

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

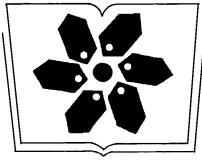
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 13 期 Vol.33 No.13 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 13 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 强度干扰后退化森林生态系统中保留木的生态效应研究综述..... 缪 宁,刘世荣,史作民,等 (3889)
- AM 真菌对重金属污染土壤生物修复的应用与机理..... 罗巧玉,王晓娟,林双双,等 (3898)

个体与基础生态

- 东灵山不同林型五角枫叶性状异速生长关系随发育阶段的变化..... 姚 婧,李 颖,魏丽萍,等 (3907)
- 不同温度下 CO₂ 浓度增高对坛紫菜生长和叶绿素荧光特性的影响..... 刘 露,丁柳丽,陈伟洲,等 (3916)
- 基于 LULUCF 温室气体清单编制的浙江省杉木林生物量换算因子..... 朱汤军,沈楚楚,季碧勇,等 (3925)
- 土壤逐渐干旱对菖蒲生长及光合荧光特性的影响..... 王文林,万寅婧,刘 波,等 (3933)
- 一株柠条内生解磷菌的分离鉴定及实时荧光定量 PCR 检测..... 张丽珍,冯利利,蒙秋霞,等 (3941)
- 一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性..... 张丹桔,张 健,杨万勤,等 (3947)
- 不同饵料和饥饿对魁蚶幼虫生长和存活的影响..... 王庆志,张 明,付成东,等 (3963)
- 禽畜养殖粪便中多重抗生素抗性细菌研究..... 祁诗月,任四伟,李雪玲,等 (3970)
- 链状亚历山大藻赤潮衰亡的生理调控..... 马金华,孟 希,张 淑,等 (3978)
- 基于环境流体动力学模型的浅水草藻型湖泊水质数值模拟..... 李 兴,史洪森,张树礼,等 (3987)

种群、群落和生态系统

- 干旱半干旱地区围栏封育对甘草群落特征及其分布格局的影响..... 李学斌,陈 林,李国旗,等 (3995)
- 宁夏六盘山三种针叶林初级净生产力年际变化及其气象因子响应..... 王云霓,熊 伟,王彦辉,等 (4002)
- 半干旱黄土区成熟柠条林地土壤水分利用及平衡特征..... 莫保儒,蔡国军,杨 磊,等 (4011)
- 模拟酸沉降对鼎湖山季风常绿阔叶林地表径流水化学特征的影响..... 丘清燕,陈小梅,梁国华,等 (4021)
- 基于改进 PSO 的洞庭湖水源涵养林空间优化模型..... 李建军,张会儒,刘 帅,等 (4031)
- 外来植物火炬树水浸液对土壤微生物生态系统的化感作用..... 侯玉平,柳 林,王 信,等 (4041)
- 崇明东滩抛荒鱼塘的自然演替过程对水鸟群落的影响..... 杨晓婷,牛俊英,罗祖奎,等 (4050)
- 三峡水库蓄水初期鱼体汞含量及其水生食物链累积特征..... 余 杨,王雨春,周怀东,等 (4059)
- 元江鲤种群遗传多样性..... 岳兴建,邹远超,王永明,等 (4068)

景观、区域和全球生态

- 中国西北干旱区气温时空变化特征..... 黄 蕊,徐利岗,刘俊民 (4078)
- 集水区尺度下东北东部森林土壤呼吸的模拟..... 郭丽娟,国庆喜 (4090)
- 增氮对青藏高原东缘高寒草甸土壤甲烷吸收的早期影响..... 张裴雷,方华军,程淑兰,等 (4101)
- 基于生态系统服务的广西水生态足迹分析..... 张 义,张合平 (4111)
- 深圳市景观生态安全格局源地综合识别..... 吴健生,张理卿,彭 建,等 (4125)

庐山风景区碳源、碳汇的测度及均衡..... 周年兴,黄震方,梁艳艳 (4134)

气候变化对内蒙古中部草原优势牧草生长季的影响 李夏子,韩国栋,郭春燕 (4146)

民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候特征及其对气候变化的响应..... 韩福贵,徐先英,王理德,等 (4156)

血水草生物量及碳贮量分布格局..... 田大伦,闫文德,梁小翠,等 (4165)

5 种温带森林生态系统细根的时间动态及其影响因子 李向飞,王传宽,全先奎 (4172)

资源与产业生态

干旱胁迫下 AM 真菌对矿区土壤改良与玉米生长的影响..... 李少朋,毕银丽,陈咄圳,等 (4181)

城乡与社会生态

上海环城林带保健功能评价及其机制..... 张凯旋,张建华 (4189)

研究简报

北京山区侧柏林林内降雨的时滞效应 史 宇,余新晓,张佳音 (4199)

采伐剩余物管理措施对二代杉木人工林土壤全碳、全氮含量的长期效应
..... 胡振宏,何宗明,范少辉,等 (4205)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-07



封面图说: 岳阳附近的水源涵养林及水系鸟瞰——水源涵养林对于调节径流,减缓水、旱灾害,合理开发利用水资源具有重要的生态意义。洞庭湖为我国第二大淡水湖,南纳湘、资、沅、澧四水,北由岳阳城陵矶注入长江,是长江上最重要的水量调节湖泊。因此,湖周的水源涵养林建设对于恢复洞庭湖调节长江中游地区洪水的功能,加强湖区生物多样性的保护是最为重要的举措之一。对现有防护林采取人为干扰的调控措施,改善林分空间结构,将有利于促进森林生态系统的正向演替,为最大程度恢复洞庭湖水源林生态功能和健康经营提供重要支撑。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201210161440

莫保儒, 蔡国军, 杨磊, 芦娟, 王子婷, 党宏忠, 王多锋, 戚建莉. 半干旱黄土区成熟柠条林地土壤水分利用及平衡特征. 生态学报, 2013, 33(13): 4011-4020.

Mo B R, Cai G J, Yang L, Lu J, Wang Z T, Dang H Z, Wang D F, Qi J L. Soil water use and balance characteristics in mature forest land profile of *Caragana korshinskii* in Semiarid Loess Area. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 4011-4020.

半干旱黄土区成熟柠条林地土壤水分 利用及平衡特征

莫保儒^{1,*}, 蔡国军¹, 杨磊², 芦娟¹, 王子婷¹, 党宏忠³, 王多锋¹, 戚建莉¹

(1. 甘肃林业科学研究院, 兰州 730020; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085;

3. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091)

摘要:选择半干旱黄土区流域尺度不同地形条件下成熟柠条林作为研究对象,并以荒坡草地作为对照,在 2009—2011 年生长季节对 0—210cm 土壤含水量进行连续观测,开展了剖面土壤水分变异、动态平衡及影响因素研究。结果显示:土壤水分平均值:30—130cm 对照>北坡>东坡>南坡,150—210cm 南坡(上、中坡位)>对照>北坡>东坡,南坡和北坡样地上坡位>中坡位>下坡位。土壤水分的季节变化表现为 9 月>8 月>7 月,5、6、10 月份最低;不同地形条件下,柠条林地土壤水分极差值和变异系数并没呈现出规律性变化,在垂直尺度上,柠条林地土壤水分极差值和变异系数曲线在 0—50cm 表现比较活跃,70—210cm 则相对稳定;在连续干旱年份土壤储水量并没有连续的降低和亏缺,在第 1 个欠水年亏缺比较严重,第 2 个欠水年盈亏量基本平衡,而第 3 个欠水年则略有盈余。研究认为:小流域尺度下的地形条件差异造成了土壤水分规律性变化,但在特定植被生长发育状态 and 剖面尺度下,植被因子将会成为土壤水分动态变化的主控因子。柠条林发育至成熟阶段,土壤水分补偿与消减将会保持平衡状态。土壤水分与植被生长的相互关系一方面表现出一定的时间差,另一方面植被对土壤水分也具有一定的适应性。这是因为土壤含水率高促进植物生长,植物生长势增强会进一步加大对土壤水分的消耗,土壤水分含量不足则会抑制植物生长,植物生长势减弱会进一步降低对土壤水分的消耗。

关键词:黄土高原;柠条;土壤储水量;剖面土壤水分平衡

Soil water use and balance characteristics in mature forest land profile of *Caragana korshinskii* in Semiarid Loess Area

MO Baoru^{1,*}, CAI Guojun¹, YANG Lei², LU Juan¹, WANG Ziting¹, DANG Hongzhong³, WANG Duofeng¹, QI Jianli¹

1 Gansu Forestry Academy, Lanzhou 730020, China

2 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3 Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Abstract: Compared with sparse native grassland (CK), soil water content and exchange range, as well as balance characteristics were investigated in the soil depth of 0—210 cm with 20 cm interval in mature *Caragana korshinskii* shrublands located in different topographic locations in a typical semi-arid loess watershed during growing seasons in 2009—2011. Soil water content ranged from high to low as CK, north, east and south slope in the depth of 30—130 cm, while as upper and middle position of south slope, CK, north and east slope in the depth of 150—210 cm, as well as upper, middle

基金项目:国家自然科学基金项目(31160099); 国家科技支撑计划林业项目(2006BAD03A1201-B); 国家科技支撑课题(2006BAC01A06)资助

收稿日期:2012-10-16; **修订日期:**2013-04-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mobaoru1010@sina.com

and lower position in south and north slope. Seasonal soil water declined in sequence of September, August, July, May, June and October. No regular change of soil water range value and variation coefficient was found under different terrain conditions. However, soil water range value and variation coefficient is active in the depth of 0—50cm, while relatively stable in the depth of 70—210 cm in vertical scales. No continuous soil water deficit was found in the drought years in succession, which serious soil water deficit was found in the first drought year, profit and loss balance in the second drought year, and slightly surplus in the third drought year. Obviously, terrain condition difference influenced soil water variation in a small watershed scale. But in a particular type of vegetation, plant factor would be key factor influencing soil water movement in the stable soil layer. The resplendent and consumption of soil water kept a balance status in mature *Caragana korshinskii* shrubland in this study. Results indicated that the response of vegetation growth was later than the soil moisture deficit (about one year), and vegetation growth can adapt to the soil water condition. This was mainly because relatively high soil water content in initial period can promote the vegetation growth conditions due to high available soil water resource. However, the relatively good growth conditions of *Caragana korshinskii* plants would consume more soil water than initial period and lead more soil water consumption. On the other hand, low available soil water would inevitable limit the vegetation growth and lead relatively lower soil water consumption.

Key Words: the Loess Plateau; *Caragana korshinskii*; soil water storage; soil water balance

干旱半干旱黄土区,水分是影响生态系统功能和过程的关键驱动因子^[1],也是植被生长和生存环境的重要组成部分,直接影响植被的生长发育、结构特征以及群落的稳定性,同时植被对土壤水分的变化也具有适应性和反作用的特征^[2]。土壤水分平衡是水循环和土壤水资源的重要研究内容,一直受到广泛的研究^[3-10]。在土壤水分动态平衡与人工植被关系方面人们更重视它们之间的相互影响,特别是土壤水分亏缺对植被生长的作用研究^[11-14]。随着人工林由幼龄到成熟林演替,土壤干层逐年上移下延,水分利用层变浅至降雨的入渗深度,植被生长仅仅依靠短期降雨量,其生长全受制于当年降雨量,群落对于干旱胁迫的敏感性进一步增强。当人工林发育至成熟阶段,其土壤利用层水分消耗和补偿达到相对平衡。本文选择不同地形条件下成熟柠条林作为研究对象,针对不同立地条件而存在的柠条生长差异,研究剖面土壤水分动态平衡及变化规律,掌握成熟柠条群落土壤水分环境状态,这将对人们理解人工柠条林自然发育及演替规律、提高半干旱黄土区生态恢复技术具有重要意义。

1 研究区概况

研究区位于定西市岷口镇龙滩流域,属于半干旱黄土高原丘陵沟壑区,地理坐标为 E 104°27'—104°32', N 35°43'—35°46',流域面积 16.1km²,平均海拔 1900m。年平均气温 6.8℃,1 月平均气温 -7.9℃,极端最高温 38.5℃,平均无霜期 152d,平均日照时数 2052h。年均降水量 386mm,春季降水稀少,降雨主要集中在 7—9 月份,潜在蒸发量 1439 mm,年平均相对湿度 72%,干燥度 1.9。流域土质均一,土壤以黄绵土为主,有机质含量低,土壤贫瘠。流域属典型草原地带,天然植被以多年生草本为主,主要植物种类有长芒草 (*Stipa bungeana*)、赖草 (*Leymus secalinus*)、阿尔泰狗娃花 (*Heteropappus altaicus*) 等,人工植被以紫花苜蓿 (*Medicago Sativa*)、柠条 (*Caragana korshinskii*)、山杏 (*Armeniaca sibirica*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*) 等为主。流域内不同立地条件下人工柠条林物候期生长节律表现正常,群落发育稳定。

2 研究方法

2.1 观测样地选择

根据研究流域成熟柠条林地的分布情况,考虑坡向和坡位因素,共选择 9 个柠条固定样地和 1 个对照样地,包括东坡上、中、下坡位 3 个样地,南坡上、中、下坡位 3 个样地,北坡上、中、下坡位 3 个样地,以南坡上坡位荒草地作为对照样地,柠条样地整地方式均为隔坡水平台整地,对照样地为自然坡面,样地规格为 20m×20m。各样地信息见表 1。

表 1 试验样地基本信息

Table 1 Basic information of experimental sample plots

样地 Sample plots	海拔/m Elevation	坡度/(°) Gradient	坡向/(°) Aspect	林龄/a Forest age	树高/m Tree height	冠幅/m Crown area	密度/(株/hm ²) Density	草本层盖度/% Coverage of herb layer	灌木层盖度/% Shrub layer of coverage
东坡上坡位 UPES	2116	36	E12°E	29	1.42	1.69×1.80	1386	75	36.50
东坡中坡位 MPES	2084	27	N12°E	29	1.42	1.55×10.97	1798	45	39.65
东坡下坡位 LPES	2034	29	N12°E	29	1.79	1.83×2.47	2766	55	67.85
南坡上坡位 UPSS	2052	25	S	29	1.22	1.80×1.45	2373	20	39.52
南坡中坡位 MPSS	2021	32	S	29	1.34	2.05×1.64	2689	21	46.58
南坡下坡位 LPSS	1946	30	S	29	1.31	2.01×1.60	2102	26	43.27
北坡上坡位 UPNS	2209	30	W30°N	27	1.51	1.57×1.65	2388	30	43.77
北坡中坡位 MPNS	2064	27	W84°N	27	1.68	1.79×1.44	3337	25	71.39
北坡下坡位 LPNS	2042	24	W60°N	27	1.72	1.76×1.69	2521	35	58.24
对照(荒草地)CK	2211	23	S					90	

东坡上坡位 Upper position of east slope (UPES); 东坡中坡位 Middle position of east slope (MPES); 东坡下坡位 Lower position of east slope (LPES); 南坡上坡位 Upper position of south slope (UPSS); 南坡中坡位 Middle position of south slope (MPSS); 南坡下坡位 Lower position of south slope (LPSS); 北坡上坡位 Upper position of north slope (UPNS); 北坡中坡位 Middle position of north slope (MPNS); 北坡下坡位 Lower position of north slope (LPNS); 对照 CK

2.2 土壤含水量测定

土壤含水量采用 ThetaProbe ML2x 土壤水分速测仪测定,以烘干法进行了标定,精确度为 0.1%。于 2009—2011 年生长季节(5 月上旬至 10 月下旬)对各固定样地土壤水分进行测定,测定深度为 210cm,每 20cm 为一个测层,每 15d 测定 1 次,每个监测点每次每层重复测定 3 个样点,并取平均值作为该次测层的容积土壤含水量(%)。

2.3 样地植被调查

测量每丛柠条株高、冠幅。林下草本层(包括对照样地)调查方法是在标准样地内沿对角线 1/4、2/4、3/4 处选择 5 块 2m×2m 的样方,调查内容包括物种高度、盖度及生长状况。

2.4 降雨量和蒸发量

生长季节(5 月 1 日至 10 月 31 日)降雨量数据观测;在研究流域,分别在南坡和东坡样地、北坡样地附近布设翻斗式雨量仪进行采集,每 3 个月读取数据 1 次,并按月进行统计。蒸发量和非生长季节降雨量数据(11 月—翌年 4 月)来源于距离试验样地 19km 的定西市水土保持研究所气象站。试验观测期 3a 降雨均小于当地多年平均降雨量 386mm,所以均为欠水年(表 2)。

表 2 2009—2012 年蒸发量和降水量

Table 2 Evaporation and precipitation in 2009—2012

年份 Year	项目 Item	月份 Month												合计 Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2009	蒸发量 Evaporation/mm	41.4	53.4	105.6	158.8	175.7	259.8	220.7	138.1	96.7	76.4	56.4	40.5	1423.5
	降水量 Precipitation/mm	4.1	11.2	17.9	14.8	25.0	18.9	51.1	111.3	13.1	42.2	4.1	0.9	314.6
2010	蒸发量 Evaporation/mm	40.5	61.5	108.1	150.6	182.0	183.3	191.1	186.4	106.2	85.8	62.7	40.2	1398.4
	降水量 Precipitation/mm	0.7	4.9	22.5	40.5	94.6	28.4	9.2	7.8	27.0	43.0	1.5	3.4	283.5
2011	蒸发量 Evaporation/mm	24.2	59.5	100.6	129.6	165.6	191.3	216.8	169.7	99.1	69.3	54.2	42.1	1322.0
	降水量 Precipitation/mm	6.5	4.7	13.1	6.1	31.0	50.5	63.7	66.4	79.6	20.5	30	2.6	374.7

2.5 数据整理

极差值(R)为样地土壤水分测定数据最大值与最小值的差;变异系数(Cv)=标准差/平均值;土壤储水量

$W = \sum W_i$, $W_i = w_i h_i$, 式中 W_i 为测层土壤储水量 (mm)、 w_i 为测层土壤容积含水量 (%)、 h_i 为测层厚度; 土壤水分变化量 = $W_{10月中旬} - W_{5月上旬}$; 土壤有效储水量 = $W - W_{凋萎湿度}$ 。

3 结果与分析

3.1 剖面土壤水分时空差异

采 SPSS17.0 统计软件中的 One-way ANOVA 对监测样地连续 3a 的土壤水分数据进行方差分析, 结果显示: 各样地之间以及不同样地各测层之间土壤含水量均存在极显著差异。不同样地, 10—210cm 范围对照 (CK) > 南坡上坡位 (UPSS) > 南坡中坡位 (MPSS) > 北坡上坡位 (UPNS) > 北坡中坡位 (MPNS) > 东坡下坡位 (LPES) > 北坡下坡位 (LPNS) > 东坡上坡位 (UPES) > 东坡中坡位 (MPES) > 南坡下坡位 (LPSS); 由图 1 可以看出, 各样地剖面土壤含水量: 30—70cm 南坡样地明显低于东坡、北坡和对照样地; 70—130cm 柠条样地显著低于荒草地, 柠条样地之间, 南坡下坡位最低, 东坡中、下坡位相对较高, 其他样地之间差异不是太明显; 130—210cm 南坡(上、下坡位)样地明显高于其他柠条样地, 甚至高于对照。土壤水分垂直差异特征: 30—70cm 各样地由浅至深土壤含水量迅速降低; 70—210cm, 荒草地垂直差异不明显, 在 8.5% 左右, 但柠条样地表现出不同特点, 东坡和北坡下坡位样地没有明显差异, 在 7.5% 左右, 而南坡和北坡上、中坡位样地随着土层深度增加明显升高, 而且逐渐高于荒草地。土壤水分时间差异特征: 图 2 可以看出, 柠条样地剖面土壤含水量的季节变化有很强同步性, 表现为 9 月 > 8 月 > 7 月, 5、6、10 月最低。图 3 可以看出, 对照各剖面土壤水分季节变化的同步性不太明显, 但总体表现出 6 月各测层土壤含水量最低, 随着雨季的到来, 7 月至 9 月土壤水分含量明显升高, 10 月在 80—140cm 范围是一个临时的低湿区, 但经过冬季后(5 月), 这一范围土壤水分又回到了整个生长季节较高的水平, 随着柠条的萌动和生长对水分的大量消耗, 土壤水分迅速降低, 直到雨季(7 月)才开始回升。

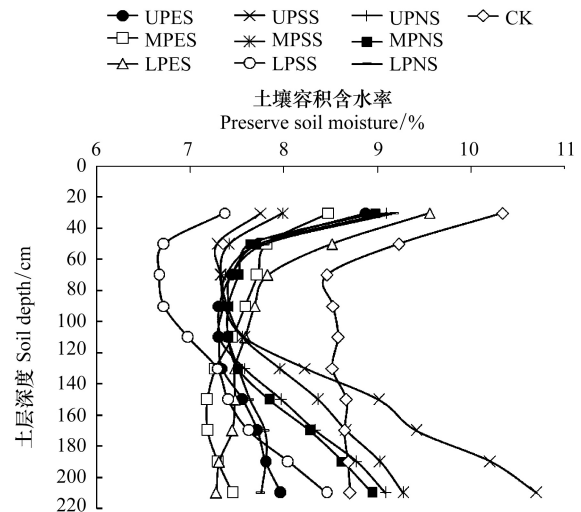


图 1 不同柠条样地剖面土壤水分变异

Fig. 1 Variation of soil moisture in different profile of mature forest land profile of *Caragana korshinskii*

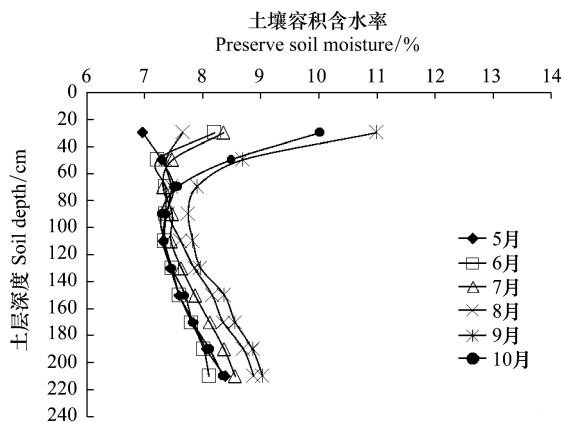


图 2 柠条林地剖面土壤水分季节变异

Fig. 2 Time variation of soil moisture in different profile of sample plots of *Caragana korshinskii*

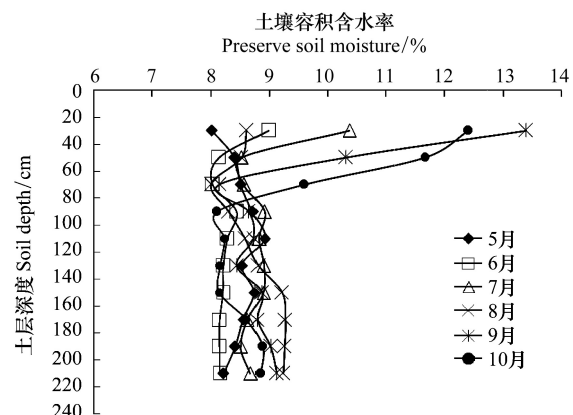


图 3 荒草地剖面土壤水分季节变异

Fig. 3 Time variation of soil moisture in different profile of sparse native grassland (CK)

3.2 土壤水分差异的影响因子分析

造成人工林(草)地土壤水分的差异因素, 在小流域尺度上主要为地形和植被因子。因为由于接收太阳

辐射和径流的作用,一般认为地形因子是土壤水分的主控因子,土壤含水量南坡高于北坡,下坡位高于上坡位^[15-18]。但在特定植被生长发育状态和剖面尺度下,植被因子将会成为土壤水分动态变化的主控因子,相关报道有:美国南部的灌木林有研究,由于北坡强烈蒸腾作用,造成阳坡的土壤水分反比北坡高^[19]。在黄土高原地区,也有东北坡河北杨林地土壤含水量高于西坡刺槐林的报道^[20],在干早期人工林的水分亏损量也可能导致阳坡>半阳坡>阴坡^[21]。为了进一步了解不同测层土壤水分与植被因子(株高、盖度、密度)、地形因子(坡向、坡度、坡位)的关系。采用 SPSS17.0 统计软件进行各测层土壤含水量和影响因素的相关性分析,结果可以看出(表 3):10—30cm、30—50cm 土壤储水量与株高分别呈现出极显著性和显著性相关,即土壤储水量与株高呈正相关。坡向在 10—30cm 与土壤储水量相关性极显著,即北坡>东坡>南坡。

表 3 不同坡向柠条林地剖面土壤水分与其影响因子相关系数

Table 3 Correlation between soil water storage and impact factors in water active layer in different slopes of forest land of *Caragana korshinskii*

影响因子 Impact factors	土壤水分活动层 Soil moisture active layer/cm									
	10—30	30—50	50—70	70—90	90—110	110—130	130—150	150—170	170—190	190—210
株高 Height	0.881 **	0.752 *	0.618	0.498	0.215	-0.392	-0.450	-0.446	-0.545	-0.599
盖度 Coverage	0.572	0.480	0.486	0.352	0.271	-0.107	-0.162	-0.139	-0.221	-0.261
密度 Density	0.230	0.165	0.279	0.235	0.357	0.341	0.303	0.344	0.286	0.250
坡向 Aspect	0.813 **	0.527	0.516	0.364	0.008	-0.394	-0.340	-0.271	-0.319	-0.352
坡度 Gradient	-0.386	-0.426	-0.241	-0.252	-0.330	-0.135	-0.029	0.011	0.108	0.160
坡位 Slope position	0.074	0.084	0.089	-0.113	-0.167	-0.389	-0.519	-0.541	-0.559	-0.568

* $P<0.05$, ** $P<0.01$

3.3 样地剖面土壤水分变异

3.3.1 不同样地剖面土壤水分交换

由连续 3a 土壤水分测定数据计算极差值及变异系数。极差值表现为:10—90cm 对照样地最高,其次为东坡样地,南坡和北坡样地最低,110—210cm 北坡样地最高,其次为南坡样地,对照和东坡样地最低。变异系数表现为:10—90cm 北坡样地最高,其次为对照和东样地,南坡样地最低,110—210cm 北坡样地依然最高,其次变为南坡样地,而对照和东样地最低。由此可以看出,由于受到太阳辐射、植被状况和土壤有效储水量等因素的综合影响,整个剖面尺度土壤水分极差值和变异系数变化的规律性不强。从图 4 可以看出:各柠条样地土壤水分的极差和变异系数曲线表现出 0—50cm 土层水分交换比较活跃,70—210 则相对比较稳定;对照样地土壤水分极差值和变异系数曲线在 70cm 测层处出现明显的拐点,土壤水分交换层主要发生在 0—70cm,而 90—210cm 测层土壤水分变异相对稳定。

3.3.2 不同样地剖面土壤水分活动层及利用特征

黄土高原人工林地土壤水分的循环是比较单纯的降雨入渗、地表蒸发和植物蒸腾过程,反应在剖面上的土壤水分变异和动态表现出一定的层次性^[22],天然林和天然次生林主要消耗浅层的土壤水分,且能够依靠天然降水的补给使次生林植被与土壤水资源达成一种均衡状态,并能够自然生长,且持续发挥生态服务功能^[3]。所以研究人工林剖面层次的水分动态,对于深入研究人工林群落稳定性及演替规律有重要意义。土壤水分剖面垂直分层是土壤水分动态研究的重要组成部分^[23],普遍认为土壤水分变异系数(标准差) $Cv\% > 30$ ($SD > 1.5$) 为活跃层, $Cv\%$ 在 12—30 (SD 在 1—1.5) 为次活跃层, $Cv\% < 12$ ($SD < 1$) 为相对稳定层^[24-26]。本研究样地活跃层除了对照、东坡下坡位和北坡上坡位样地土壤水分范围为 0—50cm,其他柠条样地均为 0—30cm;次活跃层东坡上中坡位、南坡中下坡位为 50 cm,北坡上、下坡位分别为 70cm、70—90cm,其他样地(包括对照)无次活跃层(表 4)。从图 4 可以看出各测层土壤水分活动与其平均含水量有一定的规律性,表现在:活跃层在降雨下渗、地表蒸发和植物蒸腾的强烈作用下,垂直方向土壤含水量迅速降低;次活跃层由于地表蒸发作用的减弱,降雨补给滞后,在植物蒸腾强烈作用下土壤含水量最低;次活跃层由于植物蒸腾作用变小及降雨下渗、地表蒸发影响的进一步减弱,土壤含水量随土层深度增加逐渐升高或无明显变异。

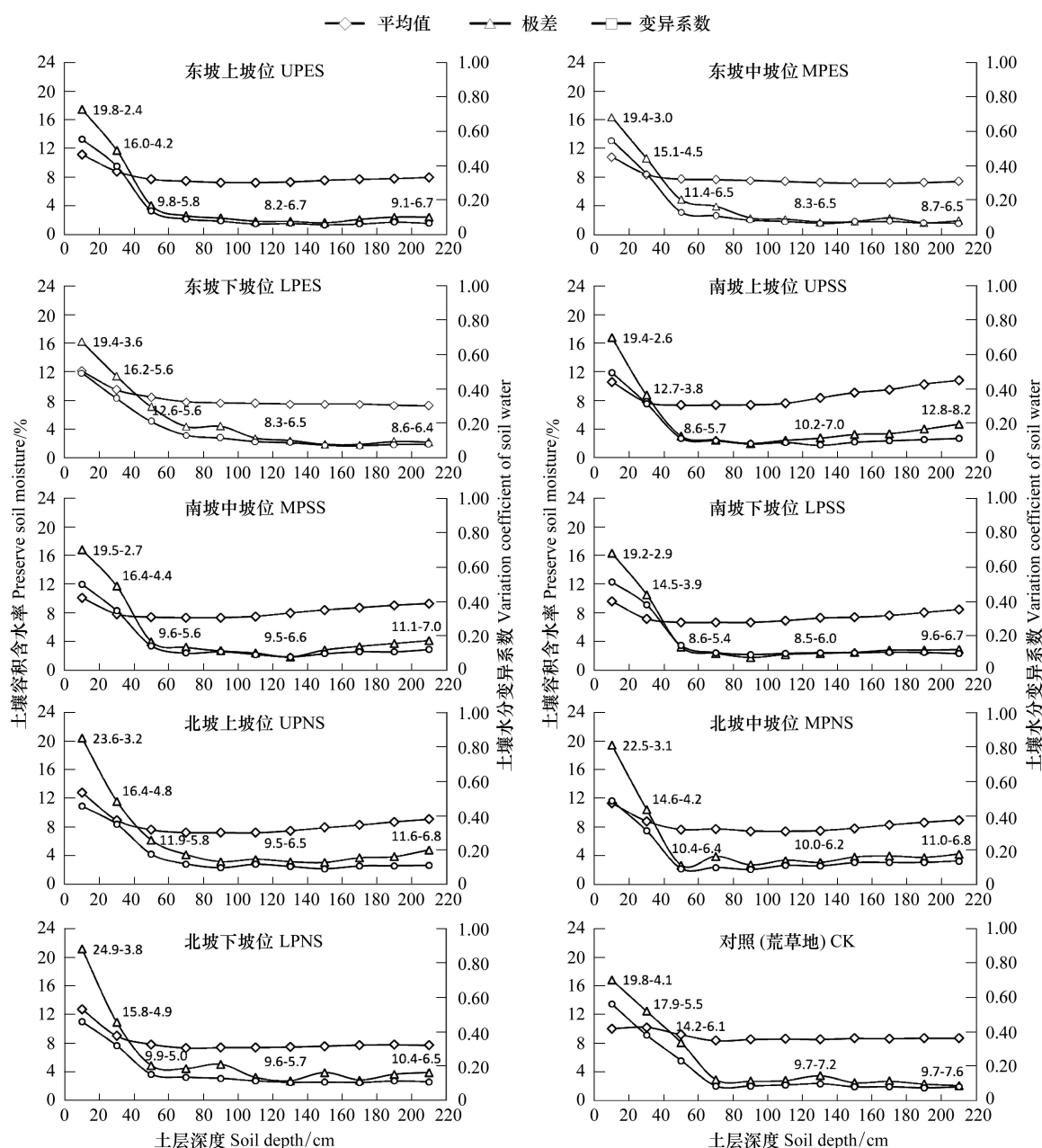


图4 不同柠条样地剖面土壤水分变化极差和变异系数

Fig. 4 Soil water variation range and coefficient in different profile of sample plot of *Caragana korshinskii*

数据表示剖面土壤水分测定最大值与最小值

3.4 土壤水分平衡状态

一般认为人工林土壤含水量与降雨的年际变化相吻合,欠水年的含水量较低、降水入渗深较浅、干层较厚、水分亏缺较严重,丰水年则正好相反。但连续干旱或连续丰水年,土壤水分的盈亏状况情况如何则少见报道。土壤储水量年变化量反映了土壤水分的平衡状态^[27]。由图5可以看出,样地总体表现为:土壤水分变化量在第1个欠水年亏缺比较严重,第2个欠水年盈亏量基本平衡,而第3个欠水年则略有的盈余。样地不同剖面表现为:第1个欠水年50—150cm土壤水分储量是亏缺的,170—210cm土壤水分储量则略有盈余;第2个欠水年,各样地剖面表现出不同的水分盈亏动态,北坡下坡位、南坡中破位和荒草地各测层土壤水分储量是亏缺的,北坡上坡位、东坡中破位和南坡下坡位各测层土壤水分储量是盈余的。其他样地则盈亏表现不明显;

第 3 个欠水年,柠条样地总体上 0—150cm 表现盈余,170—210cm 则略有亏缺。

表 4 样地剖面土壤水分活动层范围(变异系数 $C_v\%$ 、标准差 SD)

样地 Sample plots	活跃层 Active layer			次活跃层 Secondary active layer			相对稳定层 Relatively stable layer		
	$C_v/\%$	SD	范围 Range/cm	$C_v/\%$	SD	范围 Range/cm	$C_v/\%$	SD	范围 Range/cm
UPES	44.20—69.12	3.88—6.99	0—30	15.64	1.20	50	6.85—10.33	0.44—0.76	70—210
MPES	41.14—68.21	3.44—6.64	0—30	15.19	1.21	50	7.74—12.91	0.54—0.99	70—210
LPES	23.42—62.82	1.99—6.68	0—50	—	—	—	7.82—13.90	0.51—1.09	70—210
UPSS	37.36—64.89	2.82—6.00	0—30	—	—	—	7.17—13.70	0.52—1.09	50—210
MPSS	37.35—68.35	2.92—6.03	0—30	18.88	1.38	50	8.49—13.33	0.59—0.95	70—210
LPSS	44.70—66.29	3.23—5.78	0—30	15.08	1.01	50	7.47—12.22	0.59—0.74	70—210
UPNS	23.47—61.86	1.80—6.88	0—50	19.65	1.45	70	12.20—14.32	0.86—1.06	90—210
MPNS	36.85—63.43	3.24—6.66	0—30	—	—	—	11.16—13.55	0.92—1.07	50—210
LPNS	37.44—59.70	3.37—6.94	0—30	16.52—17.27	1.21—1.32	50—90	12.04—13.92	0.92—1.08	110—210
CK	25.07—67.36	2.29—6.12	0—50	—	—	—	8.40—13.33	0.71—1.13	70—210

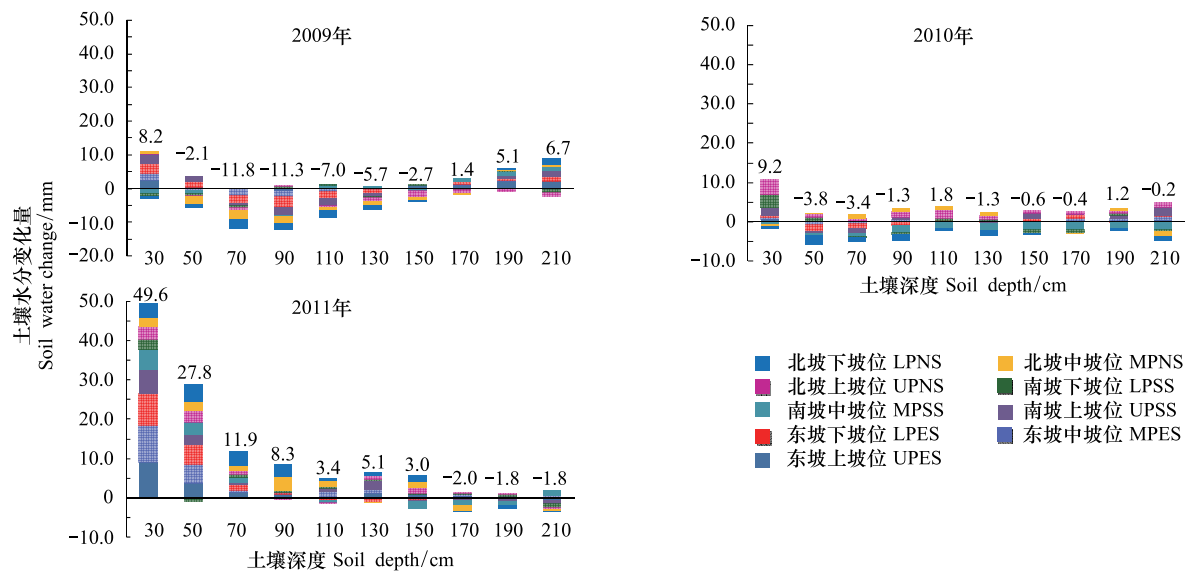


图 5 不同年份各样地剖面各测层土壤水分盈亏平衡状态

Fig. 5 Soil water balance state at the measured layer in profile of sample plots throughout the experiment

4 结论与讨论

对黄土高原进行水文研究,植被类型因素是不可忽略的因素^[28]。观测样地剖面土壤水分,30—130cm 对照>北坡>东坡>南坡,150—210cm 对照>南坡>北坡>东坡。发育成熟的柠条林地土壤水分在降雨入渗、地表蒸发和植被蒸腾共同作用下保持相对的平衡状态,不同样地在一定剖面尺度下存在相对稳定的差异,这种差异则是特定人工植被在长期演替过程中形成的,例如南坡上、中坡位人工柠条林经过发育、成熟到目前的衰退阶段,其 0—210cm 土层储水量最高,甚至在 150—210cm 剖面各测层土壤储水量显著高于对照。这是因为人工林发育过程植物对水分的利用先由浅变深,再由深变浅,最终依靠当年降雨量维持正常的发育过程,而深层土壤水分得以逐渐恢复。土壤水分差异研究一般认为土壤水分阴坡高于阳坡、上坡位高于下坡位,本研究认为:地形因子形成了土壤水分环境的规律性差异,植被因子则努力消减这种规律性差异,在特定植被生长发育状态和剖面尺度下,当植被因子取代地形因子成为影响土壤水分的主控因子时,就会出现相反的结论。

表5 不同年份各样地土壤储水量及盈亏平衡关系

Table 5 Soil water storage and profit & loss balance status of sample plots throughout the experiment

样地 Sample plots	2009				2010				2011			
	储水量 SWS /mm	期初有效 储水量 ESWM /mm	期末有效 储水量 ESWO /mm	土壤水分 变化量 SWC /mm	储水量 SWS /mm	期初有效 储水量 ESWM /mm	期末有效 储水量 ESWO /mm	土壤水分 变化量 SWC /mm	储水量 SWS /mm	期初有效 储水量 ESWM /mm	期末有效 储水量 ESWO /mm	土壤水分 变化量 SWC /mm
UPES	175.58	4.75	23.85	19.10	179.83	28.00	28.70	0.70	167.70	5.90	35.50	29.60
MPES	173.58	21.32	15.02	-6.30	170.98	15.10	22.50	7.40	167.20	3.80	41.20	37.40
LPES	180.94	35.03	31.85	-3.17	183.28	40.10	36.60	-3.50	169.51	17.00	40.90	23.90
UPSS	196.09	41.75	37.93	-3.82	196.48	47.30	47.91	0.61	169.39	17.50	51.10	33.60
MPSS	185.13	24.00	20.20	-3.80	190.83	53.80	24.90	-28.90	157.80	22.10	34.50	12.40
LPSS	167.22	18.80	3.20	-15.60	172.91	13.60	19.50	5.90	148.69	-6.70	-0.20	6.50
UPNS	165.58	45.40	27.60	-17.80	189.51	31.00	58.10	27.10	157.68	22.80	41.60	18.80
MPNS	173.35	40.60	25.50	-15.10	192.34	25.40	30.00	4.60	179.96	15.10	35.30	20.20
LPNS	167.22	53.00	39.24	-13.76	172.91	35.20	16.10	-19.10	148.69	-11.20	22.20	33.40
CK	200.72	40.75	43.34	2.59	200.66	55.85	43.80	-12.05	182.89	30.60	54.80	24.20
合计 Total	178.54	32.54	26.77	-5.77	184.97	34.54	32.81	-1.72	164.95	11.70	35.69	24.00

SWS 储水量 Soil water storage; ESWM 期初有效储水量 Effective soil water at may; ESWO 期末有效储水量 effective soil water at october; SWC 土壤水分变化量 Soil water change

不同剖面尺度下,人工林地土壤水分活动有一定的规律性,活跃层地表蒸发消耗量远远大于植被蒸腾消耗量,而次活跃层为植物根系主要水分利用层,其土壤水分变异强度(包括幅度和频度)以及分布范围与地上植被生长状况关系密切。在干旱期间,相对稳定层的土壤水分是人工植被群落维持稳定及发育的重要保障,其变异强度存在一定的滞后性。具体表现在:活跃层在降雨下渗、地表蒸发和植物蒸腾的强烈作用下,雨后土壤含水量迅速降低;次活跃层由于降雨下渗、地表蒸发作用的减弱,当降雨不能满足植物生长发育时,在植物蒸腾强烈作用下土壤含水量会保持一个相对较低的水平,变异强度也不如活跃层强烈;随着深度的增加植物蒸腾影响变小及降雨下渗、地表蒸发影响的进一步减弱,土壤含水量随土层深度增加逐渐升高或无明显变异,变异强度也明显低于活跃层和次活跃层。

从时间尺度来看,各样地在连续干旱年份土壤储水量和变化量不存在大幅度连续的降低和亏缺,更不存在连续的升高和盈余。这说明当柠条林发育至成熟阶段,土壤水分在一定时间尺度下将保持一个平衡状态,在这一个过程中,土壤水分的唯一输入为降雨,而最主要的输出项为地表蒸发和植物蒸腾,地表蒸发呈现出简单的规律性,而植被蒸腾对土壤水分平衡的影响主要表现为:土壤含水率高促进植物生长,植物生长势增强会进一步加大对土壤水分的消耗量,土壤水分含量不足会抑制植物生长,植物生长势减弱会进一步降低对土壤水分的消耗量。

人工林由发育阶段到成熟阶段,再到衰退阶段的演替过程,会出现一个土壤水分储量由亏缺转向平衡,再由平衡转向盈余的两个发育时间点。在本研究柠条林样地中,南坡上破位土壤储水量最高,这说明该样地柠条衰败导致其对土壤水分的消耗减少,剖面土壤干层逐渐恢复,演替已经由成熟阶段转向土壤水分恢复的衰退阶段,而东坡和北坡柠条林样地处于土壤水分耗散与补给相对平衡的演替阶段。

References:

- [1] Guo Z S. Using depth of soil water and water consumption by littleleaf peashrub in the semiarid area of loess hilly region. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2009, 29(5): 69-72.
- [2] Wang L, Wei S P, Wu F Q. Soil heat and response of vegetation growth in the loess hilly and gully region: a case study of Yangou Catchment. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12): 6578-6588.
- [3] Zhang J J, Li H M, Xu J J. Soil moisture dynamics of water and soil conservation forest on the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(23): 7056-7066.

- [4] Li Y S. The Properties of water cycle in soil and their effect on water cycle for land in the loess region. *Acta Ecologica Sinica*, 1983, 3(2): 91-101.
- [5] Yang W Z, Shao M A, Peng X D, Xia W S. On the relationship between environment aridization of the Loess Plateau and soil water in loess. *Science in china (Series D)*, 1998, 28(4): 357-365.
- [6] Mu X M. Exploratory research on geo-zonal and unazonal distributions of soil water in Loess Region, China. *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(2): 237-244.
- [7] Mu X M. Interaction of soil and water conservation measures with soil water in the loess plateau in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2000, 16(2): 41-45.
- [8] Kutilek M, Nielsen D R. *Soil Hydrology -Geo-Ecology Textbook*. Birlin: Catena Verlag, 1994: 370.
- [9] Robock A, Vinnikov K Y, Srinivasan G. The global soil moisture data bank. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2000, 81: 1281-1299.
- [10] Chen H S, Shao M A, Wang K L. Desiccation of deep soil layer and soil water cycle characteristics on the Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(10): 1853-1857.
- [11] Shao M A, Yang W Z, Li Y S. Mathematical model of soil moisture absorption by plant roots. *Acta Pedologica Sinica*, 1987, 24(4): 295-305.
- [12] Li Y S, Huang M B, Yang X M. Effect of apple base on regional water cycle in Weibei uland of the loess plateau. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(1): 7-13.
- [13] Wang L, Wei S P, Wu F Q. Soil water environment and vegetation growth in the hilly and gully region of the Loess Plateau; a case study of Yangou Catchment. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1543-1553.
- [14] Wei S P, Wang L, Wu F Q. Hydro-ecological effect of soil desiccation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(5): 123-127.
- [15] Famiglietti J S, Rudnicki J W, Rodell M. Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattle-snake Hill, Texas. *Journal of Hydrology*, 1998, 210(1/4): 259-281.
- [16] Western A W, Grayson R B, Blöschl G, Willgoose G R, McMahon T A. Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices. *Water Resource Research*, 1999, 35(3): 797-810.
- [17] Qiu Y, Fu B J, Wang J, Chen L D. Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, 2001, 240(3/4): 243-263.
- [18] Qiu Y, Fu B J, Wang J, Chen L D. Spatial variability of soil moisture content and its relation to environmental indices in a semi-arid gully catchment of the Loess Plateau, China. *Journal of Arid Environments*, 2001, 49(4): 723-750.
- [19] Ng E, Miller P C. Soil moisture relations in the southern California chaparral. *Ecology*, 1980, 61(1): 98-107.
- [20] Wang M B, Li H J. Quantitive study on the soil water dynamics of various forest plantations in the loess plateau region in Northwestern Shanxi. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(2): 178-184.
- [21] Wei T X, Zhu J Z. Feature of water supply and consumption and productivity of stand in loess region. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1999, 5(4): 45-51.
- [22] Zhang L M, Shangguan Z P. Relationship between the soil moisture and the vegetation productivity in the loess plateau. *Arid Zone Research*, 2002, 19(4): 59-62.
- [23] Zhang B, Zhang J J, Li Y T, Sui X H, Zheng F, Lu Q. Vertical stratification of soil moisture profile of Robinia pseudoacacia plantation in Loess Region. *Science of Soil and Water Conservation*, 2010, 8(4): 39-44.
- [24] Wang M B, Li H J. Study on transpiration and soil moisture variation of *Caragana*[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1990, 10(6): 85-90.
- [25] Zeng J, Guo J T, Yu Z C. A study on soil moisture content dynamics of pinus tabulaeformis plantation in Taiyue forest region. *Journal of Beijing Forestry University*, 1996, 18(2): 31-36.
- [26] Sun C Z, Huang B L, Chen H B, Liu Z W, Wen Z M. Interaction between soil water conditions and different kinds of artificial plant cover in the Loess Plateau. *Journal of Beijing Forestry University*, 1998, 20(3): 7-14.
- [27] Hu L J, Shao M A. Review on water eco-environment in vegetation restoration in Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(8): 1045-1048.
- [28] Yao X L, Fu B J, Lü Y H. Spatial patterns of soil moisture at transect scale in the Loess Plateau of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(16): 4961-4968.

参考文献:

- [1] 郭忠升. 半干旱区柠条林利用土壤水分深度和耗水量. *水土保持通报*, 2009, 29(5): 69-72.

- [2] 王力, 卫三平, 吴发启. 黄土丘陵沟壑区农林草地土壤热量状况及植被生长响应——以燕沟流域为例. 生态学报, 2009, 29(12): 6578-6588.
- [3] 张建军, 李慧敏, 徐佳佳. 黄土高原水土保持林对土壤水分的影响. 生态学报, 2011, 31(23): 7056-7066.
- [4] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水文循环的影响. 生态学报, 1983, 3(2): 91-101.
- [5] 杨文治, 邵明安, 彭新德, 夏卫生. 黄土高原环境的旱化与黄土中水分关系. 中国科学: D 辑, 1998, 28(4): 357-365.
- [6] 穆兴民. 试论黄土区旱地土壤水资源的地带性与非地带性. 土壤学报, 1999, 36(2): 237-244.
- [7] 穆兴民. 黄土高原土壤水分与水土保持措施相互作用. 农业工程学报, 2000, 16(2): 41-45.
- [10] 陈洪松, 邵明安, 王克林. 黄土区深层土壤干燥化与土壤水分循环特征. 生态学报, 2005, 25(10): 2491-2498.
- [11] 邵明安, 杨新民, 李玉山. 植物根系吸收土壤水分的数学模型. 土壤学报, 1987, 24(4): 295-305.
- [12] 李玉山, 黄明斌, 杨新民. 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.
- [13] 王力, 卫三平, 吴发启. 黄土丘陵沟壑区土壤水分环境及植被生长响应——以燕沟流域为例. 生态学报, 2009, 29(3): 1543-1553.
- [14] 卫三平, 王力, 吴发启. 土壤干化的水文生态效应. 水土保持学报, 2007, 21(5): 123-127.
- [20] 王孟本, 李洪建. 晋西北黄土区人工林土壤水分动态的定量研究. 生态学报, 1995, 15(2): 178-184.
- [21] 魏天兴, 朱金兆. 黄土区人工林地水分供耗特点与林分生产力研究. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(4): 45-51.
- [22] 张雷明, 上官周平. 黄土高原土壤水分与植被生产力的关系. 干旱区研究, 2002, 19(4): 59-62.
- [23] 张波, 张建军, 李轶涛, 隋旭红, 郑芳, 芦倩. 黄土区刺槐林地土壤水分剖面的垂直分层. 中国水土保持科学, 2010, 8(4): 39-44.
- [24] 王孟本, 李洪建. 柠条林蒸腾状况与土壤水分动态研究. 水土保持通报, 1990, 10(6): 85-90.
- [25] 曾杰, 郭景唐, 于占成. 太岳山油松人工林土壤水分动态特征的研究. 北京林业大学学报, 1996, 18(2): 31-36.
- [27] 胡良军, 邵明安. 黄土高原植被恢复的水分生态环境研究. 应用生态学报, 2002, 13(8): 1045-1048.
- [28] 姚雪玲, 傅伯杰, 吕一河. 黄土丘陵沟壑区坡面尺度土壤水分空间变异及影响因子. 生态学报, 2012, 32(16): 4961-4968.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 13 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review of ecological effects of remnant trees in degraded forest ecosystems after severe disturbances MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3889)
- Mechanism and application of bioremediation to heavy metal polluted soil using arbuscular mycorrhizal fungi LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LIN Shuangshuang, et al (3898)

Autecology & Fundamentals

- Changes of allometric relationships among leaf traits in different ontogenetic stages of *Acer mono* from different types of forests in Donglingshan of Beijing YAO Jing, LI Ying, WEI Liping, et al (3907)
- The combined effects of increasing CO₂ concentrations and different temperatures on the growth and chlorophyll fluorescence in *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta) LIU Lu, DING Liuli, CHEN Weizhou, et al (3916)
- Research on biomass expansion factor of chinese fir forest in Zhejiang Province based on LULUCF greenhouse gas Inventory ZHU Tangjun, SHEN Chuchu, JI Biyong, et al (3925)
- Influence of soil gradual drought stress on *Acorus calamus* growth and photosynthetic fluorescence characteristics WANG Wenlin, WAN Yinjing, LIU Bo, et al (3933)
- Isolation, identification, real-time PCR investigation of an endophytic phosphate-solubilizing bacteria from *Caragana korshinskii* Kom. roots ZHANG Lizhen, FENG Lili, MENG Qixia, et al (3941)
- Plant's and soil organism's diversity across a range of *Eucalyptus grandis* plantation ages ZHANG Danju, ZHANG Jian, YANG Wanqin, et al (3947)
- Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae WANG Qingzhi, ZHANG Ming, FU Chengdong, et al (3963)
- Multidrug-resistant bacteria in livestock feces QI Shiyue, REN Siwei, LI Xueling, et al (3970)
- Physiological regulation related to the decline of *Alexandrium catenella* MA Jinhua, MENG Xi, ZHANG Shu, et al (3978)
- Numerical simulation of water quality based on environmental fluid dynamics code for grass-algae lake in Inner Mongolia LI Xing, SHI Hongsen, ZHANG Shuli, et al (3987)

Population, Community and Ecosystem

- Influence of enclosure on *Glycyrrhiza uralensis* community and distribution pattern in arid and semi-arid areas LI Xuebin, CHEN Lin, LI Guoqi, et al (3995)
- The interannual variation of net primary productivity of three coniferous forests in Liupan Mountains of Ningxia and its responses to climatic factors WANG Yunni, XIONG Wei, WANG Yanhui, et al (4002)
- Soil water use and balance characteristics in mature forest land profile of *Caragana korshinskii* in Semiarid Loess Area MO Baoru, CAI Guojun, YANG Lei, LU Juan, et al (4011)
- Effect of simulated acid deposition on chemistry of surface runoff in monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan QIU Qingyan, CHEN Xiaomei, LIANG Guohua, et al (4021)
- A space optimization model of water resource conservation forest in Dongting Lake based on improved PSO LI Jianjun, ZHANG Huiru, LIU Shuai, et al (4031)
- Allelopathic effects of aqueous extract of exotic plant *Rhus typhina* L. on soil micro-ecosystem HOU Yuping, LIU Lin, WANG Xin, et al (4041)
- The impact of natural succession process on waterbird community in a abandoned fishpond at Chongming Dongtan, China YANG Xiaoting, NIU Junying, LUO Zukui, et al (4050)
- Mercury contents in fish and its biomagnification in the food web in Three Gorges Reservoir after 175m impoundment YU Yang, WANG Yuchun, ZHOU Huaidong, et al (4059)

- Microsatellite analysis on genetic diversity of common carp, *Cyprinus carpio*, populations in Yuan River
 YUE Xingjian, ZOU Yuanchao, WANG Yongming, et al (4068)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Research on spatio-temporal change of temperature in the Northwest Arid Area HUANG Rui, XU Ligang, LIU Junmin (4078)
- Simulation of soil respiration in forests at the catchment scale in the eastern part of northeast China
 GUO Lijuan, GUO Qingxi (4090)
- The early effects of nitrogen addition on CH₄ uptake in an alpine meadow soil on the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau
 ZHANG Peilei, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (4101)
- Analysis of water ecological footprint in Guangxi based on ecosystem services ZHANG Yi, ZHANG Heping (4111)
- The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen
 WU Jiansheng, ZHANG Liqing, PENG Jianet al (4125)
- Carbon sources and storage sinks in scenic tourist areas: a Mount Lushan case study
 ZHOU Nianxing, HUANG Zhenfang, LIANG Yanyan (4134)
- Impacts of climate change on dominant pasture growing season in Central Inner Mongolia
 LI Xiazi, HAN Guodong, GUO Chunyan (4146)
- Phenological Characteristics of Typical Herbaceous Plants (*Lris lacteal*) and Its Response to Climate Change in Minqin Desert
 HAN Fugui, XU Xianying, WANG Lide, et al (4156)
- Biomass and distribution pattern of carbon storage in *Eomecon chionantha* Hance
 TIAN Dalun, YAN Wende, LIANG Xiaocui, et al (4165)
- Temporal dynamics and influencing factors of fine roots in five Chinese temperate forest ecosystems
 LI Xiangfei, WANG Chuankuan, QUAN Xiankui (4172)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of AMF on soil improvement and maize growth in mining area under drought stress
 LI Shaopeng, BI Yinli, CHEN Peizhen, et al (4181)

Urban, Rural and Social Ecology

- Health function evaluation and exploring its mechanisms in the Shanghai Green Belt, China
 ZHANG Kaixuan, ZHANG Jianhua (4189)

Research Notes

- Time lag effects of rainfall inside a *Platycladus Orientalis* plantation forest in the Beijing Mountain Area, China
 SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jiayin (4199)
- Long-term effects of harvest residue management on soil total carbon and nitrogen concentrations of a replanted Chinese fir
 plantation HU Zhenhong, HE Zongming, FAN Shaohui, et al (4205)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 彭少麟

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 13 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 13 (July, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元