

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

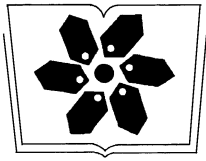
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 1 期
Vol.31 No.1
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 1 期 2011 年 1 月 (半月刊)

目 次

青藏高原东缘林线杜鹃-岷江冷杉原始林的空间格局	缪 宁, 刘世荣, 史作民, 等 (1)
季风常绿阔叶林不同恢复阶段藤本植物的物种多样性比较	李帅锋, 苏建荣, 刘万德, 等 (10)
越冬和复苏时期太湖水体蓝藻群落结构的时空变化	顾婷婷, 孔繁翔, 谭 啸, 等 (21)
海南新村湾海草床主要鱼类及大型无脊椎动物的食源	樊敏玲, 黄小平, 张大文, 等 (31)
广西涠洲岛造礁珊瑚种群结构的空间分布	梁 文, 张春华, 叶祖超, 等 (39)
宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨根系分布特征及其与根系吸水的关系	席本野, 王 烨, 贾黎明, 等 (47)
干旱河谷-山地森林交错带土壤水分与养分特征	刘 彬, 罗承德, 张 健, 等 (58)
信号分子水杨酸减缓干旱胁迫对紫御谷光合和膜脂过氧化的副效应	易小林, 杨丙贤, 宗学凤, 等 (67)
UV-B 辐射对南方红豆杉生活史型和紫杉烷类含量的影响	于景华, 李德文, 庞海河, 等 (75)
模拟氮沉降对石栎和苦槠幼苗土壤呼吸的影响	李 凯, 江 洪, 由美娜, 等 (82)
环渤海湾地区连作苹果园土壤中酚酸类物质变化	孙海兵, 毛志泉, 朱树华 (90)
不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响	王 冉, 李吉跃, 张方秋, 等 (98)
秋华柳和枫杨幼苗对镉的积累和耐受性	贾中民, 魏 虹, 孙晓灿, 等 (107)
祁连山北坡退化林地植被群落的自然恢复过程及土壤特征变化	赵成章, 石福习, 董小刚, 等 (115)
中国北方农牧交错带 C3 草本植物 $\delta^{13}\text{C}$ 与温度的关系及其对水分利用效率的指示	刘贤赵, 王国安, 李嘉竹, 等 (123)
不同退耕模式细根(草根)分解过程中 C 动态及土壤活性有机碳的变化	荣 丽, 李守剑, 李贤伟, 等 (137)
黑龙江省完达山东部林区东北虎猎物生物量	周绍春, 张明海, 孙海义 (145)
生态保护项目对大熊猫栖息地的影响	张玉波, 王梦君, 李俊清 (154)
石灰和 EM 处理条件下土壤动物群落在落叶分解中的变化	高梅香, 张雪萍 (164)
基于 EPG 的麦长管蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜取食行为比较	苗 进, 武予清, 郁振兴, 等 (175)
对映-贝壳杉烷型二萜类化合物对土壤纤毛虫群落的毒性效应	宁应之, 杜海峰, 王红军 (183)
红脂大小蠹种群空间格局地统计学分析及抽样技术	潘 杰, 王 涛, 宗世祥, 等 (195)
山西不同生态型大豆种质资源蛋白亚基的变异	王燕平, 李贵全, 郭数进, 等 (203)
施肥和覆膜垄沟种植对旱地小麦产量及水氮利用的影响	李廷亮, 谢英荷, 任苗苗, 等 (212)
近 40a 甘肃省气候生产潜力时空变化特征	罗永忠, 成自勇, 郭小芹 (221)
基于 GIS 的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴国县长冈乡为例	谢花林, 李秀彬 (230)
农户收入差异对生活用能及生态环境的影响——以江汉平原为例	杨 振 (239)
河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因	王 千, 金晓斌, 周寅康, 等 (247)
土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响	罗友进, 魏朝富, 李 渝, 等 (257)
专论与综述	
景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性	刘 宇, 吕一河, 傅伯杰 (267)
美国煤矿废弃地的生态修复	张成梁, B. Larry Li (276)
农田土壤食物网管理的原理与方法	陈云峰, 胡 诚, 李双来, 等 (286)
学术信息与动态	
旱地、荒漠和荒漠化: 探寻恢复之路 —— 第三届国际荒漠化会议述评	吕一河, 傅伯杰 (293)

不同施肥方法对马来沉香和 土沉香苗期根系生长的影响

王 冉^{1,2}, 李吉跃^{3,*}, 张方秋^{2,*}, 朱报著², 潘 文²

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 广东省林业科学研究院, 广州 510520; 3. 华南农业大学林学院, 广州 510642)

摘要:以珍贵树种马来沉香、土沉香 1 年生播种苗木为材料进行试验,研究指数施肥、平均施肥对 2 种沉香苗期根系生长动态及对 N 的响应特征。结果表明,经氮素处理的马来沉香、土沉香的根系生物量、根系长度、根系表面积、根系平均直径、根体积等指标均显著高于对照处理($P < 0.05$)。经指数施肥处理的苗木根系生长及各形态指标均高于平均施肥处理。同一时期在相同施肥处理方式下,马来沉香苗根系生长及根系形态指标值均高于土沉香。洛伦兹模型对不同施肥方法处理下马来沉香、土沉香苗木生长指标与根系生物量进行拟合,具有较高的 R^2 (0.95—0.99) 和较低的 $RSMD$ (0.538—2.352); 抛物面模型对不同施肥方法处理下马来沉香、土沉香苗木生长指标与比根长进行拟合,具有较高的 R^2 (0.92—0.99) 和较低的 $RSMD$ (3.218—6.692)。

关键词:指数施肥;根系;洛伦兹模型;抛物面模型;马来沉香;土沉香

Growing dynamic root system of *Aquilaria malaccensis* and *Aquilaria sinensis* seedlings in response to different fertilizing methods

WANG Ran^{1,2}, LI Jiyue^{3,*}, ZHANG Fangqiu^{2,*}, ZHU Baozhu², PAN Wen²

1 The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 Guangdong Forest Research Institute, Guangzhou 510520, China

3 College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

Abstract: Nitrogen is one of the most important limiting nutrients during tree growth. In this paper, the effects of nitrogen treatments with the exponential fertilization method, traditional fertilization method (mean fertilization) and non-fertilization on the total biomass and morphology parameters in roots of one-year-old *Aquilaria malaccensis* and *Aquilaria sinensis* seedlings were studied during a five-month period. The results suggested that N supply could significantly increase the root total biomass and root morphology parameter such as root length, root surface-area, root diameter, root volume and specific root length ($P < 0.05$). The root total biomass and root morphology parameter of the two *Aquilaria* seedlings from the exponential fertilization treatment were higher than those showed from the mean fertilization treatment. The conclusion is that the plants of *Aquilaria malaccensis* and *Aquilaria sinensis* treated with exponential fertilization can reach the highest growth rate. The Lorentzian model as a multi-variable nonlinear model was firstly applied to the simulations using both base diameter and height, and performed the best fit to total root biomass in the two species with the highest correlation coefficients (R^2 , 0.95—0.99) and smallest root mean squared deviations ($RSMD$, 0.538—2.352) among all the examined models. The Paraboloid model accurately simulated base diameter, height, and performed the best fit to specific root length in the two species with the highest correlation coefficients (R^2 , 0.92—0.99) and smallest root mean squared deviations ($RSMD$, 3.218—6.692) among all the examined models.

基金项目:国家林业局“948”项目(2008-4-01);广东省优良乡土树种良种选育与繁育专项资金项目(粤财农[2009]306号)资助

收稿日期:2010-07-12; **修订日期:**2010-11-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ljyymy@vip.sina.com; fqzhang001@yahoo.com.cn

Key Words: exponential fertilization method; root system; Lorentzian model; Paraboloid model; *Aquilaria malaccensis*; *Aquilaria sinensis*

在苗木培育过程中,主要是通过施肥来提高苗木质量,由于施肥方法的不同存在着严重的养分利用效率高低的问题,如何提高苗木的养分利用效率成为目前研究的热点之一^[1]。传统施肥法是在生长期内重复施用相同剂量的肥料;指数施肥法则是根据幼苗指数生长的需要,增加施肥量,从而诱导出稳定态营养。大量研究表明,指数施肥方法可以满足植物不同生长时期所需要的养分,提高养分利用效率,增强生存竞争力,节省肥料,同时也避免了多余的肥料对土壤造成污染^[2-8]。我国对指数施肥的研究时间相对较短,现在林业上已有一些初步试验报道,取得了较好的效果^[9-12]。

N 是限制植物生长的主要矿质元素,根系从土壤中吸收 N,通过同化运输到叶片,合成蛋白质和叶绿素等重要物质,为同化 CO₂ 提供基础^[13],N 吸收和根系特征参数变化对养分缺乏的适应非常重要,因为在养分摄取过程中,这些参数的改变起了决定性作用^[14]。根系长度和根表面积对主要借扩散抵达根表面的那些养分有效性具有决定性作用,因此研究根的形态学特征(总根长、根系表面积、根系平均直径及根系体积等)有着重要意义,根系的生长与植物的生长发育密切相关,是植物生长之根本,研究根系的形态特征生长特性对指导保护、引种、驯化珍稀濒危树种有着更为重要的作用。现国内外对珍稀濒危树种的研究大多在生物学特性、快繁增殖等方面,对其施肥方法及根系的研究尚少,本试验采用指数施肥方法与平均施肥方法(传统施肥法)对马来沉香 *Aquilaria malaccensis*(世界级濒危树种)、土沉香 *Aquilaria sinensis*(国家Ⅱ级重点保护野生植物)进行处理,研究不同施肥方法对其根系生长及根系形态特征的影响,并用多元非线性模型对苗木根系生物量与苗高、地径,比根长与苗高、地径的季节变化特点进行拟合,探讨 2 个品种沉香苗木地下部分与地上部分的相关关系,为珍稀濒危种群的保护、资源开发、引种培育和制定栽培集约管理措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在广东省林业科学研究院(广州)苗圃内温室,位于 23°14'N,113°23'E,海拔 25m,典型亚热带季风气候,年平均温度 23℃,最低月平均气温 13.3℃(1 月),最高月平均气温 38.1℃(8 月),年降雨量 1638mm,4—9 月份的降雨量占全年的 80%,年平均湿度 79%。

1.2 试验材料

供试材料取自广东省林业科学研究院苗圃,分别选取生长稳定的 1 年生马来沉香与土沉香播种苗。马来沉香苗高为(26.96 ± 1.35)cm,地径(4.58 ± 0.27)mm,含 N 量 3.250%,土沉香苗高为(25.51 ± 1.53)cm,地径(4.70 ± 0.33)mm,含 N 量为 3.349%。

1.3 研究方法

1.3.1 施肥方法

(1)指数施肥 以与植物生长的速率几乎相等的速率供应养分,它是呈指数递增的。其方程式为:

$$NT = N_s(e^r - 1) \quad (1)$$

式中,NT 为总的施 N 量, N_s 为施肥处理前植株体内的初始含 N 量, t 为施肥的总次数($t = 10$), r 为营养物相对添加率。

$$N_t = N_s(e^r - 1) - N_{t-1} \quad (2)$$

式中 N_s, r 同(1), N_t 为第 t 次施 N 量, t 为施肥次数, N_{t-1} 为前 $t-1$ 次累积的施 N 量^[15]。

(2)平均施肥(传统施肥) 传统的施肥方法,在相同的间隔时间施以相等的肥量。每次施入肥量的方程式为^[16]:

$$N_t = k, k \text{ 为常数} \quad (3)$$

$$NT = TN_t \quad (4)$$

C 对照(CK): 在苗木生长期间不施肥。

1.3.2 施肥量的确定

本试验具体施肥量见表 1, 指数施肥与平均施肥处理最终的施肥量相同, 即 $NT = 3000\text{mg}$, 综合考虑植物生长周期及施肥操作的方便性, 指数施肥试验施肥的间隔设为 15d, 总施肥次数为 10 次 ($T = 10$), 根据马来沉香、土沉香含氮量, 经计算得到 $r_{\text{马来沉香}} = 0.569$, $r_{\text{土沉香}} = 0.504$ 。平均施肥试验的间隔设为 30d, 总施肥次数为 5 次。为了除去潜在的由施肥、灌溉条件对苗木生长和生理产生的交互影响, 采用水溶性肥料(普罗丹, N:P:K = 20:20:20, Plant Products Co. Ltd., Brampton, Ont.) 为解决施肥方案^[17], 以 N 为基准计算每次的施入量^[18]。

表 1 不同施肥方法处理的施肥量

Table 1 Amount of fertilizer in different treatments (mg/株)

品种 Species	施肥方法 Treatments	总量 NT (mg)	t(次数)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月				
马来沉香 <i>Aquilaria</i>	指数施肥	3000	7.77	13.73	24.27	42.89	75.80	133.96	236.76	418.42	739.49	1306.91
<i>malaccensis</i>	平均施肥	3000	600		600		600		600		600	
土沉香 <i>Aquilaria</i>	不施肥(CK)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>sinensis</i>	指数施肥	3000	13.24	21.78	35.86	59.05	97.29	160.39	264.55	436.55	720.75	1190.55
	平均施肥	3000	600		600		600		600		600	
	不施肥(CK0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1.3.3 指标测定

2009 年 4 月中旬植苗于规格为 $25\text{cm} \times 35\text{cm} \times 30\text{cm}$ (底径 $\times$ 上口径 $\times$ 高) 的塑料盆中, 每盆栽植 1 株, 6 月 28 日开始用不同施肥方法对其进行处理。指数施肥每 15d 进行 1 次, 平均施肥 30d 进行 1 次, 2009 年 11 月 28 日施肥试验结束。试验期间, 每个品种各个处理中选择 3 株苗于每次施肥前进行苗木生长指标(苗高、地径)、根系形态指标与生物量的测定。根系取样时, 将栽植容器放在尼龙网筛上用水冲去泥土, 获得整体根系, 用流水缓缓冲洗干净, 冲洗时在根系下面放置 100 目筛以防止脱落的根系被水冲走, 之后迅速将根系带入有空调控温的室内, 用万深 LA-S 植物根系分析系统(杭州万深检测科技有限公司)测得整株根系的根长, 根表面积, 根平均直径, 根体积, 扫描后的根系全部在 70°C 下烘干 48h 后称其总根干重。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003, SPSS(16.0) 软件进行数据分析处理及根系模型的评价。方差分析用于检验不同施肥方法对根系特征指标产生的影响; Duncan 法对不同施肥方法下的根系特征指标进行多重比较; 逐步回归用于检验苗高、地径对与根系总生物量的影响; 多元非线性回归模型用于研究根系总生物量、比根长与苗高、地径间的关系。整个分析过程使用以下模型^[19]:

$$\text{Lorentzian model} \quad M = \frac{a}{[1 + ((D-b)/c)^2][1 + ((H-f)/g)^2]} \quad (4)$$

$$\text{SRL} = \frac{a}{[1 + ((D-b)/c)^2][1 + ((H-f)/g)^2]} \quad (5)$$

$$\text{Paraboloid model:} \quad M = a + bD + cH + fD^2 + gH^2 \quad (6)$$

$$\text{SRL} = a + bD + cH + fD^2 + gH^2 \quad (7)$$

$$\text{Caussian model:} \quad M = ae^{-0.5[(D-b)/c]^2 + [(H-f)/g]^2} \quad (8)$$

$$\text{SRL} = ae^{-0.5[(D-b)/c]^2 + [(H-f)/g]^2} \quad (9)$$

式中, M 为根系生物量, M , 根系比根长 SRL , H 为苗高, D 为地径, a, b, c, f, g 为参数。

$$\text{RMSD} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (10)$$

$RMSD$ (root mean square deviation)为均方根偏差,是一种在模拟及预测中很重要的评价标准,其值越小,则说明模型方程的拟合效果越好。

2 结果与分析

2.1 不同施肥方法下不同品种沉香根系形态季节变化

不同施肥方法对2种沉香苗木根系形态指标的影响(6—11月)如图1所示,施肥诱导根系总根长增长,根系表面积增大,根系平均直径增粗,根系体积增大,且大于对照水平。2种施肥方法下,经指数施肥处理的苗木根系各形态指标在7—8月(指数施肥前期)与平均施肥处理下的苗木相比表现较为缓慢,指数施肥处理的马来沉香根系表面积、根系体积,土沉香根系体积生长水平在7—8月比平均施肥的要低。在9—10月(指数施肥中期)经指数施肥处理的沉香苗木根系各形态指标(除马来沉香总根长)的生长水平均比平均施肥的高。在11月(指数施肥末期),经指数施肥的苗木总根系形态指标生长水平均高于经平均施肥的根系,其中指数施肥处理的马来沉香与土沉香苗木的根长分别达到了37.816,33.320m,经平均施肥处理的马来沉香与土沉香苗木分别为29.072,24.77cm,不施肥的马来沉香与土沉香分别是23.117,21.751cm。

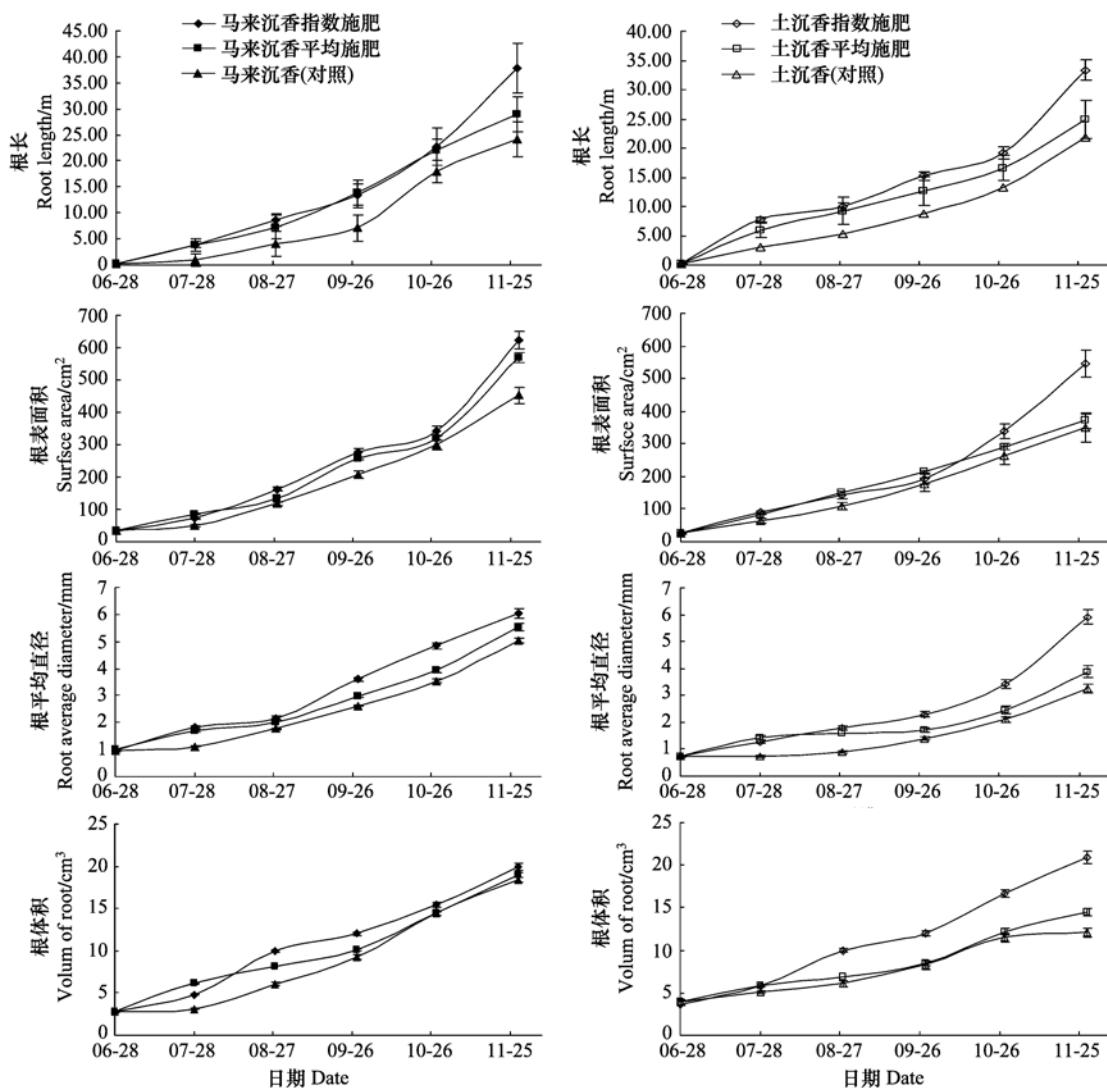


图1 不同施肥方法下马来沉香根与土沉香根系形态指标的季节变化

Fig. 1 Seasonal Variability of Root traits of *Aquilaria malaccensis* and *Aquilaria sinensis* seedlings in response to different fertilizing methods

由图1可知,马来沉香苗木根系总根长、根系表面积、根系平均直径、根系体积等形态指标生长水平在相

同施 N 水平的指数施肥试验中整体高于土沉香,在总施 N 浓度同为 3000mg 的平均施肥试验及对照试验中,也得到相同的结果。

2.2 不同施肥方法对不同品种沉香根系形态的影响

相同 N 水平不同施肥方法下马来沉香和土沉香整株苗木根系总生物量、总根长、根系表面积、根系平均直径、根系体积以及比根长均发生显著的变化。在相同施肥条件下,马来沉香苗木根系总生物量及各项根系形态特征值均大于土沉香($P < 0.05$, 11 月)。由表 2 可知,在指数施肥处理下,马来沉香根系总生物量达到 4.65g,显著高于平均施肥处理(3.68g)和对照(2.99g);根系根长达 37.816m,显著高于平均施肥处理(29.072m)和对照(24.117m);根系表面积达到 623.989cm²,显著高于平均施肥处理(569.567 cm²)和对照(452.983 cm²);根系平均直径(3.830mm)与平均施肥处理(3.540mm)之间无显著性差异,但显著高于对照(2.328mm);根系体积达到 20.941cm³,显著高于平均施肥处理(18.308cm³)和对照(15.857 cm³);比根长(8.132 m/g)与平均施肥处理(7.900 m/g)下差异不显著,且平均施肥处理与对照(7.773m/g)处理差异也不显著。不同施肥方法处理下的土沉香根系总生物量、根长、表面积、平均直径、体积及比根长也表现出了相同的变化趋势。在指数施肥处理下,土沉香根系总生物量指数施肥(4.23g)显著高于平均施肥(3.39g)和对照(2.83g);总根长为 33.320m,显著高于平均施肥(24.877m)和对照(21.751m);根系表面积达到 530.178cm²,显著高于平均施肥(378.239 cm²)和对照(348.069 cm²);根系平均直径达到 3.509mm,显著高于平均施肥(2.415mm)和对照(1.863mm);根系体积指数施肥为 18.877 cm³,显著高于平均施肥(14.079 cm³)和对照(112.883 cm³);比根长为 8.113m/g,显著高于平均施肥(7.928m/g)和对照(7.689m/g)。

表 2 不同施肥方式对马来沉香与土沉香幼苗根系总长度、总表面积和总体积以及根系平均直径的影响(11 月)

项目 Item	马来沉香 <i>Aquilaria malaccensis</i>			土沉香 <i>Aquilaria sinensis</i>		
	指数施肥 A	平均施肥 B	不施肥 C	指数施肥 A	平均施肥 B	不施肥 C
根系总生物量/g Total root biomass	4.65 ± 0.356a	3.68 ± 0.436b	2.97 ± 0.801c	4.23 ± 0.594a	3.39 ± 0.429b	2.83 ± 0.502c
总根系长度/m Total root length	37.816 ± 18.91a	29.072 ± 14.54b	23.117 ± 12.06c	34.320 ± 16.66a	26.877 ± 12.44b	21.751 ± 10.87c
根系表面积/cm ² Total root area	623.989 ± 31.20a	569.567 ± 28.48b	452.983 ± 22.65c	530.178 ± 26.51a	378.239 ± 18.91b	348.069 ± 17.40c
根系体积/cm ³ Total root volume	20.941 ± 1.05a	18.308 ± 0.92b	15.857 ± 0.79c	18.877 ± 0.94a	14.079 ± 0.70b	12.883 ± 0.64b
根系平均直径/mm Average root diameter	3.830 ± 0.19a	3.540 ± 0.17a	2.328 ± 0.12b	3.509 ± 0.18a	2.415 ± 0.30b	1.863 ± 0.09c
比根长/(m/g) Specific root length	8.132 ± 0.294a	7.900 ± 0.471ab	7.784 ± 0.459b	8.113 ± 0.289a	7.928 ± 0.279a	7.689 ± 0.509b

2.3 马来沉香与土沉香苗期根系生长模型拟合

采用逐步回归将 2 种沉香苗高、地径与根系总生物量进行拟合,结果如表 3 所示,经指数施肥处理的马来沉香苗木根系总生物量与苗高有较强的相关性,而土沉香苗木根系总生物量则与地径有较强的相关性;经平均施肥处理的马来沉香与土沉香苗木根系总生物量都与地径有较强的相关性;不施肥的马来沉香与土沉香苗木根系总生物量都与苗高有较强的相关性。对不同品种的沉香采用的施肥处理方法不同,与根系生物量相关性高的因子会发生变化,如采用一元线性回归进行拟合,则回归方程要随着树种、处理方法的改变而改变相关变量,并且只能考察单一因素对根系生物量的影响。由表 3 可以看出,多元线性回归模型对其根系生物量与苗高、地径间关系进行拟合的模型决定系数较低,从而不能反映之间的关系。

鉴于线性回归模型不能较好地拟合马来沉香、土沉香苗木生长及根系的变化情况,本试验采用多元非线性回归模型拟合,拟合结果如表 4 所示,多元非线性模型不但能够较好地反映出不同施肥方法对同一品种沉香苗木根系生物量与苗高、地径之间的关系及变化情况,而且能同时模拟马来沉香与土沉香 2 种苗木根系生

物量与苗高、地径之间的关系及变化情况。在洛伦兹模型、抛物面模型、Caussian 模型拟合的结果中,决定系数 R^2 的值都比较接近 1,拟合度较好,其中采用洛伦兹模型拟合的 R^2 为 0.95—0.99, $RSMD$ 值为 0.538—2.352;采用抛物面模型拟合的 R^2 为 0.93—0.99, $RSMD$ 值为 2.344—10.500;采用 Caussian 模型拟合的 R^2 为 0.91—0.99, $RSMD$ 值为 0.617—2.978。3 个模型中洛伦兹模型对马来沉香、土沉香苗木根系生物量与苗高、地径的拟合模型方程的 $RSMD$ 值较抛物面模型、Caussian 模型更小,因此,洛伦兹模型与其他线性或非线性回归模型相比,有优良的稳定性和较高的拟合度等特点,能够精确地反映并模拟马来沉香、土沉香苗木根系生物量与苗高、地径间的关系及生长变化情况。

表 3 逐步回归对马来沉香与土沉香苗期根系生长模型拟合

Table 3 Stepwise regression analysis of growing dynamic root system of *Aquilaria malaccensis* and *Aquilaria sinensis* seedlings

	马来沉香 <i>Aquilaria malaccensis</i>	R^2	土沉香 <i>Aquilaria sinensis</i>	R^2
指数施肥	$M = -3.365 + 0.0643H + 0.417D$	0.74	$M = -3.674 + 1.467D - 0.107H$	0.66
Exponential fertilization	$M = -3.148 + 0.0479H$	0.74	$M = -1.807 + 0.54D$	0.66
平均施肥	$M = -2.376 + 1.12D - 1.083H$	0.63	$M = -3.006 + 1.131D - 0.077H$	0.52
Mean fertilization	$M = -1.178 + 0.488D$	0.63	$M = -1.675 + 0.471D$	0.52
不施肥(对照)	$M = -2.956 + 0.042H + 0.352D$	0.77	$M = -1.394 + 0.084H + 0.24D$	0.71
Non-fertilization(CK)	$M = -3.676 + 0.0578H$	0.77	$M = -0.697 + 0.046H$	0.71

表 4 多元非线性回归模型对马来沉香与土沉香根系总生物量及苗高、地径间生长关系的拟合

Table 4 Multi-variable nonlinear models simulation of the base diameter, height and total root biomass of *Aquilaria malaccensis* and *Aquilaria sinensis* seedlings

		R^2	$RSMD$
洛伦兹(Lorentzian)模型			
马来沉香指数	$M = \frac{35.391}{[1 + ((D - 6.079)/1.563)^2][1 + ((H - 91.243)/(14.326))^2]}$	$R^2 = 0.98$	0.904
马来沉香平均	$M = \frac{4.469}{[1 + ((D - 8.735)/2.419)^2][1 + ((H - 48.633)/66.225)^2]}$	$R^2 = 0.95$	1.377
马来沉香对照	$M = \frac{11.012}{[1 + ((D - 5.736)/1.561)^2][1 + ((H - 69.018)/11.902)^2]}$	$R^2 = 0.99$	0.874
土沉香指数	$M = \frac{23.315}{[1 + ((D - 11.283)/1.417)^2][1 + ((H - 39.083)/19.173)^2]}$	$R^2 = 0.96$	2.352
土沉香平均	$M = \frac{24.138}{[1 + ((D - 10.305)/0.992)^2][1 + ((H - 36.219)/16.059)^2]}$	$R^2 = 0.97$	1.884
土沉香对照	$M = \frac{10.491}{[1 + ((D - 7.888)/0.747)^2][1 + ((H - 31.887)/13.732)^2]}$	$R^2 = 0.99$	0.538
抛物面(Paraboloid)模型			
马来沉香指数	$M = -31.799 + 12.823D - 0.206H - 1.191D^2 + 0.005H^2$	$R^2 = 0.99$	10.500
马来沉香平均	$M = 4.275 - 4.166D + 0.396H + 0.363D^2 - 0.004H^2$	$R^2 = 0.93$	2.344
马来沉香对照	$M = -10.720 + 4.126D - 0.017H - 0.419D^2 - 0.002H^2$	$R^2 = 0.99$	8.722
土沉香指数	$M = -5.549 + 2.305D - 0.183H - 0.025D^2$	$R^2 = 0.99$	3.848
土沉香平均	$M = -8.612 + 5.565D - 0.573H - 0.254D^2 + 0.004H^2$	$R^2 = 0.99$	3.589
土沉香对照	$M = -45.588 + 29.201D - 2.485H - 2.113D^2 + 0.029H^2$	$R^2 = 0.99$	4.372
Caussian 模型			
马来沉香指数	$M = 1304.997e^{-0.5[(D - 6.829)/2.782]^2 + [(H - 443.165)/111.819]^2}$	$R^2 = 0.92$	2.668
马来沉香平均	$M = 8378.158e^{-0.5[(D - 47.716)/10.285]^2 + [(H - 52.743)/25.632]^2}$	$R^2 = 0.91$	2.978
马来沉香对照	$M = 384.411e^{-0.5[(D - 19.734)/4.622]^2 + [(H + 54.119)/56.197]^2}$	$R^2 = 0.99$	0.617
土沉香指数	$M = 20700.967e^{-0.5[(D - 5.444)/2.128]^2 + [(H - 336.965)/64.651]^2}$	$R^2 = 0.91$	13.111
土沉香平均	$M = 257.728e^{-0.5[(D - 19.813)/4.645]^2 + [(H + 54.119)/61.988]^2}$	$R^2 = 0.95$	2.269
土沉香对照	$M = 29446.768e^{-0.5[(D - 10.596)/1.831]^2 + [(H + 156.958)/52.242]^2}$	$R^2 = 0.97$	1.698

比根长(*SRL*)决定根系吸收养分和水分的能力^[20],并且与根系功能、根系分泌物、根系寿命、根系呼吸、根系可塑性和根系增殖^[21,22]等密切相关。是反映根系生理功能的一个重要指标,将其与苗高、地径用洛伦兹模型、抛物面模型、Caussian 模型拟合,得到结果如表 5 所示。采用洛伦兹模型拟合的 R^2 为 0.71—0.93, $RSMD$ 值为 3.541—12.692;采用抛物面模型拟合的 R^2 为 0.92—0.99, $RSMD$ 值为 3.218—6.692;采用 Caussian 模型拟合的 R^2 为 0.82—0.97, $RSMD$ 值为 11.328—25.215。在 3 个模型拟合的结果中,抛物面模型决定系数 R^2 的值比较接近 1, $RSMD$ 值及变化幅度均最小,具有较高的拟合度,能够精确地反映并模拟马来沉香、土沉香苗木根系比根长与苗高、地径之间的关系及生长变化情况;洛伦兹模型与 Caussian 模型相比,决定系数 R^2 值较低, $RSMD$ 值较小,更具稳定性。

表 5 多元非线性回归模型对马来沉香与土沉香根系比根长及苗高、地径间生长关系的拟合

Table 5 Multi-variable nonlinear models simulation of the base diameter, height and specific root length of *Aquilaria malaccensis* and *Aquilaria sinensis* seedlings

模型 Model		R^2	$RSMD$
洛伦兹(Lorentzian) 模型			
马来沉香指数	$SRL = \frac{100312.2}{[1 + ((D - 73.179)/24.871)^2][1 + ((H + 28421.6)/2540.176)^2]}$	0.89	9.922
马来沉香平均	$SRL = \frac{71807.83}{[1 + ((D - 74.723)/28.841)^2][1 + ((H + 18401.9)/1970.166)^2]}$	0.93	3.541
马来沉香对照	$SRL = \frac{31408.491}{[1 + ((D - 69.561)/24.390)^2][1 + ((H + 58694.8)/951.286)^2]}$	0.84	8.717
土沉香指数	$SRL = \frac{120342.3}{[1 + ((D - 128.512)/40.83)^2][1 + ((H + 218239)/2794.182)^2]}$	0.71	11.433
土沉香平均	$SRL = \frac{118231.3}{[1 + ((D - 87.741)/37.734)^2][1 + ((H + 343372)/2854.487)^2]}$	0.75	9.464
土沉香对照	$SRL = \frac{36980.958}{[1 + ((D - 62.684)/20.418)^2][1 + ((H + 102427)/1371.759)^2]}$	0.86	12.692
抛物面(Paraboloid) 模型			
马来沉香指数	$SRL = 11.82 + 1.689D - 15.123H - 0.023D^2 + 1.444H^2$	0.94	6.692
马来沉香平均	$SRL = -87.635 - 3.211D + 51.432H - 3.905D^2 + 0.031H^2$	0.99	5.773
马来沉香对照	$SRL = -83.169 - 0.520D + 34.399H - 3.421D^2 + 0.017H^2$	0.95	3.218
土沉香指数	$SRL = -17.821 - 0.942D + 9.556H - 0.252D^2 + 0.004H^2$	0.92	3.634
土沉香平均	$SRL = -16.823 - 0.088D + 4.279H + 0.036D^2 - 0.003H^2$	0.99	4.759
土沉香对照	$SRL = 11.82 + 1.689D - 15.123H + 1.444D^2 - 0.023H^2$	0.94	5.867
Caussian 模型			
马来沉香指数	$SRL = 10.131e^{-0.5[(D - 9.946)/(-2.679)]^2 + [(H + 5948.751)/8888.34]^2]}$	0.97	22.871
马来沉香平均	$SRL = 1140.87e^{-0.5[(D - 46.49)/12.219]^2 + [(H - 61.877)/26.923]^2]}$	0.96	16.432
马来沉香对照	$SRL = 599.342e^{-0.5[(D - 14.098)/6.613]^2 + [(H - 382.123)/113.326]^2]}$	0.87	17.985
土沉香指数	$SRL = 2914.96e^{-0.5[(D - 20.788)/4.749]^2 + [(H + 18.818)/52.963]^2]}$	0.84	25.215
土沉香平均	$SRL = 11.187e^{-0.5[(D - 49776.355)/55441.94]^2 + [(H - 71.245)/29.130]^2]}$	0.82	23.114
土沉香对照	$SRL = 29.139e^{-0.5[(D + 242.584)/259.266]^2 + [(H - 109.798)/40.382]^2]}$	0.86	11.328

4 结论与讨论

大量研究表明根系形态对于土壤养分变化反应敏感,施肥能促进根系分枝数增加及总根长增长^[23-25]。本试验中经水溶性肥料(普罗丹)处理的马来沉香、土沉香的根系总生物量及总根长、根系表面积、根系平均直径、根系体积等形态特征指标在每个时期都高于对照水平,得到了与 King 对火炬松和北美黄松苗木试验^[25]相似的结论,说明施用一定量的水溶性肥料对根系的生长发育及形态建立具有促进作用。根系长度、根系表面积、根平均直径是体现根系吸收效率及能力的重要指标^[26]。本试验中 N 处理条件下的马来沉香与土沉香苗木根长、根系表面积、根平均直径、根体积均显著高于对照水平,这是因为植物根系的生长速率受植物

体内 N 素营养状况有关信号的调节,在一定范围内,增加 N 供应,可以提高光合效率,根系得到的光合产物分配增多,从而促进根系生长,根系表面积和体积的增大,拓宽了根系吸收范围,根系直径的加粗对地上部分的生长起物理支撑和储藏碳水化合物的作用,为苗木来年或短期胁迫环境下生长提供养分。对于 2 种沉香植物而言,在相同试验处理下,马来沉香苗木根系各形态指标生长水平均高于土沉香。

不同的施肥方法对 2 种沉香根系各项形态指标的影响则不同。在不同施肥方法的处理下,经平均施肥处理的苗木在施肥反应较快呈直线生长,后期则比较缓慢;而经指数施肥处理的苗木根系生长在施肥前期表现较为缓慢,但却呈现出稳定的增长趋势,后期明显高于其平均施肥处理。这是因为平均施肥(传统施肥)在生长期施用的营养量为定值,施肥初期供给营养量过多,施肥初期会积累较多的生物量,但是后期营养供给相对不足。指数施肥在生长期使用的营养量随着苗木生长需求量的增大而增大,从而诱导出稳定态营养,虽然两者的施肥总量相同,但施肥量的周期增加率不同,指数施肥后期营养供给量较多,且生长过程中内部营养浓度稳定,在生长季末期积累较多的生物量^[18,27-30]。在指数生长初期,养分供给相对较少时能促进根系的分枝及伸长生长。生长后期,营养供给相对较多时,则促进根系生物量的积累。与传统施肥相比,指数施肥更有利于培育健康完整的根系^[31]。由此可以得出指数施肥是较为理想的施肥方法,值得推广。

本试验研究苗高、地径与根系生物量的关系,从而以地上部分指标值来估计地下根系生物量及比根长的值。洛伦兹模型可以精确地模拟不同施肥方法下马来沉香、土沉香苗期根系生物量与生长指标的关系及生长情况,具有较高的 R^2 (0.95—0.99) 和较低的 $RSMD$ (0.538—2.352),解决了一元线性回归不能全面的不同处理下生长指标与地下根系生物量间关系的缺点,并弥补了多元线性回归不能精确拟合生长指标与地下根系生物量间关系的缺陷。程颂^[19]运用洛伦兹模型精确地模拟了林下黄桦树、糖槭树根生物量和苗高、地径的生长模型,本试验也得到相似结论。而在地上生长指标与比根长的模型拟合结果中,抛物面模型以较高的 R^2 (0.92—0.99) 和较低的 $RSMD$ 值(3.218—6.692),精确地模拟了不同施肥方法下马来沉香、土沉香苗期根系比根长与生长指标的关系及生长情况。植物根系吸收水分和养分的能力更多的取决于根长而不是生物量,所以,具有较大比根长的植物在根系生物量投入方面比具有较小比根长的植物更有效率,因此研究植物比根长对于了解根系功能和探明其生物量分配策略具有重要意义^[32]。根系与养分 N 的反应是一个复杂的生理生态过程,既表现出形态方面的变化,又表现出解剖结构方面的变化,还表现出生理方面的变化。本研究仅仅从马来沉香、土沉香整株根系形态指标来进行分析可能的原因,对分级根系微细根(根系直径 ≤ 2 mm),粗细根(根系直径 2—5 mm),粗根(根系直径 > 5 mm)的形态特征指标对养分的响应特征有待进一步研究。

References:

- [1] Wei H X, Xu C Y, Ma L Y, Jiang L N, Jiang C J, Liu F S, Zhang Q C. Nutrient uptake of *Larix olgensis* seedlings in response to different exponential regimes. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(3): 0685-0690.
- [2] Timmer V R, Armstrong G. Growth and nutrition of containerized *Pinus resinosa* seedlings at exponentially increasing nutrient additions. *Canadian Journal of Forest Research*, 1987, 17: 644-647.
- [3] Burgess D. Western hemlock and douglas-fir seedling development with exponential rates of nutrient addition. *Forest Science*, 1991, 37(1): 54-67.
- [4] Xu X J, Timmer V R. Growth and nitrogen nutrition of Chinese fir seedlings exposed to nutrient loading and fertilization. *Plant and Soil*, 1999, 216: 83-91.
- [5] Timmer V R, Munson A D. Site-specific growth and nutrition of planted *Picea marian* in the Ontario Clay Belt. IV: nitrogen loading response. *Canadian Journal of Forest Research*, 1991, 21: 1058-1065.
- [6] Hawkins B J, Burgess D, Mitchell A K. Growth and nutrient dynamics of western hemlock with conventional or exponential greenhouse fertilization and planting in different fertility conditions. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(4): 1002-1016.
- [7] Qureshi A M, Timmer V R. Early outplanting performance of nutrient-loaded containerized black spruce seedlings inoculated with *Laccaria bicolor*: a bioassay study. *Canadian Journal of Forest Research*, 2000, 30(5): 744-752.
- [8] Dumroese R K, Page-Dumroese D S, Salifu K F, Jacobs D F. Exponential fertilization leaching fractions, and early out planting performance of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(12): 2961-2968.
- [9] Jia H J, Ingstad T. A Study on optimum nutrient requirements of *Paulownia elongata* and *Robinia pseudoacacia* seedlings. *Scientia Silvae*

- Sinicae, 1994, 16(4):65-74.
- [10] Jia H J, Zheng H M, Li J N, Wan X R. Application of steady state mineral nutrition principle to fertilization of potted conifer seedlings. *Journal of Beijing Forestry University*, 1994, 16(4):65-74.
- [11] Jia H J, Zheng H M. Comparative study on the steady state mineral nutrition of *Paulownia elongata* seedlings. *Journal of Beijing Forestry University*, 1993, 15(8):12-18.
- [12] Jia H J, Zheng H M, Li J N, Wan X R. Studies on steady state mineral nutrition and mineralization for container-grown seedlings of Slash pine. *Scientia Silvae Sinicae*, 1998, 34(1):9-17.
- [13] Field C, Mooney H A. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants//Givinish T J ed. *On the Economy of Plant Form and Function*. Cambridge: Cambridge University Press, 1986: 25-55.
- [14] Zhang S F. The advances of nutrition studies on soil and plant (Vol. 1). Beijing: Beijing Agriculture University Press, 1992, 73-82.
- [15] Ingstedt T L, S A B. Theory and techniques for steady state mineral nutrition and growth of plants. *For Res*, 1986(1):439-453.
- [16] Li S Y, Sun X Y, Liu K Y. Application of exponential fertilization to the cultivation of lawn before transplanting. *Journal of Beijing Forestry University*, 2003, 25(4):44-48.
- [17] Salifu K F, Timmer V R. Optimizing nitrogen loading of *Picea mariana* seedlings during nursery culture. *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, 33: 1287-1294.
- [18] Imo M, Timmer V R. Nitrogen uptake of mesquite seedlings at conventional and exponential fertilization schedules. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56(3): 927-934.
- [19] Song C. Lorentzian model of roots for understory yellow birch and sugar maple saplings. *Journal of Theoretical Biology*, 2007, 246:309-322.
- [20] Fransen B, Roon H D, Berendse F. Root morphological plasticity and nutrient acquisition of Perennial grass *Peesies* from habitats of different nutrient availability. *Oecologia*, 1998, 115(3):351-358.
- [21] Eissenstat D M. Costs and benefits of constr Uction roots of small diameter. *Journal of Plant Nutrition*, 1992, 15:763-782.
- [22] Eissenstat D M. On the relationship between specific root length and the rate of root Proliferation; a field study suingeitr Usrootstoeks. *New Phytologist*, 1991, 118:63-68.
- [23] Hodge A. The plastic plant; root responses to heterogeneous supplies of nutrients. *New Phytologist*, 2004, 162: 9-24.
- [24] Hodge A, Robinson D, Griffiths B S, Fitter A H. Why plants bother; root proliferation results in increased nitrogen capture from anorganic patch when two grasses compete. *Plant Cell and Environment*, 1999, 22: 811-820.
- [25] Farley R A, Fitter A H. The responses of seven co-occurring woodland herbaceous perennials to localized nutrient-rich patches. *Journal of Ecology*, 1999, 87: 849-869.
- [26] King J S, Thomas R B, Strain B R. Morphology and tissue quality of seeding root systems of *Pinus teada* and *Pinus ponderosas* affected by varying CO₂, temperature and nitrogen. *Plant and Soil*. 1997, 195: 107-119.
- [27] Gordon W S, Jackson R B. Nutrient concentrations in fine roots. *Ecology*. 2000, 81 (1): 275-280.
- [28] Qu L, Quoreishi A M, Koike T. Root growth characteristics, biomass and nutrient dynamics of seedlings of two larch species raised under different fertilization regimes. *Plant and Soil*, 2003, 255: 293-30.
- [29] Birge Z K D, Salifu K F, Jacobs D F. Modified exponential nitro-gen loading to promotemor phological quality and nutrient storage of bare root-cultured *Quercus rubra* and *Quercus alba* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2006, 21: 306-316.
- [30] Timmer V R, Miller B D. Effects of contrasting fertilization and moisture regimes on biomass, nutrients, and water relations of container grown red pine seedlings. *New Forests*, 1991, 5(4):335-348.
- [31] 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: 401-415.
- [32] Robinson D, Hodge A, Fitter A. Constraints on the form and function of root systems//Kroon H D, eds. *Root Ecology*. Heidelberg: Springer Verlag, 2003, 1-26.

参考文献:

- [1] 魏红旭, 徐程, 马履一, 江俐妮, 姜长吉, 刘福森, 张启昌. 不同指数施肥方法下长白落叶松播种苗的需肥规律. *生态学报*, 2010, 30(3): 0685-0690.
- [9] 贾慧君, Ingstedt T. 兰考泡桐和刺槐幼苗最适营养需要的研究. *林业科学*, 1989, 25(1):1-6.
- [10] 贾慧君, 郑槐明, 李江南, 万细瑞. 稳态营养原则在杉木、湿地松苗木施肥中的应用. *北京林业大学学报*, 1994, 16(4):65-74.
- [11] 贾慧君, 郑槐明. 兰考泡桐幼苗稳态矿质营养比较研究. *北京林业大学学报*, 1993, 15(3):12-17.
- [12] 贾慧君, 郑槐明. 湿地松容器苗稳态营养与土壤矿化作用的研究. *林业科学*, 1998, 34(1):9-17.
- [14] 张福锁. 土壤与植物营养研究新动态(第1卷). 北京:北京农业大学出版社, 1992:73-82.
- [16] 李素艳, 孙向阳, 刘凯英. 指数施肥技术在草坪培育中的应用. *北京林业大学学报*, 2003, 25(4):44-48.

CONTENTS

Spatial pattern analysis of a <i>Rhododendron-Abies</i> virginal forest near timberline on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau, China	MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (1)
Changes of liana species diversity in different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest	LI Shuaifeng, SU Jianrong, LIU Wande, et al (10)
Investigation on spatio-temporal pattern of cyanobacterial community structure by T-RFLP during overwinter and recruitment period in Taihu Lake	GU Tingting, KONG Fanxiang, TAN Xiao, et al (21)
Food sources of fish and macro-invertebrates in a tropical seagrass bed at Xincun Bay, Southern China	FAN Minling, HUANG Xiaoping, ZHANG Dawen, et al (31)
Spatial pattern of Scleractinian coral Population Structure in Weizhou Island, Beihai, Guangxi	LIANG Wen, ZHANG Chunhua, YE Zuchao, et al (39)
Property of root distribution of triploid <i>Populus tomentosa</i> and its relation to root water uptake under the wide-and-narrow row spacing scheme	XI Benye, WANG Ye, JIA Liming, et al (47)
Soil nutritional properties and moisture gradient of the ecotone between dry valley and montane forest of the Minjiang River	LIU Bin, LUO Chengde, ZHANG Jian, et al (58)
Signal chemical salicylic acid mitigates the negative effects of drought on photosynthesis and membrane lipid peroxidation of purple majesty	YI Xiaolin, YANG Bingxian, ZONG Xuefeng, et al (67)
Effects of supplementary UV-B radiation on life cycle forms and the accumulation of taxanes of <i>Taxus chinensis</i> var. <i>mairei</i>	YU Jinghua, LI Dewen, PANG Haihe, et al (75)
Effect of simulated nitrogen deposition on the soil respiration of <i>Lithocarpus glabra</i> and <i>Castanopsis sclerophylla</i>	LI Kai, JIANG Hong, YOU Meina, et al (82)
Changes of phenolic acids in the soil of replanted apple orchards surrounding Bohai Gulf	SUN Haibing, MAO Zhiqian, ZHU Shuhua (90)
Growing dynamic root system of <i>Aquilaria malaccensis</i> and <i>Aquilaria sinensis</i> seedlings in response to different fertilizing methods	WANG Ran, LI Jiyue, ZHANG Fangqiu, et al (98)
Accumulation and tolerance of <i>Salix variegata</i> and <i>Pterocarya stenoptera</i> seedlings to cadmium	JIA Zhongmin, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (107)
Dynamics of vegetation structure and soil properties in the natural restoration process of degraded woodland on the northern slope of Qilian Mountains, northwestern China	ZHAO Chengzhang, SHI Fuxi, DONG Xiaogang, et al (115)
Relationship between temperature and $\delta^{13}\text{C}$ values of C3 herbaceous plants and its implications of WUE in farming-pastoral zone in North China	LIU Xianzhao, WANG Guoan, LI Jiazhu, et al (123)
Carbon dynamics of fine root (grass root) decomposition and active soil organic carbon in various models of land use conversion from agricultural lands into forest lands	RONG Li, LI Shoujian, LI Xianwei, et al (137)
Prey biomass of the Amur tiger (<i>Panthera tigris altaica</i>) in the eastern Wanda Mountains of Heilongjiang Province, China	ZHOU Shaochun, ZHANG Minghai, SUN Haiyi (145)
The impact of conservation projects on giant Panda Habitat	ZHANG Yubo, WANG Mengjun, LI Junqing (154)
Fluctuation of soil fauna community during defoliation decomposition under lime and EM treatment	GAO Meixiang, ZHANG Xueping (164)
Comparative of feeding behaviors of <i>Sitobion avenae</i> , <i>Sitobion graminum</i> and <i>Rhopalosiphum padi</i> (Homoptera: Aphididae) using electrical penetration graph (EPG)	MIAO Jin, WU Yuqing, YU Zhenxing, et al (175)
Toxic effects of <i>ent</i> -kaurane diterpenoids on soil ciliate communities	NING Yingzhi, DU Haifeng, WANG Hongjun (183)
Geostatistical analysis and sampling technique on spatial distribution pattern of <i>Dendroctonus valens</i> population	PAN Jie, WANG Tao, ZONG Shixiang, et al (195)
Variation analysis of protein subunits of soybean germplasms of different eco-types in Shanxi	WANG Yanping, LI Guiquan, GUO Shujin, et al (203)
Effects of fertilization and plastic film mulched ridge-furrow cultivation on yield and water and nitrogen utilization of winter wheat on dryland	LI Tingliang, XIE Yinghe, REN Miaomiao, et al (212)
The changing characteristics of potential climate productivity in Gansu Province during nearly 40 years	LUO Yongzhong, CHENG Ziyong, GUO Xiaoqin (221)
Spatial assessment and zoning regulations of ecological importance based on GIS for rural habitation in Changgang Town, Xinguo county	XIE Hualin, LI Xiubin (230)
Influences of rural households' income differences on living energy consumption and eco-environment: a case study of Jiangnan Plain, China	YANG Zhen (239)
Spatial differences and its driving factors of emergy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Province	WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang, et al (247)
Effects of land use on distribution and protection of organic carbon in soil aggregates in karst rocky desertification area	LUO Youjin, WEI Chaofu, LI Yu, et al (257)
Review and Monograph	
Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion	LIU Yu, LÜ Yihe, FU Bojie (267)
Ecological reclamation and restoration of abandoned coal mine in the United States	ZHANG Chengliang, B. Larry Li (276)
Managing farmland soil food web: principles and methods	CHEN Yunfeng, HU Cheng, LI Shuanglai, et al (286)

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 1 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 1 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@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		

