

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

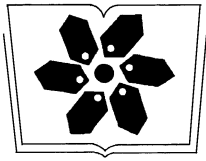
(Shengtai Xuebao)

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)

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¹, 王 烨¹, 贾黎明^{1,*}, 司 婧¹, 向地奎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. 重庆市万州区林木种子站, 重庆 404000)

摘要: 采用剖面法对宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨 (triploid *Populus tomentosa*) 的根系分布特征进行了研究; 采用管式 TDR 系统对土壤剖面含水率变化动态进行了连续观测, 并据此计算林木根系吸水速率, 以探讨土壤含水率、根系分布和根系吸水分布之间的相关关系。研究表明: 毛白杨的总平均根长密度在林带两侧和不同径向距离处非常接近 ($P > 0.05$); 但在不同土层间变化很大 ($P < 0.01$), 其中 0—20 和 60—150 cm 土层为根系主要分布区域, 其根系所占比例共达 86%; 不同径阶间的根长密度差异显著 ($P < 0.01$), 且其比例关系会随空间位置的变化而发生变化。不同栽植方位下, 林带东侧毛白杨根系分布的浅层化程度高于西侧, 且在径向 240—280 cm 内其 0—0.5 mm 的极细根显著多于西侧 ($P < 0.05$)。因此, 宽窄行栽植模式下, 深度和径阶是毛白杨根系分布的主要影响因子, 而栽植方位会对其形态构型产生影响。毛白杨根系吸水模式受细根分布的影响, 但会随土壤剖面水分有效性分布的变化而变化: 当表土层水分有效性增加时, 根系吸水主要集中在表土层; 当表土层水分有效性降低时, 深层土壤根系的吸水贡献率会逐渐增加; 当土壤剖面水分条件异质性较高时, 根系吸水主要集中在根系密度与水分有效性均较高的区域; 当土壤剖面水分分布均匀且不存在水分胁迫时, 根系吸水分布与细根分布最为一致。

关键词: 根系; 空间分布; 根系吸水; 三倍体毛白杨; 宽窄行

Property of root distribution of triploid *Populus tomentosa* and its relation to root water uptake under the wide-and-narrow row spacing scheme

XI Benye¹, WANG Ye¹, JIA Liming^{1,*}, SI Jing¹, XIANG Dikui²

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

2 Tree Seed Station of Wanzhou District of Chongqing City, Chongqing 404000, China

Abstract: Property of root distribution and its relation to spatial and temporal patterns of root water uptake were the basis to establish efficient water management strategies for fast-growing and high-yield triploid *Populus tomentosa* pulp plantation, which should be fully understood. In this study, the spatial distribution pattern of roots of poplar trees growing under the wide-and-narrow row spacing scheme was studied with profiling method in a 5a triploid *P. tomentosa* pulp plantation, located in Gaotang county, Shandong province. 1620 soil cores of 2000 cm³ volume were taken out around 8 trees. The water contents of soil profiles were observed consecutively for four months with a time domain reflectometry (TDR). The rates of water uptake by roots were calculated based on field measurements. The relationship among soil water contents, distribution of roots, and patterns of water uptake by roots were analyzed to see how root water uptake responded to fine root (< 2 mm) distribution and changes in soil water availability. The results showed that the average root length densities (RLD) of poplar trees at both sides of planting belts and at different radial distances were close ($P > 0.05$). However, RLD varied significantly among different soil horizons ($P < 0.01$). Roots were mainly distributed in soil layers at depths of 0—20 cm and 60—150 cm. Roots in those two layers accounted for 29% and 57% of the total length density of roots respectively. The RLDs of trees in different root diameter classes were significantly different ($P < 0.01$) and the ratio of roots varied with

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项经费重大项目 (201004004); 北方速生丰产林固碳增汇技术与示范 (2008BAD95B07-01)

收稿日期: 2010-09-02; **修订日期:** 2010-11-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jlm@bjfu.edu.cn

spatial locations. However, in the root system of triploid *P. tomentosa*, about 44% of the roots corresponded to a diameter of 0.2–0.5 mm, followed by 35% of roots of 0–0.2 mm diameter, a 15% of roots 0.5–1 mm and only a 6% of roots greater than 1 mm. Among different orientations, the distribution of roots was shallower at east side than that of west side. The roots of 0–0.5 mm within 240–280 cm radial distances at the east side were also more abundant compared with the west side. Therefore, under the wide-and-narrow row spacing planting scheme, the soil depth and root diameter class are two main factors affecting the distribution of roots of poplar trees while planting orientation can influence their morphology and architecture. The water uptake by roots is primarily affected by the spatial distribution of fine roots but will change along with the availability of water in soil profile. When the availability of water increases in top soil, the water uptake by roots mainly happens in top soil. The contribution of roots in deep soil layers will increase when the availability of water in top soil becomes low. If the water condition of a soil profile is highly heterogeneous, the water uptake by roots mainly occurred in zones with high fine roots length densities and availability of water. On the other hand, water uptake is in good agreement with the distribution of fine roots when water spreads evenly in soil profiles and the water stress is not imminent.

Key Words: root; spatial distribution; root water uptake; triploid *Populus tomentosa*; wide and narrow row spacing

根系是林木吸收水分和养分的重要器官,定量研究根系密度和根系吸水的时空分布特征对林木根系吸水及其运移模型的构建、林地 SPAC 系统水分转移和能量传输机制的研究、林地水分管理策略的改进以及节水林业的发展至关重要。近年来,国内外关于杨树根系分布和根系吸水的研究已有相当报道,其中大多是针对散生孤立木^[1-2]、均匀栽植^[3-6]和单行带状栽植^[7-8]的林木、以及农田防护林带^[9-10]。然而,针对宽窄行这种农林复合中常用的栽植模式下杨树根系分布、吸水特征及其影响因子的详细研究还鲜有报道。目前已有的相关研究仅限于探讨该模式下杨树细根生物量^[11-12]、根长密度^[12-13]等的分布特征,而缺乏将之与根系吸水建立联系,且普遍存在取样深度较浅、根系分布影响因子考虑不全面等问题。三倍体毛白杨(triploid *Populus tomentosa*)作为我国北方速生纸浆林建设的主要树种,在山东、河南、河北、江苏等地种植时大多推广采用宽窄行栽植模式,因此,研究这种栽植模式下毛白杨的根系空间分布特征及其与根系吸水的关系,不仅有助于深入探讨毛白杨根系吸水机制,了解毛白杨根系吸水与土壤环境的关系,而且对于制定毛白杨速生纸浆林高效水分管理策略,实现根区水分最优调控具有十分重要的指导意义。

本文的研究目标是:(1)确定林木栽植方位、距树径向距离、土壤深度和根系径阶对毛白杨根系分布的影响,弄清宽窄行栽植模式下毛白杨的根系分布特征;(2)探讨毛白杨根系吸水动态、分布与土壤含水率、根系空间分布之间的关系,为制定科学合理的毛白杨速生纸浆林高效水分管理措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与研究对象

试验地位于山东省高唐县梁村镇(36°58'N, 116°14'E),该地区地势平坦,气候为暖温带半干旱季风区域大陆性气候,光照充足,热量丰富。多年平均降水量 544.7 mm,降水主要集中在 7—8 月,年均蒸发量 1880 mm,年均气温 13.2 °C,极端最高气温 41.2 °C,极端最低气温 -20.8 °C,全年日照总时数 2651.9 h。试验地土壤为潮土,其基本性质见表 1。

本文研究对象为 5 年生三倍体毛白杨速生纸浆林,林分平均胸径(8.8 ± 1.4) cm,平均树高(12.0 ± 1.2) m,郁闭度 0.9。试验地总面积 3.9 hm²,于 2005 年春季种植三倍体毛白杨无性系 B301((*P. tomentosa* × *P. bolleana*) × *P. tomentosa*),苗木采用 1 年生根萌苗,平均胸径 2 cm,平均苗高 2.5 m。整地方式为机械穴状,穴直径为 1.2 m,深 1 m,造林前以复合肥为基肥施于穴底部,回填少量表土后栽植苗木。林木采取宽窄行带状栽植模式,南北向为行方向,林带内植株密度 1 m × 2 m(株距 1 m,窄行距 2 m),带距 6 m(宽行距 6 m)。2005—2006 年,试验地宽行和窄行内共间作两茬棉花,一茬小麦;2007—2009 年,试验地无间作,林下有稀疏草本植物。

表 1 试验地土壤物理性质

Table 1 Physical properties of soil at the experiment site

土壤深度 Soil depth/cm	砂粒 Sand/%	粉粒 Silt/%	粘粒 Clay/%	质地 ^a Texture	容重 Bulk density /(g/cm ³)	饱和含水率 Saturated water content /(cm ³ /cm ³)
0—30	16.04	83.53	0.43	粉土	1.627	0.383
30—70	4.48	94.82	0.70	粉土	1.633	0.396
70—90	10.14	89.61	0.25	粉土	1.521	0.419
90—120	6.38	93.48	0.15	粉土	1.465	0.454
>120	43.94	56.06	0.01	粉壤	1.499	0.437

a 美国农业部 USDA

1.2 根系取样

试验于 2009 年 10 月进行。由于试验林中毛白杨采用宽窄行栽植模式,林木株距远小于行距,因此本研究假设在毛白杨行种植方向上根系呈均匀分布。然后在试验地中部划定一具有代表性的 30 m × 30 m 的标准地(包含 4 个林带),并在其中的每个林带上选择东向和西向栽植(即位于林带东侧和西侧)且相距较远的平均标准木各 1 株,即共选择东向和西向栽植的毛白杨各 4 株。然后以所选每株样树为依托,在正对树干且垂直于树行的方向上挖取土壤剖面进行根系取样,林带两侧的土壤剖面均从树干处挖至宽行中央即距树干 300 cm,具体取样位置和样品尺寸见图 1,每个取样单元为 20 cm(长) × 10 cm(宽) × 10 cm(高)。取样时,由于地下水位较浅(1.5 m 左右)所以只有 4 株样树顺利取样至地下 150 cm,其它 4 株均取样至 120 cm,共计 1620 个根样。根样取回后先在水中浸泡,用水冲洗过约 0.8 mm 的筛使根与大部分土壤、杂质分离,然后再在清水中利用网勺和镊子捡取所有根系(经实际检验,该处理方法造成的细根损失量极少)。将获取的根系装入自封袋,并依此编号标记,带回实验室放入冰箱内保存;然后将每袋根样放在透明塑料纸上,用镊子和解剖针将其完全展开后放入 Epson Twain Pro 根系扫描仪扫描获取根系图像;并用 WinRhizo 根系图像分析系统(Regent Instruments Inc., Quebec, Canada)获取不同径阶根系(系统中根系分析径阶范围设为 0—0.2、0.2—0.5、0.5—1、1—2、>2 mm)长度、表面积和体积等数据(对于直径较大不使用扫描仪进行扫描的根系,用游标卡尺和直尺测量其直径和长度);将获得的各测点的各径阶根系长度除以取样土体体积即得到各测点的各径阶根系根长密度。此外,本研究采用传统的细根分类标准^[14],将直径 ≤ 2 mm 的根系归为细根即吸水根。

1.3 根系吸水分布测定

2009 年在试验地中部选择两株长势良好的平均标准木(位于林带不同侧),分别在其各自的宽行和窄行内布设 1 m 的含水率测管(布设位置见图 1),然后采用管式 TDR 系统(TRIME-IPH, IMKO, Germany)测定体积含水率,测定深度为 90 cm,每 10 cm 一层,共 8 层。从 7 月份开始,除下雨天,每天 7:00 左右测定,10 月底结束。为避免降雨和蒸发对试验的影响,试验小区均用塑料布覆盖,但因实际操作问题,试验小区被强降雨影响的情况曾有发生。

本研究选取 4 个时期(08-08—08-16, 09-13—09-19, 09-23—10-07, 10-11—10-23, 以下简称时期 1—4)的含水率数据来推断根系吸水的空间分布,各时期土壤剖面各点的平均根系吸水速率利用式(1)计算:

$$T(x, z) = \frac{\sum_{i=1}^{j-1} (\theta_i(x, z) - \theta_{i+1}(x, z))}{j - 1} \quad (1)$$

式中, $T(x, z)$ 为某时期土壤剖面各点的平均根系吸水速率($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$), x 为距离树行的径向距离(cm), z 为土壤深度(cm), i 为某时期中的第 i 天, j 为某时期的天数(d), θ 为土壤含水率(cm^3/cm^3)。

1.4 数据分析

采用 SPSS 13.0 软件对根长密度进行 One-way ANOVA 分析,其主影响因子设为:栽植方位(2 个水平,即林带西侧和林带东侧)、土壤深度(8 个水平)、距树径向距离(8 个水平)、根系径阶(5 个水平)。同因素不同

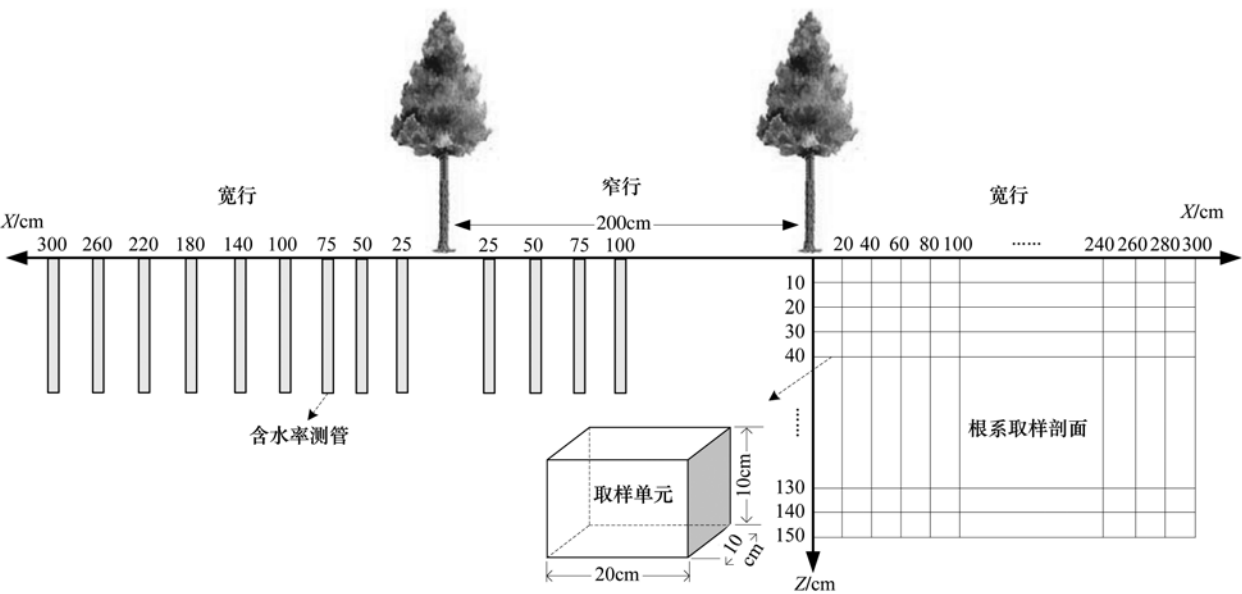


图1 根系取样和含水率测管布设示意图

Fig.1 Layout of root sampling design and the distribution of access tubes

水平间差异显著性采用 LSD 检验(显著性水平为 $P < 0.05$)。分析前,数据经 Shapiro-Wilk 和 Levene 检验均满足正态分布和方差齐性等方差分析的前提条件。采用 sufer 8.0 和 Excel 2010 软件进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 根系分布

2.1.1 栽植方位、土壤深度、径向距离、根系径阶对根系分布的影响

表 2 显示,林带东、西两侧毛白杨的根长密度相近,都达到了 0.23 cm/cm^3 以上,并无显著差异。同样,径向距离对根长密度也无显著影响,距树不同远近的根长密度所占比例均在 10% 以上,其中以树体附近

表 2 栽植方位、土壤深度、径向距离、径阶影响下毛白杨根长密度方差分析

Table 2 Analysis of variance of *P. tomentosa* root length density (RLD) as influenced by planting orientation, soil depth, radial distance from the tree trunk, and root diameter

主因子 Main factor	根长密度 RLD /(cm/cm^3)	<i>F</i>	<i>P</i>	比例 Proportion /%	主因子 Main factor	根长密度 RLD/ (cm/cm^3)	<i>F</i>	<i>P</i>	比例 Proportion /%
栽植方位 Planting orientation		0.054	0.825		根系径阶		180.861	0.000	
林带东侧 East side of forest belt	0.232				0—0.2	0.085 b *			35
					0.2—0.5	0.105 a			44
					0.5—1	0.037 c			15
林地西侧 West side of forest belt	0.238				1—2	0.010 d			4
					>2	0.004 d			2
径向距离 Radial distance/cm		1.248	0.293		土壤深度		15.735	0.000	
0—40	0.242			13	0—20	0.521 a			29
40—80	0.261			14	20—40	0.126 c			7
80—120	0.249			13	40—60	0.129 c			7
120—160	0.191			10	60—80	0.208 bc			12
160—200	0.227			12	80—100	0.273 b			15
200—240	0.215			11	100—120	0.200 bc			11
240—280	0.238			13	120—140	0.141 c			8
280—300	0.266			14	140—150	0.201 bc			11

* 同一主因子下数据后相同字母表示差异不显著 ($P < 0.05$), 检验方法为 LSD

(0—120 cm)和近两林带交界处(240—300 cm)的根系比例稍占优。然而,对比不同径阶根系的根长密度时可以发现其间存在极显著的差异,其中直径 0—0.2、0.2—0.5、0.5—1 mm 根系的根长密度较大,分别为 0.085、0.105 和 0.037 cm/cm³,约占总体的 35%、44% 和 15%; > 1 mm 各径阶根系的根长密度间无显著差异,其总根长密度仅占总体的 6%。此外,根长密度显著性差异也出现在不同土壤深度间,其中约有 29% 的根系聚集在 0—20 cm 的表土层,而 60—80、80—100、100—120、140—150 cm 各土层根长密度所占比例也均超过了 10%。

2.1.2 栽植方位、土壤深度、径向距离、根系径阶作用下根系分布的差异性

表 3 显示,各径阶根系在林带两侧土体中的平均根长密度非常接近,之间无显著差异。但方差分析表明林带西侧 0.2—0.5 mm 根系要显著多于 0—0.2 mm ($P < 0.05$),而这种差异在林带东侧却未显现。总体来讲,不同栽植方位下,毛白杨各径阶根系所占比例的分布趋势相近,0—0.2、0.2—0.5、0.5—1、1—2、> 2 mm 根系所占比例分别为 33%—37%、42%—45%、15%—16%、4% 和 2%。

表 3 不同栽植方位下各径阶根系根长密度方差分析

Table 3 Analysis of variance of RLD for each root diameter classes as influenced by planting orientation

根系径阶 Root diameter/mm	根长密度 RLD/(cm/cm ³)		<i>F</i>	<i>P</i>
	林带东侧 East side of forest belt	林带西侧 West side of forest belt		
0—0.2	0.087 (37%) ^a	0.083 (33%)	0.158	0.705
0.2—0.5	0.099 (42%)	0.110 (45%)	1.135	0.328
0.5—1	0.035 (15%)	0.038 (16%)	1.502	0.266
1—2	0.010 (4%)	0.010 (4%)	0.405	0.548
> 2	0.004 (2%)	0.004 (2%)	0.083	0.783

a 根长密度所占比例

图 2 显示,林带两侧相同土层中,全根系(> 0 mm)和各径阶根系的根长密度非常接近,无显著差异(由于重复数的缺少,未对 120—150 cm 土层做分析)。但林带东侧在 0—40 cm 土层分布根系的比例要高于西侧,其比例分别为 47% 和 42%。对林带两侧数据平均后计算发现,不同土层中,直径 0—0.2、0.2—0.5、0.5—1、1—2、> 2 mm 根系密度所占比例分别在 34%—37%、41%—44%、13%—16%、3%—5% 和 1%—2% 之间变化。

图 3 显示,林带两侧相同径向距离处,全根系(> 0 mm)和各径阶根系的根长密度非常接近,无显著差异;只是在径向 240—280 cm 处,林带东侧的根系较林带西侧增加约 45%,这主要是因为该范围内林带东侧 0—0.5 mm 根系(约占全根系的 79%,表 2)显著多于林带西侧。此外,虽然林带西侧径向 80—120 cm 处 0.5—2 mm 根系和 200—240 cm 处 1—2 mm 根系均较林带东侧有显著增加,但由于这两个径阶的根系在全根系中所占比例较小(约 19%,表 2),所以这种增加并造成全根系根长密度间的显著差异。对林带两侧数据平均后计算发现,不同径向距离处,直径 0—0.2、0.2—0.5、0.5—1、1—2、> 2 mm 根系密度所占比例分别在 30%—38%、43%—45%、13%—18%、4%—6% 和 1%—3% 之间变化。

2.2 根系密度、含水率分布对根系吸水模式的影响

2.2.1 一维尺度

首先,从图 4a、c 可以看出,4 个时期,垂向 0—80 cm 土层毛白杨的平均根系吸水分布模式与细根根长密度分布模式大体是一致的;其中,0—20 cm 土层的根系吸水最强而 40—60 cm 土层最弱,其 4 个时期的平均根系吸水速率分别为 0.055、0.004 cm³·cm⁻³·d⁻¹,约占总体的 65% 和 6%。其次,具体到每个时期可以发现,0—20 cm 土层的根系吸水变化最剧烈。当含水率从 0.26 cm³/cm³(时期 1)增大到 0.32 cm³/cm³时(时期 2)(图 4b),虽然林木蒸腾作用的降低使该层的根系吸水速率大幅减小(图 4a),但其所占比例则增加了 8%(图 4c);与此相反,20—80 cm 各土层的根系吸水比例却均出现了不同程度的降低。在时期 3 中,虽然 0—20 cm

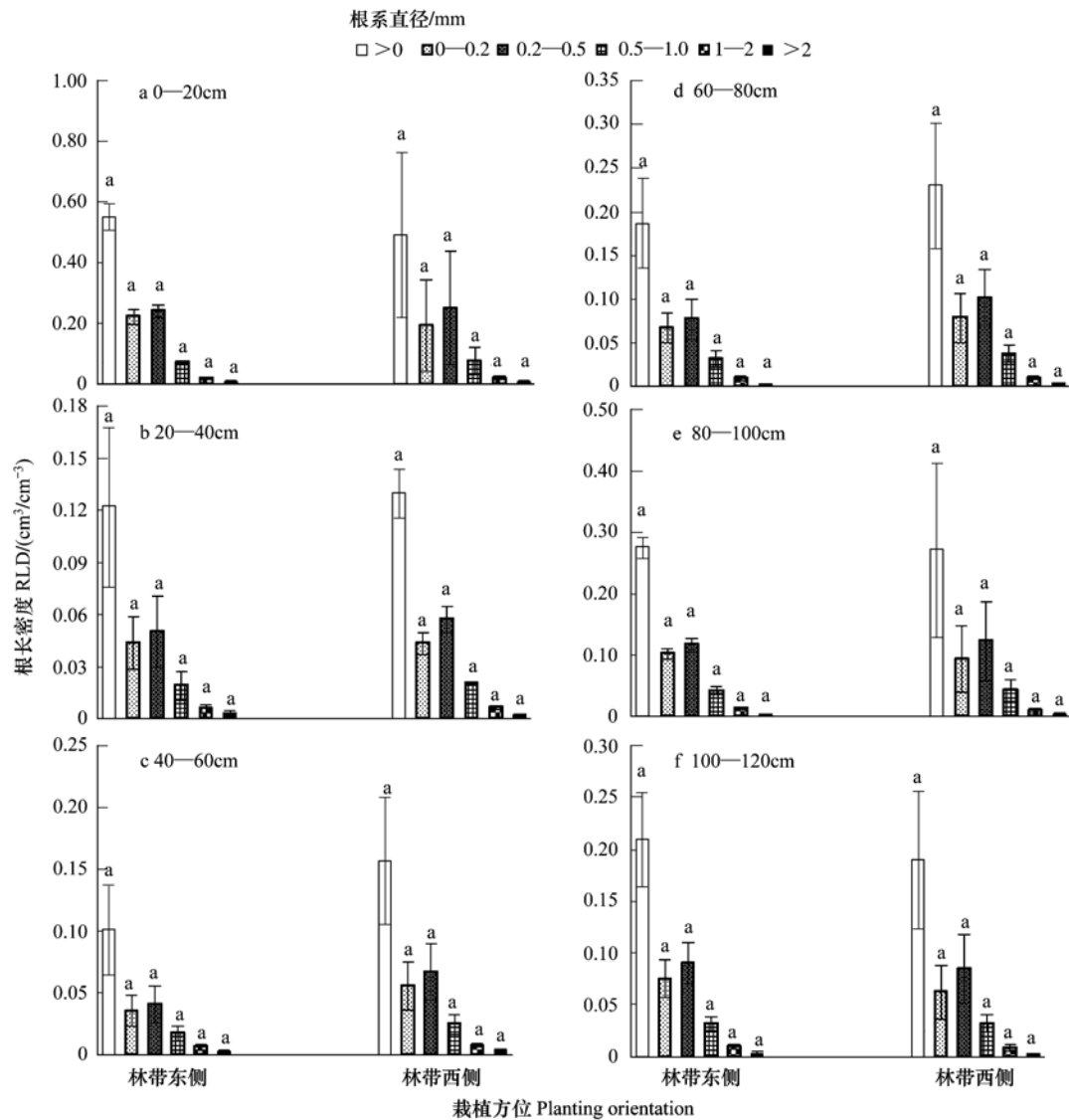


图2 不同栽植方位、土壤深度下,各径阶根系根长密度

Fig. 2 RLDs in the six soil depth for different root diameter classes

相同径阶、不同栽植方位数据条上相同字母表示差异不显著 ($P < 0.05$)

土层的含水率较时期2仅下降了 $0.02 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (图4b),但其根系吸水比例则迅速降低了19%,而且在之后的时期4(水分条件较时期3无明显变化,图4b)又再次下降了10%;与此相反,虽然这两个时期40—60和60—80 cm土层的含水率也有小幅下降,但其根系吸水比例却均较时期1、2有明显增加。

2.2.2 二维尺度

图5显示了径向0—300 cm、垂向0—90 cm土壤剖面上毛白杨细根根长密度、不同时期含水率和根系吸水速率的二维空间分布。时期1(图5b),20—80 cm土层中绝大部分区域的根系吸水速率相对较小,在 $0-0.003 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 之间;而0—20 cm土层的根系吸水速率相对较大,均高于 $0.003 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$,且以平均水分状况较好(平均含水率为 $0.29 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)的湿润区(0—20 cm土层中,径向0—120 cm区域简称“湿润区”,径向120—300 cm区域简称“干燥区”)的根系吸水速率最高,平均达到了 $0.009 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右。因此,总体来讲,时期1内土壤剖面上根系吸水的二维分布和根长密度的二维分布(图5a)是一致的。由于降雨、根系吸水的综合作用,时期2内(图5c),整个土体尤其是0—20 cm表土层中的水分分布发生了明显改变,这随之也引起了土壤剖面上根系吸水分布模式的显著变化。随着降雨的发生,湿润区和干燥区的平均含

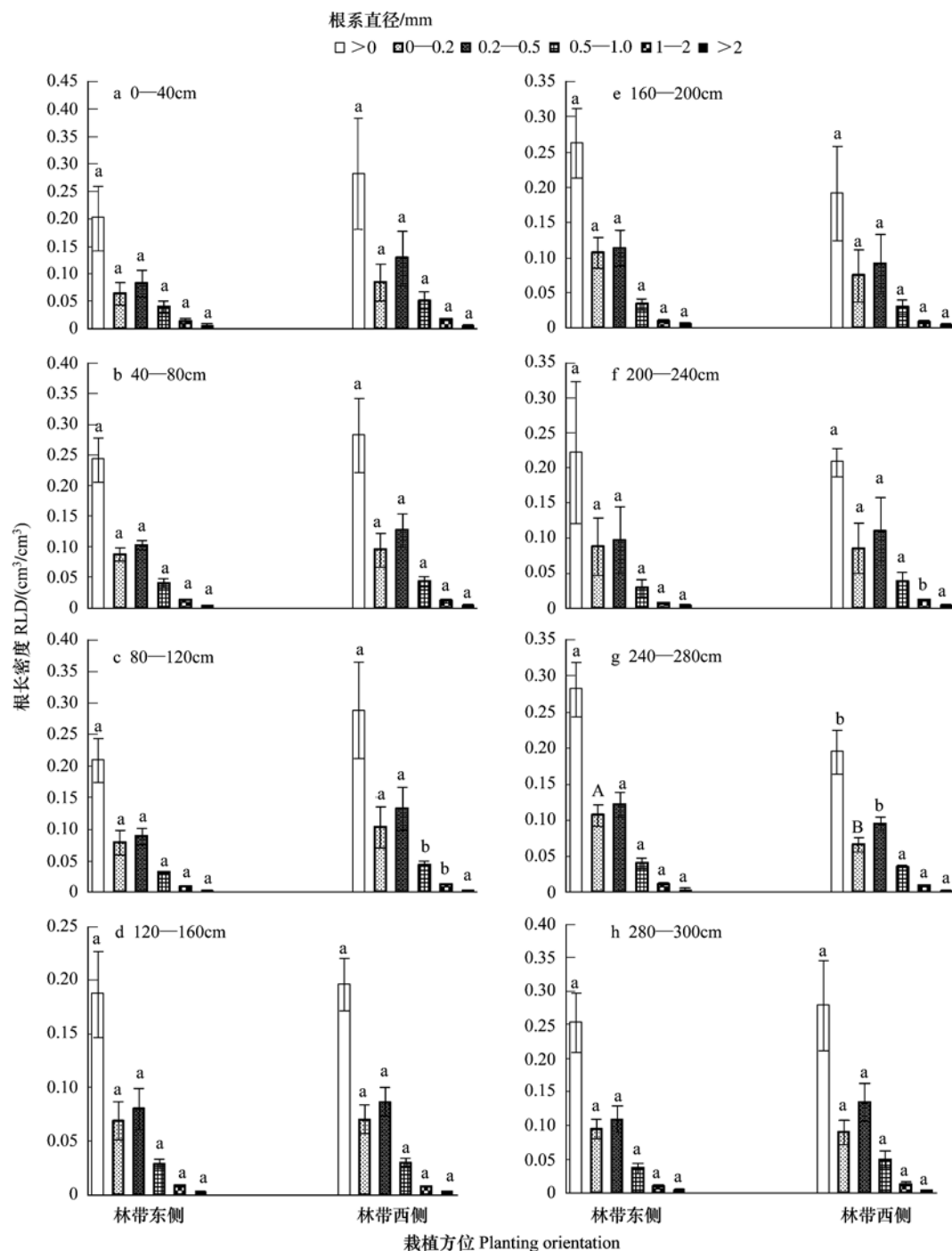


图3 不同栽植方位、径向距离下,各径阶根系根长密度

Fig. 3 RLDs at the eight radial distances for different root diameter classes

相同径阶、不同栽植方位数据条上相同小写或大写字母分别表示在 $P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ 水平上差异不显著

水率均大幅度增加,分别达到 0.33 、 $0.31 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,其差异由原来的 $0.05 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 缩小到 $0.02 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,达到近均匀状态。此时可以发现,干燥区与湿润区间的根系吸水速率非常接近,均在 $0.003 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右;显然,这是干燥区根系吸水能力相对提高而湿润区根系吸水能力相对降低共同作用的结果。

随着土壤水分的消耗,时期3中(图5d),干燥区与湿润区间的水分状况差异再次增大,虽然这种差异较时期2仅扩大了 $0.01 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,但毛白杨根系对此却做出了非常敏感的反应,即0—20 cm表土层的根系吸水

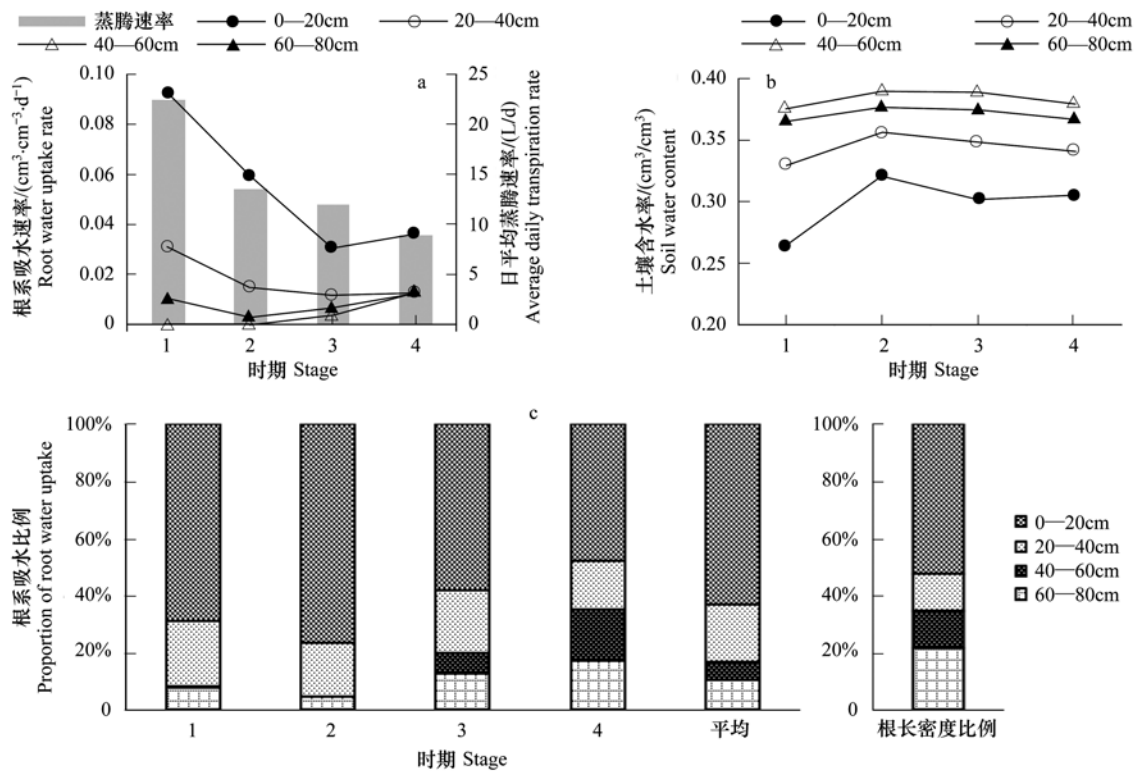


图4 时期1—4内, a 林木日平均蒸腾速率和各土层根系吸水速率, b 各土层含水率, c 各土层根系吸水比例和细根根长密度比例

Fig. 4 a Average daily transpiration rate of triploid *P. tomentosa* and rates of water uptake by roots in each soil layer, b water content in each soil layer, and c proportion of fine roots RLD and root water uptake in all soil layers during period 1—4

时期1—4内图中数据计算时,蒸腾速率样本数为8,6,14,12;各土层根系吸水速率样本数为18,18,18,18;各土层含水率样本数为9,7,15,13

活跃区域再次向湿润区偏移。在随后的时期4中(图5e),虽然表土层干燥区与湿润区之间的水分差异仍为 $0.03 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$,但其中水分分布的均匀性却明显高于时期3(图5d)。此时,可以看到毛白杨的二维根系吸水分布模式与二维根长密度分布模式非常吻合;显然,表土层水分的均匀性是促使这种吻合发生的主要原因,因为根长密度分布反映了根系吸水的潜在分布模式^[15],所以可以推断当土壤水分分布均匀且不存在水分亏缺时,根系吸水应出现与根长密度相似分布模式^[16]。

3 结论与讨论

3.1 根系分布

宽窄行栽植模式下,林带东、西两侧由于一天内接受太阳直射的时段不同,其热量条件存在差异,所以两侧树木光合、冠层小气候和土壤水热条件等不尽一致,这有可能对两侧土体中根系的分布产生影响。试验数据显示,林带两侧整个土体中各径阶根系的平均根长密度并无显著差异(表1、2)。但在垂直方向上,林带两侧根系的整体构型有所不同,东侧根系分布的浅层化程度要高于西侧(东、西侧分布于0—40 cm 浅土层的根系比例分别为47%和42%)。其原因可能与两侧土壤水分垂直分布的差异有关(2009年试验地林带东侧0—45 cm 土层的含水率明显高于西侧(TDR 水分探头测定值)),因为较差的浅层土壤水分条件会导致林木根系的整体构型发生改变,促使大量的根系向深层土壤生长以觅取水资源^[17]。此外,在径向240—280 cm 范围内(0—120 cm 土层),林带两侧根系的形态构型也有差别;该范围内,林带东侧根系的平均直径要小于西侧(东侧0—0.5 mm 的极细根明显高于西侧(图3g))。究其原因,可能是由林带两侧该范围的水分条件差异引起,因为径向240—280 cm 大致位于两林带的中央,其上方的林冠郁闭度相对较小,土壤环境受太阳辐射的影响较强。综上,可以得出结论:栽植方位不会对毛白杨各径阶根系的平均根长密度造成影响,但其导致的土壤环境

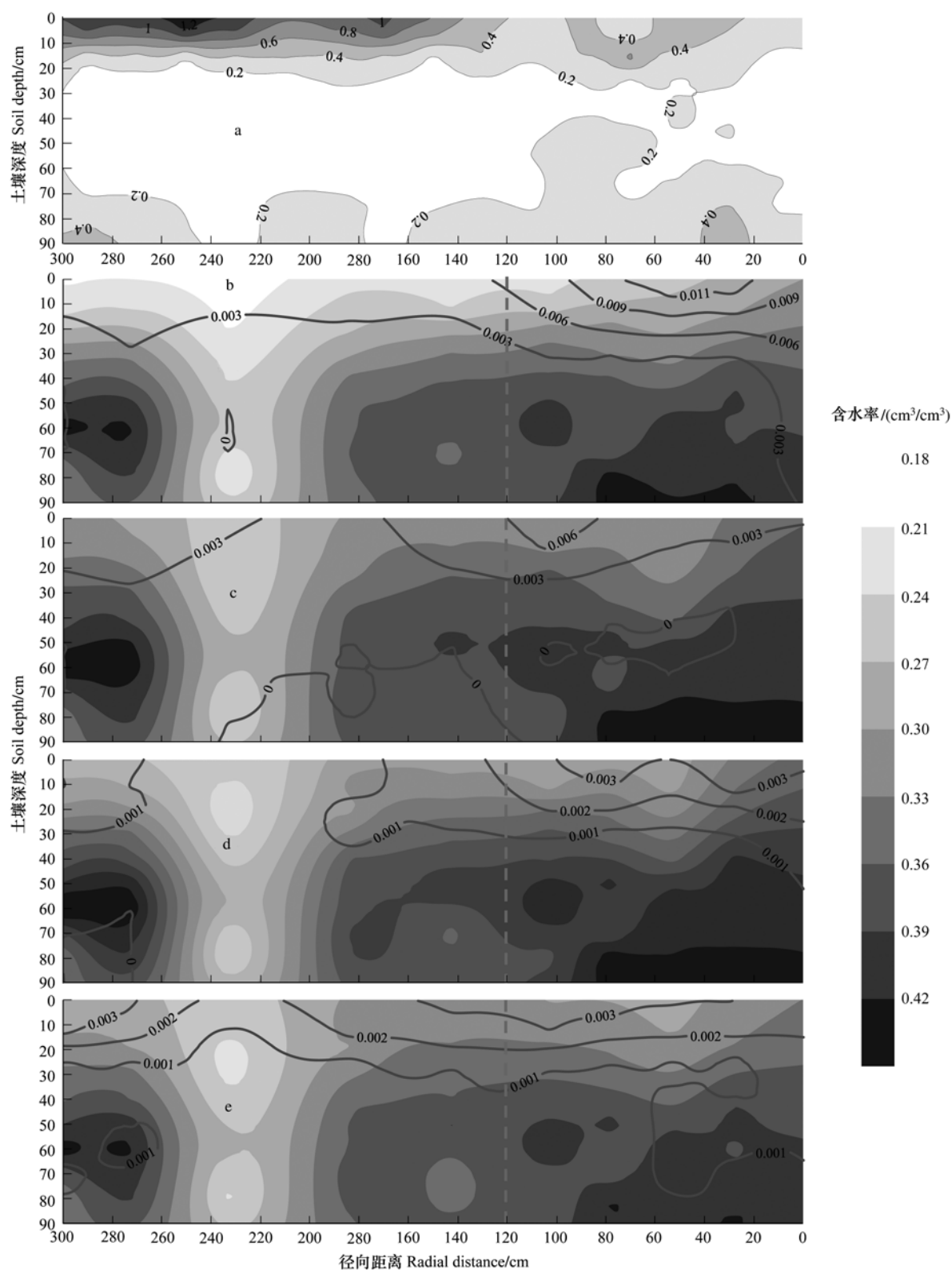


图5 a 细根根长密度 (cm^3/cm^3) 空间分布, 和 b—e 时期 1—4 内土壤含水率和根系吸水 ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$) 空间分布 (实线)

Fig. 5 a Spatial distribution of fine roots RLD (cm^3/cm^3), and b—e spatial distribution of water content and root water extraction ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$) (solid lines) during period 1—4

注: 图中数据计算时, 细根根长密度样本数为 1080 (8 棵 $\times$ 135/棵); 时期 1—4 内土壤含水率样本数为 648, 504, 1080, 936 (72d $\times$ 时期的天数), 根系吸水速率样本数为 576, 432, 1008, 864 (72 $\times$ (某时期的天数 - 1))

差异会引起根系形态构型发生改变。

有研究表明^[3,6-7],径向距离会对杨树根系分布产生显著影响,根系特征值(根量、根数、根表面积比率、根长密度等)一般会随径向距离的增加而递减;但也有研究表明^[18],不同径向距离处杨树的细根分布无显著差异。与后者研究结果相似,试验林中,毛白杨根长密度在径向上并无显著变化趋势($P > 0.05$),各径向距离处的根长密度接近,所占总体比例均达到了10%以上(表2),这是林地内相邻树木根系已经完全重叠并可能形成复杂根系网络的结果。此外,杨树的根系密度在垂向上一般也呈递减趋势^[5-7],但试验林内毛白杨根系的垂直分布并不遵从这样的变化:在垂向0—20 cm分布的根系最多,20—60 cm最少,而在60 cm以下根系又明显增加(表2)。出现这种现象的原因可能有2点:第一,试验地30—70 cm土层较大的容重(1.633 g/cm^3)和较少的沙粒含量(4.48%)(表1)使得根系在该层生长时受到很大的机械阻力^[19-20],所以20—60 cm土层中分布的根系最少;第二,2009年丰沛的降雨导致试验地内的地下水位与往年(平均为3m)相比较浅,约在1.3—2 m之间波动;所以为满足日常的强蒸腾耗水,毛白杨在接近地下水位的非饱和区和地下水位以下的饱和区中生长了大量的根系来觅取丰富的水资源;这种现象在其它杨树根系研究中也出现过报道^[8-9]。此外,在垂向0—20 cm和60 cm以下分布大量的根系也意味着试验地条件下毛白杨的根系构型具有明显的“二态性”,可以同时利用降水和地下水,这对于其与其它植物竞争土壤水资源是非常有利的。

三倍体毛白杨的根系分布特征不仅受遗传因素的制约而且也受土壤环境的影响,会随着土壤环境的改变而不断调节自身的生长趋势和形态构型。宽窄行栽植模式下,根系径阶和土壤深度是根系分布的主要影响因素;各径阶根系间的比例关系会随栽植方位、径向距离和深度的不同而发生变化,这种根系形态构型的改变也是导致林带两侧根系分布特征出现差异的主要原因。此外,由于本文的研究对象是林带宽行内(图1)的毛白杨根系,所以得出的结论具有一定的局限性。实际上,由于窄行内的植株密度($1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$)远高于宽行($1 \text{ m} \times 6 \text{ m}$),根系对水分、养分和空间资源的竞争必然较宽行更加激烈,所以其中根系的分布特征和形态构型^[6, 18]可能会发生明显改变。下一步工作中需对此做深入研究。

3.2 根系、含水率分布对根系吸水模式的影响

虽然根长密度和土壤含水率分别是根系吸水潜力和根系易吸收水量的重要指示因子,但它们各自却不能单独地反映根系吸水的有效性,只有二者的综合作用才能决定最终的根系吸水能力和吸水模式。本研究中,在垂向0—80 cm,由于毛白杨的细根主要集中于0—20 cm的表土层,所以各个时期根系在该层中的吸水活动一直较剧烈,而在根长密度较小的20—80 cm土层相对较弱(图4a,c)。但是,随着径向上水分有效性差异的不同,土壤中的实际根系吸水模式又不断变化。当表土层水分条件变异性增大时,根系吸水主要集中在水分有效性较高的湿润区(图5b,d);当这种变异性减小或表土层水分达到近均匀时,干燥区与湿润区中根系的吸水活力会平衡到相近的水平,而且此时的根系吸水空间分布模式也与根长密度空间分布模式最为吻合(图5c,e)。因此,可以得出结论:毛白杨根系的实际吸水分布模式是根系密度与土壤水分有效性共同作用的结果。这也暗示在模拟毛白杨根系吸水的时候,如果土壤水分分布不均或存在水分胁迫时,应将根系吸水的补偿效应^[21](即水分有效性较低区域根系吸水的减小可由水分有效性较高区域的根系吸水增加来补偿)考虑在内,否则,直接根据土壤中根系的分布比例来模拟根系吸水会产生与实际较大的偏差;反之,则可直接根据根系分布比例来精确模拟根系吸水活动。

与很多关于植物根系吸水策略的报道相似^[16, 22-24],本研究结果显示:在土壤湿润-干旱过程中,毛白杨的根系吸水策略会发生显著变化;当降雨和灌溉使表土层水分有效性升高时,毛白杨的根系吸水主要集中在表土层;而当表土层逐渐干燥的时候,深层土壤根系的吸水贡献率会逐渐增加。毛白杨这种高效的水分吸收转移策略,无疑有助于其在种间竞争时处于优势地位。

References:

- [1] Sanchez-Perez J, Lucot E, Bariac T, Tremolieres M. Water uptake by trees in a riparian hardwood forest (Rhine floodplain, France). *Hydrological Processes*, 2008, 22: 366-375.

- [2] Zhu Y H, Ren L L, Skaggs T H, Lu H S, Yu Z B, Wu Y Q, Fang X Q. Simulation of *Populus euphratica* root uptake of groundwater in an arid woodland of the Ejina Basin, China. *Hydrological Processes*, 2009, 23: 2460-2469.
- [3] Wei Y K, Jia L M, Wang L, Qiu G, Xing C S. Characteristics of root growth in a fast-growing and high-yield poplar plantation under subsurface drip-irrigation. *Frontiers of Forestry in China*, 2008, 3(1): 98-105.
- [4] Li X W, Zhang J, Chen W D, Fan B, Dong H X. Study on the distribution and growth characteristics of the fine root of Triploid *Populus tomentosa* and root of *Lolium multiflorum* under compound pattern in both cultivating land and forest. *Acta Pratacul Turae Sinica*, 2005, 14(6): 73-78.
- [5] Afas N A, Marron N, Zavalloni C, Ceulemans R. Growth and production of a short-rotation coppice culture of poplar IV. Fine root characteristics of five poplar clones. *Biomass and Bioenergy*, 2008, 32: 494-502.
- [6] Douglas G B, McIvor I R, Potter J F, Foote L G. Root distribution of poplar at varying densities on pastoral hill country. *Plant and Soil*, 2010, 333: 147-161.
- [7] Mulia R, Dupraz C. Unusual fine root distributions of two deciduous tree species in southern France: what consequences for modeling of tree root dynamics?. *Plant and Soil*, 2006, 282: 71-85.
- [8] Nagler P, Jetton A, Fleming J, Didan K, Glenn E, Erker J, Morino K, Milliken J, Gloss S. Evapotranspiration in a cottonwood (*Populus fremontii*) restoration plantation estimated by sap flow and remote sensing methods. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2007, 144: 95-110.
- [9] Zhang H P, Morison J I L, Simmonds L P. Transpiration and water relation of poplar trees growing close to the water table. *Tree Physiology*, 1999, 19: 563-573.
- [10] Song Z G, Zhou W Q, Wang Y H. The fine root distribution characters f the shelterbelt f *Populus tomentosa*. *Forest Resources Management*, 2009, 6: 96-101.
- [11] Zhu Q G, Zhang H C, Fang S Z, Jia X P, Yang L. Distribution and seasonal changes of fine roots in poplar plantations in the northern areas of Jiangsu province, China. *China Forestry Science and Technology*, 2008, 22(3): 45-48.
- [12] Song Y Q, Zhai M P, Jia L M, Li G D. Fine root dynamics of different aged triploid *Populus tomentosa* pulp forests during growth period. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(9): 1696-1702.
- [13] Xi B Y, Jia L M, Liu Y, Wang Y. Spatial distribution and simulation for fine roots of triploid *Populus tomentosa* with wide and narrow row spacing. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2010, 27(2): 259-265.
- [14] Block R M A, Van Rees K C J, Knight J D. A review of fine root dynamics in *Populus* plantations. *Agroforestry System*, 2006, 67: 73-84.
- [15] Atkinson D. The distribution and effectiveness of the roots of tree crops. *Horticultural Reviews*, 1980, 2: 424-490.
- [16] Green S R, Clothier B E. Root water uptake by kiwifruit vines following partial wetting of the root zone. *Plant and Soil*, 1995, 173: 317-328.
- [17] Bakker M R, Augusto L, Achat D L. Fine root distribution of trees and understory in mature stands of maritime pine (*Pinus pinaster*) on dry and humid sites. *Plant and Soil*, 2006, 286: 37-51.
- [18] Puri S, Singh V, Bhushan B, Singh S. Biomass production and distribution of roots in three stands of *Populus deltoides*. *Forest Ecology and Management*, 1994, 65:135-147.
- [19] Zhao Z, Li P, Xue W P, Guo S W. Study on relations of growth and vertical distribution of fine root system of main planting tree species to soil density in the Weiwei Loess Plateau. *Scientia Silvae Sinice*, 2004, 40(5): 50-55.
- [20] Heidi M L. Root Distribution, Activity, and Development for Boreal Species on Reclaimed Oil Sand Minesoils in Alberta. Canada: University of Saskatchewan, 2008.
- [21] Adiku S G K, Rose C W, Braddeck R D, Ozier L H. On the simulation of root water extraction: examination of a minimum energy hypothesis. *Soil Science*, 2000, 165: 226-236.
- [22] Green S R, Clothier B E. The root zone dynamics of water uptake by a mature apple tree. *Plant and Soil*, 1999, 206: 61-77.
- [23] Xu G Q, Li Y. Roots distribution of three desert shrubs and their response to precipitation under co-occurring conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 130-137.
- [24] Sun S J, Meng P, Zhang J S, Huang H, Wan X C. Deuterium isotope variation and water use in an agroforestry system in the rocky mountainous area of North China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(14): 3717-3726.

参考文献:

- [4] 李贤伟, 张健, 陈文德, 范冰, 董慧霞. 三倍体毛白杨——黑麦草复合模式细根和草根分布与生长特征. *草业学报*, 2005, 14(6): 73-78.
- [10] 宋子刚, 周文权, 王彦辉. 毛白杨农田防护林带细根分布特征. *林业资源管理*, 2009, 6: 96-101.
- [11] 朱强根, 张焕朝, 方升佐, 贾学萍, 杨丽. 苏北杨树人工林细根分布及其季节动态. *林业科技开发*, 2008, 22(3): 45-48.
- [12] 宋曰钦, 翟明普, 贾黎明, 李广德. 不同年龄三倍体毛白杨纸浆林生长期间细根变化规律. *生态学杂志*, 2010, 29(9): 1696-1702.
- [13] 席本野, 贾黎明, 刘寅, 王烨. 宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨吸水根系的空间分布与模拟. *浙江林学院学报*, 2010, 27(2): 259-265.
- [19] 赵忠, 李鹏, 薛文鹏, 郭生武. 渭北主要造林树种细根生长及分布与土壤密度关系. *林业科学*, 2004, 40(5): 50-55.
- [23] 徐贵青, 李彦. 共生条件下三种荒漠灌木的根系分布特征及其对降水的相应. *生态学报*, 2009, 29(1): 130-137.
- [24] 孙守家, 孟平, 张劲松, 黄辉, 万贤崇. 华北石质山区核桃-绿豆复合系统氮同位素变化及其水分利用. *生态学报*, 2010, 30(14): 3717-3726.

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		

