

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第18期 Vol.31 No.18 **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 18 期 2011 年 9 月 (半月刊)

目 次

高寒矮嵩草草甸冬季 CO ₂ 释放特征	吴 琴, 胡启武, 曹广民, 等 (5107)
开垦对绿洲农田碳氮累积及其与作物产量关系的影响	黄彩变, 曾凡江, 雷加强, 等 (5113)
施氮对几种草地植物生物量及其分配的影响	祁 瑜, 黄永梅, 王 艳, 等 (5121)
浙江天台山甜槠种群遗传结构的时空自相关分析	祁彩虹, 金则新, 李钧敏 (5130)
大兴安岭林区不同植被对冻土地温的影响	常晓丽, 金会军, 于少鹏, 等 (5138)
樟子松树轮不同组分的稳定碳同位素分析	商志远, 王 建, 崔明星, 等 (5148)
内蒙古不同类型草地叶面积指数遥感估算	柳艺博, 居为民, 朱高龙, 等 (5159)
杭州西湖北里湖荷叶枯落物分解及其对水环境的影响	史 绮, 焦 锋, 陈 莹, 等 (5171)
火干扰对小兴安岭落叶松-苔草沼泽温室气体排放的影响	于丽丽, 牟长城, 顾 韩, 等 (5180)
黄河中游连伯滩湿地景观格局变化	郭东罡, 上官铁梁, 白中科, 等 (5192)
黄土区次生植被恢复对土壤有机碳官能团的影响	李 婷, 赵世伟, 张 扬, 等 (5199)
我国东北土壤有机碳、无机碳含量与土壤理化性质的相关性	祖元刚, 李 冉, 王文杰, 等 (5207)
黄土旱塬裸地土壤呼吸特征及其影响因子	高会议, 郭胜利, 刘文兆 (5217)
宁南山区典型植物根际与非根际土壤微生物功能多样性	安韶山, 李国辉, 陈利顶 (5225)
岩溶山区和石漠化区表土孢粉组合的差异性——以重庆市南川区为例	郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友 (5235)
夏蜡梅及其主要伴生种叶的灰分含量和热值	金则新, 李钧敏, 马金娥 (5246)
苏柳 172 和垂柳对 Cu ²⁺ 的吸收特性及有机酸影响	陈彩虹, 刘治昆, 陈光才, 等 (5255)
导入 <i>TaNHX2</i> 基因提高了转基因普那菊苣的耐盐性	张丽君, 程林梅, 杜建中, 等 (5264)
空气湿度与土壤水分胁迫对紫花苜蓿叶表皮蜡质特性的影响	郭彦军, 倪 郁, 郭芸江, 等 (5273)
黄土高原旱塬区土壤贮水量对冬小麦产量的影响	邓振镛, 张 强, 王 强, 等 (5281)
咸阳地区近年苹果林地土壤含水量动态变化	赵景波, 周 旗, 陈宝群, 等 (5291)
苗药大果木姜子挥发油成分变化及其地理分布	张小波, 周 涛, 郭兰萍, 等 (5299)
环境因子对小球藻生长的影响及高产油培养条件的优化	丁彦聪, 高 群, 刘家尧, 等 (5307)
不同基质对北草蜥和中国石龙子运动表现的影响	林植华, 樊晓丽, 雷焕宗, 等 (5316)
安徽沿江浅水湖泊越冬水鸟群落的集团结构	陈锦云, 周立志 (5323)
黑胸散白蚁肠道共生锐滴虫目鞭毛虫的多样性分析与原位杂交鉴定	陈 文, 石 玉, 彭建新, 等 (5332)
基于熵权的珠江三角洲自然保护区综合评价	张林英, 徐颂军 (5341)
专论与综述	
中小尺度生态用地规划方法	荣冰凌, 李 栋, 谢映霞 (5351)
土地利用变化对土壤有机碳的影响研究进展	陈 朝, 吕昌河, 范 兰, 等 (5358)
海洋浮游植物与生物碳汇	孙 军 (5372)
多年冻土退化对湿地甲烷排放的影响研究进展	孙晓新, 宋长春, 王宪伟, 等 (5379)
生源要素有效性及生物因子对湿地土壤碳矿化的影响	张林海, 曾从盛, 仝 川 (5387)
生态网络分析方法研究综述	李中才, 徐俊艳, 吴昌友, 等 (5396)
研究简报	
不同群落中米氏冰草和羊草的年龄结构动态	金晓明, 艾 琳, 刘及东, 等 (5406)
主题分辨率对 NDVI 空间格局的影响	黄彩霞, 李小梅, 沙晋明 (5414)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-09



封面图说: 在树上嬉戏的大熊猫——大熊猫是中国的国宝, 自然分布狭窄, 数量极少, 世界上仅分布在中国的四川、陕西、甘肃三省的部分地区, 属第四纪冰川孑遗物种, 异常珍贵。被列为中国国家一级重点保护野生动物名录, 濒危野生动植物种国际贸易公约绝对保护的 CITES 附录一物种名录。瞧, 够得上“功夫熊猫”吧。

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

赵景波, 周旗, 陈宝群, 杜娟, 王长燕. 咸阳地区近年苹果林地土壤含水量动态变化. 生态学报, 2011, 31 (18): 5291-5298.

Zhao J B, Zhou Q, Chen B Q, Du J, Wang C Y. Research of dynamic variation of moisture in apple orchard soil in the area of Xianyang in recent years. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (18): 5291-5298.

咸阳地区近年苹果林地土壤含水量动态变化

赵景波^{1,2,*}, 周 旗¹, 陈宝群², 杜 娟², 王长燕¹

(1. 宝鸡文理学院陕西省灾害监测与模拟重点实验室, 宝鸡 721007; 2. 陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062)

摘要:利用人力钻采样法和烘干称重法, 研究了咸阳地区 2002—2008 年间苹果林地 6 m 深度范围土壤含水量的动态变化、土壤干层的等级、土壤干层水分恢复、动力机制与消耗过程。资料表明, 咸阳地区干旱年苹果林地土壤含水量较低, 发育了长期性土壤干层。2003 和 2007 丰水年苹果林地土壤干层中的水分得到了显著恢复, 经过当年的水分补给, 土壤干层已经消失。丰水年土层中重力水含量较高, 并能到达 2 m 深度以下。持续时间较长的重力水的存在是土壤干层水分恢复的驱动力, 但干层水分恢复的直接动力是薄膜水的水膜压力。在年降水量 800 mm 或更多的条件下, 不论黄土厚度有多大, 土层水分完全能够满足人工林生长的需要。咸阳地区干旱年苹果林地土壤水分不足, 土壤水分收入量小于支出量, 土壤水分呈负平衡, 没有剩余的水分通过入渗补给地下水; 丰水年苹果林地土壤水分充足, 土壤水分收入量大于支出量, 土壤水分呈正平衡, 有剩余的水分通过入渗补给地下水。在年降水量为 800 mm 左右的丰水年, 该区补给的土壤水分可维持苹果林地在 3 a 内不会出现长期性干层, 3 a 之后一般还会出现长期性土壤干层。

关键词: 咸阳地区; 丰水年与干旱年; 苹果林地含水量; 水分恢复与消耗; 动力机制

Research of dynamic variation of moisture in apple orchard soil in the area of Xianyang in recent years

ZHAO Jingbo^{1,2,*}, ZHOU Qi¹, CHEN Baoqun², DU Juan², WANG Changyan¹

1 State Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulating of Shaanxi Province, Baoji College of Arts and Science, Baoji 721007, China

2 College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China

Abstract: Based on manual drill and oven drying method, this paper studied the variation of soil moisture, dried degree and restoration of dried layer, consumption and mechanism of soil moisture in dried layers in apple orchard in the depth of six meter in the area of Xianyang between 2002 and 2008. As the data shows that, during the drought years, the moisture amount is low with 7.3%—9.5% in the depth of 2.1 to 4.0 meter and 8.9%—11.6% at the depth of 4.1 to 6.0 meter, together with the growth of the long-term dried soil layers. The soil moisture improved significantly in the years 2003 and 2007 with rich rainfalls and replenishment, the figure rising to 18.8%—22.7% in the depth of 2.1 to 4.0 meter and 15.4%—18.2% in the depth of 4.1 to 6.0 meter, and the dried layers disappeared. Gravitational moisture is high in rainy years and can reach as deep as more than 2.0 meter. The gravitational water serves as the determining factor for the moisture recovery in dried soil layer and the stress of water film as the direct source. It is found that, in the research area, the moisture restoration of dried soil layers is rapid in the rainy years and the dried soil layers disappear after six months' moisture supply. Three stages can be found about the changes of moisture restoration of dried soil layers. In the first stage, the content of soil moisture increases between 0 m and 2 m and gravitational water appears, during which period, with the content of soil moisture exceeding 20%, part of the film moisture changes to the gravitational moisture, which can infiltrate

基金项目: 陕西省灾害监测与模拟重点实验室项目 (09JS074)

收稿日期: 2010-10-15; 修订日期: 2011-07-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaojb@snmu.edu.cn

into 2 meters in the same September. The second stage is the restoration of film water between 2 m and 4 m. When the gravitational moisture of 0—2 m moves to 2—4 m, owing to the low content of film water, the gravitational water changes to the film water and the water moves from upper soil to lower soil. The content of film water increases from about 8% to 16% in this stage. The third stage is the appearance of the gravitational water in the depths 2—4 m. While film water of 2—4 m increasing and exceeding 20%, part of the film water changes to gravitational water. The restored moisture content is reasonably high in this stage. Moisture restoration of dried soil layers of 4—6 m is similar to that of 2—4 m and can also be divided into three stages. But the restoration of dried soil layers between 4 m and 6 m is the result of the downward migration of the water of 2—4 m. In the case of annual mean rainfall up to 800 mm or above, the soil moisture can entirely meet the needs of artificial forest's growth regardless of how much the thickness of the loess will be. During the arid years, the volume of receipts of soil moisture in apple orchard was less than that of expenditure, thus resulting in a negative water balance without surplus water infiltrating into underground. During the wet years, on the contrary, the volume of receipts of soil moisture is higher than that of expenditure, causing a positive water balance with surplus water infiltrating into underground. In such rainy years with about 800 mm rainfall, the soil moisture replenishment can ensure a sustainable growth of artificial forests without long-term dried layer within three years. However the dried layer may appear three years later.

Key Words: the area of Xianyang; wet year and arid year; soil moisture in apple orchard; moisture restoration and consumption; dynamical mechanism

人们对西北黄土区人工林地土壤含水量进行了许多研究^[1-3],取得了一些有价值的成果。已认识到土壤的干化、土壤干层的发育对人工林造成了不利影响^[1-2],揭示了黄土高原中龄人工林常出现弯曲和矮小的原因是 2 m 以下发育了土壤干层^[1-2]。土壤干层是在林草植被长期过度耗水的情况下,土壤含水量长时间处于亏损状态,土壤含水量达到凋萎湿度的条件下形成的^[1-2]。在黄土高原之外的辽宁南部等地区,同样存在土壤水分不足的问题^[4],在西北草原区也有干层发育^[5-6]。在国外降水少的地区同样有干层发育^[7]。在重力水分分布深度小于 2 m 的降水较少地区,一般都有干层发育^[8]。虽然过去对土壤干层进行了很多研究,但以往研究的几乎都是正常年含水量^[1-4],缺乏对降水差异显著年份土层含水量的对比研究,更缺少对干层水分恢复过程、恢复水平、恢复的动力机制、恢复后的水分消耗等问题的研究。本文通过对咸阳地区苹果林地土壤含水量的多年监测,研究了该区土壤干层的分布、发育强度、恢复条件以及水分平衡等问题,为该区干层防治等提供科学依据。

1 地区概况、材料和研究方法

1.1 地区概况

咸阳地区属暖温带大陆性季风气候,四季分明,冬夏季较长,春秋季节较短。该区年平均气温变化在 13℃^[9]左右,年平均降水量变化在 600 mm 左右,降水主要集中在 7、8、9 月份,年际变化与季节变化较大。2003 年平均降水量为 800 mm,比 600 mm 左右的多年平均降水量高出 200 mm,是咸阳地区的丰水年。2003 年降水主要集中在 5—10 月。咸阳 2001、2002、2003、2004、2005、2006、2007、2008 年降水量分别为 405 mm、442 mm、800 mm、417 mm、372 mm、461 mm、800 mm、494 mm。2001 与 2002 年降水量比正常年明显少,这两年的土层含水量为干旱年含水量,2003 年为丰水年土壤含水量,2004—2006 年为丰水年之后的土壤含水量,2007 年又是降水量较多的丰水年土壤含水量。研究地点选在咸阳庞西村、兴平店张村(图 1)。庞西村位于咸阳市北约 5 km,店张村位于兴平市北约 16 km。这两个研究点均位于河流二级阶地上,地形平坦开阔,6 m 深度范围内均为马兰黄土,土质疏松,结构均一,能够敏感反映含水量的差异。调查访问可知,采样苹果园一般无灌溉。

1.2 材料与研究方法

研究的植被包括咸阳 12 龄、13 龄和 17 龄苹果林、兴平店张村 11 龄苹果林。树木间距为 3 m 左右。打钻取样时间在 2002 年 4 月、2003 年 12 月、2004—2008 年在 11 月。土壤样品用轻型人力钻采取, 取样深度为 6 m, 样品间距为 10 cm。所采样品均用铝盒包装而且用胶带密封, 尽量减少水分的散失。含水量测定采用烘干称重法。烘干温度为 105 ℃, 烘干时间大于 24 h。烘干前后的样品重量用 1/10000 精度的电子天平称得。土壤含水量计算式为: $W = (W_1 - W_2) / W_2 \times 100\%$ 。式中 W 为所测样品的土壤含水量, W_1 为烘干前土壤样品重量, W_2 为烘干后土壤样品重量。水分平衡利用下式表示: $W = P - R - E$ 。 W 为测期始末土壤储水量的增减值, P 为降水量, R 为地表径流量, E 为蒸发量与植物蒸腾量之和。

2 人工林地土壤含水量实验结果

2.1 咸阳庞西村 12、13、17 龄苹果林地土层含水量

2002 年 11 月, 在咸阳庞西村 13 龄苹果林地打了 5 个 6 m 深的钻孔, 每孔取样 60 个。a 孔含水量测定结果表明, 13 龄苹果林地土壤含水量变化可分为 3 层。第 1 层在 0—2 m 之间, 含水量变化在 8.8%—11.4% 之间, 平均为 10.1%; 第 2 层在 2.1—4 m 之间, 含水量变化在 7.3%—11.0% 之间, 平均为 8.6%; 第 3 层在 4.1—6 m 之间, 含水量最高, 变化在 7.7%—13.7% 之间, 平均为 10.3% (图 1a)。b、c 孔含水量及变化 (图 1b) 与 a 孔相近, 只是第 3 层含水量比 a 孔高 1.5% 左右。2002 年 17 龄苹果林 4 个钻孔含水量也很低 (表 1)。

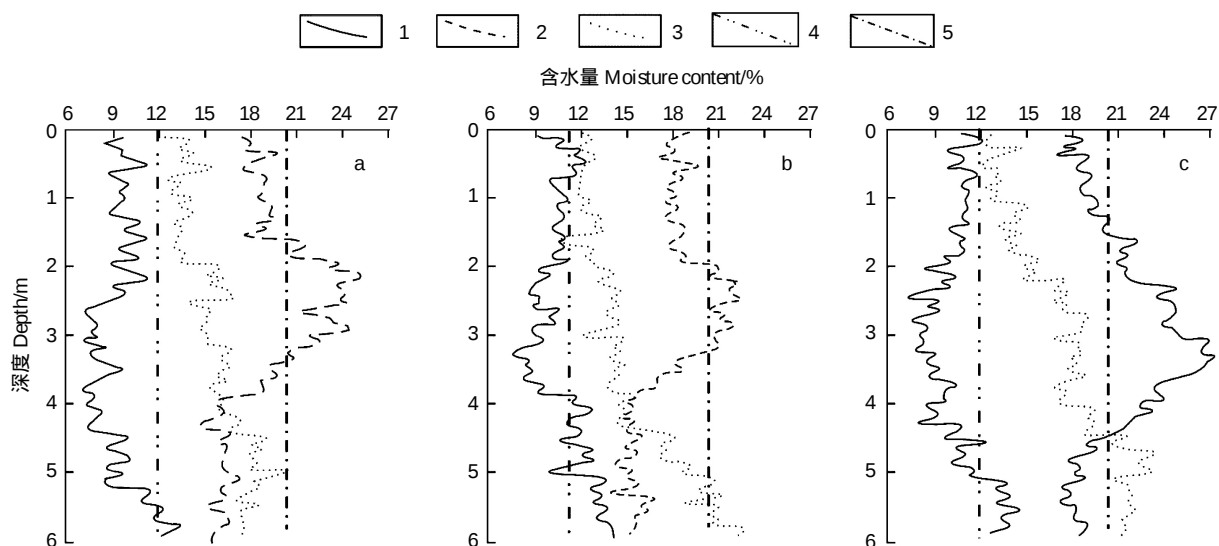


图 1 咸阳庞西村 13 龄苹果林地土层含水量

Fig. 1 Soil moisture of 13-year apple trees land at the Village Pangxi, Xianyang

a、b、c 分别为钻孔 a、b、c 土层含水量; 1: 2002 年 11 月土层含水量; 2: 2003 年 12 月土层含水量; 3: 2004 年 11 月土层含水量; 4: 干层与非干层含水量分界线; 5: 重力水与非重力水含水量分界线

2003 年 12 月 14—15 日, 在庞西村 13 龄苹果林地相同地点打了 4 个 6 m 深的钻孔, 每孔取样 60 个。a 孔含水量测定结果显示, 2003 年 12 月苹果林地含水量较高, 据含水量变化也可分为 3 层。第 1 层在 0—2 m 之间, 含水量变化在 16.0%—23.2% 之间, 平均为 18.9%; 第 2 层在 2.1—4 m 之间, 含水量升高, 变化在 15.5%—24.0% 之间, 平均 21.0%; 第 3 层在 4.1—6 m 之间, 含水量降低, 变化在 14.4%—16.8% 之间, 平均为 15.7% (图 1a)。b 孔的含水量变化 (图 1b) 与 a 孔相差不大, c 孔第 2、第 3 层含水量比 a 孔平均高 2.5% 左右。

2004 年 11 月 10—11 日在咸阳 13 龄苹果林地相同地点进行了 4 个剖面含水量测定, 据含水量变化 (图 1a) 也可以分为 3 层。a 孔第 1 层在 0—2 m 之间, 含水量变化在 12.4%—15.3% 之间, 平均为 13.8%; 第 2

层在 2.1—4 m 之间,含水量升高,变化在 14.8%—16.8% 之间,平均 15.7%;第 3 层在 4.1—6 m 之间,含水量增高,变化在 16.1%—20.2% 之间,平均为 17.8%。b 孔含水量(图 1b)比 a 孔高 1.4%,c 孔含水量(图 1c)变化与 a 孔类似,但其含水量明显比 a 孔高。2003 年 12 月 17 龄苹果林 4 个钻孔含水量也很高(表 1)。

表 1 咸阳地区 2005—2008 年 11 月不同深度土层平均含水量/%

Table 1 Soil moisture content in different deep earth in the area of Xianyang in November from 2005 to 2008

采样地点 Collecting site	采样时间 Collecting date	树龄 Tree age	不同土层深度 Soil different/%				剖面数 Section number
			0—2 m	2.1—4 m	4.1—6 m	0—6 m	
咸阳	2002-11	13	10.7	7.3	8.9	9.0	5
	2003-11	13	17.3	18.8	15.4	17.2	4
	2004-11	13	12.9	14.7	16.4	14.7	4
	2005-11	13	12.3	12.7	14.5	13.2	3
	2006-11	13	12.0	11.2	12.8	12.1	3
	2007-11	12	18.9	18.2	13.8	16.9	4
	2008-12	12	13.5	15.2	12.2	13.6	3
	2002-11	17	11.2	7.6	9.3	9.4	4
	2003-11	17	18.3	19.2	15.6	17.7	4
	2004-11	17	13.4	15.1	16.2	14.9	4
	2005-11	17	13.4	13.2	14.0	13.5	4
	2006-11	17	13.9	11.3	12.7	12.6	4
	2007-11	17	19.6	16.8	11.8	16.1	4
	2008-12	17	13.8	14.7	13.1	13.9	3
	2002-11	11	11.3	9.4	11.6	10.8	3
	2003-11	11	19.4	22.7	18.2	20.1	3
兴平	2004-11	11	14.4	17.5	20.3	17.4	3
	2005-11	11	13.2	14.3	16.2	14.6	3
	2006-11	11	12.9	12.4	14.1	13.1	3
	2007-11	11	18.3	18.7	14.5	17.2	3
	2008-11	11	15.3	14.1	12.4	14.0	3

表中采样时间每增加 1 a, 树龄也相应增加 1 a, 为统一对比, 表中未表示树龄的增加

在 2004、2005、2006 年 11 月中旬对咸阳庞西村相同地点 13 龄和 17 龄苹果林地分别进行了 3—4 个钻孔的采样测定, 结果表明 2004 年和 2005 年 2.1—4 m 土层含水量等于或大于 12.7% (表 1), 尚无干层发育, 而在 2006 年 11 月中旬 13 龄和 17 龄苹果林地 2.1—4 m 略低于 12%, 发育了土壤干层(表 1)。2007 年咸阳降水量又增加到了 800 mm, 对 12 龄与 17 龄苹果林地分别进行了 4 个钻孔的采样测定显示 2.1—4 m 干层都已消失, 4.1—6 m 的干层在有的剖面中消失, 有的剖面中尚未全部消失, 但 0—6 m 平均含水量大于 16% (表 1)。2008 年咸阳年降水量只有 494 mm, 该年 12 与 17 龄苹果林地 2 m 以下尚未出现干层(表 1)。

2.2 兴平店张村 11 龄苹果林地含水量测定结果

2002 年 11 月, 在兴平店张村 11 龄苹果林地打了 4 个 6 m 深的钻孔, 每孔取样 60 个, 选取代表性 3 个钻孔资料介绍如下。a 孔测定结果表明, 干旱年土壤含水量低, 据含水量变化可分为 3 层。第 1 层在 0—2 m 之间, 含水量在 8.9%—13.4% 之间, 平均为 11.3%; 第 2 层在 2.1—4 m 之间, 含水量降低, 变化在 8.3%—12.4% 之间, 平均为 9.6%; 第 3 层在 4.1—6 m 之间, 含水量进一步升高, 变化在 9.0%—15.2% 之间, 平均为 11.7% (图 2a)。b 孔与 c 孔测定结果与 a 孔相近, 差别较小。

2003 年 12 月 11—13 日, 在兴平店张村相同苹果林地打了 4 个 6 m 深的钻孔, 每孔取样 60 个。a 孔测定结果(图 2a)表明, 丰水年土壤含水量高, 变化明显, 含水量可分为 3 层。第 1 层在 0—2 m 之间, 含水量在 17.0%—21.3% 之间, 平均为 19.2%; 第 2 层在 2.1—4 m 之间, 含水量升高, 变化在 18.7%—24.7% 之

间,平均为 22.3%;第 3 层在 4.1—6 m 之间,该层含水量变化在 16.0%—22.3% 之间,平均为 18.4% (图 2a)。b、c 孔含水量(图 2b, c)与 a 孔分层基本相同,含量差别很小,但波动变化有一定差别。

在 2004 年 11 月 7—9 日,对相同地点苹果林地进行了 4 个剖面的含水量测定。a 孔 60 个样品测定结果(图 2a)表明,剖面含水量也可以分为 3 层。第 1 层在 0—2 m 之间,含水量在 12.3%—15.8% 之间,平均为 14.1%;第 2 层在 2.1—4 m 之间,含水量升高,变化在 14.3%—20.2% 之间,平均为 17.3%;第 3 层在 4.1—6 m 之间,含水量变化在 19.0%—22.3% 之间,平均为 20.0%。b 孔、c 孔测定结果(图 2b, c)与 a 孔相近,但比 a 孔含水量低 1% 左右。

另在 2005 年 11 月 10—16 日对兴平店张村相同地点苹果林地进行了 4 个钻孔的采样测定,结果表明 2005 年 2.1—4 m 土层含水量为 14.1% (表 1),但仍无干层发育,而在 2006 年 2.1—4 m 土层含水量为 12.3%,已接近干层含水量。2007 年降水量增多,土壤含水量增高,明显高于干层标准。2008 年土壤含水量减少,但干层仍未出现(表 1)。

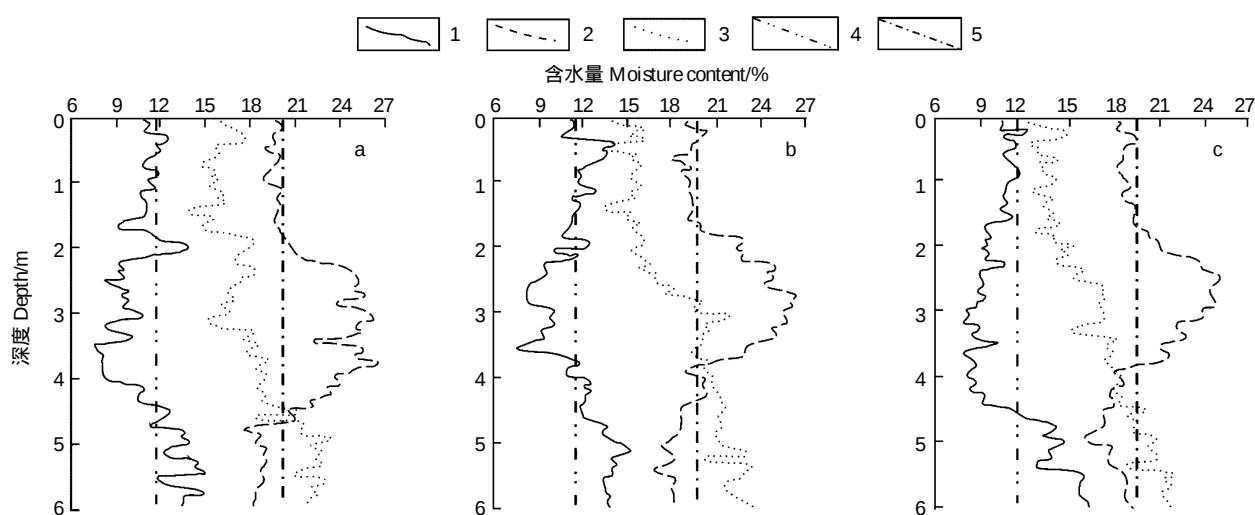


图 2 兴平店张村 11 龄苹果林地土层含水量

Fig. 2 Soil moisture of 11-year apple trees land at Dianzhang village, Xingping

a、b、c 分别为 a、b、c 钻孔土层含水量;1: 2002 年 11 月土层含水量;2: 2003 年 12 月土层含水量;3: 2004 年 11 月土层含水量;4: 干层与非干层含水量分界线;5: 重力水与非重力水含量分界线

2.3 丰水年苹果林地水分平衡与水分消耗

土壤水分平衡的构成成分包括输入量、储存量和输出量。输入量包括降水、侧向补给与灌溉水量,储存量即储存于土体中前 1 年的水量,输出量即蒸发、蒸腾、径流、排水等。根据黄土高原洛川的研究,15 龄和 28 龄苹果林蒸散量平均为 605 mm 左右^[10]。在年降水量大于 605 mm 的年份,土壤水分平衡为正值,年平均降水量小于 605 mm,土壤水分平衡值为负值。平坦的黄土塬面苹果林地产流几乎为零^[10]。在观测时段内的 2003 年和 2007 年降水量均为 800 mm,比正常年的 600 mm 明显增多,所以土壤水分出现了正平衡。

由 2003 年和 2007 年的含水量测定可知,经过丰水年的降水补给,咸阳和兴平在这两年降水 800 mm 的丰水年苹果林地 0—6 m 土层水分增加了 3.2%—9.2%,平均为 6.4%,表明丰水年 0—6 m 土层水分收入量显著大于支出量。

丰水年补给的水分能够满足苹果林多少年正常生长的需要值得讨论。根据咸阳 2003 年丰水年之后的含水量变化可知,到了 2005 年底基本没有干层出现,到 2006 年又出现了干层(图 1—图 3)。这表明在降水量 800 mm 的丰水年之后经过 2 年的水分消耗,土壤干层将再次出现。到 2007 年咸阳降水量增多,达到了 800 mm。该年土壤剖面 4 m 以上含水量显著升高有盈余,2—4 m 深度范围内的干层再次消失,4—6 m 干化也不明显。到 2008 年土壤水分虽然减少,但干层基本没有出现(表 1)。由此可见,随着从 2002 年到 2008 年降

水量的变化和6—9月平均降水量的变化,该区土壤含水量也呈现由低—高—低—高的变化,土壤干层则表现为出现—消失—再出现—再消失的变化。尽管上述降水与土壤干层的变化具有很清楚的相关性,但在2003年比2007年恢复的土壤水分高,这反映了自然因素的复杂性。其原因是与降水量的局部变化、降水的局部聚集和土壤入渗率的分布不均有关。

降水量平衡值的正负与土壤水分盈亏量(图3)的变化有明显的差别,这显然是降水入渗到土壤下部难以受到蒸发造成的,特别是入渗到2 m以下的水分不受蒸发影响。这也表明,丰水年之后次年降水的亏缺不一定造成土壤干层出现,表明干旱年水分消耗减少,即蒸散量减少。

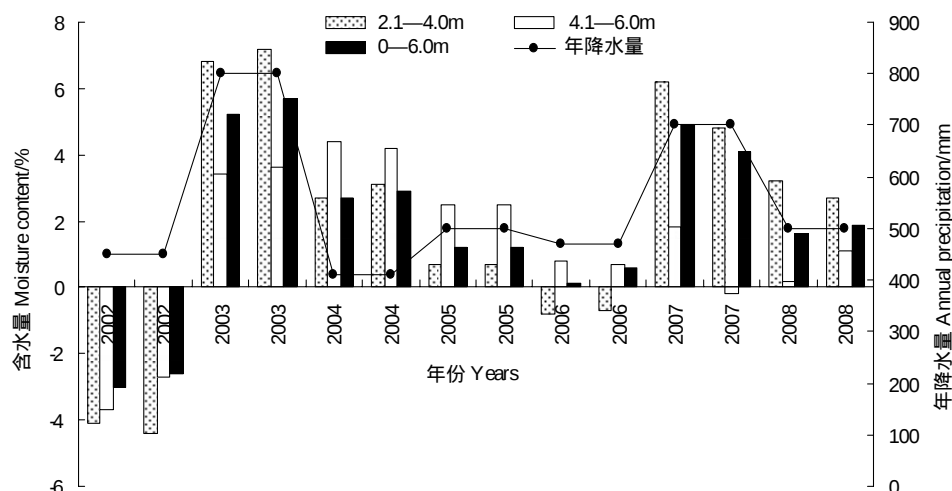


图3 咸阳苹果林地不同年份土壤水分亏缺量和盈余量

Fig. 3 Volume of soil moisture deficit and surplus from apple trees land in different years in Xianyang

3 讨论

3.1 咸阳地区苹果林地的土壤干层恢复水平和过程

土壤干层是根据田间稳定持水量确定的^[11]。田间稳定持水量约相当于田间持水量的60%^[12]。黄土高原田间持水量为20%左右^[11],所以研究者将延安地区含水量低于12%的土层确定为干层,并将含水量在9%—12%和6%—9%之间的土层划分为轻度干层与中度干层^[11]。关中平原田间持水量为20%或21%^[12]。按此计算,关中平原干层含水量标准应接近13%。为使研究结果更为可靠,仍将咸阳地区的干层含水量标准定为12%。在田间稳定持水量条件下,土壤水势或吸力为1.0 bar^[12]。在黄土高原人工林分布区,长期性干层一般分布在2 m以下^[1, 13-15],2 m以上为旱季存在的暂时性干层。在本文所研究的咸阳与兴平土壤2.1—4 m含水量一般在8.5%—9.5%之间,所以出现了长期性轻度干层和中度干层。

根据2003丰水年11月的含水量测定结果(图1,图2,表1)可知,在2003年的11月,咸阳和兴平苹果林地2—6 m深处的土壤干层全部消失,恢复深度至少达到了6 m,在2—4 m深处的干层水分从7.4%恢复到了19.0%左右,恢复后的土壤水分较充足。4—6 m深处的干层也得到了恢复(表1)。这表明轻度干层和中度干层在年降水量800 mm左右的条件下,经过6个月的水分入渗就能恢复。咸阳2003年降水量主要出现在5—10月份之间的夏秋季节,降水持续时间长达6个月之久,这是干层能够较快恢复的原因。

有的研究者认为,黄土层厚度大,大气降水渗入地下深部,土壤水分不能满足森林植被的需要,在过去暖湿的间冰期也没有森林发育^[16]。研究表明,在年降水量800 mm左右的条件下,不论黄土厚度有多大,土层水分完全能够满足人工林生长的需要。

3.2 干层水分恢复的动力机制与水分运移的形式

观测得知,土壤干层是通过重力水的驱动恢复的。土层重力水是含水量大于田间持水量的条件下形成的水^[12],关中平原的田间持水量为20%^[12],所以咸阳地区土层含水量大于20%指示有重力水存在。薄膜

水是以薄膜形式吸附于土颗粒表面的水,含量小于 20%。

观测表明,在 2002 年 11 月干层恢复之前咸阳苹果林 0—6 m 深度范围含水量很低,无重力水出现(图 1,图 2)。根据 2003 年土层水含量与水分存在形式变化(图 1,图 2),可将干层水分恢复量与动力变化可分为以下 3 个阶段。第 1 阶段是 0—2 m 之间土层含水量增加和重力水出现阶段。在 2003 年 5 月开始降水不断增多,0—2 m 季节性含水量增加,当含量超过 20% 时,部分薄膜水转变成成为重力水,在 9 月份重力水已入渗到 2 m 深度。第 2 阶段是土层 2—4 m 薄膜水恢复阶段。在 0—2 m 重力水运移到 2—4 m 时,由于该层薄膜水含量低,重力水转变为薄膜水,并由水膜厚的上部向水膜薄的下部运移。因此 2—4 m 水分恢复的直接的具体动力是薄膜水的水膜压力,而土层 0—2 m 的重力水是决定性的驱动力。2—4 m 的干层薄膜水含量增多,由 8% 恢复到了 16% (表 1),恢复量不太高。第 3 阶段是土层 2—4 m 重力水出现阶段。随着 2—4 m 深处薄膜水的不断积累并超过 20% 时,就有部分薄膜水转变为重力水(图 1,图 2),该阶段水分运移动力是重力水与薄膜水的水膜压力两种,恢复量很高。这一水分存在形式的大转变为 4—6 m 土层水分恢复提供了驱动力。土壤 4—6 m 水分的恢复与 2—4 m 基本相同,也可分为相同的 3 个阶段。由此可见,重力水出现是土壤干层水分恢复的驱动力,但土壤干层带内水分恢复的直接具体动力是薄膜水的水膜压力或水膜压力与重力两种力的作用。重力水的突出特点是含量较高,运移快,在当年年底就能到达 6 m 深度,所以在重力水持续时间较长的土层下部不会出现长期性干层。

4 结论

(1) 咸阳地区干旱年苹果林地 0—6 m 土层含水量低,2—4 m 土层普遍发育了长期性轻度或中度干层。在 2003 丰水年土壤干层水分得到了充分的恢复,土壤干层恢复较快,经过 6 个月的水分补给干层就已消失。

(2) 丰水年 2 m 以下的薄膜水能够富集并转变成成为重力水,这是干层水分恢复的主要驱动力。干层水分恢复可分为 3 个阶段,第 1 阶段是为干层恢复提供驱动力的土层 0—2 m 深度范围出现重力水的阶段,第 2 阶段是水膜压力作为具体动力的干层薄膜水恢复阶段,水分恢复量不高,第 3 阶段是水膜压力与重力共同作用的阶段,水分恢复量很高。土壤 4—6 m 干层水分恢复的动力与阶段与 2—4 m 相同,可分为同样的 3 个阶段。

(3) 咸阳地区苹果林地丰水年及其之后 1 年内 6 m 深度范围土层含水量较高,在丰水年之后降水基本正常条件下,降水量为 800 mm 丰水年补充的水分可满足苹果林 3 年正常生长的需要。

(4) 咸阳地区干旱年苹果林地土壤水分不足,土壤水分收入量小于支出量,土壤水分为负平衡。丰水年苹果林地土壤水分充足,土壤水分收入量大于支出量,土壤水分为正平衡。在年降水量 800 mm 或更多的条件下,不论黄土厚度有多大,土层水分完全能够满足人工林生长的需要。

References:

- [1] Yang W Z. Soil water resources and afforestation in Loess Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(5): 433-438.
- [2] Liu W Z, Zhang X C, Dang T H, Ouyang Z, Li Z, Wang J, Wang R, Gao C Q. Soil water dynamics and deep soil recharge in a record wet year in the southern Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(8): 1133-1138.
- [3] Yi L, Li K R, Zhang G H, Niu J. Soil moisture deficit in artificial forest land in Loess Plateau. *Journal of Northwest Forestry University*, 2009, 25(4): 5-9.
- [4] Lei Z Y, Liu X L, Zhou K, Jiang T, Yan L F. Plant water deficit and moisture restoration in artificial forest of sandy land in Northwestern Liaoning Province. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(4): 86-90.
- [5] ZHao J B, Cao J J, Meng J J, Hou Y L, Hu J. Soil water environment near Shinaihai in the west of Qinghai Lake. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(5): 114-125.
- [6] Song B Y. Studies on evapotranspiration from different plant communities in steppe region of Inner Mongolia. *Acta Phytocologica Sinica*, 1995, 19(4): 319-328.
- [7] F Kizito, Dragila M, Sène M, Lufafa A, Diedhiou I, Dicka R P, Selker J S, Dossa E, Khouma M, Badiane A, Ndiaye S. Seasonal soil water variation and root patterns between two semi-arid shrubs co-existing with Pearl millet in Senegal, West Africa. *Journal of Arid Environments*, 2006,

67(3): 436-455.

- [8] Zhao J B, Du J, Chen B Q. Dried earth layers of artificial forestland in the Loess Plateau of Shaanxi. *Journal of Geographical Sciences*, 2007, 16(4): 472-478.
- [9] Qian T J. Atlas of Shaanxi Province. Xi'an: Xi'an Cartographic Publishing House, 1999: 35-36.
- [10] Huang M B, Yang X M, Li Y S. Effect of apple base on regional water cycle in Weibei upland of the Loess Plateau. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(1): 7-13.
- [11] Wang L, Shao M A, Hou Q C. Preliminary research on measured indexes of dried soil layer. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 14(4): 87-90.
- [12] Yang W Z, Shao M A. Study on Soil Water of Loess Plateau. Beijing: Science Press, 2000: 73-78.
- [13] Zhao J B, Du J, Zhou Q, Yue Y L. The soil dried layers under apple trees plantation near Xi'an City. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 2125-2120.
- [14] Liu Z G, Wang Z Q, Wang X L. Analysis of dried soil layer of different vegetation types in Wuyi County. *Research of Soil and Water Conservation*, 2004, 11(1): 126-129.
- [15] Li Y S. Effects of forest on water circle on the Loess Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(5): 427-432.
- [16] Lin B H, Liu R M. Stable isotope evidence on summer monsoon change in recent 80 ka in the Loess Plateau. *Chinese Science Bulletin*, 1992, 37(18): 1692-1693.

参考文献:

- [1] 杨文治. 黄土高原土壤水资源与植树造林. *自然资源学报*, 2001, 16(5): 433-438.
- [3] 易亮, 李凯荣, 张冠华, 牛俊. 黄土高原人工林地水分亏缺研究. *西北林学院学报*, 2009, 25(4): 5-9.
- [4] 雷泽勇, 刘心玲, 周凯, 姜涛, 阎丽凤. 辽西北沙地人工林植物水分亏缺与恢复研究. *水土保持学报*, 2009, 23(4): 86-90.
- [5] 赵景波, 曹军骥, 孟静静, 侯雨乐, 胡建. 青海湖西侧石乃亥附近土壤水分研究. *水土保持学报*, 2010, 24(5): 114-125.
- [6] 宋炳煜. 草原区不同植物群落蒸发蒸腾的研究. *植物生态学报*, 1995, 19(4): 319-328.
- [9] 钱天九. 陕西省地图册. 西安: 西安地图出版社, 1999: 35-36.
- [10] 黄明斌, 杨新民, 李玉山. 黄土区渭北旱塬苹果基地对区域水循环的影响. *地理学报*, 2001, 56(1): 7-13.
- [11] 王力, 邵明安, 侯庆春. 土壤干层量化指标初探. *水土保持学报*, 2000, 14(4): 87-90.
- [12] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究. 北京: 科学出版社, 2000: 73-78.
- [13] 赵景波, 杜娟, 周旗, 岳应利. 西安附近苹果林地的土壤干层. *生态学报*, 2005, 25(8): 2125-2120.
- [14] 刘刚, 王志强, 王晓岚. 吴旗县不同植被类型土壤干层特征分析. *水土保持研究*, 2004, 11(1): 126-129.
- [15] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究. *自然资源学报*, 2001, 16(5): 427-432.
- [16] 林本海, 刘荣漠. 最近 80 万年黄土高原夏季风变化的稳定同位素证据. *科学通报*, 37(18): 1692-1693.

CONTENTS

CO ₂ emission from an alpine <i>Kobresia humilis</i> meadow in winters	WU Qin, HU Qiwu, CAO Guangmin, et al (5107)
Effect of cultivation on soil organic carbon and total nitrogen accumulation in Cele oasis croplands and their relation to crop yield	HUANG Caibian, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al (5113)
Biomass and its allocation of four grassland species under different nitrogen levels	QI Yu, HUANG Yongmei, WANG Yan, et al (5121)
Small-scale spatial patterns of genetic structure in <i>Castanopsis eyrei</i> populations based on autocorrelation analysis in the Tiantai Mountain of Zhejiang Province	QI Caihong, JIN Zexin, LI Junmin (5130)
Influence of vegetation on frozen ground temperatures the forested area in the Da Xing'anling Mountains, Northeastern China	CHANG Xiaoli, JIN Huijun, YU Shaopeng, et al (5138)
Analysis of stable carbon isotopes in different components of tree rings of <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	SHANG Zhiyuan, WANG Jian, CUI Mingxing, et al (5148)
Retrieval of leaf area index for different grasslands in Inner Mongolia prairie using remote sensing data	LIU Yibo, JU Weimin, ZHU Gaolong, et al (5159)
Decomposition of lotus leaf litter and its effect on the aquatic environment of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake	SHI Qi, JIAO Feng, CHEN Ying, et al (5171)
Effects of fire disturbance on greenhouse gas emission from <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> forested wetlands in XiaoXing'an Mountains, Northeast China	YU Lili, MU Changcheng, GU Han, et al (5180)
Wetland landscape transition pattern of Lianbo Beach along the Middle Yellow River	GUO Donggang, SHANGGUAN Tieliang, BAI Zhongke, et al (5192)
Effect of revegetation on functional groups of soil organic carbon on the Loess Plateau	LI Ting, ZHAO Shiwei, ZHANG Yang, et al (5199)
Soil organic and inorganic carbon contents in relation to soil physicochemical properties in northeastern China	ZU Yuangang, LI Ran, WANG Wenjie, et al (5207)
Characteristics of soil respiration in fallow and its influencing factors at arid-highland of Loess Plateau	GAO Huiyi, GUO Shengli, LIU Wenzhao (5217)
Soil microbial functional diversity between rhizosphere and non- rhizosphere of typical plants in the hilly area of southern Nixia	AN Shaoshan, LI Guohui, CHEN Liding (5225)
Differences in the surface palynomorph assemblages on a karst mountain and rocky desertification areas: a case in Nanchuan District, Chongqing	HAO Xiudong, OUYANG Xuhong, XIE Shiyu (5235)
Ash content and caloric value in the leaves of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> and its accompanying species	JIN Zexin, LI Junmin, MA Jine (5246)
Uptake kinetic characteristics of Cu ²⁺ by <i>Salix jiangsuensis</i> CL J-172 and <i>Salix babylonica</i> Linn and the influence of organic acids	CHEN Caihong, LIU Zhikun, CHEN Guangcai, et al (5255)
Introduction of <i>TaNHX2</i> gene enhanced salt tolerance of transgenic puna chicory plants	ZHANG Lijun, CHENG Linmei, DU Jianzhong, et al (5264)
Effects of air humidity and soil water deficit on characteristics of leaf cuticular waxes in alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	GUO Yanjun, NI Yu, GUO Yunjiang, et al (5273)
Influence of water storage capacity on yield of winter wheat in dry farming area in the Loess Plateau	DENG Zhenyong, ZHANG Qiang, WANG Qiang, et al (5281)
Research of dynamic variation of moisture in apple orchard soil in the area of Xianyang in recent years	ZHAO Jingbo, ZHOU Qi, CHEN Baoqun, et al (5291)
Volatile oil contents correlate with geographical distribution patterns of the miao ethnic herb <i>Fructus Cinnamomi</i>	ZHANG Xiaobo, ZHOU Tao, GUO Lanping, et al (5299)
Effect of environmental factors on growth of <i>Chlorella</i> sp. and optimization of culture conditions for high oil production	DING Yancong, GAO Qun, LIU Jiayao, et al (5307)
The effects of substrates on locomotor performance of two sympatric lizards, <i>Takydromus septentrionalis</i> and <i>Plestiodon chinensis</i>	LIN Zhihua, FAN Xiaoli, LEI Huanzong, et al (5316)
Guild structure of wintering waterbird assemblages in shallow lakes along Yangtze River in Anhui Province, China	CHEN Jinyun, ZHOU Lizhi (5323)
Phylogenetic diversity analysis and <i>in situ</i> hybridization of symbiotic Oxymonad flagellates in the hindgut of <i>Reticulitermes chinensis</i> Snyder	CHEN Wen, SHI Yu, PENG Jianxin, et al (5332)
An entropy weight approach on the comprehensive evaluation of the Pearl River Delta Nature Reserve	ZHANG Linying, XU Songjun (5341)
Review and Monograph	
On planning method of mesoscale and microscale ecological land	RONG Bingling, LI Dong, XIE Yingxia (5351)
Effects of land use change on soil organic carbon: a review	CHEN Zhao, LÜ Changhe, FAN Lan, et al (5358)
Marine phytoplankton and biological carbon sink	SUN Jun (5372)
Effect of permafrost degradation on methane emission in wetlands: a review	SUN Xiaoxin, SONG Changchun, WANG Xianwei, et al (5379)
A review on the effects of biogenic elements and biological factors on wetland soil carbon mineralization	ZHANG Linhai, ZENG Congsheng, TONG Chuan (5387)
A review of studies using ecological network analysis	LI Zhongcai, Xu Junyan, WU Changyou, et al (5396)
Scientific Note	
Dynamics of age structures on <i>Agropyron michnoi</i> and <i>Leymus chinensis</i> in different communities	JIN Xiaoming, AI Lin, LIU Jidong, et al (5406)
The impact of thematic resolution on NDVI spatial pattern	HUANG Caixia, LI Xiaomei, SHA Jinming (5414)

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 18 期 (2011 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 18 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		



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