枝红(河北巨鹿)、大巴达(北京房山)、大白杏(山西永济)、大黄杏(天津蓟县)、二红杏(河北大名)、关老爷脸(天津蓟县)、红荷包(山东历城)、黄尖嘴(北京怀柔)、崂山红(山东崂山)、龙泉务(北京门头沟)、龙王帽(河北涿鹿)、骆驼黄(北京门头沟)、梅杏(陕西)、木瓜杏(河北蔚县)、苹果红(山东烟台)、青岛大红(山东青岛)、柿子杏(山东乐陵)、天鹅蛋(河北广宗)、晚香白(天津蓟县)、邢台大红杏(河北邢台)、杨继元(山东崂山)、一窝蜂(河北涿鹿)、银杏(山东崂山)、优一(河北蔚县)、豫早冠(河南郑州)、鸡蛋杏(北京海淀)、猪腰子(北京平谷)、早红杏(河北沧州)、青蜜沙(河北平乡)、关爷脸(山东)、重瓣杏(陕西)、豫寒魁(河南郑州)、仰韶黄1号(河南浉池)、仰韶黄2号(河南浉池)、冀光(河北石家庄)、围选1号(河北围场)、大接杏(甘肃兰州)、金辉(河北)、京佳1号(北京林果所)、京佳2号(北京林果所)、陕西小红杏(陕西)、蜜香杏(河南新乡)、绿萼山杏(河北青龙)、山黄杏(北京昌平)、红火了梅子(北京昌平)、红杏(甘肃兰州)、大玉巴达(北京海淀)、桃杏(河北景县)、菜籽黄(陕西大荔)、曹杏(山东曹县)、迟梆子(陕西华县)、大丰(河北平乡)、大偏头(甘肃兰州)、海东杏(陕西西安)、红杏(甘肃,兰州)、葫芦杏(陕西淳化)、杨继元(河南新郑)、兰珠红(陕西)、临潼红杏(陕西临潼)、马串铃(陕西大荔)、牛角黄(陕西长安)、红金榛(山东招远)、西农25号(陕西杨凌)、猪皮水(甘肃兰州)、草丕杏(陕西乾县)、临潼红杏2号(陕西临潼)、牛角帮子(陕西眉县)、头窝接(陕西大荔)、礼泉二转子(陕西礼泉)、秦王(陕西杨凌) Baiyubian (BeijingBaiyu)、Bei'anhe (BeijingHaidian)、Beishandabian (Beijing)、Beizhaihong (BeijingPinggu)、Chuanling (BeijingHaidian)、Chuanzhong (HebeiJulu)、Dabada (BeijingFangshan)、Dabaixing (ShanxiYongji)、Daihuangxing (TianjinJixian)、ErHongxing (HebeiDaming)、Guanlaoyelian (TianjinJixian)、Honghebao (ShandongLicheng)、Huangjianzui (BeijingHuairou)、Laoshanhong (ShandongLaoshan)、Longquanwu (BeijingMentougou)、LongWangMao (HebeiZhuolu)、LuoTuoHuang (BeijingMentougou)、MeiXing (Shaanxi)、MuGuaXing (HebeiWeixian)、PingGuoHong (ShandongYantai)、QingDaoDaHong (ShandongQingdao)、ShiZiXing (ShandongLeling)、Tian'EDan (HebeiGuangzong)、WanXiangBai (TianjinJixian)、XingTaiDaHongXing (HebeiXingtai)、YangJiYuan (ShandongLaoshan)、YiWoFeng (HebeiZhuolu)、YinXing (ShandongLaoshan)、YouYi (HebeiWeixian)、YuZaoGuan (HenanZhengzhou)、JiDanXing (BeijingHaidian)、ZhuYaoZi (BeijingPinggu)、ZaoHongXing (HebeiCangzhou)、QingMiSha (HebeiPingxiang)、GuanYeLian (Shandong)、ChongBanXing (Shaanxi)、YuHanKui (HenanZhengzhou)、YangShaoHuangYiHao (HenanMianchi)、YangShaoHuang'ErHao (HenanMianchi)、JiGuang (HebeiShijiazhuang)、WeiXuanYiHao (HebeiWeichang)、DaJieXing (GansuLanzhou)、JinHui (Hebei)、JingJiaYiHao (BeijingLinguosuo)、JingJia'ErHao (BeijingLinguosuo)、ShaanXiXiaoHongXing (Shaanxi)、MiXiangXing (HenanXinxiang)、Lv'EShanXing (HebeiQinglong)、ShanHuangXing (BeijingChangping)、HongHuoLeMeiZi (BeijingChangping)、HongXing (GansuLanzhou)、DaYuBaDa (BeijingHaidian)、TaoXing (HebeiJingxian)、CaiZiHuang (ShaanxiDali)、CaoXing (ShandongCaoxian)、ChiBangZi (ShaanxiHuaxian)、DaFeng (HebeiPingxiang)、DaPianTou (GansuLanzhou)、HaiDongXing (ShaanxiXi'an)、HongXing (Gansu, Lanzhou)、HuLuXing (ShaanxiChunhua)、YangJiYuan (HenanXinzheng)、LanZhuHong (Shaanxi)、LinTongHongXing (ShaanxiLintong)、MaChuanLing (ShaanxiDali)、NiuJiaoHuang (ShaanxiChang'an)、HongJinZhen (ShandongZhaoyuan)、XiNong25Hao (ShaanxiYangling)、ZhuPiShui (GansuLanzhou)、CaoPiXing (ShaanxiQianxian)、LinTongHongXing'ErHao (ShaanxiLintong)、NiuJiaoBangZi (ShaanxiMeixian)、TouWoJie (ShaanxiDali)、LiQuan'ErZhuangZi (ShaanxiLiquan)、QinWang (ShaanxiYangling)
中亚西亚生态群 Central Asia group	阿克(新疆)、大果胡安娜(新疆和田)、黑叶杏(新疆叶城)、辣椒杏(新疆阿克苏)、馒头玉吕克(新疆喀什)、史孜马依桑(新疆)、树上干(新疆阿里玛丽)、明星杏(新疆皮山)MingXingXing、木牙格(新疆)、冬杏(新疆阿克苏)、李光杏(甘肃敦煌) AKe (Xinjiang)、DaGuoHuAnNa (XinjiangHetian)、HeiYeXing (XinjiangYecheng)、LaJiaoXing (XinjiangAkesu)、ManTouYuLvKe (XinjiangKashi)、ShiZiMaYiSang (Xinjiang)、ShuShangGan (XinjiangAlimali)、MingXingXing (XinjiangPishan)、MuYaGe (Xinjiang)、DongXing (XinjiangAkesu)、LiGuangXing (GansuDunhuang)
东北亚生态群 Northeast Asia group	大杏梅(辽宁东沟)、东宁1号(黑龙江)、银白杏(吉林四平)、早黄杏(黑龙江)、中白杏(黑龙江友谊)、小红杏(辽宁盖州)、大扁杏(辽宁熊岳) DaXingMei (LiaoningDonggou)、DongNingYiHao (Heilongjiang)、YinBaiXing (JilinSiping)、ZaoHuangXing (Heilongjiang)、ZhongBaiXing (HeilongjiangYouyi)、XiaoHongXing (LiaoningGaizhou)、DaBianXing (LiaoningXiongyue)
欧洲生态群 European group	BO95 (Italy)、Fa1 (France)、Fa2 (France)、Fa5 (France)、BORA (Italy)、BERGAROUGE (Italy)、ISHTARA (Italy)、LE946 (Czech Republic)、LEJUNA (Czech Republic)、NINFA (Czech Republic)

际测量过程中需要严格控制光强和温度2个环境条件。为保证测定结果的准确性和一致性,测定由同一人操作完成,并且严格控制光合测定的环境条件:光照强度为 $1\ 500\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (红蓝光源)、叶室温度为 $26\ ^\circ\text{C}$ 、气体流速为 $500\ \text{mmol}\cdot\text{s}^{-1}$ 。于杏树开花后35 d,使用Li-6400XT便携式光合测定仪于北京时间上午08:30—11:00开路测定不同生态群杏品种树冠中部外侧向阳1 a生枝条功能叶的净光合速率(P_n , photosynthesis rate, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、蒸腾速率(T_r , transpiration rate, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、气孔导度(G_s , stomatal conductance, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、胞间 CO_2 浓度(C_i , internal CO_2 concentration, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。根据所测光合速率等参数的稳定性,每株杏树选择测定3~5个叶片,然后各叶片光合参数分别取平均值作为该株杏树的光合数据。

1.3 数据分析

数据均采用Excel 2013进行整理,运用SPSS 24.0软件进行统计分析与绘图。水分利用效率(Water use efficiency, WUE) = P_n/T_r , 羧化速率(Carboxylation rate, CE) = P_n/C_i ^[20]。

2 结果与分析

2.1 杏种质资源光合参数分布频率及遗传变异分析

杏种质资源的 P_n 、 G_s 、 C_i 和 T_r 的分布频率如图1所示,所有品种的 P_n 主要分布在 $8\sim 11\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, G_s 为 $0.08\sim 0.12\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, C_i 为 $200\sim 230\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, T_r 为 $2\sim 2.4\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。各光合参数均呈正态分布,表明光合性状为典型的数量性状,受多基因控制。

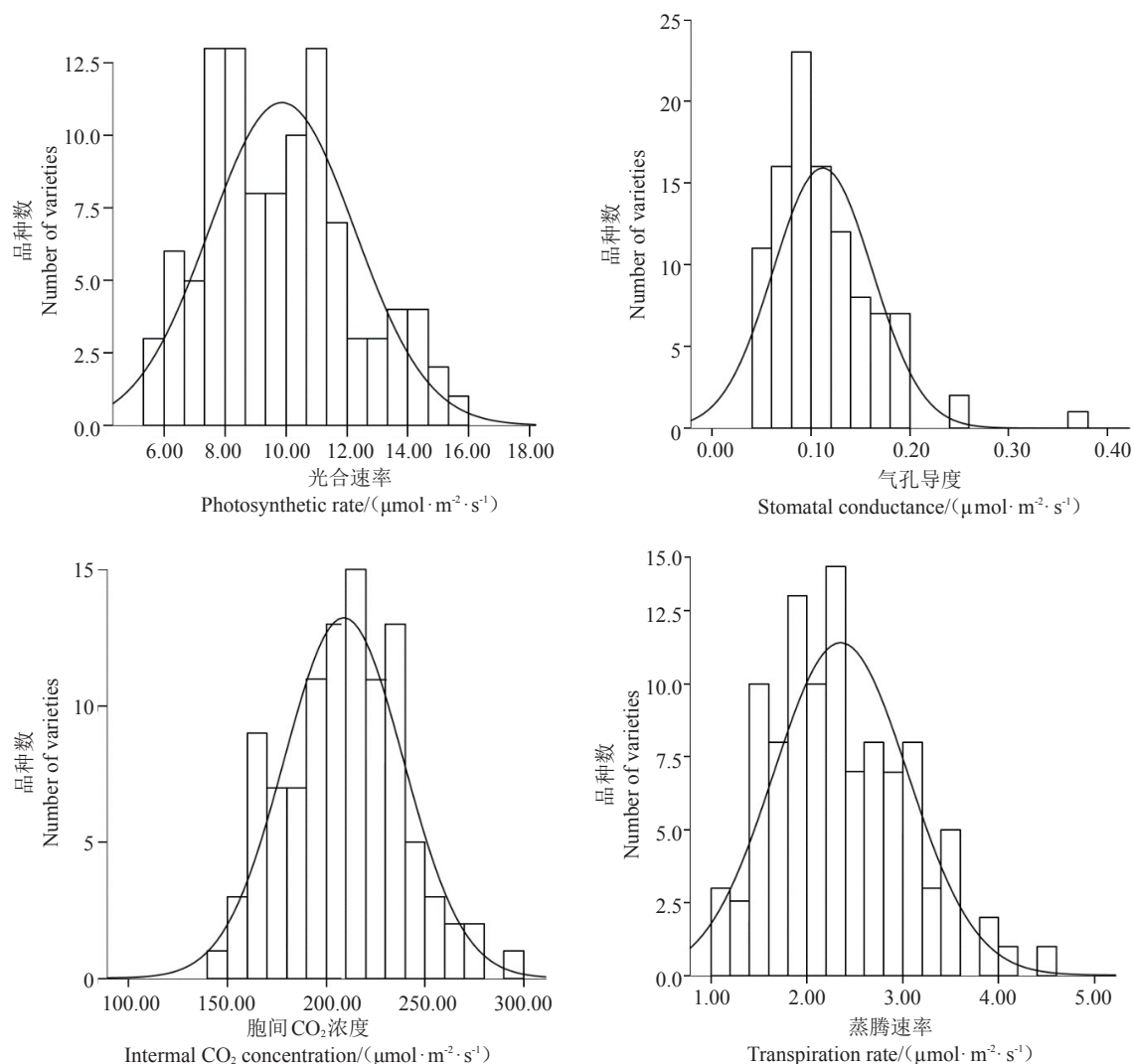


图1 杏种质资源光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 、蒸腾速率浓度的分布频率

Fig. 1 Distribution frequency of P_n , G_s , C_i and T_r in apricots

P_n 、 G_s 、 C_i 和 T_r 在品种间的F测验均达到极显著水平(表2),表明现有品种的遗传差异主要受品种影响。 P_n 、 G_s 、 C_i 和 T_r 在品种间均存在较大变幅,变化范围分别为15.75~5.57、0.37~0.05、294.77~146.60和4.44~1.02 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (表3)。综上可知,品种间光合性状存在显著的遗传变异,这是进行杏高光效育种的理论依据,也是进行光合遗传改良的前提。

表2 杏种质资源光合参数的方差分析

Table 2 Variance analysis of photosynthetic parameters for apricot germplasm resources

光合参数 Photosynthetic parameters	变异来源 Source of variance	平方和 SS	自由 度 df	均方 MS	F
P_n / ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	品种间 Among varieties	1 690.207	102	17.07	36.73**
	品种内 Within varieties	92.945	206	0.47	
	总和 Total	1 783.152	308		
G_s / ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	品种间 Among varieties	0.747	102	0.01	108.98**
	品种内 Within varieties	0.014	206	0.00	
	总和 Total	0.761	308		
C_i / ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	品种间 Among varieties	269 593.62	102	2 723.17	15.21**
	品种内 Within varieties	35 816.36	206	179.08	
	总和 Total	305 409.98	308		
T_r / ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	品种间 Among varieties	145.44	102	1.45	58.75**
	品种内 Within varieties	5.00	206	0.03	
	总和 Total	150.44	308		

注:**表示差异极显著($p < 0.01$)。下同。

Note:** indicated extremely significant difference ($p < 0.01$). The same below.

表3 杏种质资源光合参数的遗传变异分析

Table 3 Genetic variation analysis of photosynthetic parameters in apricots

光合参数 Photosynthetic parameters	最大值 Max.	最小值 Min.	变幅 Range	平均值 Mean	标准差 Std	变异系数 CV/%
P_n ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	15.75	5.57	10.18	9.86	2.38	6.29
G_s ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	0.37	0.05	0.32	0.11	0.50	6.09
C_i ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	294.77	146.60	148.17	208.76	30.13	5.90
T_r ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	4.44	1.02	3.42	2.35	0.70	5.74

杏种质资源光合参数间的相关性分析见表4, P_n 、 G_s 、 C_i 、 T_r 间均存在极显著正相关。 P_n 与 G_s 、 T_r 的相关系数较高(分别为0.73和0.70),与 C_i 的相关系数较低(0.32),表明所测定的品种中 C_i 、 T_r 与 G_s 均可

影响光合速率大小,但主要受 G_s 、 T_r 影响。

表4 杏种质资源光合参数间的相关系数

Table 4 Correlation of photosynthetic parameters across apricot cultivars

光合参数 Photosynthetic parameters	P_n ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	G_s ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	C_i ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	T_r ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
P_n	1	0.73**	0.32**	0.70**
G_s	0.73**	1	0.72**	0.75**
C_i	0.32**	0.72**	1	0.46**
T_r	0.70**	0.75**	0.46**	1

2.2 不同生态群杏光合特性的构成特点

不同生态群 P_n 、 G_s 、 C_i 和 T_r 的变化范围如图2所示,东北亚生态群 P_n 的变化范围为7.81~15.75 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,其平均光合速率高于其他生态群,华北生态群 P_n 的变幅(9.68 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)高于其他生态群;不同生态群间 G_s 的差异较小,以东北亚生态群最高; C_i 在不同生态群间的顺序为中亚细亚生态群>华北生态群>东北亚生态群>欧洲生态群,其中华北生态群 C_i 的变化范围最大,为156.52~294.77 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;华北生态群 T_r 最低(2.26 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$),欧洲生态群最高(2.48 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。不同生态群中光合参数均有极值存在,为选育不同光合特性的杏品种提供了材料。

2.3 不同生态群杏种质资源水分利用效率与羧化速率分析

不同生态群杏品种WUE与CE见表5。不同生态群之间WUE存在显著差异,东北亚生态群的平均WUE最高为5.12,华北生态群WUE最低为4.28,但华

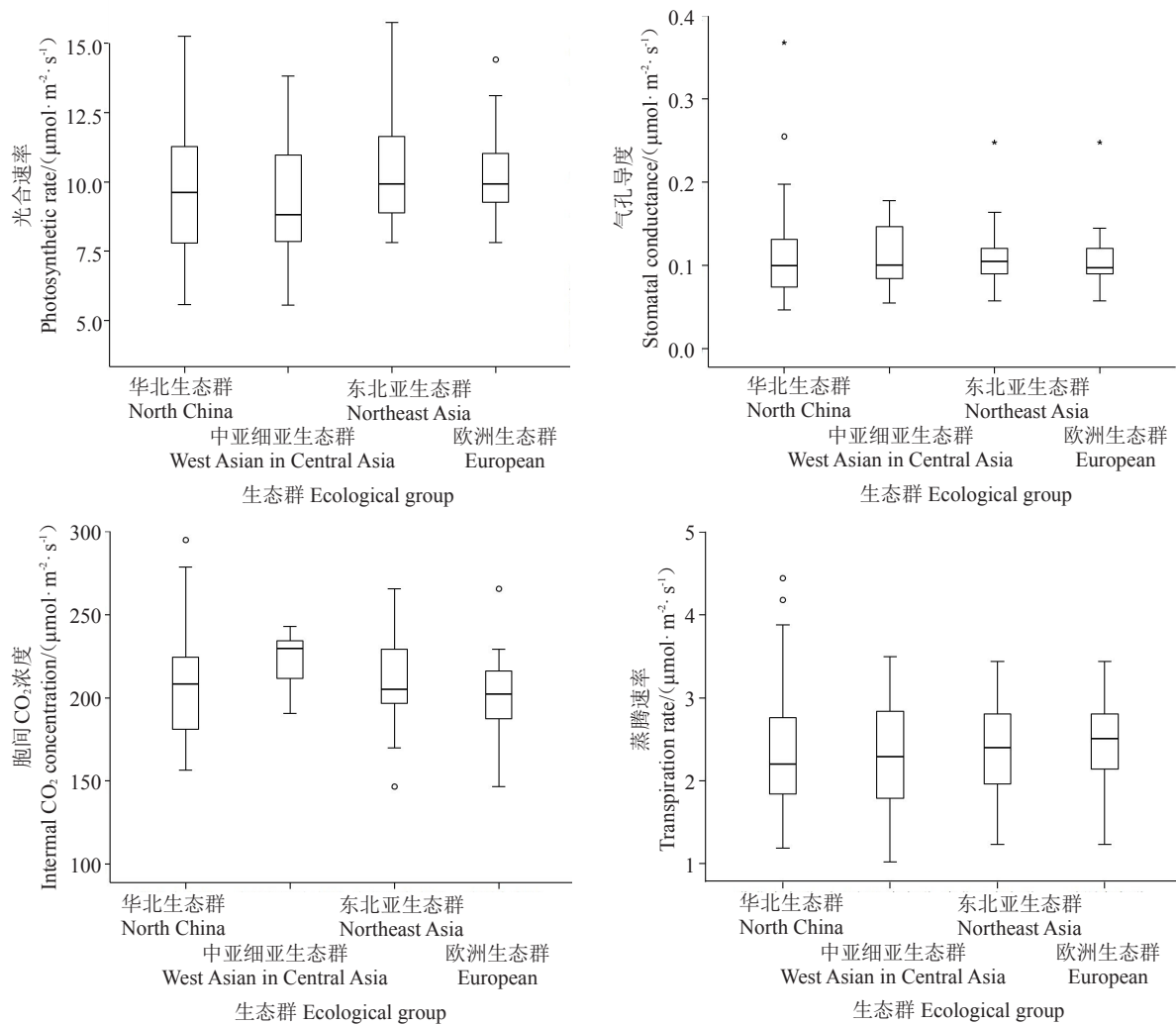
表5 不同生态群杏种质资源水分利用效率与羧化速率

Table 5 WUE and CE of apricots in different ecotypes

生态群 Ecological group	品种份数 Number of varieties	变幅与均值 Range and mean	水分利用效率 WUE	羧化速率 CE
华北生态群 North China	75	范围 Range	2.00~6.45	0.02~0.07
		平均值 Mean	4.28 b	0.475 ab
中亚细亚生态群 West Asian in Central Asia	11	范围 Range	3.04~5.80	0.03~0.06
		平均值 Mean	4.34 b	0.042 b
东北亚生态群 Northeast Asia	7	范围 Range	4.80~5.33	0.04~0.07
		平均值 Mean	5.12 a	0.050 a
欧洲生态群 European	10	范围 Range	3.37~6.62	0.04~0.06
		平均值 Mean	4.35 b	0.052 a

注:处理间不同字母表示在5%水平上差异显著。

Note: Differences among treatments followed by different letters are significant at 0.05 levels.



箱体高度等于四分位间距,代表数据的集中分布范围,包含样本 50%的测定数据,中间横线表示数据的中心位置,上下截止线之间包含了样本 99%的测定数据,上下截止线外的横线(°)或星号(*)表示超出本体值外的极值。

The horizontal lines in the interior of each box are the median values. The height in a box is equal to the interquartile distance, indicating the distribution for 50% of the data, approximately 99% of the data fell inside the whiskers (the dotted lines extending from the top and bottom of the box). The data outside these whiskers are indicated by horizontal lines or asterisk.

图2 不同生态群杏光合参数分布

Fig. 2 Distribution of photosynthetic parameters for different ecotypes

北生态群 WUE 变化范围最大,变幅为4.45,表明华北生态群杏品种间 WUE 的遗传变异较大。WUE 是衡量植物光合能力的重要指标,这为筛选高水分利用效率的杏品种提供了种质材料。不同生态群之间 CE 存在显著差异,欧洲生态群和东北亚生态群的平均 CE 高于其他生态群。CE 是植物叶片进行羧化反应的效率,其值高低显示环境胁迫对光合作用的影响,可见,这2个生态群杏品种比较适应当前区域的生态环境。

对不同生态群杏种质资源 WUE、CE 与光合参数的相关性分析可知(表6),不同生态群的 WUE 与 P_n 、 G_s 、 C_i 和 T_r 呈负相关(华北生态群 P_n 除外),并且

WUE 与 T_r 的相关性高于 P_n 、 G_s 和 C_i ,但均未达到显著程度。CE 与 P_n 、 G_s 和 T_r 呈正相关,并且 CE 与 P_n 的相关性高于 G_s 和 T_r ,其中华北生态群和中亚细亚生态群的 CE 与 P_n 的相关性达到极显著程度。不同生态群 P_n 与 G_s 、 C_i 和 T_r 均呈现显著或极显著正相关(东北亚生态群和中亚细亚生态群的 C_i 除外),东北亚生态群 P_n 与 G_s 和 T_r 的相关性一般高于其他3个生态群。在各生态群中 P_n 与 G_s 和 T_r 的相关系数较高,与 C_i 的相关系数较低。

2.4 高光效杏种质资源的筛选

光合速率是反应果树光合作用最重要的指标之

表6 不同生态群杏种质资源水分利用效率、羧化速率与光合参数的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of WUE, CE and photosynthetic parameters across apricot cultivars in different ecological groups

生态群 Ecological group	光合参数 Photosynthetic parameters	P_n	G_s	C_i	T_r	WUE	CE
华北生态群 North China group	P_n	1.00	0.71**	0.30**	0.69**	0.14	0.82**
	G_s	0.71**	1.00	0.72**	0.74**	-0.18	0.28*
	C_i	0.30**	0.72**	1.00	0.46**	-0.27	-0.26
	T_r	0.69**	0.74**	0.46**	1.00	-0.58	0.43**
	WUE	0.14	-0.18	-0.27	-0.58	1.00	0.31**
中亚细亚生态群 Central Asia group	P_n	1.00	0.97**	0.46	0.77**	-0.16	0.95**
	G_s	0.97**	1.00	0.62	0.82**	-0.26	0.85**
	C_i	0.46	0.62	1.00	0.62	-0.51	0.18
	T_r	0.77**	0.82**	0.62	1.00	-0.72	0.66*
	WUE	-0.16	-0.26	-0.51	-0.72	1.00	-0.05
东北亚生态群 Northeast Asia group	P_n	1.00	0.96*	0.13	0.99**	-0.61	0.94
	G_s	0.96*	1.00	0.38	0.91	-0.45	0.81
	C_i	0.13	0.38	1.00	0.01	0.61	-0.22
	T_r	0.99**	0.91	0.01	1.00	-0.67	0.97**
	WUE	-0.61	-0.45	0.61	-0.67	1.00	-0.80
欧洲生态群 European group	P_n	1.00	0.83**	0.71*	0.64*	-0.01	0.57
	G_s	0.83**	1.00	0.90**	0.82**	-0.34	0.13
	C_i	0.71*	0.90**	1.00	0.90**	-0.55	-0.15
	T_r	0.64*	0.82**	0.90**	1.00	-0.75	-0.16
	WUE	-0.01	-0.34	-0.55	-0.75	1.00	0.68*
	CE	0.57	0.13	-0.15	-0.16	0.68*	1.00

注: *表示差异显著($p < 0.05$), **表示差异极显著($p < 0.01$)。

Note: * Indicated significant difference ($p < 0.05$), ** Indicated extremely significant difference ($p < 0.01$).

一,是光合生理反应最直观的表现形式。以光合速率作为主要的优先考虑的指标,其他光合参数作为参考指标,共筛选出了5份高光合性能材料(表7),均来自于华北生态群,它们的光合速率至少比所有

表7 高光合性能的杏品种

Table 7 Apricot varieties with high photosynthetic efficiency

品种 Cultivar	P_n /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	G_s /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	C_i /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	T_r /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	WUE	CE
围选1号 WeiXuan1Hao	15.61	0.171	229.81	3.11	5.02	0.068
京佳1号 JingJia1Hao	15.25	0.205	240.13	3.24	4.71	0.063
白玉扁 BaiYuBian	14.60	0.185	213.84	3.26	4.48	0.068
菜籽黄 CaiZiHuang	14.49	0.197	227.91	3.36	4.31	0.064
串枝红 ChuanZhiHong	14.29	0.167	217.91	3.18	4.49	0.065

资源的平均值提高47.0%以上。

3 讨 论

目前,关于杏树光合特性的研究主要集中在品种对生长与抗逆性等性状的评价方面。如王金政等^[20]、马媛等^[22]分别对不同杏品种光合特性、光合日变化特性进行比较研究;张淑勇等^[15]、魏磊等^[16]研究了水分胁迫和干旱对山杏光合特性的影响;栗媛等^[18]探讨了轮台白杏果实不同生长发育阶段对光合特性的影响,但以杏树种质资源为研究对象进行不同生态群杏光合特性的研究未见报道。光合效率的高低直接影响树木有机物的积累,通过高光效育种改善果实品质和提高产量的研究在作物中已有诸多报道^[23-25],而果树中相关的研究还十分缺乏。本研究以杏高光效育种提供亲本为目标,选择不同生态群103个杏资源进行光合作用的分析,由于所有测试品种均在同一试验点栽植,生态环境条件相同,因此,光合参数的差异主要来自于遗传效应,并且所得结果还可以反映不同生态群杏资源光合能力的基本情况。

杏种质资源间 P_n 、 G_s 、 C_i 和 T_r 呈现典型正态分布特点,本研究使用的杏品种来自不同的地域,大部分品种间无直接亲缘关系,在经过长期的人工或自然选择后控制光合性状的基因发生分离与重组,可能是导致光合各参数中呈现连续正态分布的主要原因。杏种质资源的 P_n 、 G_s 、 C_i 和 T_r 存在极显著差异,并且各参数变幅较大,表明杏品种间光合能力遗传变异基础丰富,作为亲本的选择余地较大,同时也说明在种质资源内筛选高光合速率的品种进行育种研究的可行性。

不同生态群杏光合优势利用是提高光能利用率的重要途径之一。本研究从103份资源中选出‘围选1号’等5个高光效品种,这为杏高光效杂交育种的亲本选择提供了材料。筛选出的5个光合速率较高的品种均来自华北生态群,说明华北生态群的杏品种与其他3个生态群相比更适于华北地区的生态气候条件,从而容易筛选出光合速率较高的杏品种。虽然华北生态群中筛选出光合速率较高的杏品种,但其 P_n 平均值低于东北生态群,说明东北亚生态种质资源在华北地区光合优势的利用潜力更大,由于东北生态群的光照、温度等环境条件与华北生态群相比较差,而弱光和低温均会降低光合电子传

递体传递效率和光合关键酶活性^[26-29],当东北生态群杏品种生长在环境条件相对优越的华北地区时,光合效率有所提高,从而使东北生态群 P_n 平均值高于华北生态群。

P_n 是表示植物光合能力的重要指标之一。东北亚生态群 P_n 与 G_s 和 T_r 的相关性一般高于其他3个生态群,在各生态群中 P_n 与 G_s 和 T_r 的相关系数较高,与 C_i 的相关系数较低,并且从整个资源角度分析,也有类似的规律,表明 P_n 主要受 G_s 、 T_r 影响。

4 结 论

杏种质资源的 P_n 、 G_s 、 C_i 和 T_r 均呈现正态分布的规律,并且它们之间的遗传差异主要受品种影响。东北生态群平均 P_n 和水分利用效率高于其他3个生态群,光合利用潜力较大。不同生态群之间羧化速率存在显著差异,欧洲生态群的平均羧化速率高于其他生态群。在各生态群中 P_n 与 G_s 、 T_r 的相关系数较高,与 C_i 的相关系数较低。共筛选出了5份高光合性能材料为高光效育种服务。

参考文献 References:

- [1] 张加延. 中国果树志·杏卷[M]. 中国林业出版社,2003.
ZHANG Jiayan. Chinese fruit tree apricot volume[M]. China Forestry Publishing House,2003.
- [2] 章秋平,刘冬成,刘威生,刘硕,张爱民,刘宁,张玉萍. 华北生态群普通杏遗传多样性与群体结构分析[J]. 中国农业科学,2013,46(1):89-98.
ZHANG Qiuping, LIU Dongcheng, LIU Weisheng, LIU Shuo, ZHANG Aimin, LIU Ning, Zhang Yuping. Genetic diversity and population structure of the north China populations of apricot (*Prunus armeniaca* L.)[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46 (1): 89-98.
- [3] BLANKE M M, LENZ F. Fruit photosynthesis[J]. Plant Cell & Environment, 1998, 12(1): 31-46.
- [4] 左力辉. 新疆野苹果光合特性及苹果资源遗传多样性分析[D]. 保定:河北农业大学,2015.
ZUO Lihui. Photosynthetic of *Malus sieversii* (Ledeb.) Roem. and genetic diversity analysis of *Malus* Mill.[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2015.
- [5] 王新娟,马锋旺,冯凤娟,李翠英,尹蓉. 18个苹果种质资源光合特性的比较[J]. 西北农业学报,2011,20(4):153-158.
WANG Xinjuan, MA Fengwang, FENG Fengjuan, LI Cuiying, YIN Rong. Comparison of photosynthetic characteristics of 18 apple germplasm resources[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2011, 20(4): 153-158.
- [6] 盛宝龙,常有宏,姜卫兵,蔺经,李晓刚,颜志梅. 不同类型梨品种光合特性的比较[J]. 果树学报,2007,24(6):742-746.
SHENG Baolong, CHANG Youhong, JIANG Weibing, LIN Jing, LI Xiaogang, YAN Zhimei. Studies on photosynthesis characteristics of different types of pear cultivars[J]. Journal of Fruit Science, 2007, 24(6): 742-746.
- [7] 王志强,何方,牛良,刘淑娥. 设施栽培油桃光合特性研究[J]. 园艺学报,2000,27(4):245-250.
WANG Zhiqiang, HE Fang, NIU Liang, LIU Shu'e. A comparative research on photosynthesis of nectarine grown inside and outside greenhouses[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2000, 27(4): 245-250.
- [8] 马瑞娟,张斌斌,俞明亮,沈志军,蔡志翔. 6个桃品种光合特性及叶绿素荧光特性比较[J]. 江苏农业学报,2010,26(6):1334-1341.
MA Ruijuan, ZHANG Binbin, YU Mingliang, SHEN Zhijun, CAI Zhixiang. Comparison of photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics in the leaves of six peach cultivars[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2010, 26 (6): 1334-1341.
- [9] 杨江山,常永义,种培芳. 3个樱桃品种光合特性比较研究[J]. 园艺学报,2005,32(5):773-777.
YANG Jiangshan, CHANG Yongyi, ZHONG Peifang. Comparative studies on photosynthetic characteristics of three sweet cherry cultivars[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2005, 32(5): 773-777.
- [10] CREWS C, WILLIAMS S, VINES H. Characteristics of photosynthesis in peach leaves[J]. Planta, 1975, 126(2): 97-104.
- [11] 惠竹梅,李识博,朱强. 葡萄品种光合特性的研究[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2005(6):13-15.
HUI Zhumei, LI Shibo, ZHU Qiang. Study on photosynthetic characteristics of different grapevine cultivars [J]. Sino-Overseas Grapevine and Wine, 2005 (6): 13-15.
- [12] 王美军,聂松青,刘昆玉,杨国顺,钟晓红,徐丰,白描,金燕,石雪晖. 野生刺葡萄资源高接后光合特性的研究[J]. 江西农业大学学报,2016,38(5):836-845.
WANG Meijun, NIE Songqing, LIU Kunyu, YANG Guoshun, ZHONG Xiaohong, XU Feng, BAI Miao, JIN Yan, SHI Xuehui. Photosynthesis characteristics of the top grafted *V. davidii* Foex [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2016, 38(5): 836-845.
- [13] 沈育杰,史贵文. 山葡萄种质资源光合特性的研究[J]. 特产研究,1998(4):22-25.
SHEN Yujie, SHI Guiwen. Study on photosynthetic characteristics of mountain vitis germplasm resources[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 1998 (4): 22-25.
- [14] 刘存宏,徐玉芳,贾志军,乔云萍,李太祥. 18个葡萄品种的光合特性比较[J]. 中国农学通报,2006,22(7):404-406.
LIU Cunhong, XU Yufang, JIA Zhijun, QIAO Yunping, LI Tai-xiang. Compare of photosynthetic parameters of 18 grape varieties [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(7): 404-406.
- [15] 张淑勇,周泽福,张光灿,王梦军,战海霞. 水分胁迫下天然次生灌木山桃和山杏光合气体交换特征[J]. 西北植物学报,

- 2008, 28(12): 2492-2499.
- ZHANG Shuyong, ZHOU Zefu, ZHANG Guangcan, WANG Mengjun, ZHAN Haixia. Gas exchange characteristics of natural secondary Shrubs *Prunus davidiana* and *Prunus sibirica* under different water stresses[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(12): 2492-2499.
- [16] 魏磊, 崔世茂. 干旱胁迫对山杏光合特性的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(5): 194-197.
- WEI Lei, CUI Shimao. The effect of soil drought stress on photosynthetic character of *Prunus armeniaca* [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(5): 194-197.
- [17] 陈献勇, 廖镜思. 水分胁迫对果梅光合色素和光合作用的影响[J]. 福建农林大学学报, 2000, 29(1): 35-39.
- CHEN Xianyong, LIAO Jingsi. Effects of water stress on photosynthetic pigment and photosynthesis in leaves of Japanese apricot[J]. *Journal of Fujian Agricultural University*, 2000, 29(1): 35-39.
- [18] 栗媛, 潘存德, 王世伟. 果实不同生长发育阶段轮台白杏光合特性[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(6): 1015-1021.
- LI Yuan, PAN Cunde, WANG Shiwei. Photosynthesis characteristic of *armeniaca vulgaris* 'luntaibaixing' at various phenological stages of fruit development[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2012, 49(6): 1015-1021.
- [19] WANG F, WANG H, WANG G. Photosynthetic responses of apricot (*Prunus armeniaca* L.) to photosynthetic photon flux density, leaf temperature, and CO₂ concentration[J]. *Photosynthetica*, 2007, 45(1): 59-64.
- [20] 马双艳. 板栗等果树对水分胁迫的生理响应[D]. 泰安: 山东农业大学, 2003.
- MA Shuangyan. The Pyhysiological responses of fruit trees-chinese chestnut etc to water-stress[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2003.
- [21] 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.
- WANG Jinzheng, ZHANG Anning, Shan Shouming. Studies on photosynthetic characters of three apricot cultivars suitable for plastic greenhouse[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(6): 980-984.
- [22] 马媛, 刘娟, 廖康, 李文慧, 何峰江, 阿布莱克·尼牙孜. 不同杏品种光合日变化特性研究[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(7): 1189-1195.
- MA Yuan, LIU Juan, LIAO Kang, LI Wenhui, HE Fengjiang, A BulailKe Niyazi. Daily photosynthetic variation characteristics of different varities of apricots[J]. *Xinjiang Agricultural Science*, 2011, 48(7): 1189-1195.
- [23] 侯爱菊, 徐德昌. 植物高光效基因工程育种[J]. 中国生物工程杂志, 2005, 25(9): 19-23.
- HOU Aiju, XU Dechang. Current advance of high photosynthetic efficiency breeding by gene engineering in plan [J]. *China Biotechnology*, 2005, 25(9): 19-23.
- [24] XU D Q, SHEN Y K. Photosynthetic efficiency and crop yield[J]. *Handbook of Plant and Crop Physiology Marcel Dekker*, New York, NY, 2002, 821-834.
- [25] LONG S P, ZHU X G, NAIDU S L, ORT D R. Can improvement in photosynthesis increase crop yields?[J]. *Plant, Cell & Environment*, 2006, 29(3): 315-330.
- [26] 胡文海, 喻景权. 低温弱光对番茄叶片光合作用和叶绿素荧光参数的影响[J]. 园艺学报, 2001, 28(1): 41-46.
- HU Wenhai, YU Jingquan. Effects of chilling under low light on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristic in tomato leaves [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2001, 28(1): 41-46.
- [27] 孙山, 张立涛, 王家喜, 王少敏, 高华君, 高辉远. 低温弱光胁迫对日光温室栽培杏树光系统功能的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(3): 512-516.
- SUN Shan, ZHANG Litao, WANG Jiayi, WANG Shaomin, GAO Huajun, GAO Huiyuan. Effects of low temperature and weak light on the functions of photosystem in *Prunus armeniaca* L.leaves in solar greenhouse [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(3): 512-516.
- [28] FLORE J A, LAKSO A N. Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops[J]. *Horticultural Reviews*, 1989.
- [29] BERRY J, BJORKMAN O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants[J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1980, 31(1): 491-543.

欢迎订阅2019年《果农之友》

《果农之友》(科普性期刊)全彩版印刷,更直观、更逼真、更生动、更丰富!选发全新实用技术,荟萃果业科技信息,传播果业成功范例,引导果农发家致富。河南省一级科普期刊,河南省自然科学期刊二十佳提名期刊,曾获全国农业优秀期刊等荣誉称号,连续多年入选河南省农家书屋重点出版物推荐目录(最多时年增加发行量30万册)。被中国知网、万方数据、维普资讯等收录。月刊,大16开,56页码,每月1日出版,每期定价4元,全年48元,邮发代号:36-225。全国

各地邮局均可订阅,也可随时汇款至编辑部订阅。

地址:河南省郑州市未来路南端郑州果树研究所

邮编:450009

电话:0371-65330981(发行部)

65330925(编辑部)

65330949(广告部)

E-mail: guonongzhiyou@caas.cn

网址: www.guonongzhiyou.cn

