

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第6期 Vol.33 No.6 **2013**

中国生态学学会
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 6 期

2013 年 3 月 (半月刊)

目 次

专论与综述

- 基于遥感技术的森林健康研究综述..... 高广磊,信忠保,丁国栋,等 (1675)
Agent 农业土地变化模型研究进展..... 余强毅,吴文斌,杨 鹏,等 (1690)

个体与基础生态

- 辽东湾北部近海沙蜃的动态分布..... 王 彬,秦宇博,董 婧,等 (1701)
口虾蛄 proPO 基因全长 cDNA 的克隆与组织表达..... 刘海映,刘连为,姜玉声,等 (1713)
中缅树鼯头骨及下臼齿几何形态与环境的关系..... 朱万龙,贾 婷,黄春梅,等 (1721)
亚热带 3 种树种凋落叶厚度对其分解速率及酶活性的影响..... 季晓燕,江 洪,洪江华,等 (1731)
浙北地区常见绿化树种光合固碳特征..... 张 娇,施拥军,朱月清,等 (1740)
两种高质牧草不同生育期光合生理日变化及光响应特征..... 郭春燕,李晋川,岳建英,等 (1751)
基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术..... 张建平,赵艳霞,王春乙,等 (1762)
基于线粒体 DNA 控制区的斑翅草螽不同地理种群遗传分化研究..... 周志军,尚 娜,刘 静,等 (1770)
圈养尖吻蝾螈雌体大小、窝卵数和卵大小之间的关系..... 胡明行,谭群英,杨道德 (1778)
应用寄生蜂和不育雄虫防控田间橘小实蝇..... 郑思宁,黄居昌,叶光禄,等 (1784)
青蒿素对外生菌根真菌化感效应..... 李 倩,袁 玲,王明霞,等 (1791)

种群、群落和生态系统

- 海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用..... 李纯厚,林 琳,徐姗姗,等 (1798)
上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响..... 孙鲁峰,柯 昶,徐兆礼,等 (1811)
半干旱区生态恢复关键生态系统识别——以内蒙古自治区和林县为例.....
..... 彭 羽,高 英,冯金朝,等 (1822)
太岳山油松人工林土壤呼吸对强降雨的响应..... 金冠一,赵秀海,康峰峰,等 (1832)
重庆酸雨区马尾松林凋落物特征及对干旱胁迫的响应..... 王轶浩,王彦辉,于澎湃,等 (1842)

景观、区域和全球生态

- 城市典型水域景观的热环境效应..... 岳文泽,徐丽华 (1852)
外来树种桉树引种的景观生态安全格局..... 赵筱青,和春兰 (1860)
基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究..... 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1872)
大气 CO₂ 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌丰度的影响..... 严 陈,许 静,钟文辉,等 (1881)

资源与产业生态

- 基于可变模糊识别模型的海水环境质量评价..... 柯丽娜,王权明,孙新国,等 (1889)
亚热带养殖海湾皱瘤海鞘生物沉积的现场研究..... 闫家国,齐占会,田梓杨,等 (1900)
黄土高原典型苹果园地深层土壤氮磷钾养分含量与分布特征..... 张丽娜,李 军,范 鹏,等 (1907)

旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应..... 张丁辰,蔡典雄,代 快,等 (1916)

商洛低山丘陵区农林复合生态系统中大豆与丹参的光合生理特性..... 彭晓邦,张硕新 (1926)

外源油菜素内酯对镉胁迫下菊芋幼苗光合作用及镉富集的调控效应..... 高会玲,刘金隆,郑青松,等 (1935)

基于侧柏液流的测定对 Granier 原始公式系数进行校正 刘庆新,孟 平,张劲松,等 (1944)

研究简报

湿地自然保护区保护价值评价方法..... 孙 锐,崔国发,雷 霆,等 (1952)

干热河谷印楝和大叶相思人工林根系生物量及其分布特征..... 高成杰,唐国勇,李 昆,等 (1964)

海滨沙滩单叶蔓荆对沙埋的生理响应特征..... 周瑞莲,王 进,杨淑琴,等 (1973)

宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型土壤主要肥力特征 姜 林,耿增超,张 雯,等 (1982)

学术争鸣

小兴安岭十种典型森林群落凋落物生物量及其动态变化..... 侯玲玲,毛子军,孙 涛,等 (1994)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2002)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说: 亭亭玉立的白桦树——白桦为落叶乔木,可高达 25m,胸径 50cm。其树冠呈卵圆形,树皮白色,纸状分层剥离;叶三角状、卵形或菱状卵形;花单性,雌雄同株。白桦树喜光,耐严寒,对土壤适应性强,喜酸性土,沼泽地、干燥阳坡及湿润阴坡都能生长。常与红松、落叶松、山杨、蒙古栎混生。白桦的天然更新好,生长较快,萌芽强,在人为的采伐迹地或火灾、风灾等自然损毁的迹地里,往往由白桦首先进入,为先锋树种,而形成白桦次生林。白桦分布甚广,我国大、小兴安岭及长白山均有成片纯林,在华北平原和黄土高原山区、西南山地亦为阔叶落叶林及针叶阔叶混交林中的常见树种。

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/stxb201106160812

彭晓邦, 张硕新. 商洛低山丘陵区农林复合生态系统中大豆与丹参的光合生理特性. 生态学报, 2013, 33(6): 1926-1934.

Peng X B, Zhang S X. Photosynthetic characteristics of soybean and salvia in an agroforestry system in the Hilly Region, Shangluo, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 1926-1934.

商洛低山丘陵区农林复合生态系统中大豆与 丹参的光合生理特性

彭晓邦^{1,*}, 张硕新²

(1. 商洛学院 生物医药工程系, 商洛 726000; 2. 西北农林科技大学 林学院, 杨凌 712100)

摘要: 农林复合系统作为一种传统而又新兴的土地利用和经营方式在改善商洛生态环境、增加该区农民收入、促进其生态和经济协调发展等方面发挥着非常重要的作用。为了研究林下作物的生理生态特性, 对研究区农林复合系统中不同处理大豆、丹参的光合、叶绿素荧光参数进行了系统观测。结果表明, 从单作到距核桃 1m 处, 距核桃树越近, 遮光愈多。各处理大豆的光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)表现出与光合有效辐射(PAR)基本一致的日变化趋势。不同处理丹参光合速率日变化趋势各不相同, 且出现“午休”现象。与单作相比, 各处理大豆、丹参的光合速率、气孔导度和蒸腾速率均有不同程度的降低。随着遮荫程度的提高, 大豆、丹参叶绿素含量和表观量子效率(Φ)升高, 光饱和点(LSP)和光补偿点(LCP)降低。二者叶绿素荧光参数最大光能转换效率(F_v/F_m)、PS II 电子传递量子效率(Φ_{PSII})以及光化学猝灭系数(qP)均有不同程度的升高, 而非光化学猝灭系数(qNP)却逐渐降低。说明大豆、丹参能适应弱光环境, 在较低的光照条件下正常生长。

关键词: 农林复合系统; 光合特性; 荧光参数; 低山丘陵区

Photosynthetic characteristics of soybean and salvia in an agroforestry system in the Hilly Region, Shangluo, China

PENG Xiaobang^{1,*}, ZHANG Shuoxin²

1 Department of Biological and Medical Engineering, ShangLuo College, ShangLuo, Shaanxi 726000, China

2 College of Forestry, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: Agroforestry systems promote ecological, social and economic benefits in comparison with traditional forestry systems. Agroforestry systems provide various products for household including but not limited to, food and medicinal products for humans and animals, timber for construction, fuelwood for domestic use and income for the household. They also contribute to environmental sustainability and can act as a buffer to climate extremes. In order to study the physioecological characteristics of soybeans and salvia grown in agroforestry systems, the photosynthetic characteristics and parameters of chlorophyll fluorescence were examined. The study sites were located in Shanghe village (latitude 33°50'19" N, longitude 109°53'38"E, elevation 451m a. s. l.), Shangluo, Shaanxi Province. The total extent of the study site is 8 hectares. In this study, soybeans (*Glycine max* L. Merr.) Qindou 8, and medical plant salvia (*Radin salviae* Miltiorrhizae) were selected as agricultural crops. Within the study site, best areas were selected to implement the two treatment combinations, walnut-soybeans and walnut-salvia, replicated 3 times. In addition, areas without walnut trees were also selected for control measurements. The walnut trees were planted in 2004 at a within row spacing of 3m and between row spacing of 5m. The tree rows were oriented north-south. Twelve sample locations around each tree were assigned in the

基金项目: 陕西省自然科学基金项目(2010JQ3007); 商洛市政府科技计划项目(09skj001); 商洛学院博士启动基金项目(09sky024)

收稿日期: 2011-06-16; **修订日期:** 2012-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xbpeng1898@yahoo.com.cn

following manner: 1) perpendicular to the tree trunk at 1 m and 2.5 m east and west (4 locations), 2) and at the same distances (1 m and 2.5 m east and west) from the tree row at 1 m north (4 locations) and 1 m south (4 locations) of the tree trunk. At each time of sampling, a single leaf from the upper crop canopy was selected at the above indicated locations. The results indicated that photosynthetic active radiation (PAR) was reduced significantly from full daylight at 1 m from the walnut tree rows. The diurnal variations of photosynthetic rate (P_n), stomata conductance (G_s) and transpiration rate (T_r) of soybean were also lower close to the tree rows. The diurnal variations of photosynthetic rate in salvia at different distances from the tree row were different, and there was a “lunch break” phenomenon observed. The photosynthetic parameters for both crops were lower in the agroforestry system compared to the rates measured in the control treatment. The total chlorophyll and apparent quantum yield (Φ) for both crops increased, whereas the light compensation point (LCP) and light saturation point (LSP) decreased with increasing degree of shade. Meanwhile, the F_v/F_m , Φ_{PSII} and qP were significantly higher than those quantified in the control treatment for both crops. But, qNP decreased with increasing degree of shade, indicating that soybean and salvia have strong adaptability to low irradiance. The research area is located in the ShangLuo Mountain area, and the regional economic development is very slow, and land natural resources is also in short supply. Therefore, based on the results from this study, it appears that agroforestry systems can potentially restore these disturbed lands and contribute to the development of the economy in the hilly region in Shangluo.

Key Words: agroforestry system; photosynthetic characteristics; chlorophyll fluorescence parameters; hilly region

商洛地处秦岭腹地,土地资源紧缺,经济发展滞后。长期以来存在的林农“争地”问题已使该区的生态系统日趋脆弱。农林复合系统作为一种传统的土地利用和经营方式在解决农林“争地”矛盾、改善生态环境、提高自然资源利用率、增加农民收入、促进生态和经济协调发展等方面有着十分重要的作用^[1-6],因此不仅受到众多发展中国家和地区的普遍关注^[7-8],而且也受到一些发达国家如美国、英国、澳大利亚等的高度重视^[9-11]。然而,农林复合系统的这些优势可能因为树木和林下作物间的竞争作用而抵消,进而阻碍其推广。因此,如何减小树木和作物之间的资源竞争就成为整个农林复合系统提高产量和总生产力的核心问题^[12],也是农林复合系统经营成功与否的关键^[13-14]。近年来,我国学者就农林复合系统在氮素平衡、土壤理化性状和水分生态特征等^[15-17]方面做了一系列研究,但复合系统光合生理特性方面的研究报告却相对较少^[18]。在农林复合系统中开展植物光能竞争及光合生理特性方面的研究有助于了解和掌握植物的生存策略及植物对环境资源的利用效率,同时对于农林复合系统中树种的选择和配置、种间互作与生产力的关系以及农林复合系统的可持续经营具有十分重要的意义。本文以商洛低山丘陵区具有代表性的核桃-大豆和核桃-丹参农林复合模式为对象,研究农林复合系统中不同处理对大豆、丹参的光合特性和叶绿素荧光参数的影响,为深入研究农林复合系统对农作物生长发育和生理生态过程的影响提供依据,以期为进一步解析复合系统光能竞争机理、提高复合系统的光能利用效率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地设在陕西省商洛市商州区境内的上河村退耕还林示范区(33°50′19″N, 109°53′38″E),各类农林复合经营模式总面积达 8 hm²。试验区地处商洛低山丘陵区,属于北亚热带向南温带过渡的半湿润型山地季风性气候区域。全年平均日照时数为 1860—2130 h,平均气温 12.9 °C,无霜期 193—212 d,年平均降水量 800—900 mm,能满足作物生长的需要,但由于受季风气候影响,年内季节性分布不均匀,6—9 月份降水量约占全年 60%。试验区土壤以黄土母质发育成的淋溶褐土为主,有机质含量在 25.8 g/kg 左右,全氮含量 0.77 g/kg,全磷含量 1.03 g/kg。

1.2 试验材料

本研究以当地主要经济树种核桃(*Juglans regia* L.)和主要农作物大豆(秦豆 8 号)、丹参(*Radix salviae*

Miltiorrhizae)为研究对象。核桃树栽植于2004年,但在不同复合模式中生长状况各不相同(表1)。试验共设6个处理:单作大豆(CK_1)、单作丹参(CK_2)、核桃大豆间作模式中距核桃1 m处(T_1)、核桃大豆间作模式中距核桃2.5 m处(T_2)、核桃丹参间作模式中距核桃1 m处(T_3)和核桃丹参间作模式中距核桃2.5 m处(T_4),单作和间作的生产管理相同。核桃株行距为3 m×5 m,树带行向为南北方向。大豆和丹参的行向与树的方向一致,栽培时距离树行两侧各50 cm,株行距分别为20 cm×40 cm和20 cm×30 cm(单作与间作相同)。每棵树周围选取12个样点,分别位于树行东西两侧(垂直于树行方向上)1 m和2.5 m处。实验区样点布设见图1。

表1 实验区大豆、丹参复合系统中核桃的生长特征
Table 1 Characteristics of walnut intercropped with soybean and salvia in the experimental fields

	核桃生长特征	
	大豆间作	丹参间作
树高 Tree height/m	3.5 3.7	
胸径 Diameter at breast height/cm	5.1	5.4
冠深 Depth of live crown/m	2.5	2.5
冠幅半径 Mean radius of crown/m	1.3	1.4

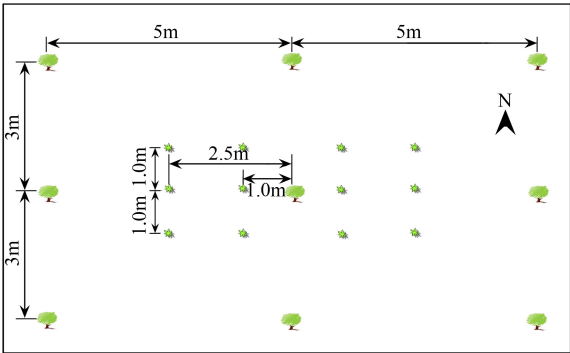


图1 实验区样点布设示意图
Fig. 1 Sketch of sampling spots in the experimental fields

1.3 研究方法

1.3.1 光合作用的测定

选择晴朗无云的天气,利用 Licor-6400 便携式光合测定系统(美国,LI-COR 公司制造)测定各植物的净光合速率(P_n , $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)、蒸腾速率(T_r , $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)、气孔导度(G_s , $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)以及光合有效辐射(PAR , $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)等其它主要生理指标和环境因子。测定时间从9:00—17:00,每2 h测定1次。测试时选取长势相近的健康植株,选取充分伸展、无病虫害的健康叶。每个指标测3个重复,每个重复记录3个数据,最后取平均值。利用 Licor-6400 便携式光合测定系统的可调光源在 CO_2 浓度为 $350\ \mu\text{mol/mol}$ 下测定光响应曲线(P_n - PAR), PAR 范围为 $0\text{--}2000\ \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$,根据光响应曲线拟合的对数方程求得光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)及表观量子效率(Φ)。

1.3.2 叶绿素荧光参数的测定

利用脉冲调制式荧光仪 FMS-2.02 (Hansatech, UK) 于 9:00—11:30 时测定叶绿素荧光参数,选取生长较为一致的叶片进行活体测定。叶片暗适应 30 min 后测定初始荧光(F_0),随后给一个强闪光($6000\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,脉冲时间 0.7 s)测定最大荧光(F_m),自然光下适应 20 min,荧光基本稳定时,测定稳态荧光(F_s),之后再施加一次强闪光($6000\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,脉冲时间 0.7 s),记录光适应下的最大荧光(F'_m),同时将叶片遮光,暗适应 3s 后打开远红光,5 s 后测定光适应下最小荧光(F'_0)。参考 Schreiber 等^[19]计算出光系统 II (PS II) 最大光能转换效率($F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$)、PS II 电子传递量子效率($\Phi_{PSII} = (F'_m - F_s)/F'_m$)、光化学猝灭系数($qP = (F'_m - F_s)/(F'_m - F'_0)$)、非光化学猝灭系数($qNP = (F_m - F'_m)/(F_m - F'_0)$)。

1.3.3 叶绿素含量的测定

利用 CM-1000 叶绿素测定仪(Spectrum, USA)于 9:00—11:30 测定相对叶绿素含量指数。选取测定光合特性参数的叶片进行活体测定,测量时手持 CM-1000 叶绿素测量仪夹住叶片,沿着叶脉方向移动测定,每株植物测定 5 个叶片,每叶片重复 5—6 次。

1.3.4 数据分析

所有数据均通过 Microsoft Office Excel 进行整理,方差分析、相关性分析以及其它统计分析处理均采用 SPSS 软件,图表处理采用 Excel 软件。

2 结果与分析

2.1 不同处理大豆、丹参光合有效辐射的日变化

大豆的光合有效辐射强度从单作(CK_1)、间作模式中距核桃 2.5 m 处(T_2)到间作模式中距核桃 1 m 处(T_1)逐渐减弱(图 2)。其中单作(CK_1)和距核桃 2.5 m 处(T_2)大豆的光合有效辐射日变化趋势均呈“单峰型”曲线,且峰值均出现在 13:00 时。而距核桃 1 m 处(T_1)大豆的光合有效辐射日变化为“双峰型”曲线,谷值出现在 13:00 时。不同处理丹参的光合有效辐射日变化趋势与大豆的基本一致(图 3),与单作相比,距核桃 2.5 m 和距核桃 1 m 两个处理大豆、丹参的光合有效辐射强度分别下降了 15.6%、25.9%、16.0% 和 28.1%,这与取样点的分布(图 1)及各复合模式中树的生长状况(表 1)有直接关系。

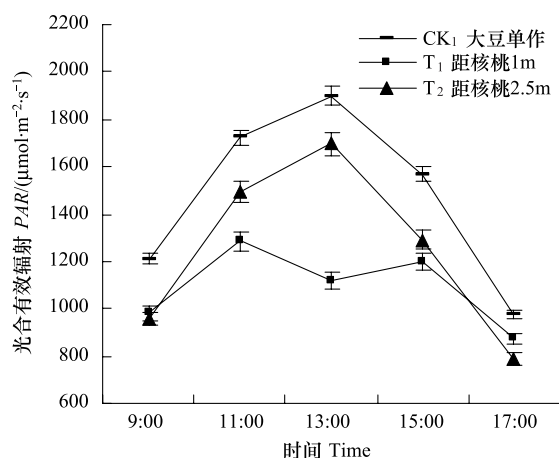


图 2 不同处理大豆光合有效辐射的日变化

Fig. 2 Diurnal PAR of treatments of soybean

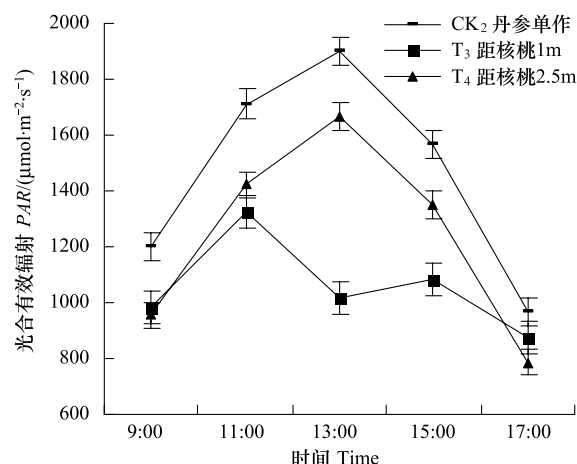


图 3 不同处理丹参光合有效辐射的日变化

Fig. 3 Diurnal PAR of treatments of salvia

2.2 不同处理大豆、丹参光合速率的日变化

如图 4 所示,除距核桃 1 m 处(T_1)外,其他处理大豆的净光合速率日变化均呈“单峰型”曲线,且峰值均出现在 13:00 时,分别为 $17.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、 $14.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。各处理大豆净光合速率的日均值表现为单作 CK_1 ($13.32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > 距核桃 2.5 m 处 T_2 ($11.04 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > 距核桃 1 m 处 T_1 ($8.62 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)。丹参的光合速率日变化趋势与大豆相反,除距核桃 1 m 处的光合速率日变化表现为“单峰型”曲线外,其他处理丹参的净光合速率日变化均呈“双峰型”曲线(图 5),存在明显的“午休”现象。不同处理丹参净光合速率的日均值表现为单作 CK_2 ($11.26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > 距核桃 2.5 m 处 T_4 ($9.88 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > 距核桃 1 m 处 T_3 ($8.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)。总之,各复合模式中大豆、丹参的净光合速率日均值都低于单作。方差分析结果表明,在不同处理中大豆、丹参光合速率间存在显著差异($P < 0.05$)。但大豆光合速率与光合有效辐射的相关显著性高于丹参(表 2)。

2.3 不同处理大豆、丹参气孔导度的日变化

不同处理大豆、丹参的气孔导度日变化曲线与其光合速率的日变化曲线相似(图 6,图 7)。大豆气孔导度的日变化趋势除距核桃 1 m 处表现为“双峰型”曲线外,其他处理大豆气孔导度日变化趋势均呈“单峰型”曲线,且峰值均出现在 13:00 时;丹参气孔导度的日变化趋势除距核桃 1 m 处表现为“单峰型”曲线外,其他处理丹参气孔导度日变化趋势均呈“双峰型”曲线,且谷值均出现在 13:00 时。从单作到距核桃 1 m,大豆、丹参的气孔导度日均值分别表现为 CK_1 ($369 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > T_2 ($331.4 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > T_1 ($286.6 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 及 CK_2 ($305.4 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > T_4 ($269.4 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > T_3 ($229.8 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)。方差分析结果表明,在不同处理中大豆、丹参气孔导度存在显著性差异($P < 0.05$)。

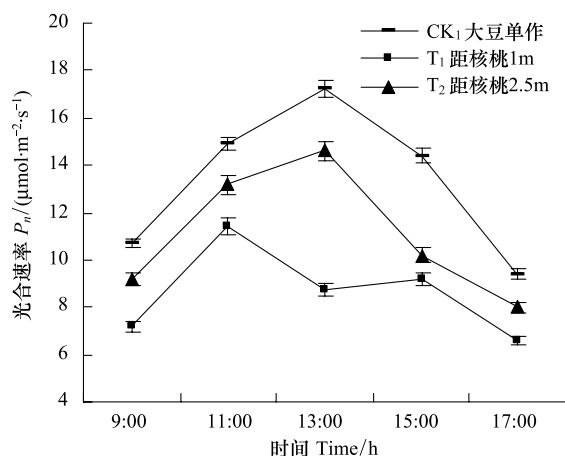


图4 不同处理大豆光合速率的日变化

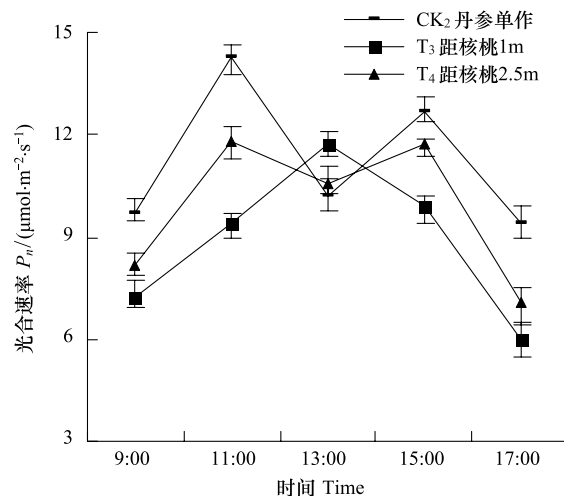
Fig. 4 Diurnal P_n of treatments of soybean

图5 不同处理丹参光合速率的日变化

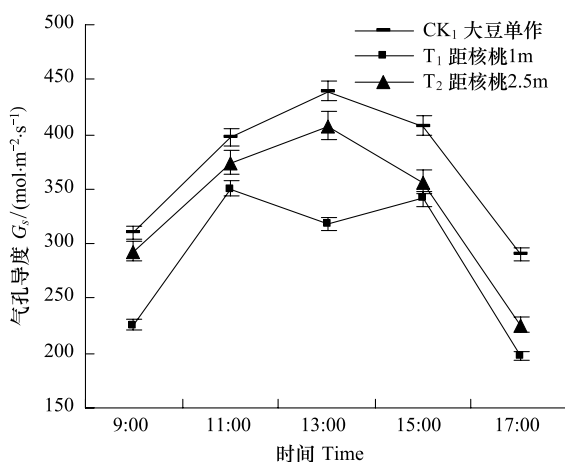
Fig. 5 Diurnal P_n of treatments of salvia

图6 不同处理大豆气孔导度的日变化

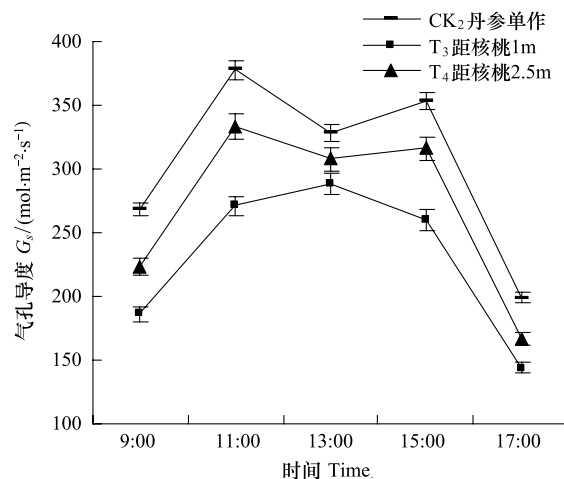
Fig. 6 Diurnal G_s of treatments of soybean

图7 不同处理丹参气孔导度的日变化

Fig. 7 Diurnal G_s of treatments of salvia

2.4 不同处理大豆、丹参蒸腾速率的日变化

不同处理大豆、丹参的蒸腾速率日变化曲线与其光合速率的日变化曲线相似(图8,图9)。除距核桃1 m处大豆的气孔导度日变化表现为“双峰型”曲线外,其他处理大豆的气孔导度日变化均呈“单峰型”曲线,且峰值均出现在13:00时;丹参的蒸腾速率日变化趋势与大豆相反,除距核桃1 m处丹参的气孔导度日变化表现为“单峰型”曲线外,其他处理丹参的气孔导度日变化均表现为“双峰型”曲线。从单作到距核桃1 m,大豆、丹参的蒸腾速率日均值分别表现为 $CK_1(5.54 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) > T_2(4.38 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) > T_1(3.04 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ 及 $CK_2(4.78 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) > T_4(3.92 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) > T_3(2.84 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ 。方差分析结果表明,在不同处理中大豆、丹参蒸腾速率存在显著性差异($P < 0.05$),二者的蒸腾速率均与光合有效辐射呈正相关关系,但相关系数各不相同(表2)。

2.5 不同处理对大豆、丹参光合特性参数的影响

从单作到距核桃1 m处,随着距离核桃树越来越近、光合有效辐射强度逐渐减弱,大豆、丹参的光补偿点和光饱和点逐渐降低(表3),但两者的表观量子效率却表现出相反的变化趋势,随着光合有效辐射强度逐渐减弱大豆、丹参的表观量子效率逐渐升高(表3)。这说明大豆、丹参能适应弱光环境,在较低的光照条件下仍

然能够利用弱光,从而保证叶片进行正常的光合作用。

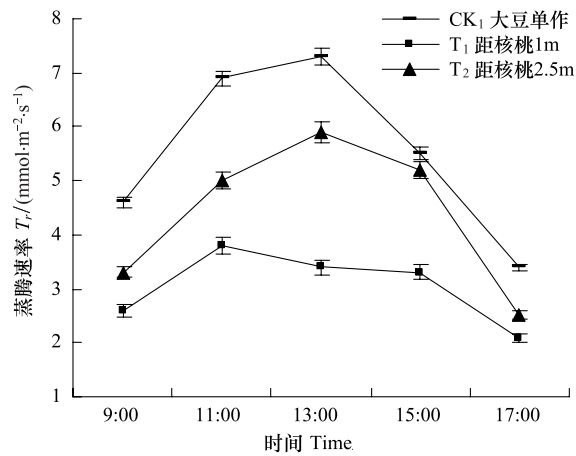


图 8 不同处理大豆蒸腾速率的日变化
Fig. 8 Diurnal T_r of treatments of soybean

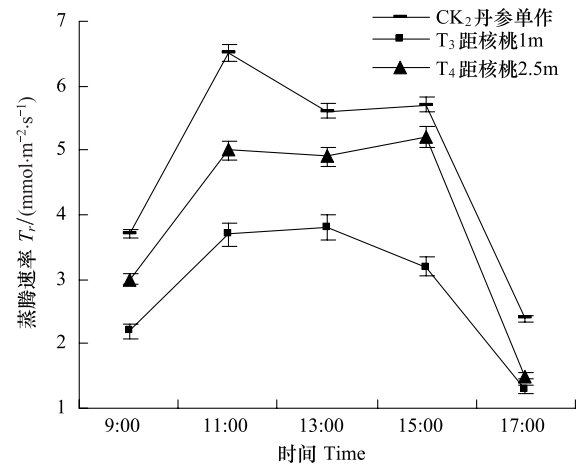


图 9 不同处理丹参蒸腾速率的日变化
Fig. 9 Diurnal T_r of treatments of salvia

表 2 不同处理光合有效辐射与光合速率、气孔导度及蒸腾速率的相关系数

Table 2 Correlation analyses between PAR and P_n , G_s , T_r of treatments

处理 Treatment	光合速率 Photosynthetic rate $P_n/(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1})$	气孔导度 Stomata conductance $G_s/(\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1})$	蒸腾速率 Transpiration rate $T_r/(\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1})$
CK ₁	0.6335a	0.5522a	0.5383a
T ₁	0.4537b	0.5011b	0.4858b
T ₂	0.5723c	0.4704c	0.5206c
CK ₂	0.2208a	0.2366a	0.3077a
T ₃	0.1091b	0.1622b	0.2199b
T ₄	0.2311c	0.2087c	0.2317c

同列标有不同字母表示显著差异 $P<0.05$

表 3 不同处理对大豆、丹参光合参数的影响

Table 3 Effects of treatments on photosynthetic parameters of soybean and salvia

处理 Treatment	光补偿点 Light compensation point $LCP/(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1})$	光饱和点 Light saturation point $LSP/(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1})$	表观量子效率 Φ Apparent quantum yield
CK ₁	105a	1260a	0.0456a
T ₁	72b	883b	0.0527b
T ₂	88c	1180c	0.0488c
CK ₂	62a	986a	0.0508a
T ₃	47b	680b	0.0613b
T ₄	55c	877c	0.0566c

同列标有不同字母表示显著差异 $P<0.05$

2.6 不同处理对大豆、丹参叶绿素含量及荧光参数的影响

由表 4 可以看出,不同处理大豆、丹参叶片的叶绿素含量分别表现为 $CK_1(3.41\text{ mg/g}) < T_2(3.44\text{ mg/g}) < T_1(3.52\text{ mg/g})$ 及 $CK_2(2.96\text{ mg/g}) < T_4(3.02\text{ mg/g}) < T_3(3.13\text{ mg/g})$ 。说明随着距核桃树越来越远、遮光越来越多而大豆、丹参叶片的叶绿素含量却逐渐升高。从单作到距核桃 1m 处,各处理中大豆、丹参光系统 II (PS II) 最大光能转换效率 (F_v/F_m)、PS II 电子传递量子效率 (Φ_{PSII}) 以及光化学猝灭系数 (qP) 均有不同程

度的升高,而二者的非光化学猝灭系数(qNP)却逐渐降低。不同处理中大豆、丹参叶绿素含量及荧光参数存在显著性差异($P<0.05$),说明随着遮荫程度的提高,大豆、丹参光反应中心 PS II 的光化学效率和潜在活性逐渐上升。

表 4 不同处理对大豆、丹参叶绿素含量和叶绿素荧光参数的影响

Table 4 Effects of treatments on chlorophyll content and parameters of chlorophyll fluorescence of soybean and salvia

处理 Treatment	叶绿素含量 Chlorophyll content	F_v/F_m	Φ_{PSII}	qP	qNP
CK ₁	4.11a	2.122a	0.675a	0.544a	0.572a
T ₁	4.25b	2.317b	0.744b	0.611b	0.533b
T ₂	4.18c	2.253c	0.712c	0.568c	0.549c
CK ₂	3.21a	1.102a	0.556a	0.435a	0.487a
T ₃	3.42b	1.241b	0.583b	0.496b	0.411b
T ₄	3.34c	1.137c	0.568c	0.447c	0.454c

同列标有不同字母表示显著差异 $P<0.05$

3 讨论

在农林复合系统中,由于木本植物林冠层的光拦截作用,改变入射光质量或降低林下作物的光合有效辐射,从而导致林下作物的光合作用降低、产量减少的现象普遍存在^[20-21]。本研究中,从单作到距核桃 2.5 m 处和距核桃 1 m 处,两个不同处理大豆、丹参的光合有效辐射强度分别下降了 15.6%、25.9% 和 16.0%、28.1%,这必将影响林下作物的光合作用及生产力。

一般认为在弱光条件下,单位叶面积的叶绿体数目减少,单位重量叶绿素含量增加,从而提高植物对于弱光的利用率。在本试验中不同遮光处理下大豆、丹参的叶绿素含量均比对照高,这表明大豆、丹参可通过提高叶绿素含量来增强对遮荫环境的适应能力,这与彭晓邦等在渭北黄土区的研究结果相一致^[22]。

本试验中随着距核桃树越近、遮光越多,大豆、丹参的 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 和 qP 逐渐增大(表 4),说明遮光处理提高了 PS II 反应中心开放比例和 PS II 光化学效率; qNP 随遮光程度的增加而降低(表 4),说明遮光处理降低了 PS II 以热能形式耗散的所吸收的光能,使天线色素所捕获的光能以更高比例用于推动光合电子传递,有利于光合作用的顺利进行。单作处理大豆、丹参的 qNP 较高,说明叶片吸收的光能以热能的形式耗散比例较大,有利于对 PS II 反应中心的保护,可能是植物对高光照的一种保护机制^[23],有待于进一步深入研究。

光合作用是植物生长发育的基础,而光照可以提供作物同化力形成所需要的能量,活化参与光合作用的关键酶,促进气孔开放。农林复合系统作为一种特殊的栽培模式,其林下作物处于遮荫环境下,光照对作物生长发育中有明显的限制作用。本研究中复合系统中不同处理大豆的 P_n 、 G_s 和 T_r 日变化模式与 PAR 的日变化模式基本一致,且与单作相比,各处理中大豆的 P_n 、 G_s 和 T_r 均有不同程度的降低,且大豆的光合速率、气孔导度及蒸腾速率均与光合有效辐射呈正相关关系(表 2),这说明光合有效辐射是导致各处理大豆 P_n 、 G_s 和 T_r 降低的主要因素之一。不同处理丹参光合速率日变化趋势各不相同,并且出现“午休”现象,但其 G_s 和 T_r 日变化模式与 P_n 的日变化模式基本一致。根据 Farquhar 和 Sharkey 的观点,只有当光合速率和胞间 CO_2 浓度变化方向相同,且气孔限制值增大,才可以认为光合速率的下降主要是由气孔因素引起^[24]。尽管本研究中各处理大豆、丹参的气孔导度日变化与其光合、蒸腾速率的日变化趋势基本一致,但大豆、丹参 G_s 与 P_n 和 T_r 之间的关系有待进一步深入研究。

通常情况下,较低的光补偿点使植物在有限的光条件下能以最大能力利用低光量子密度,进行最大可能的光合作用。量子效率是指光合作用机构每吸收 1 mol 光量子后光合释放的 O_2 摩尔数或同化 CO_2 的摩尔数^[25],Lee 等^[26]研究认为耐荫植物具有较高表观量子效率,自然状态下捕获光量子用于光合作用的能力较强。由表 3 可以看出,从单作到距核桃 1 米处,随着距核桃树越来越远、光合有效辐射强度逐渐减弱,大豆、丹参的光补偿点和光饱和点逐渐降低,但两者的表观量子效率却表现出相反的变化趋势,随着光合有效辐射强

度逐渐减弱大豆、丹参的表观量子效率逐渐升高。这说明大豆、丹参能适应弱光环境,在较低的光照条件下仍然能够利用弱光,从而保证叶片进行正常的光合作用。此外,丹参的表观量子效率高于大豆,这说明丹参的耐荫性强于大豆,更适合于林下种植。

目前国内外有关农林复合系统中植物间的竞争作用研究通常分为地上部分竞争和地下部分竞争两大类。地上部分竞争主要是木本植物和林下作物之间对光能的竞争,地下部分竞争主要是木本植物和林下作物之间对土壤水分和养分的竞争。一般认为,在湿润地区,农林复合系统地上部分对光能的竞争可能是系统生产力的主要决定因素^[27];而在温带地区和半干旱热带地区,地下部分对水分的竞争可能限制着系统的生产力^[28-30]。但彭晓邦等研究发现,光能竞争依然是制约黄土区农林复合系统生产力的主要因素之一^[31],因此,农林复合系统各组分之间对光的竞争作用及林下作物的光适应机理研究仍将是一个值得关注和亟待解决的问题。

综上所述,随着距核桃树越近,遮光越多,大豆、丹参可通过提高叶绿素含量,降低光饱和点及光补偿点和升高表观量子效率来适应弱光环境。荧光参数的变化从光合作用内部变化角度进一步揭示了大豆、丹参对弱光环境的适应性。据此可以认为:大豆和丹参是两种能够适应多种光环境的农作物,可在光环境较为复杂的农林复合系统中正常生长。近年来,随着林业生态工程的推进,退耕林面积不断增加,但是由于林木生长周期长,经济效益滞后,而山区经济又比较落后,因此,如普遍营造单一的水保林或用材林,将会影响农民治理山区的积极性,且难以发挥林木的前期生态、经济效益,所以构建、推广农林复合系统对于保障林业生态工程的顺利实施、促进商洛低山丘陵区农林业的快速发展具有十分重要的现实意义。

References:

- [1] Pang A Q. Economic evaluation of the agroforestry complex system in China. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(2): 176-182.
- [2] Yang X. Position and function of agroforestry in rural sustainable development. *Rural Ecology Environment*, 1996, 12(1): 37-41.
- [3] Shulte S. Agroforestry and soil conservation: adoption and profitability in EL Salvador. *Agroforestry Today*, 1997, 9(4): 16-17.
- [4] Young N. Agroforestry for Soil Management. *Agroforestry: CAB International in Association with International Center for Research*, 1997: 90-97.
- [5] Wang Y M, Wang Z L. A study on the structure of agrof orests and their protective benefits in the gully region of Loess Plateau. *Journal of Soil Water Conservation*, 1992, 6(4): 54-59.
- [6] Wang Z L, Li H K, Huo X X. Study on soil anti-erosion and anti scour of prickly ash at edges of terraces in drought upland of Weibei. *Research of Soil and Water Conservation*, 2000, 7(1): 33-37.
- [7] Zhang J S, Meng P. Simulation on water ecological characteristics of agroforestry in the hilly area of Taihang Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1172-1177.
- [8] Zhao Y, Zhang B, Zhao H C, Wang M Z. Transpiration of choerospondias axillaris in agro-forestrial system and its affecting factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(11): 2035-2040.
- [9] Buck L E. Agroforestry policy issues and research directions in the US and less developed countries: insights and challenges from recent experience. *Agroforestry Systems*, 1995, 30(1/2): 57-73.
- [10] Zinkhan F C, Mercer D E. An assessment of agroforestry systems in the southern USA. *Agroforestry Systems*, 1997, 35(3): 303-321.
- [11] Garrett H E G. Agroforestry practice and policy in the United States of America. *Forest Ecology and Management*, 1997, 91(1): 5-15.
- [12] Cannell M G R, Noordwijk V M, Ong C K. The central agroforestry hypothesis: The trees must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. *Agroforestry Systems*, 1996, 34(1): 27-31.
- [13] Rao M R, Nair P K R, Ong C K. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 1997, 38: 3-50.
- [14] Thevathasan N V, Gordon A M. Ecology of tree intercropping systems in the north temperate region: experiences from southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems*, 2004, 61(1/3): 257-268.
- [15] Peng K, Ou Y H, Zhu B. Nitrogen balances and appraisals in agroforestry ecosystem — a case study in Yanting experiment station. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2004, 13(3): 252-257.
- [16] Xia Q, He B H, Xie Z, Wei Y Z. Study on soil physical and chemical properties of agroforestry of purple soil. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(2): 86-89.
- [17] Zhang J S, Meng P. Simulation on water ecological characteristics of agroforestry in the hilly area of Taihang Mountain. *Acta Ecologica Sinica*,

2004, 24(6): 1172-1177.

- [18] Mao R, Zeng D H. Research advances in plant competition in agroforestry systems. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(2): 379-386.
- [19] Schreiber U. Detection of rapid induction kinetics with a new type of high-frequency modulated chlorophyll fluorometer. *Photosynthesis Research*, 1986, 9(1/2): 261-272.
- [20] Osman M, Emmingham W H, Sharrow S H. Growth and yield of sorghum or cowpea in an agrisilviculture system in semiarid India. *Agroforestry Systems*, 1998, 42(1): 91-105.
- [21] Sudmeyer R A, Speijers J. Influence of windbreak orientation, shade and rainfall interception on wheat and lupin growth in the absence of below-ground competition. *Agroforestry Systems*, 2007, 71(3): 201-214.
- [22] Peng X B, Cai J, Jiang Z M, Zhang Y Y, Zhang S X. Photosynthetic characteristics of soybean and pepper in an agroforestry system in the Loess Area of the Northern Wei River, Shaanxi, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 3174-3180.
- [23] Xu K, Guo Y P, Zhang S L, Zhou H F, Deng Y. Response of strawberry leaves photosynthesis to strong light and its mechanism. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(1): 73-78.
- [24] Farquhar S P, Sharkey T D. Stomata conductance-and-photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33(1): 317-345.
- [25] Yu S W. *Plant Physiology and Molecular Biology*. Beijing: Science Press, 1992.
- [26] Lee D W, Bone R A, Tarsis S L, Storch D. Correlates of leaf optical properties in tropical forest sun and extreme-shade plants. *American Journal of Botany*, 1990, 77(3): 370-380.
- [27] Friday J B, Fownes J H. Competition for light between hedgerows and maize in an alley cropping system in Hawaii, USA. *Agroforestry Systems*, 2002, 55(5): 125-137.
- [28] Singh R P, Ong C K, Saharan N. Above and below ground interactions in alley-cropping in semi-arid India. *Agroforestry Systems*, 1989, 9(3): 259-274.
- [29] Rao M R, Ong C K, Pathak P, Sharma M M. Productivity of annual cropping and agroforestry systems on a shallow Alfisol in semi-arid India. *Agroforestry Systems*, 1991, 15(1): 51-63.
- [30] Jose S, Gillespie A R, Seifert J R, Mengel D, Pope P. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the Midwestern USA: 2. Competition for water. *Agroforestry Systems*, 2000, 48(1): 41-59.
- [31] Peng X B, Cai J, Jiang Z M, Zhang Y Y, Zhang S X. Effects of light competition on crop productivity in an intercropping agroforestry ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 545-552.

参考文献:

- [1] 庞爱权. 中国农林复合系统的经济评价. *自然资源学报*, 1997, 12(2): 176-182.
- [2] 杨修. 农林复合经营在农村可持续发展中的地位和作用. *农村生态环境*, 1996, 12(1): 37-41.
- [5] 王佑民, 王忠林. 黄土高原沟壑区混农林的结构及其防护效益研究. *水土保持学报*, 1992, 6(4): 54-59.
- [6] 王忠林, 李会科, 贺秀贤. 渭北旱塬花椒地埂林土壤抗蚀抗冲性研究. *水土保持研究*, 2000, 7(1): 33-37.
- [7] 张劲松, 孟平. 农林复合系统水分生态特征的模拟研究. *生态学报*, 2004, 24(6): 1172-1177.
- [8] 赵英, 张斌, 赵华春, 王明珠. 农林复合系统中南酸枣蒸腾特征及影响因子. *应用生态学报*, 2005, 16(11): 2035-2040.
- [15] 彭奎, 欧阳华, 朱波. 农林复合生态系统氮素平衡及其评价——以中国科学院盐亭农业生态实验站为例. *长江流域资源与环境*, 2004, 13(3): 252-257.
- [16] 夏青, 何丙辉, 谢洲等. 紫色土农林复合经营土壤理化性状研究. *水土保持学报*, 2006, 20(2): 86-89.
- [17] 张劲松, 孟平. 农林复合系统水分生态特征的模拟研究. *生态学报*, 2004, 24(6): 1172-1177.
- [18] 毛榕, 曾德慧. 农林复合系统植物竞争研究进展. *中国生态农业学报*, 2009, 17(2): 379-386.
- [22] 彭晓邦, 蔡靖, 姜在民, 张远迎, 张硕新. 渭北黄土区农林复合系统中大豆辣椒的光合生理特性. *生态学报*, 2009, 29(6): 3174-3180.
- [23] 徐凯, 郭延平, 张上隆, 周慧芬, 郑毅. 草莓叶片光合作用对强光的影响及其机理研究. *应用生态学报*, 2005, 16(1): 73-78.
- [31] 彭晓邦, 蔡靖, 姜在民, 张远迎, 张硕新. 光能竞争对农林复合生态系统生产力的影响. *生态学报*, 2009, 29(1): 545-552.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 6 March, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Review and Monograph

- Forest health studies based on remote sensing: a review GAO Guanglei, XIN Zhongbao, DING Guodong, et al (1675)
- Progress of agent-based agricultural land change modeling: a review YU Qiangyi, WU Wenbin, YANG Peng, et al (1690)

Autecology & Fundamentals

- Dynamic distribution of *Nemopilema nomurai* in inshore waters of the northern Liaodong Bay, Bohai Sea WANG Bin, QIN Yubo, DONG Jing, et al (1701)
- Full length cDNA cloning and tissue expression of prophenoloxidase from *Oratosquilla oratoria* LIU Haiying, LIU Lianwei, JIANG Yusheng, et al (1713)
- Morphometrics investigation of the skulls, mandibles and molar in *Tupaia belangeri* from Yunnan, Guizhou, Guangxi ZHU Wanlong, JIA Ting, HUANG Chunmei, et al (1721)
- Effects of litter thickness on leaf litter decomposition and enzyme activity of three trees in the subtropical forests JI Xiaoyan, JIANG Hong, HONG Jianghua, et al (1731)
- The photosynthetic carbon fixation characteristics of common tree species in northern Zhejiang ZHANG Jiao, SHI Yongjun, ZHU Yueqing, et al (1740)
- Diurnal changes in the photosynthetic characteristics of two high yield and high quality grasses during different stages of growth and their response to changes in light intensity GUO Chunyan, LI Jinchuan, YUE Jianying, et al (1751)
- Evaluation technology on drought disaster to yields of winter wheat based on WOFOST crop growth model ZHANG Jianping, ZHAO Yanxia, WANG Chunyi, et al (1762)
- Genetic diversity of *Conocephalus maculatus* of different geographic populations based on mitochondrial DNA control region analysis ZHOU Zhijun, SHANG Na, LIU Jing, et al (1770)
- Relationships among female body size, clutch size, and egg size in captive *Deinagkistrodon acutus* HU Minghang, TAN Qunying, YANG Daode (1778)
- The field control of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) with parasitoid and sterile male ZHENG Sining, HUANG Juchang, YE Guanglu, et al (1784)
- Allelopathic effects of artemisinin on ectomycorrhizal fungi LI Qian, YUAN Ling, WANG Mingxia, et al (1791)

Population, Community and Ecosystem

- Establishment of integrated methodology for bay ecosystem health assessment and its application in Daya Bay LI Chunhou, LIN Lin, XU Shannan, et al (1798)
- The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters SUN Lufeng, KE Chang, XU Zhaoli, et al (1811)
- Identification of key ecosystem for ecological restoration in semi-arid areas: a case study in Helin County, Inner Mongolia PENG Yu, GAO Ying, FENG Jinzhao, et al (1822)
- The great rainfall effect on soil respiration of *Pinus tabulaeformis* plantation in Taiyue Mountain JIN Guanyi, ZHAO Xiuhai, KANG Fengfeng, et al (1832)
- The litter-fall characteristics and their response to drought stress in the Masson pins forests damaged by acid rain at Chongqing, China WANG Yihao, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1842)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Thermal environment effect of urban water landscape YUE Wenze, XU Lihua (1852)
- Landscape ecological security pattern associated with the introduction of exotic tree species *Eucalyptus* ZHAO Xiaoqing, HE Chunlan (1860)
- Ecological balance between supply and demand in Chongqing City based on cultivated land ecological footprint method SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1872)
- Effect of elevated CO₂ on methanotrophs in the rhizosphere of rice plant YAN Chen, XU Jing, ZHONG Wenhui, et al (1881)

Resource and Industrial Ecology

- The seawater environment quality evaluation research base on variable fuzzy pattern recognition model KE Lina, WANG Quanming, SUN Xinguo, et al (1889)
- An *in situ* study on biodeposition of ascidian (*Styela plicata*) in a subtropical aquaculture bay, southern China YAN Jiaguo, QI Zhanhui, TIAN Ziyang, et al (1900)
- Distribution of soil NPK nutrient content in deep soil profile of typical apple orchards on the Loess Plateau ZHANG Lina, LI Jun, FAN Peng, et al (1907)
- Soil respiration and its responses to soil moisture and temperature under different tillage systems in dryland maize fields ZHANG Dingchen, CAI Dianxiong, DAI Kuai, et al (1916)
- Photosynthetic characteristics of soybean and salvia in an agroforestry system in the Hilly Region, Shangluo, China PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (1926)
- Regulation of exogenous brassinosteroid on growth and photosynthesis of *Helianthus tuberosus* seedlings and cadmium biological enrichment under cadmium stress GAO Huiling, LIU Jinlong, ZHENG Qingsong, et al (1935)
- Calibration coefficients of Granier original formula based on sap flow of *Platycladus orientalis* LIU Qingxin, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (1944)

Research Notes

- An evaluation index system classifying the conservation value of wetland nature reserves based on AHP SUN Rui, CUI Guofa, LEI Ting, et al (1952)
- Root biomass and its distribution of *Azadirachta indica* and *Acacia auriculiformis* plantations in the Dry-hot Valley GAO Chengjie, TANG Guoyong, LI Kun, et al (1964)
- Physiological response of *Vitex trifolia* to sand burial in the sand coast ... ZHOU Ruilian, WANG Jin, YANG Shuqin, et al (1973)
- Soil fertility under different forest types in the Helan and Liupan Mountain ranges of Ningxia Province JIANG Lin, GENG Zengchao, ZHANG Wen, et al (1982)

Opinions

- Dynamic of litterfall in ten typical community types of Xiaoxing'an Mountain, China HOU Lingling, MAO Zijun, SUN Tao, et al (1994)

《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,探索自然奥秘,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

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)

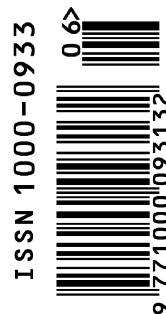
第 33 卷 第 6 期 (2013 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 6 (March, 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

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元