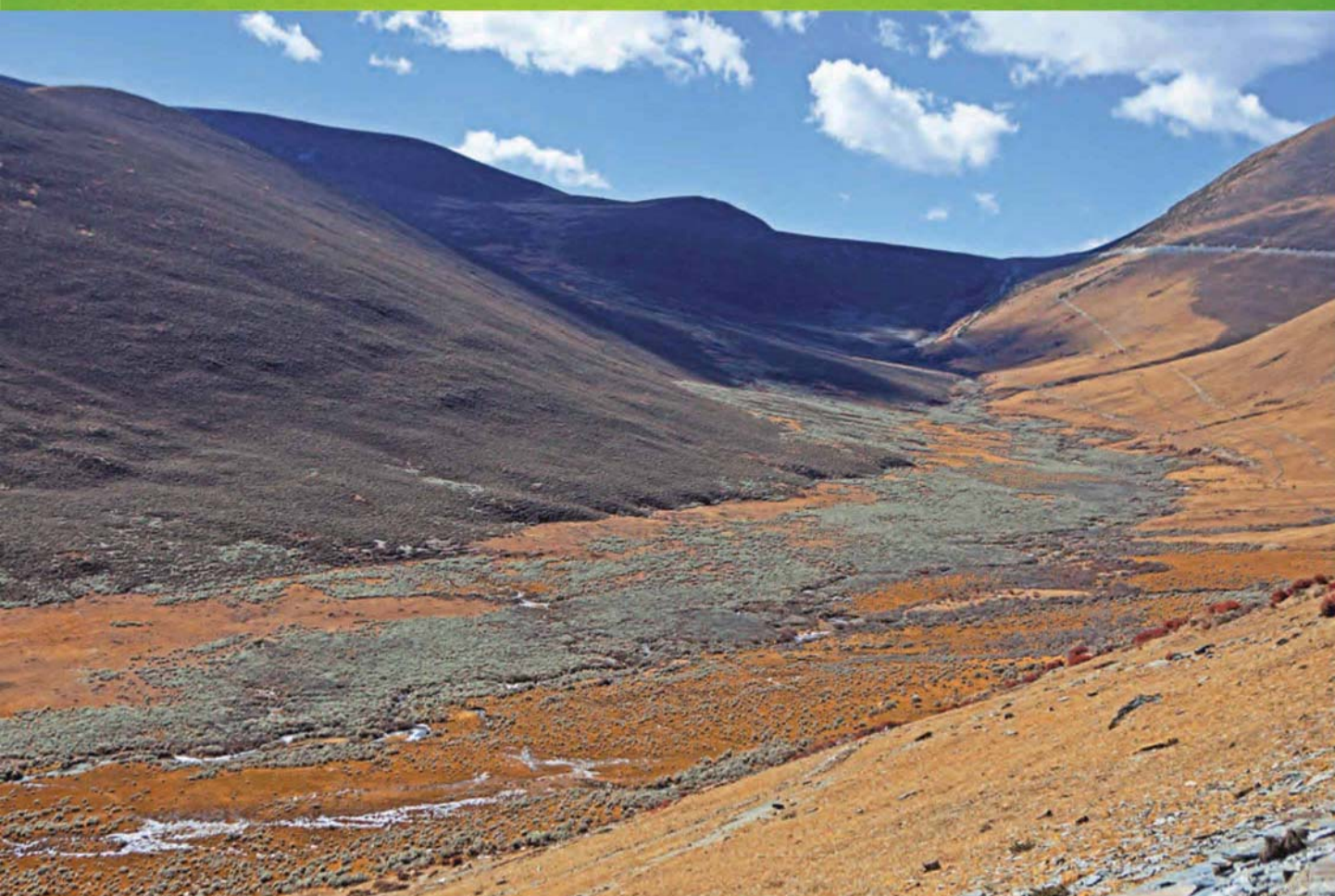


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 18 期 2013 年 9 月 (半月刊)

目 次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 美国农业生态学发展综述 黄国勤, Patrick E. McCullough (5449)
- 水足迹研究进展 马 晶, 彭 建 (5458)
- 江西省主要作物(稻、棉、油)生态经济系统综合分析评价 孙卫民, 欧一智, 黄国勤 (5467)
- 植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理 董 蕾, 李吉跃 (5477)
- 生态化学计量学特征及其应用研究进展 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等 (5484)
- 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 王轶浩, 耿养会, 黄仲华 (5493)
- 城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响 付芝红, 呼延佼奇, 李 锋, 等 (5500)
- 华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性 王宇涛, 李春妹, 李韶山 (5509)
- 沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性 施 翔, 刘会良, 张道远, 等 (5516)
- 水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等 (5523)
- 珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性 吴明开, 刘 海, 沈志君, 等 (5531)
- 不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应 杨雨玲, 李 伟, 陈伟洲, 等 (5538)
- 土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响 秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等 (5546)
- 免耕稻田氮肥运筹对土壤 NH_3 挥发及氮肥利用率的影响 马玉华, 刘 兵, 张枝盛, 等 (5556)
- 香梨两种树形净光合速率特征及影响因素 孙桂丽, 徐 敏, 李 疆, 等 (5565)
- 沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响 赵哈林, 曲 浩, 周瑞莲, 等 (5574)
- 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响 王红丽, 宋尚有, 张绪成, 等 (5580)
- 基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究 汪三树, 黄先智, 史东梅, 等 (5589)
- 不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响 陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等 (5599)
- 黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异 邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (5608)
- 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响 赵 彤, 闫 浩, 蒋跃利, 等 (5615)
- 林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响 郭子武, 俞文仙, 陈双林, 等 (5623)
- 降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响 王 旭, 闫玉春, 闫瑞瑞, 等 (5631)
- 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计 黄超超, 黄锦学, 熊德成, 等 (5636)
- 4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化 何春霞, 李吉跃, 孟 平, 等 (5644)
- 干旱荒漠区银白杨树干液流动态 张 俊, 李晓飞, 李建贵, 等 (5655)
- 模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响 刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 等 (5661)
- 金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用 闫帮国, 纪中华, 何光熊, 等 (5668)
- 温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较 张海燕, 王传宽, 王兴昌 (5675)
- 断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响 吴彦辉, 薛立新, 许自成, 等 (5686)
- 光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响 高文荣, 朱万龙, 孟丽华, 等 (5696)
- 绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响 王 芸, 李 正, 李 健, 等 (5704)

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应	张雪妮, 吕光辉, 杨晓东, 等 (5714)
广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征	温远光, 雷丽群, 朱宏光, 等 (5723)
戴云山黄山松群落与环境的关联	刘金福, 朱德煌, 兰思仁, 等 (5731)
四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系	王文君, 杨万勤, 谭 波, 等 (5737)
中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态	范跃新, 杨玉盛, 杨智杰, 等 (5751)
塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (5760)
鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征	戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等 (5768)
营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响	陈 纯, 李思嘉, 肖利娟, 等 (5777)
西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构	刘沙沙, 贾沁贤, 刘喜方, 等 (5785)
西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律	潘 影, 徐增让, 余成群, 等 (5794)
太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征	姚 昕, 朱广伟, 高 光, 等 (5802)
基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究	王传辉, 吴 立, 王心源, 等 (5808)
近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应	李正国, 杨 鹏, 唐华俊, 等 (5818)
鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应	谢冬明, 金国花, 周杨明, 等 (5828)
珠三角河网浮游植物生物量的时空特征	王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (5835)
南京市景观时空动态变化及其驱动力	贾宝全, 王 成, 邱尔发 (5848)
川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化	秦纪洪 王 琴 孙 辉 (5858)
城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例	周 健, 肖荣波, 庄长伟, 等 (5865)
基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究	范敬龙, 刘海龙, 雷加强, 等 (5874)
干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析	夏富强, 唐 宏, 杨德刚, 等 (5883)
海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例	魏 超, 叶属峰, 过仲阳, 等 (5893)
中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性	梁 君, 徐汉祥, 王伟定 (5905)
丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化	江志兵, 刘晶晶, 李宏亮, 等 (5917)
基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例	刘耕源, 杨志峰, 陈 彬, 等 (5926)
保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例	徐 飞, 蔡体久, 琚存勇, 等 (5935)
三江源牧户参与草地生态保护的意愿	李惠梅, 张安录, 王 珊, 等 (5943)
沈阳市降雨径流初期冲刷效应	李春林, 刘 淼, 胡远满, 等 (5952)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 514 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 59 * 2013-09	



封面图说: 川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地, 沟谷地带由于低平且水分较充足, 生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线, 以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统, 高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明, 易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关, 显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而, 这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201304130700

孙桂丽, 徐敏, 李疆, 梅闯. 香梨两种树形净光合速率特征及影响因素. 生态学报, 2013, 33(18): 5565-5573.

Sun G L Xu M, Li J, Mei C. Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5565-5573.

香梨两种树形净光合速率特征及影响因素

孙桂丽^{1,2,3,*}, 徐 敏¹, 李 疆^{1,3}, 梅 闯¹

(1. 新疆农业大学林学与园艺学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 干旱区林业生态与产业技术重点实验室, 乌鲁木齐 830052;
3. 新疆农业大学特色果树研究中心, 乌鲁木齐 830052)

摘要:以自然开心形和疏散分层形香梨树为试材,应用美国 Li-cor 公司生产的 Li-6400 光合作用测定系统测定其光合参数,分析了香梨两种不同树形叶片的光合特性以及叶片叶绿素含量、比叶重(*SLW*)与净光合速率(*Pn*)的关系,同时研究了气孔导度(*Gs*)、胞间 CO_2 浓度(*Ci*)、蒸腾速率(*Tr*)及其它因子对不同树形 *Pn* 的影响。结果表明:自然开心形和疏散分层形香梨树叶片 *Pn* 日变化呈不对称双峰曲线,14:00 左右出现光午休现象,且整个生长期疏散分层形香梨树叶片 *Pn* 峰值大于自然开心形,6 月份 *Pn* 最小,这与气孔的调节作用密切相关。疏散分层形 *Pn* 日变化在 11:00 和 15:30 出现高峰,自然开心形 *Pn* 日变化高峰出现在 11:00 和 17:00;同一品种同一时期的自然开心形树和疏散分层形树的叶绿素含量与其 *Pn* 值呈正相关, R^2 分别为 0.9438 和 0.8952;自然开心形的 *Pn* 与 *SLW* 的相关性高于疏散分层形;*Gs*、*Tr*、*RH* 与 *Pn* 呈正相关,与 *Ci*、*Cs* 和 *Pn* 呈负相关,且疏散分层形香梨树叶片的 *Pn* 与 *Gs*、*Tr* 和 *Cs* 的相关性均达到了极显著水平,与 *Ci*、*Ta*、*PAR* 和 *Hs* 均达到了显著水平,而在自然开心形中 *Pn* 与光合参数相关性不明显,这说明疏散分层形香梨树对影响光合作用的外界因素和内部因素的变化反应比自然开心形敏感。

关键词:树形; 光合速率; 香梨

Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear

SUN Guili^{1,2,3,*}, XU Min¹, LI Jiang^{1,3}, MEI Chuang¹

1 College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China

2 Key Laboratory at Universities of Education Department of Xinjiang Uygur Autonomous Region Urumqi 830052, China

3 Featured fruit tree research center of Xinjiang Agricultural University Urumqi 830052, China

Abstract: The objective of this study was to investigate the diurnal variation curves of the net photosynthetic rate (*Pn*) and relationship between diurnal changes of *Pn* and the impact factors in open center shape and delayed-open central leader system in Korla fragrant pear. Diurnal changes of *Pn* and effect of environmental factors (i.e. photosynthetic available radiation, temperature and relative humidity) and physiology factors (i.e. stomatal conductance, transpiration rate and intercellular CO_2 concentration) on *Pn* in leaves of Korla fragrant pear were measured using LI-6400 portable photosynthesis system. The relationship between *Pn* and environmental factors were analyzed by regression analysis and correlative analysis. In order to investigate the effects of tree shape on net photosynthetic rate, we analyzed the relationship between chlorophyll content, specific leaf weight, other photosynthetic parameters and *Pn* between delayed-open central leader system and open center shape in this study. The results showed that the *Pn* under two different tree shapes indicated a bimodal curve of the asymmetry, and the midday depression of photosynthesis phenomenon appeared at 14:00. During the full fruit period, the delayed-open central leader system tree had obviously higher net photosynthetic rate than the open center shape tree in each stage. This phenomenon might be double impacted by stomatal and non-stomatal factors. Diurnally, photosynthesis

基金项目:中国博士后基金;新疆自治区果树学开放课题;自治区科技重大专项课题(201130102-1);国家林业公益性行业科研专项(201004085-2);国家果树瓜类改良中心新疆分中心建设项目

收稿日期:2013-04-13; 修订日期:2013-07-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sxfgl@126.com

increased gradually with increasing light intensity and then decreased at noon. The peak of delayed-open central leader system tree leaves occurred at 11:00 and 15:30. The peak of open center shape tree leaves occurred at 11:00 and 17:00. The seasonal variation on P_n indicated the P_n is least in June in two shapes of Korla fragrant pear. The P_n increased with leaf chlorophyll (chl) content and specific leaf weight (SLW) increasing. There are positive relations, the correlation index of leaf chlorophyll (chl) content and P_n were 0.9438 and 0.8952 in two shapes of Korla fragrant pear. The photosynthetic pigment index of different kinds of tree shapes also had great differences. There were significant correlations between P_n and SLW in delayed-open central leader system and open center shape, but the later is higher than the former. Stomatal conductance (G_s), transpiration rate (Tr) and relative humidity (RH) increased in response to increasing P_n in all the treatments. Sample CO_2 concentration (C_s) and intercellular CO_2 concentration (C_i) decreased in response to decreasing P_n in all the treatments. Besides, the C_s , stomatal conductance (G_s), Tr , and P_n have reached highly significant at $P \leq 0.01$ in delayed-open central leader system. There were significant at $P \leq 0.05$ between C_i , air temperature (T_a), photosynthetically active radiation (PAR), RH and P_n in delayed-open central leader system. However, the relativity of photosynthetic parameters and P_n were un conspicuous in the open center shape tree, The findings demonstrate that delayed-open central leader system tree had obviously higher sensitivity to the influence factors of net photosynthetic rate than the open center shape tree in this study.

Key Words: tree shapes; net photosynthetic rate; Korla Fragrant Pear

库尔勒香梨因原产于新疆南部巴州库尔勒地区而得名,属于新疆梨(*Pyrus sinkiangensis* Yü),为新疆优良的地方品种,栽培历史长达 1500 多年,远销美国、东南亚、港、澳等国家和地区,成为当地果农重要的经济来源,在巴州经济发展中占有重要地位^[1-2]。树形是梨优质栽培的基础,合理的树形比放任不剪产量相差一倍至数十倍,但长期以来,关于梨树形的研究报道很少,有关香梨树形的更是屈指可数。树形与光合作用密切相关,其中净光合速率是表征果树光合作用大小的直接指标^[1,3-5],而净光合速率与树形及随树形变化的其它光合参数有密切关系^[6-9],故本研究通过测定香梨两种不同树形叶片的光合参数,分析比叶重、叶片叶绿素含量及其它因素与净光合速率的关系,阐明不同树形香梨叶片的光合特性,旨在筛选高光效的香梨树形应用于生产,以提高和延长香梨的有效光合作用期,为改善香梨栽培措施、科学管理、提高产量和品质提供理论依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验地点位于新疆巴州沙依东园艺场,地理坐标为:(41°44' N,85°59' E),海拔高度在 910m 左右。该地区属典型暖温带大陆性干旱荒漠气候,年平均气温 10.7—11.2 ℃,年均积温(≥ 10 ℃)4200 ℃以上,无霜期 170—227 d,年日照时数 2762.1—3186.3 h,年平均相对湿度 45.0%—50.3%,干燥度 39.6—63.3^[1-2]。供试材料为库尔勒香梨,试验树形为自然开心形和疏散分层形。自然开心形和疏散分层形均定植于 1999 年,自然条件下生长,管理水平中等,开花结果正常,无明显病虫害发生。自然开心形干高 1.3—1.6 m,冠径 3.0—3.5 m,树高 3.0—3.5 m;3—5 个主枝,延伸角度平缓,树体结构自然开张。疏层分层形干高 1.5—1.8 m,冠径 3.5—4.5 m,树高 4.0—4.5 m;中心干上有主枝 8—10 个,分 3—4 层排列,第 1 层主枝有 3—4 个,第 2 层有 2—3 个,第 3 层有 1—2 个,第 4 层有 1 个;主枝开张角度为 70°—80°。两种树形试验香梨树体生长指标详见表 1。

表 1 供试香梨生长情况调查表
Table 1 The questionnaire of growth condition for Korla Fragrant Pear

样本 Samples	干径 /cm Trunk diameter	树高/m Height of tree	冠径/m (东西×南北) Canopy diameter	主枝数量 ($d>5$ cm) Number of main branch	中长梢($L<15$ cm) Number of fruiting branches	株行距/m Wider spacing
A I	19.4	4.30	4.3×3.5	10	420	4×5
A II	16.9	4.25	4.0×3.6	9	405	4×5
A III	22	4.20	4.2×3.9	8	515	4×5
B I	16.6	3.55	3.7×4.2	5	259	4×5
B II	13.7	3.6	3.2×3.5	4	250	4×5
B III	17.23	2.9	4.2×3.9	4	291	4×5

A: 疏散分层形树; B: 自然开心形树

1.2 试验方法

光合参数测定: 试验设两个处理自然开心形树、疏散分层形树, 每个处理单株小区, 9 次重复 (每处理 3 株树, 每株树选 3 片成熟叶片, 挂牌标记)。光合日变化测定采用美国 Li-cor 公司生产的 Li-6400 光合作用测定系统, 于 2011 年的 5、6、7、8、9 月晴天条件下进行, 测定时间为北京时间 8:00—20:00, 每隔 1.5 h 测定 1 次。

叶绿素含量的测定参照邹琦^[10]的 80% 丙酮液法进行。两种处理不同部位随机采集 30 片健康成熟叶片, 采摘叶片尽量是光合测定或者与光合测定部位相近的叶片, 带回实验室进行离体分析。叶片比叶重的测定^[10-12]: 两种处理不同部位随机采集 30 片健康成熟叶片, 带回实验室, 用蒸馏水冲洗干净、晾干, 用美国 CID 公司制造的 CI-203 激光叶面积仪测定每片叶面积, 剪去叶柄, 用电子天平称出新鲜叶片重, 然后置入 80℃ 烘箱中烘干至恒重称重, 然后计算比叶重: 比叶重 = 总叶干重/总叶面积。

2 结果与分析

2.1 两种树形库尔勒香梨净光合速率日变化特征

通过分析比较自然开心形和疏散分层形香梨树果实膨大期叶片净光合速率, 发现不同月份, 净光合速率基本上均表现为不对称双峰曲线 (图 1), 但两种树形净光合速率曲线的尖削度、变化幅度不一样, 峰值大小、出现时间早晚也有一定差异。

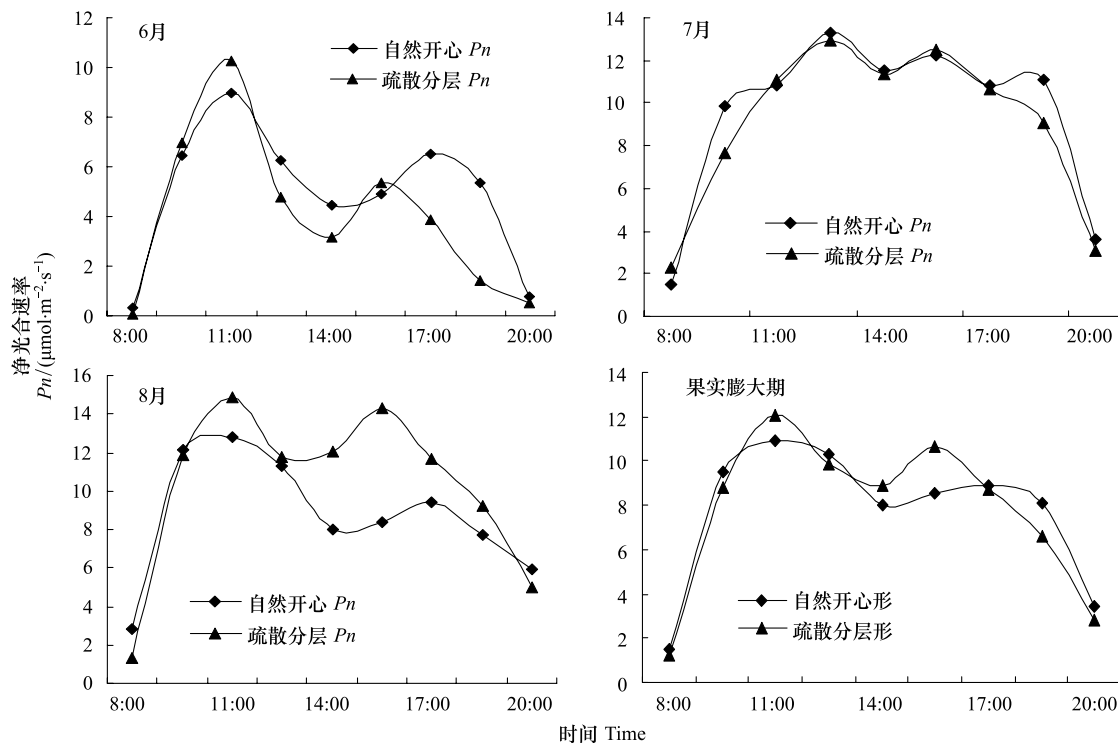


图 1 库尔勒香梨两种树形 6、7、8 月和果实膨大期净光合速率日变化

Fig.1 Net photosynthetic rate (P_n) diurnal changes of two tree shape at 6, 7, 8 months in Korla fragrant pear

从图 1 看出 6 月份两种树形净光合速率日变化均呈现不对称双峰曲线, 但其变化幅度表现一定差异, 自然开心形变化幅度小于疏散分层形, 第 2 次峰值出现的时间也不同。两种树形在 11:00 左右均出现净光合速率最大值, 自然开心形低于疏散分层形, 其值分别为 9.00 、 $10.26 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 自然开心形在 17:00 左右出现净光合速率第 2 次高峰, 晚于但其值高于疏散分层形, 为 $6.54 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 疏散分层形在 15:30 左右出现净光合速率最大值, 值为 $5.34 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。两种处理在 14:00 左右都出现了不同程度的下降趋势, 即“光合午休”现象。

在 7 月份两种树形的净光合速率日变化曲线较为接近, 其值差别不明显, 但是自然开心形呈现多峰变化, 疏散分层形出现明显的双峰变化。自然开心形和疏散分层形均在 12:30 左右净光合速率出现第 1 个峰值, 分别为 13.27 、 $12.94 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 其后缓慢下降, 在北京时间 14:00 左右出现“光合午休”现象。疏散分层形第 2 次峰值出现在 15:30 左右, 其值为 $12.47 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 自然开心形在 15:30 和 17:00 左右分别出现了两个小高峰, 净光合速率分别为 12.26 、 $11.13 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 这可能与自然开心形分层少, 枝叶茂密, 对外界环境响应较慢有一定关系, 具体原因有待进一步分析。

8 月份两种树形净光合速率日变化均呈现出不对称双峰曲线, 但其变化幅度也表现一定差异, 自然开心形变化幅度小于疏散分层形, 其双峰曲线变化比较平缓, 且第 2 次峰值出现的时间也不同。自然开心形和疏散分层形两种树形的净光合速率值在 11:00 左右均出现最大值, 其值分别为 12.84 、 $14.83 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。第 2 次峰值疏散分层形出现在 15:30 左右, 其值为 14.26

$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,自然开心形在 17:00 左右,其值为 $9.44\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,比疏散分层形晚一个半小时出现。自然开心形香梨树两次净光合速率峰值差别较大,而疏散分层形差别不大。

在整个果实膨大期,两种树形净光合速率日变化均呈现出不对称双峰曲线,但其变化幅度表现一定差异,自然开心形变化幅度小于疏散分层形,其双峰曲线变化比较平缓,且第 2 次峰值出现的时间也不同。两种树形峰值大小也有很大差异,且第 2 次峰值出现的时间也不同。自然开心形、疏散分层形在 11:00 左右均出现净光合速率最大值,分别为 10.90 、 $12.06\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;自然开心形在 17:00 左右出现净光合速率第 2 次高峰,为 $8.93\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,疏散分层形在 15:30 左右均出现净光合速率最大值,为 $10.69\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。两种处理在 14:00 左右都出现了不同程度的下降趋势,即“光合午休”现象。

2.2 两种树形库尔勒香梨净光合速率季节特征

通过分析比较自然开心形和疏散分层形香梨树不同月份叶片净光合速率日变化,发现不同月份,其净光合速率基本上均表现为不对称双峰曲线(图 2,图 3),但两种树形净光合速率曲线的尖削度、变化幅度不一样,峰值大小、出现时间早晚也有一定差异。

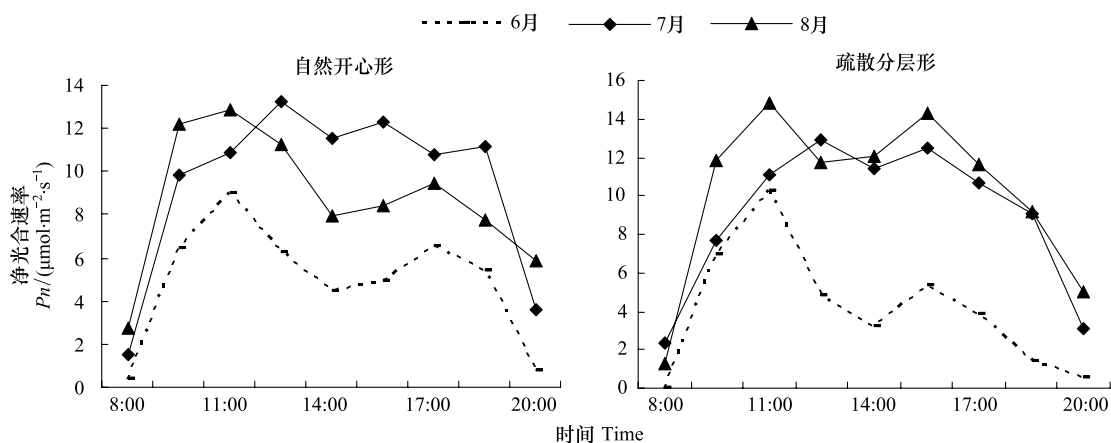


图 2 库尔勒香梨两种树形净光合速率日变化

Fig.2 Net photosynthetic rate (P_n) diurnal changes of two tree shape in Korla fragrant pear

从图 2 可以看出,两种树形香梨树叶片净光合速率 7、8 月份均高于 6 月份^[13-14],但增加幅度有所不同。自然开心形香梨树 6 月份净光合速率与 7、8 月份差别较小,而疏散分层形增加幅度较大,且在同一个月份其净光合速率双峰曲线二者也有相同的变化趋势。

从图 3 可以看出,在一个年生长周期,自然开心形和疏散分层形两种树形香梨树 5 月份净光合速率均达到一次小高峰,其值分别为 $9.00\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $9.63\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,原因是由于春季植物生理机能旺盛、温度、湿度适宜、光合能力强所致^[15-17],6 月净光合速率降低,则可能是由于温度过高、蒸腾速率过盛,气孔阻力过大引起的^[18-19]。随着气温变化,光合能力增强,净光合速率在 8 月份左右又出现第 2 次高峰^[20],其值分别为 $11.33\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $15.04\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。8 月份以后随着气温降低,叶片老化,净光合速率下降^[21-24]。整个生长期,疏散分层形净光合速率均大于自然开心形,两次高峰期峰值,尤其 8 月份的第 2 次高峰,疏散分层形净光合速率显著高于自然开心形,其差达到 $3.69\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

2.3 两种树形库尔勒香梨叶片叶绿素含量、比叶重与净光合速率关系

2.3.1 库尔勒香梨叶片叶绿素含量与净光合速率关系

通过分析两种树形光合色素含量及净光合速率与叶片叶绿素含量的关系,发现自然开心形和疏散分层形香梨树叶片的五种光合色素指标之间表现出差异(表 2)。

由表 2 可知,疏散分层形的总叶绿素含量极显著大于自然开心形,其总叶绿素含量均值是盛果开心形树的 1.2 倍。疏散分层形的叶绿素 a (Chla) 极显著大于自然开心形,值为 $25.56\text{mg}/\text{cm}^2$,两种树形之间的类胡萝卜素 (Car) 有显著差异,但相对含量

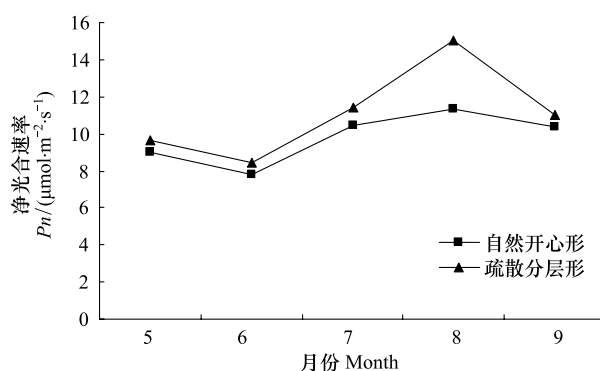


图 3 库尔勒香梨两种树形净光合速率月变化

Fig.3 Net photosynthetic rate month changes of two tree shape in Korla fragrant pear

较少。两种树形叶绿素 b(Chlb)、Chla/Chlb 之间没有显著差异。

表 2 库尔勒香梨两种树形光合色素含量比较(平均值±标准误差)

Table 2 Leaf Photosynthetic pigment content of two tree shape in Korla fragrant pear (mean±SE)					
树形 Tree shape	Chlorophyll a (Chla)	Chlorophyll b (Chlb)	Carotenoids(Car)	Chla+Chlb	Chla/Chlb
自然开心形 Open center shape	15.37±0.52 Bb	10.51±1.73 Aa	2.11±0.40 Bb	25.88±1.53 Bb	1.54±0.25 Aa
疏散分层形 Delayed-open central leader system	25.56±1.11 Aa	13.40±0.54 Aa	3.64±0.07 Aa	38.96±1.62 Aa	1.91±0.03 Aa

同一列中不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

香梨叶片净光合速率随叶龄增加出现“低—高一低”的规律,叶绿素含量变化与净光合速率的变化规律相一致,发育初期叶片的叶绿素含量较低,随着叶片的发育,叶绿素含量逐渐增加,30—50d 叶龄的叶片,其叶绿素含量最高。经直线相关与回归分析表明,两种树形香梨叶片叶绿素含量与净光合速率间均存在极显著的相关关系,相关系数达 0.8952—0.9488(图 4),香梨叶片的净光合速率值随着叶片的叶绿素含量提高而升高,呈正相关水平。

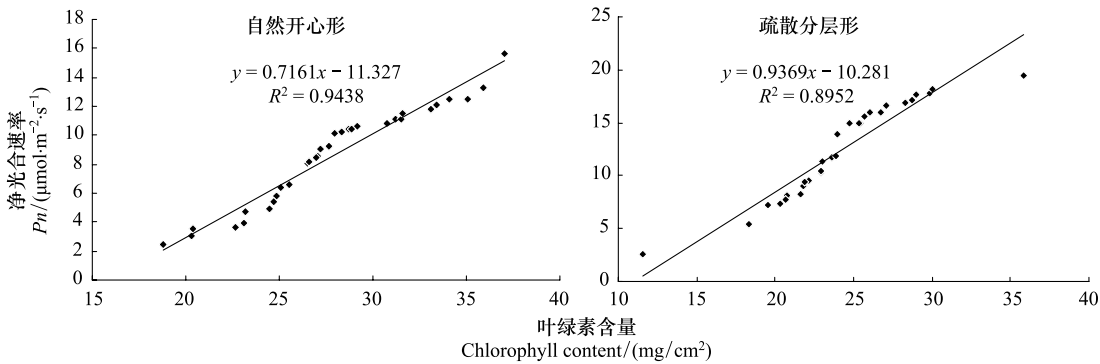


图 4 自然开心形、疏散分层形树的叶绿素含量与净光合速率的关系

Fig.4 Relationship between leaf chlorophyll content and net photosynthetic rate of open center shape and delayed-open central leader system in Korla fragrant pear

2.3.2 库尔勒香梨树叶片比叶重与净光合速率的关系

通过分析两种树形比叶重及净光合速率与比叶重的关系,发现自然开心形和疏散分层形香梨树叶片的比叶重均值无显著差异(表 3),但疏散分层形的叶面积显著大于自然开心形,疏散分层形的叶面积均值是自然开心形香梨树的 1.2 倍,疏散分层形的叶干重显著大于自然开心形,而两种树形的叶鲜重之间没有差异。

表 3 库尔勒香梨两种树形的叶片指标(平均值±标准误差)

Table 3 Leaf index of two tree shapes for Korla Fragrant Pear (mean±SE)				
树形	叶面积 Leaf area	叶鲜重 Leaf fresh weight	叶干重 Leaf dry weight	比叶重 Specific leaf weight
自然开心形	45.91±0.87 Bb	0.93±0.07 Aa	0.33±0.02 Ab	7.22±0.35 Aa
疏散分层形	58.56±0.50 Aa	1.01±0.02 Aa	0.43±0.01 Aa	7.36±0.12 Aa

同一列中不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

本研究发现香梨树叶片的净光合速率随着比叶重的变化而变化,两种树形的净光合速率和比叶重呈正相关(图 5)。自然开心形的净光合速率与比叶重的相关性很高,相关系数 R^2 达到了 0.943,疏散分层形净光合速率与比叶重的相关系数 R^2 值为 0.844。说明随着香梨植株的不断生长,其叶面积在不断扩大,干物质积累增多,叶片光合能力就逐渐增强。

2.4 库尔勒香梨净光合速率与其它因素的关系

前面分析了两种树形内部因素:叶绿素含量、比叶重与净光合速率的关系,发现它们之间呈正相关关系,为了解外界因素对净光合速率的影响,本研究通过 Pearson 相关系数、Kendall 秩相关系数和 Spearman 相关系数分析影响两种树形净光合速率与外界因素的关系,结果见表 4。

从表 4 可以发现,无论哪种相关系数,净光合速率与其它因素的相关性均是疏散分层形香梨树叶片大于自然开心形,这可能与疏散分层形本身的结构特点和受光能力大小有关^[25-27],具体原因有待进一步分析。其中对香梨树净光合速率(P_n)影响较显著的有气孔导度(G_s)、蒸腾速率(Tr)和大气 CO_2 浓度(C_s)。疏散分层形香梨树叶片的净光合速率与 G_s 、 Tr 和 C_s 的相关性均

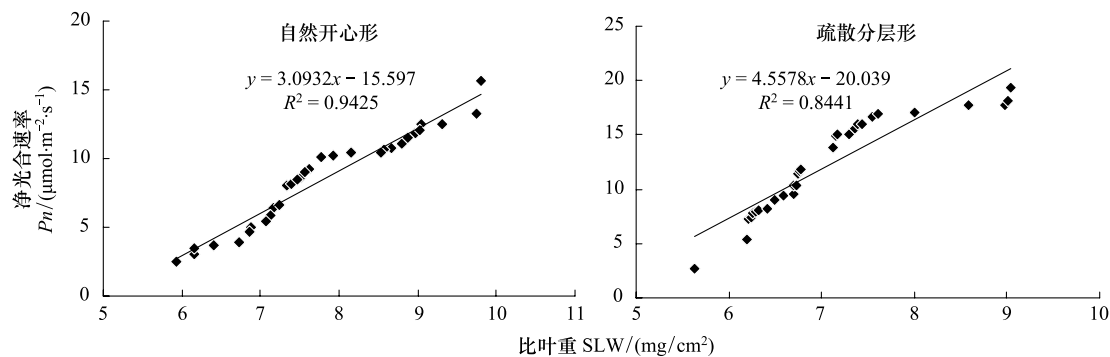


图5 自然开心形、疏散分层形树的比叶重与净光合速率的关系

Fig.5 Relationship between specific leaf weight and net photosynthetic rate of open center shape and delayed-open central leader system in Korla fragrant pear

达到了极显著水平(<0.01),与胞间 CO_2 浓度 (C_i)、大气温度 (T_a)、光合有效辐射 (PAR) 和相对湿度 (RH) 均达到了显著水平 (<0.05)。自然开心形香梨树叶片的 P_n 与 C_s 的相关性达到极显著水平,与 G_s 的相关性达到了显著水平,与其它因素的相关性均为达到显著水平。这说明疏散分层形香梨树对影响光合作用的外界因素和内部因素的变化反应比较敏感,而自然开心形相对比较迟钝。

表4 库尔勒香梨两种树形光合参数之间的相关性

Table 4 The correlation coefficient between photosynthetic parameters of two tree shapes for Korla Fragrant Pear								
Pearson 相关系数	P_n	Tr	G_s	C_i	T_a	C_s	PAR	RH
自然开心形 P_n	1.000	0.362 *	0.300 *	-0.217	0.152	-0.180	-0.023	0.108
疏散分层形 P_n	1.000	0.559 **	0.591 **	-0.370 *	-0.365 *	-0.768 **	0.370 *	0.311 *
Kendall 秩相关系数	P_n	Tr	G_s	C_i	T_a	C_s	PAR	RH
Kendall' correlation coefficient								
自然开心形 P_n	1.000	0.199	0.269 **	-0.112	0.008	-0.343 **	-0.003	0.029
疏散分层形 P_n	1.000	0.370 **	0.372 **	-0.278 *	-0.240 *	-0.618 **	0.206 *	0.316 **
Spearman 相关系数	P_n	Tr	G_s	C_i	T_a	C_s	PAR	RH
Spearman correlation coefficient								
自然开心形 P_n	1.000	0.290	0.359 *	-0.151	-0.002	-0.442 **	-0.016	0.038
疏散分层形 P_n	1.000	0.569 **	0.558 **	-0.310 *	-0.341 *	-0.818 **	0.337 *	0.479 **

P_n : net photosynthetic rate, Tr : transpiration rate, G_s : stomatal conductance, C_i : intercellular CO_2 concentration, T_a : air tempreture, C_s : sample CO_2 concentration, PAR : photosynthetically active radiation, RH : relative humidity; * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关, ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关

2.4.1 库尔勒香梨净光合速率与光合有效辐射、 CO_2 浓度的关系

通过光响应曲线和 CO_2 响应曲线分析两种树形香梨净光合速率与 PAR 与 C_s 的关系^[28](图 6, 图 7)。

由图 6 可知,两种树形库尔勒香梨叶片对光的利用率随光强的增加而提高,当光强达到一定值后,净光合速率基本上稳定在一定水平,即达到光饱和。在 $200\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 下,光响应曲线的变化趋势呈直线上升,在 $800\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以后叶片的净光合速率值随 PAR 增大趋势逐渐放缓,达到光饱和点后,净光合速率不再升高,且有下降趋势,说明产生了光抑制现象。自然开心形和疏散分层形的光补偿点见分别是 28.75 、 $33.22\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

由图 7 可知,两种树形 P_n - CO_2 浓度响应曲线与 P_n - PAR 响应曲线具有一定的相似性,在始阶段,随着 CO_2 浓度升高,净光合速率上升较快, CO_2 浓度大小是光合作用的主要限制因素,此时羧化效率主要受 Rubisoc 活性及活化 Rubisoc 量的限制。当 CO_2 浓度高于 $500\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,其对应的净光合速率上升逐渐平缓。自然开心形和疏散分层形的 CO_2 补偿点分别是 63.55 、 $57.04\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,在 CO_2 浓度达到 $1165\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时(即 CO_2 饱和点),疏散分层形的净光合速率达到最大值 $23.67\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。而自然开心形达到最大净光合速率的饱和 CO_2 浓度为 $1135\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,对应净光合速率值为 $29.34\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。通常在 CO_2 饱和阶段, CO_2 浓度已不再是光合作用的限制因子,而 CO_2 受体的量,即 $RuBP$ 的再生速率则成为影响光合的限制因素。

3 结论与讨论

3.1 两种树形净光合速率特征

3.1.1 两种树形库尔勒香梨净光合速率日变化特征

自然开心形和疏散分层形香梨树叶片净光合速率日变化呈不对称双峰曲线;疏散分层形香梨树叶片净光合速率最高峰大

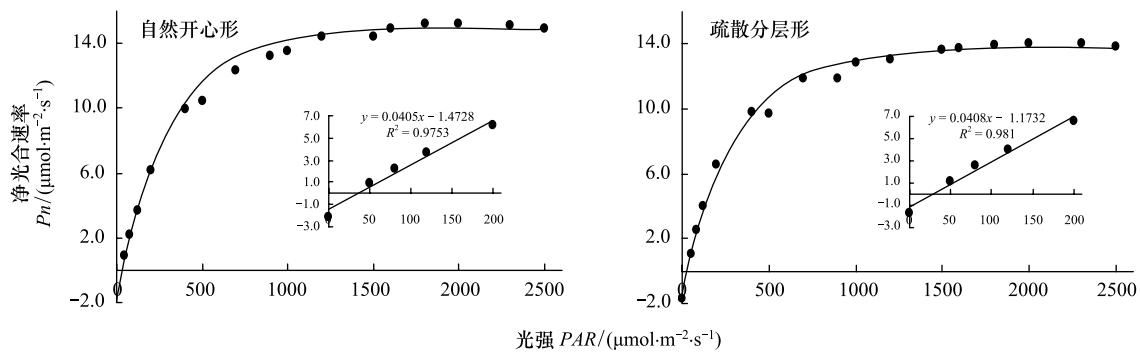
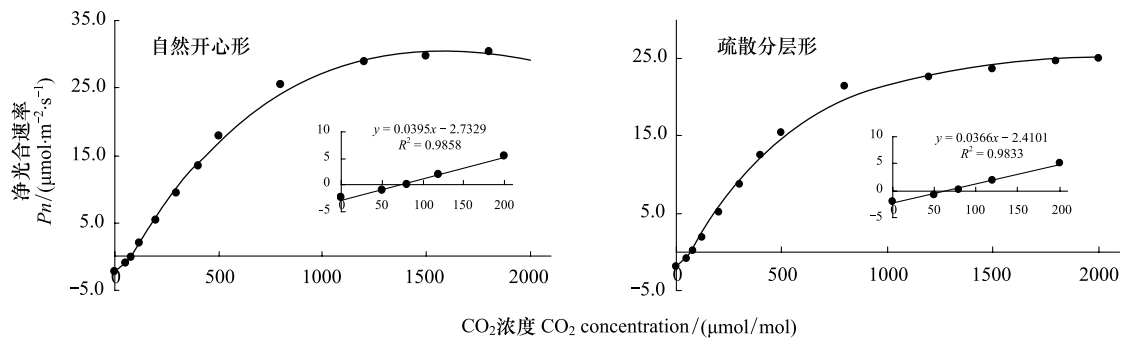


图6 库尔勒香梨自然开心形和疏散分层形光响应曲线

Fig.6 Light response curve of open center shape and delayed-open central leader shape for Korla Fragrant Pear

图7 库尔勒香梨和疏散分层形 CO₂ 浓度响应曲线Fig.7 Responses of the net photosynthetic rate (P_n) to different CO₂ concentration of open center shape and delayed-open central leader shape for Korla Fragrant Pear

于自然开心形,这可能由于疏散分层形香梨树树体结构分层明显,受光能力强,对外界因素变化反应敏感所致,具体原因有待进一步验证。

3.1.2 两种树形库尔勒香梨净光合速率季节特征

两种树形叶片净光合速率季节变化呈现 V 字形变化,5—7 月为正 V 字形,7—9 月为倒 V 字形;两种树形 7、8 月份净光合速率高于 6 月份,且疏散分层形净光合速率均大于自然开心形;原因可能与树形本身的结构特点、受光能力有关。香梨树叶片光合作用净光合速率是随着生长时期的不同而变化^[13-14]。从一个年生长周期来说,开花坐果期香梨(4—5 月)净光合速率达到第 1 次高峰,原因是由于春季植物生理机能旺盛、温度、湿度适宜、光合能力强所致,6、7 月净光合速率降低,则是由于温度过高、蒸腾速率过盛,气孔阻力过大引起的。以后随着气温变化,光合能力增强,净光合速率在 8 月份左右出现第 2 次高峰,8 月份以后随着气温降低,叶片老化,净光合速率下降^[1],7、8 月份两种树形净光合速率均高于 6 月份,原因是 7、8 月份随着光合有效辐射增强及周围温度、湿度的变化达到了光合作用的最适条件。

3.2 两种树形库尔勒香梨净光合速率影响因素

3.2.1 两种树形库尔勒香梨叶片叶绿素含量与净光合速率关系

疏散分层形的香梨树叶片总叶绿素含量极显著大于自然开心形,同一品种同一时期的自然开心形树和疏散分层形树的叶绿素含量与其净光合速率值呈正相关。 cha/chb 值大时,光合速率较高^[29-33]。本研究表明果树的光合作用与光合色素含量密切相关,常常随着色素含量的增加,植物的光合作用效率逐渐提高。由于 Chla、Chlb 在植物光合作用进程中的分工差异,分析认为疏散分层形的 Chla 直接被光能激发的分子较多,参与光化学反应的分子也较多,有利于光合效率的提高^[29,33],而自然开心形相对较弱。

3.2.2 两种树形库尔勒香梨树叶片比叶重与净光合速率的关系

疏散分层形的叶面积极显著大于自然开心形,自然开心形香梨树净光合速率与比叶重的相关性高于疏散分层形。比叶重(SLW)反映植物的光合碳同化的能力^[31,33]。通常认为叶片越厚、叶绿素含量越高、栅栏组织越发达、叶片含氮量和可溶性蛋白质含量越高,比叶重越大, $RUBP$ 羧化酶活性越高,并能导致气孔导度的提高,因而提高了植物的净光合速率^[29,31],这和本试验结果相一致。

3.2.3 两种树形库尔勒香梨净光合速率与其它影响因素的关系

疏散分层形香梨树对影响光合作用的外界因素和内部因素的变化反应比自然开心形敏感。疏散分层形香梨树叶片的净光合速率与 G_s 、 T_r 和 C_s 的相关性均达到了极显著水平,与 C_i 、 T_a 、 PAR 和 RH 均达到了显著水平,自然开心形香梨树叶片的 P_n 与 C_s 的相关性达到极显著水平,与 G_s 的相关性达到了显著水平,与其它因素的相关性均为达到显著水平。

两种树形库尔勒香梨叶片对光和 CO_2 的利用率随光强和 CO_2 浓度的增加而提高,当光强和 CO_2 浓度达到一定值后,净光合速率基本上稳定在一定水平。在同一时期不同树形叶片对光 CO_2 的利用率的利用能力也有所不同。相比之下疏散分层形对光的利用范围较宽,并且对强光的适应能力更好,自然开心形次之,自然开心形的光补偿点稍低,说明其对弱光的适应能力较好。

疏散分层形整形修剪,在光合利用效率方面优于自然开心形,并且对影响光合作用因素的变化反应比自然开心形敏感,具体原因有待进一步分析。

References:

- [1] Mei C, Qin W M, Zare M, Yang Z, Li J. Preliminary study of photosynthetic characteristics on Korla Fragrant Pear. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2011, 48(12): 2234-2239.
- [2] Gao Q M, Li J, Li Y. Literature review of researches on 'Kuerle Sweet Pear'. *Economic Forest Researches*, 2005, 23(1): 79-82.
- [3] Cheng L L, Luo X S, Yang X H. A study on diurnal changes of photosynthetic rate in leaves of apple trees in the field. *Acta Horticulturae Sinica*, 1992, 19(2): 111-116.
- [4] Gao Z Q, Feng S Z, Zhang X C, Cheng J J. The simulation of leaf net photosynthetic rates in different radiation in apple canopy. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(4): 1037-1044.
- [5] Wang Q X, Han M Y, Zhao C P, Zhang F F, Wang A Z. Photosynthetic characteristics of different peach tree shapes. *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*, 2009, 37(4): 45-50.
- [6] Zhao J. The Characteristic of Canopy Structure and Light Distribution in Three Tree Systems of Sunhwang Pear [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2010.
- [7] Yue Y L, Wei Q P, Zhang J X, Wang X W, Liu J, Zhang Q. Relationship between the distribution of relative light intensity and fruit quality of trellis-trained 'hwangkumbae'. *Acta Horticulturae Sinica*, 2008, 35(5): 625-630.
- [8] Liu Z C, Bao D E. Relationship between net photosynthetic rate and its physio-ecological factors in 'Jinguang' Plum. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(3): 564-568.
- [9] Ding Z E, Xu Y B, Liu S H, Zhou X F, Chen H M. Photosynthetic and transpiration characteristics of 6 cultivars in pomegranate. *Nonwood Forest Research*, 2008, 26(1): 15-19.
- [10] Zou Q. *Plant Physiology. Experimental Guidance*. 1st ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 62-72.
- [11] Pan R C. *Plant Physiology*. 5th ed. Beijing: Higher Education Press, 2004: 57-62.
- [12] He C X, Li J Y, Zhang Y X, Zheng Q S, Xie B, Ding Y T. Differences in leaf mass per area, photosynthetic pigments and $\delta^{13}C$ by orientation and crown position in five greening tree species. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(2): 134-143.
- [13] Lin M J, Wang Z L. Studies on photosynthesis characteristic in two pears varieties. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2007, 22(S2): 44-47.
- [14] Zhang Q, Zhang Y X, Chen Y J. Studies on the photosynthetic characteristics of Xiangli pear trees. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2006, 29(6): 29-32.
- [15] Lv J L, Chen R K, Zhang M Q, Li C M, Liao J F. Seasonal change of the net photosynthesis rate, chlorophyll content and specific weight of leaf of sugarcane and their relationships. *Journal of Fujian Agricultural University: Natural Science*, 1998, 27(3): 285-290.
- [16] Ou L J, Chen B, Zou X X. Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(8): 2612-2619.
- [17] Xu D Q. *Photosynthetic Efficiency*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2002: 1-2.
- [18] Guo Y P. Study on the net photosynthesis rate characteristic and chlorophyll content of 'Junzao' jujube leaves. *Northern Horticulture*, 2011, (14): 33-34.
- [19] Sun X, Chai Z P, Jiang P A. Effects on diurnal variation of photosynthetic characteristics of red Fuji apples with water and nitrogen in the South of Xinjiang. *Northern Fruits*, 2010, (1): 3-4.
- [20] Wang Q X. Relationship between Photosynthetic Characteristics and Yield and Quality in Different Shapes for Peach [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2009.
- [21] El-Sharkawy E, Hesketh J. Photosynthesis among species in relation to characteristics of leaf anatomy and CO_2 diffusion resistance. *Crop Science*, 1965, 5(6): 517-521.
- [22] Li X M, Liu X Q, Tu J H, Yang F C, Qin Z Q. The Configuration of Canopy, and the Distribution of Yield and the Difference of Fruit Quality of Different Tree Form in Pear. *Chinese Agricultural Science Bulletin*. 2009, 25(23): 323-326.
- [23] Chen H R, Chen Y Y, Gao A P, Ni Z G, Deng S S, Zhu M, Xie D H, Long Y Q, Zhang F M. Study on relationship between chlorophyll, specific leaf weight and net photosynthetic rate of Mango. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 23(6): 1848-1850.
- [24] Wang X T, Li Y M, Wang Y Z. Studies on Photosynthetic Characteristics of Different Cultivars and Affecting Factors of Pear. *Journal of Shandong Forestry Science and Technology*, 2007, 169(2): 11-13.
- [25] Li J, Guo X P, Zhu Q K. Study on correlation of transpiration, photosynthesis and water use efficiency with soil water contents of fruit trees.

Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(4):302-308.

- [26] Sun M, Lv D G, Liu W S. Advances in research on photosynthesis of apricot. Journal of Fruit Science, 2009, 26(6): 878-885.
- [27] Cui P Q, Jiang W B, Weng M L, Zhang B B, Mao N N. Pigment Contents and Net Photosynthetic Rates of Leaves in Purple-leaf Plum Seedling under Shading. Acta Botanica. Boreali.-Occidentalia.Sinica. 2010, 30(11): 2286-2292.
- [28] Mo X L. The Research on the Photosynthetic Characteristics of Different Sand Pear Cultivars [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2006.
- [29] Lang Y, Zhang G C, Zhang Z K, Liu S S, Liu D H, Hu X L. Light response of photosynthesis and its simulation in leaves of *Prunus sibirica* L. under different soil water conditions. Acta Ecologica Sinica, 2011 31(16): 4499-4508.
- [30] Cui X G. The comparative between chlorophyll content and photosynthetic characteristics of *Prunus persica* L. in three different environmental conditions. Chinese Horticulture Abstracts, 2011(4):33-63.
- [31] Zheng S X, Shangguan Z P. Photosynthetic characteristics and their relationships with leaf nitrogen content and leaf mass per area in different plant functional types. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(1): 171-181.
- [32] Gao Z Q, Zhao C X, Zhang X C, Feng S Z. The simulation of three-dimensional canopy net photosynthetic rate of apple tree. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(21): 6688-6694.
- [33] Gao L, Yang J, Liu R X. Effects of soil moisture levels on photosynthesis, transpiration, and moisture use efficiency of female and male plants of *Hippophae rhamnoides* ssp. sinensis. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 6025-6034.

参考文献:

- [1] 梅闯, 覃伟铭, 木合塔尔·扎热, 杨振, 李疆. 库尔勒香梨光合特性的初步研究. 新疆农业科学, 2011, 48(12): 2234-2239.
- [2] 高启明, 李疆, 李阳. 库尔勒香梨研究进展. 经济林研究, 2005, 23(1): 79-82.
- [3] 程来亮, 罗新书, 杨兴洪. 田间苹果叶片光合速率日变化的研究. 园艺学报, 1992, 19(2): 111-116.
- [4] 高照全, 冯社章, 张显川, 程建军. 不同辐射条件下苹果叶片净光合速率模拟. 生态学报, 2012, 32(4): 1037-1044.
- [5] 王秋晓, 韩明玉, 赵彩平, 张芳芳, 王安柱. 桃不同树形光合特性的研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(4): 45-50.
- [6] 赵瑾. 鲜黄梨3种不同树形树冠结构特征与光照分布的研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
- [7] 岳玉苓, 魏钦平, 张继祥, 王小伟, 刘军, 张强. 黄金梨棚架树体结构相对光照强度与果实品质的关系. 园艺学报, 2008, 35(5): 625-630.
- [8] 刘遵春, 包东娥. ‘金光杏梅’叶片净光合速率与生理生态因子的关系. 西北植物学报, 2008, 28(3): 564-568.
- [9] 丁之恩, 徐迎碧, 刘韶, 周先锋, 陈红梅. 6个石榴品种的光合和蒸腾特性. 经济林研究, 2008, 26(1): 15-19.
- [10] 邹琦. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社(第1版), 2000: 62-72.
- [11] 潘瑞炽. 植物生理学(第五版). 北京: 高等教育出版社, 2004: 57-62.
- [12] 何春霞, 李吉跃, 张燕香, 郑泉水, 谢博, 丁映婷. 5种绿化树种叶片比叶重、光合色素含量和 $\delta^{13}\text{C}$ 的开度与方位差异. 植物生态学报, 2010, 34(2): 134-143.
- [13] 林敏娟, 王振磊. 库尔勒香梨和新梨七号光合特性的研究. 华北农学报, 2007, 22(增刊): 44-47.
- [14] 张琦, 张玉星, 陈玉娟. 库尔勒香梨光合特性的研究. 河北农业大学学报, 2006, 29(6): 29-32.
- [15] 吕建林, 陈如凯, 张木清, 李才明, 廖建峰. 甘蔗净光合速率、叶绿素和比叶重的季节变化及其关系. 福建农业大学学报, 1998, 27(3): 285-290.
- [16] 欧立军, 陈波, 邹学校. 干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响. 生态学报, 2012, 32(8): 2612-2619.
- [17] 许大全. 光合作用效率. 上海: 上海科学技术出版社, 2002: 1-2.
- [18] 郭艺鹏. 骏枣叶片光合速率及叶绿素变化研究. 北方园艺, 2011, (14): 33-34.
- [19] 孙霞, 柴仲平, 蒋平安. 水、氮对南疆‘红富士’苹果光合特性日变化的影响. 北方果树, 2010, (1): 3-4.
- [20] 王秋晓. 桃树两种树形的光合特性与产量品质关系的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- [22] 李先明, 刘先琴, 涂俊凡, 杨夫臣, 秦仲麒. 梨不同树形的结构特征、产量分布及果实品质差异. 中国农学通报, 2009, 25(23): 323-326.
- [24] 王晓婷, 李永梅, 王永章. 不同梨品种叶片光合特性及其影响因素研究. 山东林业科技, 2007, 169(2): 11-13.
- [25] 李洁, 郭小平, 朱清科. 果树蒸腾光合及水分利用率与土壤含水量关系研究. 水土保持研究, 2007, 14(4): 302-308.
- [26] 孙猛, 吕德国, 刘威生. 杏属植物光合作用研究进展. 果树学报, 2009, 26(6): 878-885.
- [27] 崔培强, 姜卫兵, 翁忙玲, 张斌斌, 毛妮妮. 遮荫对紫叶李幼苗叶片色素含量及光合速率的影响. 西北植物学报, 2010, 30(11): 2286-2292.
- [28] 莫新禄. 不同砂梨品种的光合特性比较研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2006.
- [29] 郎莹, 张光灿, 张征坤, 刘顺生, 刘德虎, 胡小兰. 不同土壤水分下山杏光合作用光响应过程及其模拟. 生态学报, 2011, 31(16): 4499-4508.
- [30] 崔兴国. 3种生境下碧桃的叶绿素含量及光合特性比较. 中国园艺文摘, 2011, 27(4): 33-33, 63-63.
- [31] 郑淑霞, 上官周平. 不同功能型植物光合特性及其与叶氮含量、比叶重的关系. 生态学报, 2007, 27(1): 171-181.
- [32] 高照全, 赵晨霞, 张显川, 冯社章. 苹果三维树冠的净光合速率分布模拟. 生态学报, 2012, 32(21): 6688-6694.
- [33] 高丽, 杨劫, 刘瑞香. 不同土壤水分条件下中国沙棘雌雄株光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征. 生态学报, 2009, 29(11): 6025-6034.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.18 Sep. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Development of agroecology in USA	HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)
Research progress on water footprint	MA Jing, PENG Jian (5458)
Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China	SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)
Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality	DONG Lei, LI Jiyue (5477)
Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications	ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484)
Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)
Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas	FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)
Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China	WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)
The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species <i>Eremosparton songoricum</i> (litv.) Vass.(Fabaceae)	SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)
Competitive effect of <i>Pistia stratiotes</i> to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients	SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)
Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants <i>Bletilla striata</i>	WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)
Photosynthetic responses to Solar UV radiation of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> cultured under different temperatures and CO ₂ concentrations	YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)
The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field	QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)
Effects of nitrogen management on NH ₃ volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields	MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)
Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear	SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)
Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of <i>Agriophyllum squarrosum</i> seedlings	ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)
Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China	WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)
Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method	WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)
Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under <i>Phyllostachy praecox</i> stands	CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)
Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully region, China	XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)
Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area	ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)
Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in <i>Phyllostachys praecox</i> stand	GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)
Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)
Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method	HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636)
Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species	HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)
Sap flow dynamics of <i>Populus alba</i> L.× <i>P.talassica</i> plantation in arid desert area	ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jiangui, et al (5655)
Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition	LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)
The effects of leaf stoichiometric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China	YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)
Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species	ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)
Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco	WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)
Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female <i>Apodemus chevrieri</i>	GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)
Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of <i>Litopenaeus vannamei</i>	WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)

- Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
- Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi WEN Yuanguang, LEI Liquan, ZHU Hongguang, et al (5723)
- Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
- The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
- Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
- The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
- A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
- Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
- The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
- Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
- Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
- RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
- Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huajun, et al (5818)
- Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
- Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
- Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
- Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
- The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
- Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
- Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
- Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
- Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
- Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
- Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
- Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example XU Fei, CAI Tiju, JU Cunyong, et al (5935)
- Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
- Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 18 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 18 (September, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元