

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

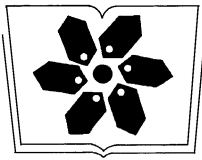
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第17期 Vol.31 No.17 **2011**

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 31 卷 第 17 期

2011 年 9 月 (半月刊)

目 次

海洋生态资本理论框架下海洋生物资源的存量评估·····	任大川,陈 尚,夏 涛,等 (4805)
内生真菌对羽茅生长及光合特性的影响·····	贾 彤,任安芝,王 帅,等 (4811)
基于遥感图像处理技术胡杨叶气孔密度的估算及其生态意义·····	蒋圣淇,赵传燕,赵 阳,等 (4818)
水文变异下的黄河流域生态流量·····	张 强,李剑锋,陈晓宏,等 (4826)
黄河三角洲重度退化滨海湿地盐地碱蓬的生态修复效果·····	管 博,于君宝,陆兆华,等 (4835)
浙江省某 PCBs 废物储存点对其邻近滩涂生态系统的毒性风险·····	何闪英,陈昆柏 (4841)
鄱阳湖苔草湿地甲烷释放特征·····	胡启武,朱丽丽,幸瑞新,等 (4851)
三峡库区银鱼生长特点及资源分析·····	邵晓阳,黎道峰,谭 路,等 (4858)
低温应激对吉富罗非鱼血清生化指标及肝脏 HSP70 基因表达的影响 ···	刘 波,王美珏,谢 骏,等 (4866)
Cd ²⁺ 对角突臂尾轮虫和曲腿龟甲轮虫的急性毒性和生命表统计学参数的影响 ·····	许丹丹,席貽龙,马 杰,等 (4874)
圈养梅花鹿 BDNF 基因多态性与日常行为性状的关联分析 ·····	吕慎金,杨 燕,魏万红 (4881)
华北平原玉米田生态系统光合作用特征及影响因素 ·····	同小娟,李 俊,刘 渡 (4889)
长期施肥对麦田大型土壤动物群落结构的影响 ·····	谷艳芳,张 莉,丁圣彦,等 (4900)
蚯蚓对湿地植物光合特性及净化污水能力的影响·····	徐德福,李映雪,王让会,等 (4907)
三种农药对红裸须摇蚊毒力和羧酸酯酶活性的影响 ·····	方国飞 (4914)
六星黑点豹蠹蛾成虫生殖行为特征与性趋向·····	刘金龙,宗世祥,张金桐,等 (4919)
除草剂胁迫对空心莲子草叶甲种群的影响及应对策略·····	刘雨芳,彭梅芳,王成超,等 (4928)
荒漠植物准噶尔无叶豆结实、结籽格局及其生态适应意义 ·····	施 翔,王建成,张道远,等 (4935)
限水灌溉冬小麦冠层氮分布与转运特征及其对供氮的响应·····	蒿宝珍,姜丽娜,方保停,等 (4941)
准噶尔盆地梭梭、白梭梭植物构型特征 ·····	王丽娟,孙栋元,赵成义,等 (4952)
基于地表温度-植被指数关系的地表温度降尺度方法研究 ·····	聂建亮,武建军,杨 曦,等 (4961)
岩溶区不同植被类型下的土壤氮同位素分异特征 ·····	汪智军,梁 轩,贺秋芳,等 (4970)
施氮量对麻疯树幼苗生长及叶片光合特性的影响 ·····	尹 丽,胡庭兴,刘永安,等 (4977)
黄土丘陵区羔沟流域典型植物叶片 C、N、P 化学计量特征季节变化 ·····	王凯博,上官周平 (4985)
克隆整合提高淹水胁迫下狗牙根根部的活性氧清除能力·····	李兆佳,喻 杰,樊大勇,等 (4992)
低覆盖度固沙林的乔木分布格局与防风效果·····	杨文斌,董慧龙,卢 琦,等 (5000)
东灵山林区不同森林植被水源涵养功能评价·····	莫 菲,李叙勇,贺淑霞,等 (5009)
11 种温带树种粗木质残体分解初期结构性成分和呼吸速率的变化 ·····	张利敏,王传宽,唐 艳 (5017)
连栽第 1 和第 2 代杉木人工林养分循环的比较·····	田大伦,沈 燕,康文星,等 (5025)
最优化设计连续的自然保护区·····	王宜成 (5033)
基于自然地理特征的长江口水域分区·····	刘录三,郑丙辉,孟 伟,等 (5042)
煤电一体化开发对锡林郭勒盟环境经济的影响·····	吴 迪,代方舟,严 岩,等 (5055)
专论与综述	
生态条件的多样性变化对蜜蜂生存的影响·····	侯春生,张学锋 (5061)
研究简报	
胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的时空变化·····	张崇良,徐宾铎,任一平,等 (5071)
湿地公园研究体系构建·····	王立龙,陆 林 (5081)
基于生态足迹的半干旱草原区生态承载力与可持续发展研究——以内蒙古锡林郭勒盟为例·····	杨 艳,牛建明,张 庆,等 (5096)
学术信息与动态	
恢复与重建自然与文化的和谐——2011 生态恢复学会国际会议简介 ···	彭少麟,陈蕾伊,侯玉平,等 (5105)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2011-09	



封面图说: 相当数量的降雪与低温严寒是冰川发育的主要因素,地球上的冰川除南北两极外,只有在高海拔的寒冷山地才能存在。喜马拉雅山造山运动使中国成为了世界上中低纬度冰川最为发育的国家,喜马拉雅山地区雪峰连绵、冰川四溢,共有现代冰川 17000 多条,是世界冰川发育的中心之一。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

尹丽, 胡庭兴, 刘永安, 谢财永, 冯毅, 颜震, 李银华, 王永杰. 施氮量对麻疯树幼苗生长及叶片光合特性的影响. 生态学报, 2011, 31 (17): 4977-4984.

Yin L, Hu T X, Liu Y A, Xie C Y, Feng Y, Yan Z, Li Y H, Wang Y J. Effect of nitrogen application rate on growth and leaf photosynthetic characteristics of *Jatropha curcas* L. seedlings. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (17): 4977-4984.

施氮量对麻疯树幼苗生长及叶片光合特性的影响

尹 丽¹, 胡庭兴^{1,*}, 刘永安², 谢财永¹, 冯 毅¹, 颜 震¹, 李银华¹, 王永杰¹

(1. 四川农业大学林学院, 四川省林业生态工程重点实验室, 雅安 625014; 2. 四川省凉山州林业科学研究所, 西昌 615021)

摘要: 采用盆栽土培的方法, 研究了不同施氮量 (对照 N_0 0 kg N/hm²、低氮 N_L 96 kg N/hm²、中氮 N_M 288 kg N/hm²、高氮 N_H 480 kg N/hm²) 对麻疯树幼苗生长、叶片气体交换及叶绿素荧光参数的影响。结果表明, 麻疯树幼苗叶片氮含量、可溶性蛋白含量、株高、地径、叶片数量、叶面积、根长、各组分生物量、叶片净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s)、蒸腾速率 (T_r) 和水分利用效率 (WUE) 均随施氮量的增加先升高后降低, N_M 处理下麻疯树幼苗长势最好, 各气体交换参数值最高; 施氮对麻疯树地上部分的促进作用远大于地下部分, 施氮后根冠比显著降低; 此外, 麻疯树叶绿素含量、PS II 最大光化学量子产量 (F_v/F_m)、PS II 有效量子产量 ($F'v/F'm$)、PS II 实际光化学效率 (Φ_{PSII})、电子传递速率 (ETR) 和光化学淬灭系数 (qP) 均随施氮量的增加而升高, 非光化学淬灭系数 (NPQ) 随施氮量增加而降低。适量施氮可通过增强叶绿体光化学活性、气孔导度和羧化能力而提高麻疯树幼苗的光合能力, 促进生长; 过高施氮对麻疯树幼苗光合与生长的促进效应降低。试验条件下, 当年生麻疯树幼苗的最适施氮量为 288 kg N/hm²。

关键词: 施氮; 麻疯树; 生长; 气体交换参数; 叶绿素荧光参数

Effect of nitrogen application rate on growth and leaf photosynthetic characteristics of *Jatropha curcas* L. seedlings

YIN Li¹, HU Tingxing^{1,*}, LIU Yongan², XIE Caiyong¹, FENG Yi¹, YAN Zhen¹, LI Yinhua¹, WANG Yongjie¹

1 College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Sichuan Provincial Key Laboratory of Forestry Ecological Engineering, Ya'an 625014, China

2 Forestry Research Institute of Liangshan Prefecture, Xichang 615021, China

Abstract: Nitrogen (N) is an important component of chlorophyll, protein, nucleic acid, and some hormones in plant, it also controls the growth and development of plant in many ecosystems. N availability has been recognized as a key constraint to plant growth. The N demand of plant and corresponding N application availability is becoming the research focus of plant nutritionists and physiologists. *Jatropha curcas* L. is an potential woody oil species which widely distributed in south China. However, the effects of nitrogen supply on growth and photosynthesis of *J. curcas* are poorly understood. Whether N application on seedling stage can promote the survival and growth of *J. curcas* at dry and poor conditions have certainly became a key problem for its extensive cultivation. In the present study, the characteristics of growth and leaf photosynthesis of *J. curcas* seedlings with different N supply levels were investigated.

The experiment was conducted in greenhouse from May 2009 to September 2009. On May 1st, *J. curcas* seeds were sowed in plastic pot (diameter 27 cm, height 22 cm). Twenty four such pots were prepared with four different N application rates (Control N_0 : 0 kg N/hm²; Low nitrogen N_L : 96 kg N/hm²; Medium nitrogen N_M : 288 kg N/hm²; High nitrogen N_H : 480 kg N/hm²). After two months of treatment, morphological and biomass indices of seedlings, leaf gas exchange,

基金项目: 中日技术合作四川省示范林营造项目 (JICA); 四川农业大学 2008 年国家级大学生创新性实验计划项目 (2008-17); 四川农业大学优秀硕士学位论文培育基金资助

收稿日期: 2010-07-27; **修订日期:** 2010-11-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hutx001@yahoo.com.cn

chlorophyll fluorescence and some biochemical parameters were determined.

The results showed that the content of leaf N, soluble protein, plant height, biomass of different components, net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (T_r) and water use efficiency (WUE) increased when N supply increased from 0 kg N/hm² to 288 kg N/hm², and then decreased when N supply reached 480 kg N/hm². The growth vigor of *J. curcas* with N_M treatment was the best and all measured gas exchange parameters was the highest among all the four treatments. The promoting effect of N application on the above-ground biomass accumulation was much stronger than that on the under-ground one. N applications significantly decreased the root-shoot ratio. In addition, the leaf chlorophyll content, maximum quantum yield of PS II photochemistry (F_v/F_m), effective quantum yield of PS II photochemistry ($F'v/F'm$), actual photochemistry efficiency of PS II ($\Phi_{PS II}$), electron transport rate (ETR) and photochemical quenching values (qP) increased with N application rate, while the non-photochemical quenching values (NPQ) exhibited a converse tendency. Results suggest that when *J. curcas* grows on the site with N deficiency condition, increasing nitrogen supply can promote its growth of root, shoot and leaf, and also enhance its photosynthetic capacity by improving photochemistry quantum efficiency of PS II, G_s and carboxylation efficiency. While the N_H treatment may have exceeded the optimum N level for *J. curcas* seedlings. In this study, the optimum N application rate for *J. curcas* seedlings was 288 kg N/hm².

Key Words: nitrogen; *Jatropha curcas*; growth; gas exchange parameter; chlorophyll fluorescence parameter

氮素是植物体内叶绿素、蛋白质、核酸和部分激素的重要组成部分,是影响植物正常生长发育的重要营养因子^[1]。植物叶片大约 75% 的氮素存在于叶绿体中^[2],其中的 30%—50% 被分配给碳同化的关键酶——核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶(Rubisco)^[3],还有一部分被用于光捕获和电子传递等相关蛋白的合成^[4]。因此,氮素对植物的影响与光合作用直接有关。施氮后植物叶绿素含量增加,叶片吸光强度和叶肉细胞光合活性增强,最终使净光合速率增加,促进植株干物质的积累^[5]。但越来越多的研究认为,不同植物的生长对氮素的需求量及对氮肥施用量的反应不同。青花菜(*Brassica oleracea*)^[1]、黑核桃(*Juglans nigra*)^[6]和日本柳杉(*Cryptomeria japonica*)^[7]等植物的叶片氮含量、光合效率和生长与施氮量呈正线性相关,供氮水平可通过影响叶氮含量直接影响植物生长。但也有研究表明植物的叶氮含量、光合能力和生长与施氮量之间并不呈线性关系,即达到一定施氮量后,植株的光合能力和生长可能会对施氮反应不明显甚至受到抑制^[4,7-9]。因此,植物的氮素需求量以及氮素施用的有效性已成为植物营养学家和生理学家研究的重点。

麻疯树(*Jatropha curcas* L.)又称小桐子、臭油桐,属于大戟科麻疯树属,为落叶灌木或小乔木。原产美洲,广泛分布于热带、亚热带及干热河谷地区,种籽可提炼生物柴油,含油率在 60% 以上,是一种具有较大开发潜力的木本油料植物^[10]。在我国西南地区,麻疯树生物柴油原料林基地建设已初具规模,并迅速扩大,但栽培技术却严重滞后于该树种开发利用方面的研究。而且,在全球水资源日趋紧缺、能源危机和土地退化不断加剧的情况下,利用保水性差、贫瘠的非耕地广泛种植麻疯树并开发其种子油作为部分能源的替代物,已备受国内外关注^[11]。有研究表明,增加移栽苗体内的氮含量将会促进苗木造林后的早期生长,特别是在养分贫瘠、竞争激烈的立地条件下,效果更加显著^[12-14]。那么,苗期施氮能否促进麻疯树在干旱和贫瘠的立地条件下生存,对氮肥的需求量如何,这些研究在麻疯树的相关研究中仍属空白,也已经成为麻疯树推广栽培过程中亟待解决的关键问题。为此,本试验采用盆栽法研究不同施氮量对麻疯树幼苗生长、气体交换及叶绿素荧光参数的影响,探讨麻疯树幼苗的光合作用及生产力形成对氮素供应变化的响应规律,旨在为麻疯树栽培中进行合理的苗期氮肥管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试麻疯树种子于 2008 年秋季采于四川省凉山彝族自治州会东县。供试土壤为沙壤土,土壤田间持水

量 22%, pH 7.68, 有机质 13.87 g/kg, 总氮 0.65 g/kg, 全磷 0.31 g/kg, 全钾 2.43 g/kg, 水解氮 47.41 mg/kg, 速效磷 18.64 mg/kg, 速效钾 47.15 mg/kg。选用上口径为 27 cm、下口径为 17 cm、高 22 cm 的聚乙烯塑料盆, 每盆装入等量风干并过筛的混合土(7 kg), 以盆栽方式培育幼苗。播种前, 用 0.25% KMnO_4 溶液对种子消毒 3 h, 在室温(26 °C)下浸种 24 h。2009 年 5 月 1 日每盆播种 3 粒, 待苗齐后间苗, 每盆留健壮苗 1 株。育苗期间进行常规水分管理, 保持幼苗正常生长。

1.2 试验设计

试验于 2009 年 5 月至 9 月在四川农业大学教学科研园区塑料大棚中进行。施氮处理共设对照(N_0 : 0 g/盆)、低氮(N_L : 1.2 g/盆)、中氮(N_M : 3.6 g/盆)和高氮(N_H : 6.0 g/盆)4 个水平, 分别相当于 0、96、288、480 kg N/hm², 每个施氮水平设置 6 盆。所用氮肥为尿素($\text{CN}_2\text{H}_4\text{O}$), 磷肥用 KH_2PO_4 (6.7 g/盆), 钾肥用 KCl (2.5 g/盆), 所有肥料混匀后分 2 次施入, 分别在出苗后 1 个月和 2 个月时各施 50%。每次施肥均在浇水后第 2 天的傍晚进行, 施肥时在离植株 6—8 cm 处沿植株刨 8 cm 深的环形沟, 将肥料均匀地施于环形沟内, 并覆土。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生长指标

2009 年 8 月 16 日分别测定各处理植株株高、地径、叶片数量、单株叶面积和根长。株高和地径采用卷尺和游标卡尺测定, 单株叶面积采用 LI-3100 便携式激光叶面积仪(LI-COR, USA)测定。采用收获性取样法, 采集植株叶、茎和根, 用卷尺测得根长(单株总根长)后, 将样品于 105 °C 下杀青, 然后 70 °C 下烘至恒重, 并由此计算植株各组分生物量和根冠比。

1.3.2 光合参数

气体交换参数: 2009 年 8 月 14 日采用 LI-6400 便携式光合作用仪(LI-COR, USA)测定各处理相同部位、成熟叶片净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s)等气体交换参数, 每处理测定 6 次重复, 每个重复待稳定后读取 5 个数据, 控制叶室内 CO_2 浓度为 380 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 、叶室温度为 28—30 °C、相对湿度为 81%—83%、光合有效辐射(PAR)为 1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 根据 P_n/T_r 计算水分利用效率(WUE)。

叶绿素荧光参数: 2009 年 8 月 15 日分别选取每处理 5 片完全展开叶片, 采用 LI-6400 便携式光合作用仪荧光叶室测定麻疯树叶绿素荧光参数。叶片暗适应 30 min 后, 先照射检测光($<0.05 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)测得叶片初始荧光(F_0), 再用饱和白光($7200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)光照 1 s 测得最大荧光(F_m), 同一样品在持续的光化学活性光(PFD 1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)下, 得到稳态荧光(F_s), 再用饱和光(PFD 6000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)照射 1 s, 测得光下最大荧光(F'_m), 关闭光化学活性光, 照射远红光以测量光下最小荧光(F'_0)。PS II 最大光化学量子产量(F_v/F_m)、PS II 有效量子产量(F'_v/F'_m)、电子传递速率(ETR)和光化学淬灭系数(qP)等参数由仪器直接读出, 其余参数按如下公式计算: PS II 实际光化学效率(Φ_{PSII}) = $(F'_m - F_s)/F'_m$, 非光化学淬灭系数(NPQ) = $F_m/F'_m - 1$ 。

叶绿素含量: 选取各处理部位一致、完全展开及成熟完好的叶片, 避开主脉, 剪取 0.100—0.200 g 叶片称重后置于 15 mL 具塞试管中, 采用 80% 的丙酮与无水乙醇(1:1)的混合液浸提叶绿素, 将浸提液用分光光度法^[15]测定。

1.3.3 叶片氮含量

将烘干叶样粉碎过 0.5 mm 筛后使用凯氏定氮法测定(LY/T1269—1999)(UDK152, VELP, Italy)。

1.3.4 叶片可溶性蛋白含量

采用考马斯亮蓝 G250 染色法测定^[15]。

1.4 数据处理

采用 SPSS 16.0 软件对各施氮处理试验数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 选择 LSD 法进行差异显著性多重比较。采用 Microsoft Excel 2003 软件绘制图表。

2 结果与分析

2.1 施氮量对麻疯树幼苗叶片总氮及可溶性蛋白含量的影响

结果显示麻疯树幼苗叶片总氮和可溶性蛋白含量随施氮量的增加而增加(图1),当施氮量大于 288 kg N/hm²时叶片总氮及可溶性蛋白含量增加不显著($P>0.05$)。N_L、N_M和 N_H处理叶片总氮和可溶性蛋白含量分别比 N₀增加了 39.14%、82.12%、86.46%和 54.13%、67.79%、70.02%,N_M和 N_H处理叶片总氮和可溶性蛋白含量显著高于 N_L和 N₀($P<0.05$),但 N_M和 N_H处理之间差异不显著($P>0.05$)。

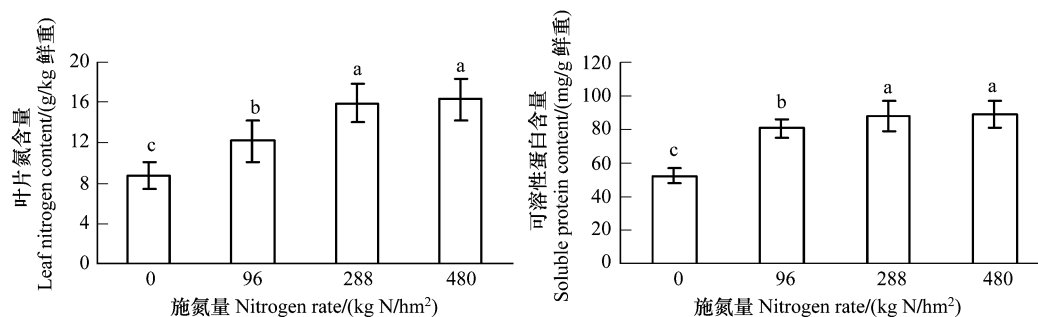


图1 不同施氮水平麻疯树幼苗叶片总氮及可溶性蛋白含量

Fig. 1 The total nitrogen and soluble protein content of *J. curcas* seedlings under different nitrogen application levels

2.2 施氮量对麻疯树幼苗生长的影响

由表1可见,麻疯树幼苗株高、地径、叶片数量、叶面积和根长均随施氮量的增加呈先升高后降低的趋势,且各施氮处理植株根、茎和叶的生长均优于 N₀。其中,N_L处理的株高、叶面积和根长显著高于 N₀($P<0.05$),而地径和叶片数量与 N₀差异不显著($P>0.05$);N_M处理的株高、地径、叶片数量、叶面积和根长达到最高且均显著高于 N₀($P<0.05$),分别比 N₀增加了 38.87%、22.05%、36.84%、86.12%和 17.75%;N_H处理的各项生长指标值与 N_M相比略微降低,但仍明显高于 N_L和 N₀。由此可见,施氮处理明显促进了麻疯树幼苗根、茎和叶的生长,以 N_M处理的促进作用最明显。

表1 不同施氮水平麻疯树幼苗株高、地径、叶片数量、叶面积和根长

Table 1 The plant height, basal diameter, leaf number, leaf area and root length of *J. curcas* seedlings under different nitrogen application levels

氮水平 N levels	株高/cm Plant height	地径/mm Basal diameter	叶片数量/(枚/株) Leaf number	叶面积/(cm ² /株) Leaf area	根长/cm Root length
N ₀	17.88±0.72 c	10.61±0.94 b	9.50±0.65 b	447.45±19.17 d	24.40±1.08 c
N _L	20.76±1.23 b	11.13±0.80 ab	10.10±0.71 b	621.85±17.72 c	26.40±0.24 b
N _M	24.83±1.24 a	12.95±1.65 a	13.00±1.24 a	832.79±18.88 a	28.73±0.55 a
N _H	23.23±0.90 a	12.40±0.50 ab	12.40±0.66 a	792.57±10.60 b	27.93±1.21 ab

数值=平均值±标准差,同一列不同字母表示差异显著($P<0.05$, $n=6$);N₀:0 kg N/hm²;N_L:96 kg N/hm²;N_M:288 kg N/hm²;N_H:480 kg N/hm²

由表2可见,随着施氮量的增加,麻疯树幼苗叶、茎和根生物量及总生物量均呈先升高后降低的趋势,N_M处理下各组分生物量最高且均显著高于 N₀($P<0.05$),分别比 N₀增加了 98.05%、33.10%、36.82%和 62.48%。其中,叶和茎生物量在 N_L、N_M和 N_H处理下均与 N₀差异显著($P<0.05$),根生物量在 N_M处理下显著高于 N₀($P<0.05$),但 N_L和 N_H处理下根生物量与 N₀差异不显著($P>0.05$)。从总生物量在各组分之间的分配比例来看,叶生物量分配比例随施氮量的增加而先升高后降低,N_M处理最高;茎生物量分配比例随施氮量的增加而先降低后升高,N_M处理最低;根生物量分配比例随施氮量的增加而降低,N_H处理最低。此外,根冠比随施氮量的增加呈降低的趋势,且各施氮处理根冠比均显著低于 N₀($P<0.05$),而各施氮处理间差异不显著($P>0.05$)。由此可见,施氮对麻疯树地上部分(尤其是叶片)生长的促进作用远大于地下部分,说明氮素的增加

使苗木将营养物质更多地分配到地上部分,从而导致根冠比下降。

表 2 不同施氮水平麻疯树幼苗各组分生物量及其分配特征

Table 2 Biomass and partitioning characteristic of *J. curcas* seedlings under different nitrogen application levels

氮水平 N levels	叶生物量 Leaf biomass/(g/株)	茎生物量 Shoot biomass/(g/株)	根生物量 Root biomass/(g/株)	总生物量 Total biomass/(g/株)	根冠比 Root-shoot ratio
N ₀	2.508±0.136 d 44.81%	2.668±0.133 c 47.67%	0.421±0.0380 b 7.52%	5.597±0.631 d 100%	0.0814±0.0086 a
N _L	3.207±0.138 c 48.11%	3.026±0.164 b 45.39%	0.433±0.018 b 6.50%	6.666±0.126 c 100%	0.0695±0.0029 b
N _M	4.967±0.181 a 54.62%	3.551±0.180 a 39.05%	0.576±0.022 a 6.33%	9.094±0.371 a 100%	0.0676±0.0009 b
N _H	3.632±0.180 b 48.87%	3.343±0.242 ab 44.98%	0.457±0.020 b 6.15%	7.432±0.233 b 100%	0.0655±0.0024 b

数值=平均值±标准差,同一列不同字母表示差异显著($P<0.05$, $n=6$);表中百分数表示各组分生物量占总生物量的百分比

2.3 施氮量对麻疯树幼苗叶片叶绿素含量的影响

由表 3 可见,麻疯树叶片叶绿素 a(Chla)、叶绿素 b(Chlb)和总叶绿素(Chl(a+b))含量均随施氮量的增加而升高。N_L处理下 Chla、Chlb 和 Chl(a+b)含量与 N₀差异不显著($P>0.05$);N_M处理下叶绿素各组分含量显著高于 N₀($P<0.05$),Chla、Chlb 和 Chl(a+b)含量分别比 N₀增加了 10.88%、4.55%和 14.09%;N_H处理下叶绿素各组分含量最高,Chla、Chlb 和 Chl(a+b)含量分别比 N₀增加了 14.98%、66.43%和 27.08%。表明增加施氮量能明显提高麻疯树幼苗叶片叶绿素含量。

表 3 不同施氮水平麻疯树幼苗叶片叶绿素含量

Table 3 The leaf chlorophyll content of *J. curcas* seedlings under different nitrogen application levels

氮水平 N levels	叶绿素 a Chla/(mg/g 鲜重)	叶绿素 b Chlb/(mg/g 鲜重)	总叶绿素 Chl(a+b)/(mg/g 鲜重)
N ₀	1.802±0.061 b	0.554±0.025 c	2.356±0.009 c
N _L	1.845±0.066 b	0.605±0.043 b c	2.450±0.004 c
N _M	1.998±0.100 a	0.690±0.064 b	2.688±0.004 b
N _H	2.072±0.027 a	0.922±0.052 a	2.994±0.017 a

数值=平均值±标准差,同一列不同字母表示差异显著($P<0.05$)

2.4 施氮量对麻疯树幼苗叶片气体交换参数的影响

由表 4 可见,3 种施氮量处理下麻疯树叶片净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和水分利用效率(WUE)均显著高于 N₀($P<0.05$),且随施氮量的增加呈先升高后降低的趋势,N_M处理下 P_n 、 T_r 、 G_s 和 WUE 最高,分别比 N₀升高了 34.25%、18.44%、25.20%和 13.49%。其中,N_L、N_M和 N_H3 种施氮量之间 P_n 差异显著($P<0.05$);N_M和 N_H处理之间 T_r 和 G_s 差异不显著($P>0.05$);N_M处理下 WUE 显著高于 N₀和 N_H($P<0.05$)。

表 4 不同施氮水平麻疯树幼苗主要叶片气体交换参数值

Table 4 The main leaf gas exchange parameters of *J. curcas* seedlings under different nitrogen application levels

氮水平 N levels	净光合速率 $P_n/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	蒸腾速率 $T_r/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	气孔导度 $G_s/(\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	水分利用效率 $WUE/(\text{mmol}/\text{mol})$
N ₀	12.350±0.319 d	3.639±0.073 c	0.377±0.012 c	3.396±0.135 c
N _L	14.913±0.392 c	3.927±0.045 b	0.445±0.009 b	3.798±0.114 ab
N _M	16.580±0.315 a	4.310±0.223 a	0.472±0.010 a	3.854±0.166 a
N _H	15.571±0.369 b	4.248±0.085 a	0.459±0.010 ab	3.667±0.108 b

数值=平均值±标准差,同一列不同字母表示差异显著($P<0.05$, $n=6$)

2.5 施氮量对麻疯树幼苗叶绿素荧光参数的影响

PS II 最大光化学量子产量 (F_v/F_m) 反映 PS II 反应中心最大光能转换效率^[16], PS II 有效量子产量 ($F'v/F'm$) 在活有机体内与线性电子传递过程中量子产量密切相关^[17], PS II 实际光化学效率 (Φ_{PSII}) 反映 PS II 反应中心在部分关闭情况下的实际原初光能捕获效率, Φ_{PSII} 高, 说明光合结构电子传递能力强、吸收的光能被用于光化学反应的份额大^[18]。由表 5 可见, 麻疯树幼苗叶片各荧光参数均对施氮处理反应明显 ($P < 0.05$), 叶片 F_v/F_m 、 $F'v/F'm$ 、 Φ_{PSII} 和 ETR 均随施氮量的增加而升高, 且施氮处理各荧光参数值均显著高于 N_0 ($P < 0.05$), 表明施氮能显著提高麻疯树幼苗光化学效率, 促进光合电子传递。但当施氮量超过 288 kg N/hm² 时各荧光参数值增长较慢。光化学淬灭系数 (qP) 反映了 PS II 天线色素捕获的光能用于光化学电子传递的份额, 非光化学淬灭系数 (NPQ) 则反映 PS II 天线色素吸收的光能不能用于光化学电子传递而以热的形式耗散掉的部分^[4]。麻疯树叶片 qP 随施氮量的增加而升高, 同时伴随着 NPQ 的降低, 表明施氮增加了 PS II 反应中心的开放程度, PS II 吸收的光能更多地用于光合电子传递, 减少热能耗散, 提高光能利用率。

表 5 不同施氮水平麻疯树幼苗叶绿素荧光参数

Table 5 The chlorophyll fluorescence parameters of *J. curcas* seedlings under different nitrogen application levels

氮水平 N levels	叶绿素荧光参数 chlorophyll fluorescence parameters					
	F_v/F_m	$F'v/F'm$	Φ_{PSII}	ETR	qP	NPQ
N_0	0.827±0.005 b	0.551±0.022 b	0.353±0.035 b	149.59±14.92 b	0.638±0.041 b	1.896±0.219 a
N_L	0.831±0.006 b	0.606±0.018 a	0.419±0.020 a	177.74±8.44 a	0.690±0.015 a	1.427±0.097 b
N_M	0.844±0.009 a	0.626±0.016 a	0.452±0.024 a	191.87±10.45 a	0.720±0.021 a	1.242±0.100 b
N_H	0.844±0.007 a	0.630±0.008 a	0.462±0.009 a	196.34±3.87 a	0.733±0.005 a	1.184±0.057 b

数值 = 平均值 ± 标准差, 同一列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$, $n = 5$)

3 讨论

氮素是植物需求量最大的矿质营养元素之一, 也是植物个体乃至自然和人工生态系统 (包括农业系统) 生长最常见的限制因子^[19]。许多研究表明, 叶片的氮含量与光合能力线性正相关^[5-6]。在本试验中, 麻疯树幼苗叶片 P_n 随施氮量的增加而升高, 当施氮量达到 480 kg/hm² 时 P_n 开始下降。麻疯树 P_n 随施氮量的增加而升高应该是叶绿体光化学活性增强、气孔导度增加和叶肉细胞羧化能力提高的共同作用的结果。首先, 麻疯树叶绿素含量和 F_v/F_m 、 $F'v/F'm$ 、 Φ_{PSII} 、 ETR 和 qP 随施氮量的增加而增加, 并伴随着 NPQ 的降低 (表 3 和表 5), 这表明施氮后叶片吸光强度、光捕获能力和光化学反应效率增强, 为碳同化提供更充足的能量 (ATP) 和同化能力 (NADPH), 有利于光合用的进行; 其次, 施氮后麻疯树叶片的的气孔导度的增加, 增加了叶片碳同化所需 CO₂ 及提高植株蒸腾速率 (表 4); 再者, 麻疯树叶片可溶性蛋白含量随施氮量的增加而明显增加, 意味着 Rubisco 含量的增加及羧化能力的提高, 因为可溶性蛋白大部分是由 Rubisco 组成的^[20]。施氮对植物光合作用的影响最终反映到植物的生长及生物量的积累上。在本研究中, 施氮通过提高当年生麻疯树的光合能力而显著促进其叶片、茎和根的生长及各组分干物质的积累。其中, 施氮对麻疯树地上部分 (尤其是叶片) 生长的促进作用远大于地下部分, 施氮后根冠比显著降低。这表明植株体内的生物量分配在很大程度上受到氮素供应水平的影响, 植株地上部分的生长对氮素的反应比地下部分更为敏感, 氮素的增加使苗木将营养物质更多地分配至地上部分, 尤其是更多地分配至光合部位 (叶片), 来实现其光合效益的更大化^[8,21]。

不同植物的光合与生长对氮素的需求量及对氮肥施用量的反应不同, 因此植物氮素需求和氮素施用的有效性已成为植物营养学家或生理学家关注的重点。落叶松 (*Larix gmelini*)^[4]、日本赤松 (*Pinus densiflora*)^[7]、西南桦 (*Betula alnoides*)^[8] 和黑云杉 (*Picea mariana*)^[22] 幼苗分别在施氮量为 8 mmol/L、113 kg N/hm²、200 mg N/株和 340 kg N/hm² 时光合能力最强, 植株生长势最好。在本研究中, 施氮量为 288 kg/hm² 时, 麻疯树幼苗的光合效率最高及生长势最佳, 而当施氮量为 480 kg/hm² 时, 麻疯树光合速率和各组分生物量积累与 288 kg/hm² 相比均有所降低。供氮过高导致植物光合与生长受抑制的现象在其他植物中也有所报道^[7,21]。本研究中过量供氮引发负面效应的原因是多方面的, 一方面可能是由于气孔限制的结果, 气孔的行为受制于

气孔细胞的水分(渗透势)状况, N_H 处理下土壤及植株体内氮素浓度较高,细胞液渗透压的降低迫使植株在低的气孔导度下运作^[19](表4)。另一方面可能是因为过量供氮导致的植株体内营养失衡抑制了 Rubisco 蛋白的合成,从而使叶片光合能力降低^[9]。此外,氮、碳同化对光合作用光反应产生的同化力(即 ATP 和 NADPH)的竞争也可能是导致光合碳同化速率降低的原因之一^[23]。

综上所述,麻疯树幼苗的光合与生长对施氮的反应遵循“报酬递减规律”,即适量施氮能明显提高麻疯树幼苗的光合能力、促进植株生长和干物质的积累,过量施氮条件下氮肥的促进效应降低。在本试验条件下,麻疯树幼苗的最适施氮量为 288 kg N/hm²。在实际生产中,施氮量的确定还应考虑土壤氮残留量、各阶段土壤矿化量和大气干湿沉降等因素。此外,植物对不同氮肥类型及施用形式的反应不同,且氮肥肥效的发挥还受其它环境因子(光照和水分等)的影响。

References:

- [1] Li N N, Guo S R, Li J, Li J. Effects of nitrogen nutrition on the photosynthetic characteristics of leaves in Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition, 2007, 28(3): 140-144.
- [2] Cechin I, de Terezinha F F. Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse. Plant Science, 2004, 166(5): 1379-1385.
- [3] Grassi G, Meir P, Cromer R, Tompkins D, Jarvis P G. Photosynthetic parameters in seedlings of *Eucalyptus grandis* as affected by rate of nitrogen supply. Plant Cell and Environment, 2002, 25(12): 1677-1688.
- [4] Guo S L, Yan X F, Bai B, Yu S. Effects of nitrogen supply on photosynthesis in larch seedlings. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(6): 1291-1298.
- [5] Guo E H, Hu D, Tian C Y, Hu Y, Wang C Y, Yu Y Y. Study on the effects of soil nitrogen and moisture on plant photosynthetic physiological ecology. Journal of Anhui Agriculture Sciences, 2008, 36(26): 11211-11213.
- [6] Nicodemus M A, Salifu F K, Jacobs D F. Growth, nutrition, and photosynthetic response of black walnut to varying nitrogen sources and rates. Journal of Plant Nutrition, 2008, 31(11): 1917-1936.
- [7] Nakaji T, Fukami M, Dokiya Y, Lzuta T. Effects of high nitrogen load on growth, photosynthesis and nutrient status of *Cryptomeria japonica* and *Pinus densiflora* seedlings. Trees, 2001, 15(8): 453-461.
- [8] Chen L, Zeng J, Xu D P, Zhao Z G, Guo J J, Lin K Q, Sha E. Effects of exponential nitrogen loading on growth and foliar nutrient status of *Betula alnoides* Seedlings. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(5): 35-40.
- [9] Li D J, Mo J M, Fang Y T, Cai X A, Xue J H, Xu G L. Effects of simulated nitrogen deposition on growth and photosynthesis of *Schima superba*, *Castanopsis chinensis* and *Cryptocarya concinna* seedlings. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(5): 876-882.
- [10] Yu S M, Sun J C, Chen B T. Exploration and utilization of *Jatropha curcas* resources in Guizhou Province. Journal of West China Forestry Science, 2006, 35(3): 14-17.
- [11] Dou X Y, Wu G J, Huang H Y, Hou Y J, Gu Q, Peng C L. Responses of *Jatropha curcas* L. seedlings to drought stress. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(7): 1425-1430.
- [12] Rytter L, Ericsson T, Rytter R M. Effects of demand-driven fertilization on nutrient use, root: plant ratio and field performance of *Betula pendula* and *Picea abies*. Scandinavian Journal of Forest Research, 2003, 18(5): 401-415.
- [13] Rikala R, Heiskanen J, Lahti M. Autumn fertilization in the nursery affects growth of *Picea abies* container seedlings after transplanting. Scandinavian Journal of Forest Research, 2004, 19(5): 409-414.
- [14] Heiskanen J, Lahti M, Luoranen J, Rikala R. Nutrient loading has a transitory effect on the nitrogen status and growth of outplanted Norway spruce seedlings. Silva Fennica, 2009, 43(2): 249-260.
- [15] Xiong Q E. Plant Physiology Experiment Course. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2003.
- [16] Feng Y L, Cao K F, Feng Z L. Effect of growth light intensity on the photosynthetic apparatus in four tropical rainforest tree species seedlings. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2002, 28(2): 153-160.
- [17] Wu F Z. The Growth Characteristics and Adaptive Mechanisms of *Sophora davidii* Seedling under Drought Stress and N Supply Regimes. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2008.
- [18] Li L L, Ma Z B, Xie D Y, Fang W P. Effect of different nitrogen levels on photosynthetic characteristics and yield of early maturing cotton. China Cotton, 2005, 32(11): 14-16.
- [19] Zhao P, Sun G C, Peng S L. Ecophysiological research on nitrogen nutrition of plant. Ecologic Science, 1998, 17(2): 37-42.

- [20] Stitt M, Schulze D. Does Rubisco control the rate of photosynthesis and plant growth? An exercise in molecular ecophysiology. *Plant Cell and Environment*, 1994, 17(5): 465-487.
- [21] Wu C, Wang Z Q, Fan Z Q, Sun H L. Effects of different concentrations and form ratios of nitrogen on chlorophyll biosynthesis, photosynthesis, and biomass partitioning in *Fraxinus mandshurica* seedlings. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(6): 771-779.
- [22] Salifu K F, Timmer V R. Optimizing nitrogen loading of *Picea mariana* seedlings during nursery culture. *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, 33(7): 1287-1294.
- [23] Cao C L, Li S X, Miao F. The Research situation about effects of nitrogen on certain physiological and biochemical process in plants. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest (Natural Science Edition)*, 1999, 27(4): 96-101.

参考文献:

- [1] 栗娜娜, 郭世荣, 李娟, 李军. 氮素营养对青花菜叶片光合特性的影响. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2007, 28(3): 140-144.
- [4] 郭盛磊, 阎秀峰, 白冰, 于爽. 供氮水平对落叶松幼苗光合作用的影响. *生态学报*, 2005, 25(6): 1291-1298.
- [5] 郭二辉, 胡聃, 田朝阳, 胡颖, 王从彦, 于盈盈. 土壤氮素与水分对植物光合生理生态的影响研究. *安徽农业科学*, 2008, 36(26): 11211-11213.
- [8] 陈琳, 曾杰, 徐大平, 赵志刚, 郭俊杰, 林开勤, 沙二. 氮素营养对西南桦幼苗生长及叶片养分状况的影响. *林业科学*, 2010, 46(5): 35-40.
- [9] 李德军, 莫江明, 方运霆, 蔡锡安, 薛璟花, 徐国良. 模拟氮沉降对三种南亚热带树苗生长和光合作用的影响. *生态学报*, 2004, 24(5): 876-882.
- [10] 于曙明, 孙建昌, 陈波涛. 贵州的麻疯树资源及其开发利用研究. *西部林业科学*, 2006, 35(3): 14-17.
- [11] 窦新永, 吴国江, 黄红英, 侯雨佳, 顾群, 彭长连. 麻疯树幼苗对干旱胁迫的响应. *应用生态学报*, 2008, 19(7): 1425-1430.
- [15] 熊庆娥. 植物生理学实验教程. 成都: 四川科技出版社, 2003.
- [16] 冯玉龙, 曹坤芳, 冯志立. 生长光强对4种热带雨林树苗光合机构的影响. *植物生理与分子生物学学报*, 2002, 28(2): 153-160.
- [17] 吴福忠. 干旱胁迫与施N条件下白刺花幼苗生长及其适应机制. 北京: 中国科学院研究生院, 2008.
- [18] 李伶俐, 马宗斌, 谢德意, 房卫平. 不同施氮水平对早熟棉光合特性及产量的影响. *中国棉花*, 2005, 32(11): 14-16.
- [19] 赵平, 孙谷畴, 彭少麟. 植物氮素营养的生理生态学研究. *生态科学*, 1998, 17(2): 37-42.
- [21] 吴楚, 王政权, 范志强, 孙海龙. 不同氮浓度和形态比例对水曲柳幼苗叶绿素合成、光合作用以及生物量分配的影响. *植物生态学报*, 2003, 27(6): 771-779.
- [23] 曹翠玲, 李生秀, 苗芳. 氮素对植物某些生理生化过程影响的研究进展. *西北农业大学学报*, 1999, 27(4): 96-101.

CONTENTS

Marine ecological capital: valuation of standing stock of marine living resources	REN Dachuan, CHEN Shang, XIA Tao, et al (4805)
Effect of Endophytic fungi on growth and photosynthetic characteristics of <i>Achnatherum sibiricum</i>	JIA Tong, REN Anzhi, WANG Shuai, et al (4811)
Based on image processing technology estimating leaves stomatal density of <i>Populus euphratica</i> and analysis of its ecological significance	JIAN Shengqi, ZHAO Chuanyan, ZHAO Yang, et al (4818)
Evaluation of the ecological instream flow in the Yellow River basin with hydrological alterations	ZHANG Qiang, LI Jianfeng, CHEN Xiaohong, et al (4826)
The ecological effects of <i>Suaeda salsa</i> on repairing heavily degraded coastal saline-alkaline wetlands in the Yellow River Delta	GUAN Bo, YU Junbao, LU Zhaohua, et al (4835)
Toxicity risks to the closed tidal flat ecosystem of a PCBs waste savepoint at the coast of Zhejiang	HE Shanying, CHEN Kunbai (4841)
Methane emission from a <i>Carex</i> -dominated wetland in Poyang Lake	HU Qiwei, ZHU Lili, XING Ruixin, et al (4851)
The study on Ice-fish Resources in the Three Gorges Reservoir	SHAO Xiaoyang, LI Daofeng, TAN Lu, et al (4858)
Effects of acute cold stress on serum biochemical and immune parameters and liver HSP70 gene expression in GIFT strain of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	LIU Bo, WANG Meiyao, XIE Jun, et al (4866)
Acute toxicity and effect of Cd ²⁺ on life table demography of <i>Brachionus angularis</i> and <i>Keratella valga</i>	XU Dandan, XI Yilong, MA Jie, et al (4874)
The association of BDNF gene polymorphisms with normal behavior traits in house-hold sika deer (<i>Cervus nippon</i>)	LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (4881)
Characteristics and controlling factors of photosynthesis in a maize ecosystem on the North China Plain	TONG Xiaojuan, LI Jun, LIU Du (4889)
The soil macrofaunal community structure under a long-term fertilization in wheat field	GU Yanfang, ZHANG Li, DING Shengyan, et al (4900)
Effect of earthworms on the photosynthetic characteristics of wetland plants and their capacity to purify wastewater	XU Defu, LI Yingxue, WANG Ranghui, et al (4907)
Toxicity of three pesticides and their effects on carboxylesterase activity of <i>Propiloscerus akamusi</i>	FANG Guofei (4914)
Reproductive behavior character and sexual tendency of the adult <i>Zeuzera leuconotum</i> Butler (Lepidoptera: Cossidae)	LIU Jinlong, ZONG Shixiang, ZHANG Jintong, et al (4919)
Effects of herbicides stress on the population of alligator weed flea beetles, <i>Agasicles hygrophila</i> (Col.: Chrysomelidae) and corresponding strategies	LIU Yufang, PENG Meifang, WANG Chengchao, et al (4928)
Patterns of fruit and seed production and ecological significance in desert species <i>Eremosparton songoricum</i> (FABACEAE)	SHI Xiang, WANG Jiancheng, ZHANG Daoyuan, et al (4935)
Effect of different nitrogen supply on the temporal and spatial distribution and remobilization of canopy nitrogen in winter wheat under limited irrigation condition	HAO Baozhen, JIANG Lina, FANG Baoting, et al (4941)
Plant architecture characteristics of <i>Haloxylon ammodendron</i> and <i>Haloxylon persicum</i> in Zhungar Basin	WANG Lijuan, SUN Dongyuan, ZHAO Chengyi, et al (4952)
Downscaling land surface temperature based on relationship between surface temperature and vegetation index	NIE Jianliang, WU Jianjun, YANG Xi, et al (4961)
Differential characteristics of soil δ ¹⁵ N under varying vegetation in karst areas	WANG Zhijun, LIANG Xuan, HE Qiufang, et al (4970)
Effect of nitrogen application rate on growth and leaf photosynthetic characteristics of <i>Jatropha curcas</i> L. seedlings	YIN Li, HU Tingxing, LIU Yongan, et al (4977)
Seasonal variations in leaf C, N, and P stoichiometry of typical plants in the Yangou watershed in the loess hilly gully region	WANG Kaibo, SHANGGUAN Zhouping (4985)
Clonal integration enhances the ability to scavenge reactive oxygen species in root of <i>Cynodon dactylon</i> subjected to submergence	LI Zhaojia, YU Jie, FAN Dayong, et al (4992)
Pattern of flow-covered sand-fixing woodland and its windbreak effect	YANG Wenbin, DONG Huilong, LU Qi, et al (5000)
Evaluation of soil and water conservation capacity of different forest types in Dongling Mountain	MO Fei, LI Xuyong, HE Shuxia, et al (5009)
Changes in structural components and respiration rates of coarse woody debris at the initial decomposition stage for 11 temperate tree species	ZHANG Limin, WANG Chuankuan, TANG Yan (5009)
Characteristics of nutrient cycling in first and second rotations of Chinese fir plantations	TIAN Dalun, SHEN Yan, KANG Wenxing, et al (5025)
The optimal design of a connected nature reserve network	WANG Yicheng (5033)
Sub-areas compartmentalization of Changjiang Estuary based on the natural geographical characteristics	LIU Lusan, ZHENG Binghui, MENG Wei, et al (5042)
The environmental and economic influence of coal-electricity integration exploitation in the Xilingol League	WU Di, DAI Fangzhou, YAN Yan, et al (5055)
Review and Monograph	
The influence of diversity changes of ecological conditions on the survival of honey bees	HOU Chunsheng, ZHANG Xuefeng (5061)
Scientific Note	
The spatio-temporal change in the secondary production of macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay	ZHANG Chongliang, XU Binduo, REN Yiping, et al (5071)
The studying system construction of wetland parks	WANG Lilong, LU Lin (5081)
Ecological footprint analysis of a semi-arid grassland region facilitates assessment of its ecological carrying capacity: a case study of Xilinguole League	YANG Yan, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (5096)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 17 期 (2011 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 17 2011

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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 70.00 元