

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

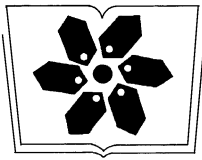
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 11 期 Vol.31 No.11 **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 11 期 2011 年 6 月 (半月刊)

目次

微生物介导的碳氮循环过程对全球气候变化的响应·····	沈菊培, 贺纪正 (2957)
巢湖蓝藻水华形成原因探索及“优势种光合假说”·····	贾晓会, 施定基, 史绵红, 等 (2968)
我国甜菜夜蛾间歇性暴发的非均衡性循环波动·····	文礼章, 张友军, 朱 亮, 等 (2978)
庞泉沟自然保护区华北落叶松林的自组织特征映射网络分类与排序·····	张钦弟, 张金屯, 苏日古嘎, 等 (2990)
上海大莲湖湖滨带湿地的生态修复·····	吴 迪, 岳 峰, 罗祖奎, 等 (2999)
芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量·····	武小钢, 郭晋平, 杨秀云, 等 (3009)
土壤微生物群落结构对中亚热带三种典型阔叶树种凋落物分解过程的响应·····	张圣喜, 陈法霖, 郑 华 (3020)
中亚热带几种针、阔叶树种凋落物混合分解对土壤微生物群落碳代谢多样性的影响·····	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3027)
桂西北喀斯特峰丛洼地表层土壤养分时空分异特征·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (3036)
重金属 Cd 胁迫对红树蚬的抗氧化酶、消化酶活性和 MDA 含量的影响·····	赖廷和, 何斌源, 范航清, 等 (3044)
海南霸王岭天然次生林边缘效应下木质藤本与树木的关系·····	乌玉娜, 陶建平, 奚为民, 等 (3054)
半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺·····	杨 磊, 卫 伟, 莫保儒, 等 (3060)
季节性干旱对中亚热带人工林显热和潜热通量日变化的影响·····	贺有为, 王秋兵, 温学发, 等 (3069)
新疆古尔班通古特沙漠南缘多枝桉柳光合作用及水分利用的生态适应性·····	王珊珊, 陈 曦, 王 权, 等 (3082)
利用数字图像估测棉花叶面积指数·····	王方永, 王克如, 李少昆, 等 (3090)
野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应·····	薛忠财, 高辉远, 柳 洁 (3101)
水磷耦合对小麦次生根特殊根毛形态与结构的影响·····	张 均, 贺德先, 段增强 (3110)
应用物种指示值法解析昆崙山植物群落类型和植物多样性·····	孙志强, 张星耀, 朱彦鹏, 等 (3120)
基于 MSIASM 方法的中国省级行政区体外能代谢分析·····	刘 晔, 耿 涌, 赵恒心 (3133)
不同生态区烟草的叶面腺毛基因表达·····	崔 红, 冀 浩, 杨惠娟, 等 (3143)
B 型烟粉虱对 23 种寄主植物适应度的评估和聚类分析·····	安新城, 郭 强, 胡琼波 (3150)
杀虫剂啶虫脒和毒死蜱对捕食蜘蛛血细胞 DNA 的损伤作用·····	李 锐, 李生才, 刘 佳 (3156)
杀真菌剂咪鲜安对蓼花臂尾轮虫的影响·····	李大命, 陆正和, 封 琦, 等 (3163)
长、短期连续孤雌生殖对蓼花臂尾轮虫生活史和遗传特征的影响·····	葛雅丽, 席貽龙 (3170)
专论与综述	
区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展·····	赵 军, 杨 凯, 邵 俊, 等 (3180)
露水对植物的作用效应研究进展·····	叶有华, 彭少麟 (3190)
葡萄座腔菌科研究进展——鉴定, 系统发育学和分子生态学·····	程燕林, 梁 军, 吕 全, 等 (3197)
人工林生产力年龄效应及衰退机理研究进展·····	毛培利, 曹帮华, 田文侠, 等 (3208)
树木年轮在干扰历史重建中的应用·····	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (3215)
植物中逆境反应相关的 WRKY 转录因子研究进展·····	李 冉, 娄永根 (3223)
研究简报	
三江源地区高寒草原土壤微生物活性和微生物量·····	任佐华, 张于光, 李迪强, 等 (3232)
3 种黑杨无性系水分利用效率差异性分析及相关 <i>ERECTA</i> 基因的克隆与表达·····	郭 鹏, 夏新莉, 尹伟伦 (3239)
猕猴桃园节肢动物群落重建及主要类群的生态位·····	杜 超, 赵惠燕, 高欢欢, 等 (3246)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 298 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-06



封面图说: 盘锦市盘山县水稻田——盘锦市位于辽宁省西南部, 自古就有“鱼米之乡”的美称。这里地处温带大陆半湿润季风气候, 有适宜的温度条件和较长的生长期以供水稻生长发育, 农业以种植水稻为主, 年出口大米达 1 亿多公斤, 是国家级水稻高产创建示范区和重要的水稻产区。

彩图提供: 沈菊培博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: jpshe@reccs.ac.cn

半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复 土壤水分的相对亏缺

杨磊^{1,2}, 卫伟^{1,*}, 莫保儒³, 陈利顶¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 甘肃省林业科学研究院, 兰州 730020)

摘要: 土壤水分是制约半干旱黄土丘陵区植被恢复和生态建设的关键因子。而缺乏科学指导的人工植被恢复会加剧土壤水分耗竭, 造成土壤水分亏缺, 从而严重阻碍该区生态系统恢复和脆弱生境的有效改善。以典型半干旱黄土丘陵区甘肃定西龙滩流域为例, 对比不同植被恢复模式下土壤储水状况, 并通过构建土壤水分相对亏缺指数 *CSWDI* (Compared Soil Water Deficit Index) 和样地土壤水分相对亏缺指数 *PCSWDI* (Plot Compared Soil Water Deficit Index) 进行定量化分析与评价, 发现各人工植被均存在不同程度的土壤水分亏缺。其中, 柠条、油松、山杏林地 *PCSWDI* 分别达到 0.65、0.62、0.62, 土壤水分亏缺严重, 尤其是 100 cm 以下土层; 山毛桃林地和苜蓿草地 *PCSWDI* 分别为 0.38 和 0.17, 在 100—200 cm 土层有一定程度的水分亏缺, 但相对较轻; 侧柏林地土壤水分的亏缺主要集中在 20—100 cm 这一层次, 100 cm 以下则随深度增加而降低; 0—200 cm 土层内, 杨树林地、撂荒草地和马铃薯农地无显著水分亏缺, 且在 0—100 cm 内土壤水分有一定的补充。*CSWDI* 和 *PCSWDI* 能有效反映不同层次和样地土壤水分相对亏缺状况, 可用于同一地区不同植被恢复模式土壤水分响应的定量化分析与评估。

关键词: 半干旱区; 黄土高原; 土壤水分; 水分亏缺; 植被恢复

Soilwater deficit under different artificial vegetation restoration in the semi-arid hilly region of the Loess Plateau

YANG Lei^{1,2}, WEI Wei^{1,*}, MO Baoru³, CHEN Liding¹

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

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 Institute of Forestry Sciences of Gansu Province, Lanzhou 730020

Abstract: Because of the semi-arid climate and water scarcity in China's Loess Plateau, soil water, the effective water source for plant growth, has become a key limiting factor in vegetation restoration and ecological reconstruction in the region. However, these activities without an appropriate scientific guidance may result in excessive water consumption and soil water deficit in different soil layers, which in turn restrict significantly the local ecological restoration and environmental enhancement. Quantitative evaluation of soil water deficit and its profile distribution based on local rainfall and soil water condition is the premise and foundation for proper vegetation restoration and sustainable ecological development in the Loess Plateau, and therefore is one of the top research priorities at present with both theoretical and practical significance. In this study, we selected a typical semi-arid loess hilly catchment located in the Dingxi city of Gansu province, China, to quantify the response of soil water deficit to different artificial vegetation restoration practices. Soil water under different vegetation covers including *Platycladus orientalis*, *Armeniaca sibirica*, *Pinus tabulaeformis*, *Caragana korshinskii*, *Amygdalus davidiana*, *Medicago sativa*, *Populus simonii*, *Solanum Tuberosum*, as well as abandoned land and natural grassland were analyzed based on field sampling and laboratory test. For comparison purpose, the background soil water content was set to

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40925003; 40801041); 公路科学研究院开放课题 (GJH-2010-01)

收稿日期: 2010-06-22; 修订日期: 2011-04-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: weiwei@rcees.ac.cn.

the value of natural grassland covered by local climax community for a long period. Next, the Compared Soil Water Deficit Index (CSWDI) and Plot Compared Soil Water Deficit Index (PCSWDI) were calculated and analyzed to quantify soil water deficit degree and its profile distribution with different vegetation types. The comparison result shows that soil water deficit appeared in all lands with artificial vegetation covers with a different degree except *Populus simonii* forestland and *Solanum tuberosum* farmland. In addition, it was found that all artificial vegetation covers had low available soil water storage. PCSWDI of *Caragana korshinskii*, *Pinus tabulaeformis*, and *Armeniaca sibirica* forestland was 0.65, 0.62 and 0.62, respectively. These three vegetation types have led to a serious deep soil desiccation especially in soil layers from 100 to 200 cm. This soil water deficit may last for a long time period due to the fact that water is hardly recharged below 100 cm by rainfall in this area. Soil water deficit was also found in *Amygdalus davidiana* shrubland and *Medicago sativa* grassland mostly in soil layers between 100 and 200 cm. However, soil water conditions were favorable compared to those in *Caragana korshinskii*, *Pinus tabulaeformis* and *Armeniaca sibirica* forestland. Soil water deficit in *Platycladus orientalis* forestland was found mainly in soil layers from 20 to 100 cm. Meanwhile, soil water content increased in the layers below 100 cm with a decreasing CSWDI. No significant soil water deficit was detected in *Populus simonii* forestland, abandoned grassland, and *Solanum tuberosum* farmland in top 200 cm soil layers. The results showed that soil water in these lands could be quickly replenished, especially the top 100 cm soil layers. Results of this study also indicated that the CSWDI and PCSWDI were capable of reflecting conditions of soil water deficit in different soil layers and plots. They could be used as quantitative indices for soil water deficit analysis under different vegetation covers. The results of this study suggested that for sustainable artificial vegetation restoration in the semi-arid loess hilly area, proper artificial vegetation types should be selected based on rainfall and soil water conditions. In addition, optimal control of density and productivity of vegetation community and adoption of effective management practices must be employed.

Key Words: semi-arid area; the Loess Plateau; soil water; soil water deficit; vegetation restoration

半干旱黄土丘陵区气候干旱、降水稀少、土壤水资源短缺,土壤水分是该地区植被恢复和生态建设最主要的制约因子。但在干旱气候条件下,目前该地区不合理的人工植被配置模式(物种选择失当、群落密度过大、生产力过高等原因)使得植被对土壤水分的消耗超出了天然降雨的补偿能力,导致各层次土壤水分均出现不同程度的亏缺现象^[1-4]。目前该区域已进行了大规模的人工植被恢复,并对生态水文过程产生了一系列重要影响^[5-7]。其中,人工乔灌植被造成的土壤水分亏缺就是一个典型现象,对该区域植被恢复的可持续性造成了严重影响^[8-9],成为目前黄土高原植被恢复和生态水文研究的一个热点问题^[10-12]。对黄土高原地区植被作用引起的土壤水分亏缺程度的评估,虽有不少学者进行了探讨^[13-15],但总体而言,多限于不同植被类型之间土壤水分的对比,而针对不同植被土壤水分亏缺程度的评价及其剖面分布特征的分析还较为欠缺。根据不同地区土壤水分背景情况,定量评价不同人工植被恢复模式下土壤水文响应,是构建科学合理的植被恢复模式和持续利用土壤水分的前提和基础,也是目前亟待解决的一个关键科学问题。本研究以甘肃省定西市龙滩流域为例,通过对当前黄土高原地区土壤水分亏缺量化研究方法的分析与改进,构建了针对不同人工植被恢复造成的土壤水分亏缺的量化评价方法,并对比分析了不同植被恢复模式的土壤水分相对亏缺程度与剖面分布。研究结果旨在为进一步正确认识和评估不同植被恢复模式的土壤水文效应、构建合理的植被恢复模式和促进区域可持续发展提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于甘肃省定西市龙滩流域(N 35°45', E 104°30'),流域面积 16.1 km²,平均海拔 1900 m,属典型半干旱黄土丘陵沟壑区。年平均气温 6.8 ℃,平均无霜期 152 d,平均日照时数 2052 h。年均降水量 386 mm,春季降水稀少,降雨主要集中在 7—9 月份,且多以暴雨形式降落,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。降雨稀少导致的气候干旱是最突出的制约因子, 严重影响该地区生态恢复和社会经济的发展。

1.2 数据获取

根据研究区内人工植被恢复特征和农户走访的结果, 选取有代表性的侧柏林地 *Platycladus orientalis* forestland、山杏林地 *Armeniaca sibirica* forestland、油松林地 *Pinus tabulaeformis* forestland、柠条林地 *Caragana korshinskii* shrubland、山毛桃灌木林地 *Amygdalus davidiana* shrubland、紫花苜蓿草地 *Medicago sativa* grassland 和小叶杨 *Populus simonii* forestland 林地, 并以退耕撂荒草地 Abandoned land、天然草地 Natural grassland 和该地区主要农地类型马铃薯农地 *Solanum Tuberosum* farmland 作为对照 (表 1)。小叶杨于 1960 年开始种植, 种植年限约为 50 a, 侧柏、油松、山杏于 20 世纪 70 年代开始种植, 种植约 40 a, 柠条于 1984 年种植, 种植年限 25 a, 山毛桃种植 30 a, 紫花苜蓿于 2003 年种植, 种植年限 6a, 撂荒草地为 2003 年退耕以后撂荒, 天然草地为天然生长的草本植物群落, 近 50 a 内没有任何耕作管理等活动。

土壤水分采用 ThetaProbe ML2x 土壤水分速测仪测定, 测定前结合烘干法进行了标定。于 2009 年 4 月初至 10 月底每 2 周对土壤水分进行测定, 测定深度为 200 cm, 每 20 cm 测定 1 次, 每次每层做 3 个重复并取平均值作为该次该层的土壤含水量 (%)。以各样地全年 11 次土壤水分测量结果的平均值作为该样地土壤水分的平均状态, 由于研究区同一植被类型不同样地之间剖面土壤水分差异较小, 因而同一植被类型取各样地各层土壤含水量的平均值作为相应层次土壤水分含量, 进行不同植被恢复模式之间的对比研究。凋萎湿度由定西市水土保持科学研究所采用离心机法测定土壤水分特征曲线获取, 田间持水量采用传统方法在野外实地测定^[16], 结合土壤容重换算为体积含水量 (凋萎湿度 6.5%, 田间持水量 23.7%)。

表 1 试验地基本情况

Table 1 The basic features of experimental plots

植被类型 Vegetation type	海拔 Elevation /m	坡度 Gradient /(°)	坡向 Aspect /(°)	树高 Height /m	胸径 DBH /cm	密度 Density /(株/hm ²)	容重 Bulk density /(g/cm ³)	粘粒 Clay /%	粉粒 Silt /%	砂粒 Sand /%
柠条林地 <i>Caragana korshinskii</i>	2116	36	90	1.41	—	1400	1.27	5.45	84.78	9.76
shrubland	2084	27	78	1.14	—	1900	1.11	5.05	87.30	7.65
	2052	32	180	1.02	—	2300	1.10	5.47	79.46	15.07
	2021	32	180	1.28	—	1900	1.14	5.40	78.41	16.19
	2209	35	330	1.05	—	1700	1.23	5.53	83.59	10.88
	2064	27	276	1.21	—	2200	1.26	6.92	75.73	17.35
山杏林地 <i>Armeniaca sibirica</i>	2160	24	123	3.13	19.29	1400	1.17	5.18	76.89	17.93
forestland	2026	19	320	3.30	20.20	1200	1.20	5.03	82.02	12.95
	2025	16	325	2.56	17.06	2200	1.04	5.71	79.43	14.86
油松林地 <i>Pinus tabulaeformis</i>	1976	23	359	4.90	25.29	2400	1.08	4.94	82.10	12.96
forestland	2008	22	340	4.43	21.56	3100	1.05	5.95	77.92	16.13
	2038	7	345	4.65	23.10	2400	1.01	5.48	81.69	12.83
侧柏林地 <i>Platycladus orientalis</i>	2019	23	174	3.82	11.25	2000	1.08	5.57	78.49	15.94
forestland	1988	25	149	3.15	10.15	2000	1.13	5.03	82.32	12.65
	1953	24	150	3.53	12.95	2100	1.16	5.43	80.51	14.05
山毛桃林地 <i>Amygdalus davidiana</i>	2209	9	330	1.98	—	1100	1.06	5.07	84.71	10.22
shrubland										

续表

植被类型 Vegetation type	海拔 Elevation /m	坡度 Gradient /(°)	坡向 Aspect /(°)	树高 Height /m	胸径 DBH /cm	密度 Density /(株/hm ²)	容重 Bulk density /(g/cm ³)	粘粒 Clay /%	粉粒 Silt /%	砂粒 Sand /%
苜蓿草地 <i>Medicago sativa</i> grassland	2123	11	90	—	—	—	1.26	5.24	83.12	11.64
	2165	3	96	—	—	—	1.18	5.69	85.26	9.05
	2107	14	45	—	—	—	1.12	6.33	79.08	14.59
	2140	8	90	—	—	—	1.23	6.21	79.98	13.82
	2076	26	288	—	—	—	1.16	4.71	84.20	11.09
	2142	3	165	—	—	—	1.22	6.13	77.22	16.65
杨树林地 <i>Populus simonii</i> forestland	2144	14	100	3.59	12.10	1600	1.15	4.50	84.80	10.70
撂荒草地 Abandoned land	2057	10	210	3.59	12.00	1800	0.96	3.61	76.25	20.14
	2189	2	65	—	—	—	1.14	5.42	83.00	11.58
	2179	2	65	—	—	—	1.06	5.90	83.81	10.29
	2167	2	330	—	—	—	1.04	6.01	84.66	9.33
马铃薯农地 <i>Solanum Tuberosum</i> farmland	2187	6	330	—	—	—	1.09	5.60	85.86	8.55
	2116	2	175	—	—	—	1.12	5.63	84.92	9.45
	2088	2	8	—	—	—	1.05	4.66	80.74	14.60
	2172	2	65	—	—	—	1.09	5.86	79.73	14.42
	2169	12	330	—	—	—	1.01	4.84	75.66	19.49
	2068	9	1	—	—	—	1.05	6.22	81.77	12.01
	2128	2	270	—	—	—	1.16	5.92	83.73	10.34
	2201	25	150	—	—	—	1.14	4.35	84.92	10.73
天然荒草地 Natural grassland	2211	23	163	—	—	—	1.20	4.26	86.83	8.91
	2079	14	295	—	—	—	1.21	6.37	77.53	16.10

1.3 土壤水分相对亏缺定量评价方法构建

在不同植被土壤水分亏缺的定量化研究方面,李军等^[17]以土壤干层为研究对象,采用土壤稳定湿度和凋萎湿度作为土壤有效水分的上下限,构建了土壤干化指数作为定量化评价方法;段建军等^[15]则以田间持水量和凋萎湿度作为土壤有效水分的上下限构建了定量化的土壤干化评定指标。相比以往研究,这两种方法在土壤水分亏缺的定量化评估方面取得了较大进展,但土壤稳定湿度难以直接测定,野外测定条件很难满足;土壤含水量一般也难以达到田间持水量,尤其是受降水影响较小的深层土壤,且土壤稳定湿度与田间持水量之间的水分亏缺一般认为是干旱环境下土壤正常状态的水分亏缺^[17]。因此,这两种条件在实际应用中均略显不足。王力等^[18]则提出以当地顶级演替群落作为参照,研究不同植被的土壤水分亏缺现象。顶级演替群落是某一地区经自然选择后长期稳定的植被群落,其土壤水分是气候、植被长期作用的结果,能反映当地土壤水分的背景情况。研究区属典型草原地带,多年生针茅、阿尔泰狗娃花、百里香群落是该地区长期稳定的植被群落。本研究根据农户走访及植被群落调查,选取研究区内 6 块天然草地作为对照,以其各层平均土壤含水量作为参照,进行不同植被恢复模式土壤水分相对亏缺的比较研究。

结合以上讨论,在土壤水分亏缺程度的评价中引入对照样地土壤水分和凋萎湿度,构建了土壤水分相对亏缺指数 $CSWDI$ (Compared Soil Water Deficit Index)来定量评价不同土层土壤水分相对于对照样地的亏缺程度。

$$CSWDI_i = \frac{CP_i - SM_i}{CP_i - WM}$$

(1)

式中, $CSWDI_i$ 为第 i 土层土壤水分相对亏缺值, i 表示第 i 土层, CP_i 为对照样地第 i 土层土壤湿度, SM_i 为样地第 i 土层土壤湿度, WM 为凋萎湿度。 $CSWDI$ 可明确表示样地土壤剖面上不同层次土壤水分相对亏缺程度,适用于单个样地不同土层土壤水分亏缺程度的评价。 $CSWDI_i$ 值越大,表明该层土壤水分相比对照样地亏缺程度越高;若 $CSWDI_i$ 小于 0,则表示相比没有土壤水分亏缺,反而对土壤水分有所补充;若 $CSWDI_i$ 大于 1,则表明该层土壤水分含量低于凋萎湿度,土壤水分亏缺严重。

$CSWDI$ 适用于同一样地不同土层之间的比较,为进行不同样地之间土壤水分相对亏缺程度的对比,采用

土壤储水量结合 $CSWDI$ 构建了样地土壤水分相对亏缺指数 $PCSWDI$ (Plot Compared Soil Water Deficit Index):

$$PCSWDI = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{SWScp_i - SWS_i}{SWScp_i - SWSum}}{k} \quad (2)$$

式中, $PCSWDI$ 为样地土壤水分相对亏缺指数, $SWScp_i$ 为对照样地第 i 土层土壤储水量, SWS_i 为样地第 i 土层土壤储水量, $SWSum$ 为凋萎湿度对应的土壤储水量, k 为样地总土层数。 $PCSWDI$ 适用于不同样地之间土壤水分亏缺程度的对比, $PCSWDI$ 值越大, 表明样地土壤水分相对亏缺程度越高; 若 $PCSWDI$ 小于 0, 则表明相比而言土壤水分有所补充。

为量化分析不同植被恢复模式土壤水分状况, 采用土壤有效储水量和相对亏缺量来表示。当土壤含水量介于田间持水量和凋萎湿度之间时, 才是有效含水量; 土壤含水量低于凋萎湿度和高于田间持水量的部分, 均为无效水。据此, 土壤有效储水量的表达式为:

$$ESWS_i = \begin{cases} SWS_i - SWSum & (SM_i < FC) \\ SWS_{FC} - SWSum & (SM_i \geq FC) \end{cases} \quad (3)$$

$$ESWS = \sum_{i=1}^k ESWS_i$$

式中, $ESWS$ 为土壤有效储水量, $ESWS_i$ 为第 i 土层有效储水量, SWS_{FC} 为田间持水量对应土壤储水量, FC 为田间持水量。

以天然草地作为参照, 土壤水分相对亏缺量 ($DSWS$) 的表示为:

$$DSWS = \sum_{i=1}^k SWScp_i - \sum_{i=1}^k SWS_i \quad (4)$$

2 结果与分析

2.1 不同植被恢复模式土壤储水量亏缺

图 1 表示不同植被土壤储水与亏缺状况。可以看出, 除杨树林地和马铃薯农地外, 其他人工植被均存在不同程度的土壤水分亏缺。其中柠条、山杏、油松、侧柏林地最为严重, 200 cm 土壤有效储水量均不足 50 mm, 分别占总土壤储水量的 17.21%、18.17%、18.25% 和 20.21%, 土壤水分严重亏缺。山毛桃林地有效储水量也仅为 44.6 mm, 苜蓿草地土壤水分亏缺则相对较轻。较为特殊的是, 与其他乔灌木林地相比, 杨树林地 0—200 cm 土壤储水量并未出现明显亏缺, 反而略高于天然草地。研究发现, 造成土壤干化的植被衰退以后土壤水分能得到一定程度的恢复^[19]。研究区杨树因水分胁迫生长受限, 平均树高仅 3.59 m, 平均胸径 12 cm, 且树龄已达 50 a, 生长已严重衰退, 其对浅层土壤水分已没有强烈的消耗作用, 在有降雨补充的条件下, 相比已没有明显的土壤水分亏缺。撂荒草地和马铃薯农地受原有耕作的影响, 土质疏松, 降雨入渗能力强, 而蒸腾蒸发量相对较少, 因而土壤水分含量较高, 相比没有土壤水分亏缺, 其土壤有效储水量分别占总储水量的 47.95% 和 49.80%。

2.2 不同植被恢复模式土壤水分相对亏缺

图 2 表示不同植被类型 0—200 cm 土壤水分相对亏缺状况。由图 2a 可以看出, 柠条、山杏和油松林地 $CSWDI$ 剖面分布特征较为相似, 土壤水分亏缺程度除表层受降雨影响而较轻以外, 40 cm 以下均较为严重, 且随深度的增加而加剧, 100 cm 以下最为严重, $CSWDI$ 平均达到 0.75。图 2b 显示出侧柏林地浅层土壤水分亏

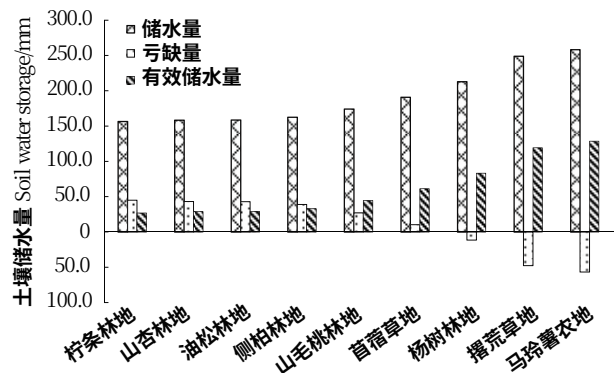
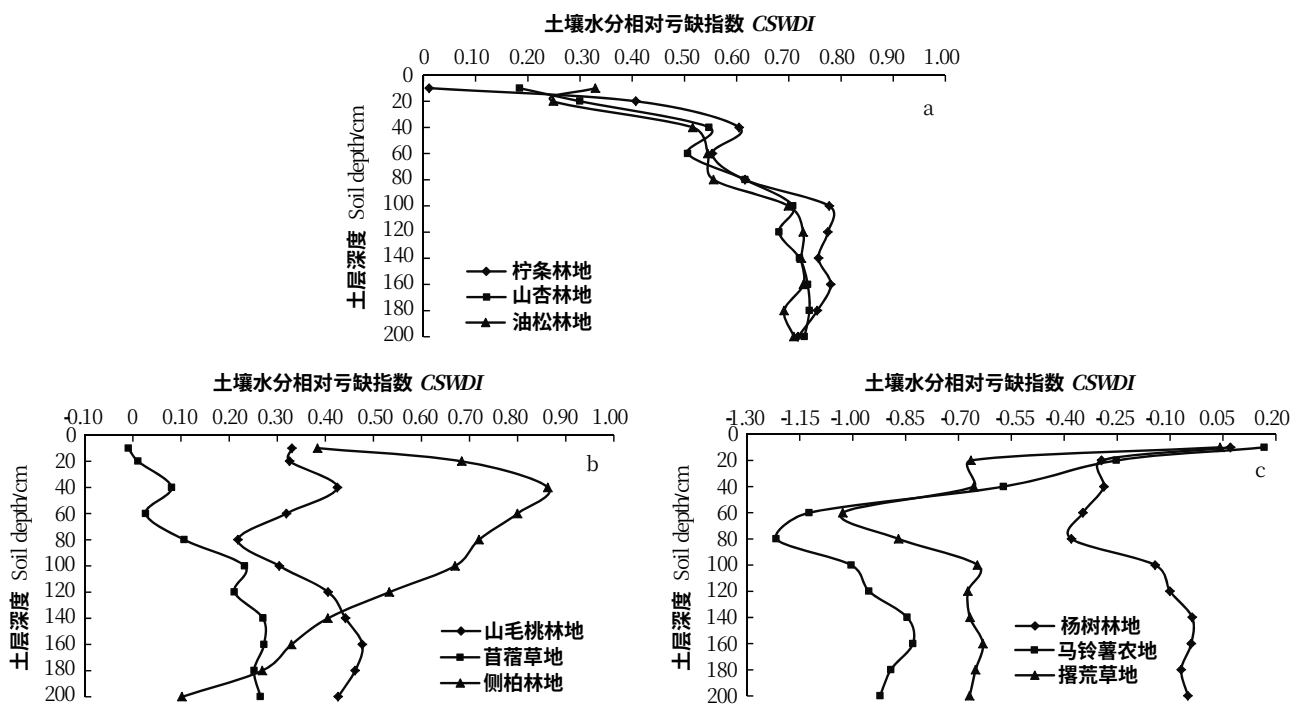


图 1 不同植被类型土壤储水量

Fig. 1 Soil water storage of different vegetation types

缺严重,120 cm 以下则相对较轻,40 cm 处 $CSWDI$ 达到 0.86,土壤水分接近凋萎湿度,40 cm 以下土壤水分亏缺程度则随深度增加而降低。这主要由于侧柏根系主要集中在 0—90 cm 土层,尤其是 40 cm 土层附近根系分布最为密集^[20-21],侧柏的根系分布特征使其对这一层次的土壤水分有强烈的消耗,出现土壤水分亏缺在这一层次最为严重的现象。另一方面,研究区侧柏均分布于阳坡,太阳辐射强烈,表层土壤蒸发旺盛,一定程度上也加剧了其表层土壤水分亏缺。山毛桃林地土壤水分相对亏缺程度较轻, $CSWDI$ 随深度增加而增加,100 cm 以下土层较为严重,但亏缺程度相比柠条、油松、山杏和侧柏林地较轻。研究区苜蓿种植 6a,在 200 cm 土层已造成中度土壤水分亏缺,且程度随深度而增加。由于苜蓿根系较深,对深层水分消耗强烈,相比而言,浅层土壤受原有耕作影响,降雨入渗较好,因而水分含量较高,土壤水分的亏缺主要集中在深层。杨树林地土壤储水虽没有明显的相对亏缺,但 100 cm 以下仍存在轻微的水分亏缺现象,由此可以看出 50 龄杨树林地 0—100 cm 土壤水分已有所恢复,100—200 cm 土壤水分亏缺则较轻微。马铃薯农地和撂荒草地的土壤容重分别为 1.08 和 1.05,土质疏松、利于降雨入渗,加上其自身蒸腾作用远弱于乔灌木,土壤水分消耗量低,因而土壤水分含量高于天然草地,且在 60—80 cm 深度达到最高值。图 2c 马铃薯农地和撂荒草地在 0—60 cm 土层 $CSWDI$ 偏高,这主要由于干旱气候下的强烈土壤物理蒸发所致。

图2 不同植被类型 $CSWDI$ Fig. 2 $CSWDI$ value of different vegetation types

由表 2 不同植被类型 $PCSWDI$ 可以看出,柠条林地土壤水分亏缺最为严重, $PCSWDI$ 达到 0.65。山杏和油松林地均为 0.62,结合图 2a 也可以看出,山杏和油松林地土壤水文效应较为一致,但油松林地的种植密度和生物量大于山杏林地(表 1),因而相比而言,山杏造成的土壤水分亏缺更为严重。侧柏林地 $PCSWDI$ 为 0.52,属较严重的土壤水分亏缺,但主要集中在 0—100 cm 这一层次($PCSWDI_{100}$ 达到 0.72)。山毛桃林地和苜蓿草地也有一定的土壤水分亏缺现象, $PCSWDI$ 分别为 0.38 和 0.17,但与柠条、山杏、油松和侧柏林地对比则相对较轻。杨树林地、撂荒草地和马铃薯农地均有土壤水分蓄积效应,其中马铃薯农地 $PCSWDI$ 为 -0.84,土壤水分蓄积作用最强。可见,研究区人工林草植被均存在不同程度的土壤水分亏缺现象,因而在植被恢复过程中,应根据当地土壤水分背景情况,调整种植密度以达到合理的植被配置,实现土壤水资源的可持续利用。

表2 不同植被类型 PCSWDI

Table 2 PCSWDI value of different vegetation types

植被类型 Vegetation type	柠条林地	山杏林地	油松林地	侧柏林地	山毛桃林地	苜蓿草地	杨树林地	撂荒草地	马铃薯农地
PCSWDI	0.65	0.62	0.62	0.52	0.38	0.17	-0.16	-0.68	-0.84
PCSWDI ₁₀₀ *	0.55	0.52	0.52	0.72	0.32	0.09	-0.25	-0.70	-0.79
PCSWDI ₂₀₀ **	0.76	0.72	0.71	0.38	0.42	0.25	-0.07	-0.66	-0.91

* PCSWDI₁₀₀: 0—100 cm 土层 PCSWDI; ** PCSWDI₂₀₀: 100—200 cm 土层 PCSWDI

2.3 不同植被恢复模式土壤水分亏缺剖面分布

由图2可知,柠条、山杏、油松、山毛桃、杨树林地和苜蓿草地土壤水分相对亏缺程度均随深度增加而增加,PCSWDI₂₀₀比PCSWDI₁₀₀分别高出37.67%、37.28%、36.90%、31.53%、71.23%和180.78%。这几类均为深根性植物,在半干旱地区,降雨不能满足其生长的情况下,其根系依靠消耗深层土壤储水以维持生长,从而造成一定深度的土壤水分严重亏缺而难以恢复。该地区降雨入渗深度小,2009年最大降雨入渗深度仅60 cm,60 cm以下土壤水分的亏缺很难及时恢复,从而形成长期稳定的土壤水分亏缺现象。撂荒草地和马铃薯农地浅层土壤水分低于底层,这是由于撂荒地荒草和马铃薯均为浅根性植物,以消耗浅层土壤水分为主,二是该地区气候干旱,加之植被盖度低,浅层土壤蒸发旺盛,极易引起表层土壤干化,两种生态水文过程的叠加使得0—100 cm土壤水分亏缺严重,而100 cm以下则相对较弱。侧柏林地的土壤水分亏缺虽然也集中在0—100 cm土层,但主要由根系强烈耗水引起。侧柏的根系特征能使其较好地吸收和利用降雨,可以考虑作为降水稀少的半干旱区的植被恢复树种,但应严格控制其密度,以免造成土壤水分过耗。

由图3可以看出,土壤水分的年内变异主要集中在0—40 cm土层,属土壤水分速变层;40—100 cm土壤水分变异相对较小,属于次活跃层;而100—200 cm土壤水分含量较为稳定,属相对稳定层。由于100 cm以下土壤水分变异较小,可以认为PCSWDI₂₀₀能反映不同植被类型稳定的土壤水分亏缺情况。由表2可知,柠条林地PCSWDI₂₀₀达到0.76,山杏和油松林地则分别达到0.72和0.71,这3种植被100 cm以下土壤水分亏缺已相当严重。侧柏林地土壤水分亏缺主要在浅层,PCSWDI₁₀₀为0.72,PCSWDI₂₀₀则减少为0.38。同样,山毛桃林地和苜蓿草地也是100 cm以下土壤水分亏缺相对较严重。杨树林地的土壤水分补充主要集中在表层,100 cm以下则相对较干。

3 讨论与结论

半干旱黄土丘陵区土壤水分亏缺是在气候干旱的环境背景下,不合理的人工植被配置导致植被蒸腾作用过度消耗土壤储水造成的,缺乏科学指导的人工植被恢复是其最主要原因。更为严重的是,随着大规模退耕还林还草工程的实施,人工植被将成为该地区最主要的植被类型。倘若这种植被恢复模式以耗竭土壤水库为代价,必将对区域土壤水环境造成重大影响、危及当地生态安全和区域可持续发展^[2, 22-24]。因此,对该地区进行人工植被恢复,必须依据当地土壤水分背景情况,选择合适的植被类型,控制合理的植被密度和进行科学的空间配置。研究发现,水土保持工程措施可有效拦截降雨、增加入渗,提高土壤水分含量^[25-26]。降水是半干旱黄土丘陵区土壤水分唯一有效的来源,对该地区进行人工植被恢复,需辅以相应的水土保持工程措施,以拦蓄有限的降水补充土壤水分,改善人工植被造成的严重土壤水分亏缺状况。而对于已经发生土壤水分严重亏缺的区域,可以考虑调整人工植被密度,并采取有效的水土保持工程措施,进行适度的土壤水分恢复。

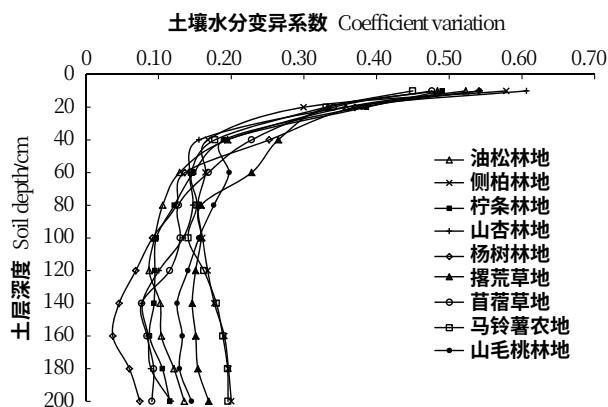


图3 不同植被类型土壤水分变异系数

Fig. 3 Variation coefficient of soil water under different vegetation types

以当地土壤水分背景值为参照,对不同人工植被恢复模式土壤水分相对亏缺状况及其特征的定量化评价与分析,可科学地反映土壤水分对不同植被恢复模式的响应,研究发现:

(1)相对该地区顶级演替群落天然草地,各人工植被均有一定程度的土壤水分亏缺。其中,山杏、侧柏、柠条、油松林地土壤水分亏缺最为严重,0—200 cm 土层有效储水量不足 50 mm。柠条、山杏和油松 200 cm 土层有效储水量不及总土壤储水量的 20%,不合理的植被配置是造成这一现象的主要原因,亟需控制植被密度并采取集水措施恢复土壤水分,缓解土壤水分亏缺状况,达到可持续性的植被恢复。

(2)柠条、油松、山杏林地由于蒸腾作用的强烈耗水,均出现了较严重的土壤水分亏缺, $PCSWDI$ 分别达到 0.65、0.62、0.62,且土壤水分的严重亏缺主要集中在 100 cm 以下,受该地区降雨入渗深度的影响,这类土壤水分亏缺难以恢复。侧柏林地土壤水分亏缺受根系分布特征的影响主要集中在 20—100 cm 土层, $PCSWDI_{100}$ 达到 0.72,100 cm 以下则随深度增加而降低。山毛桃林地和苜蓿草地 $PCSWDI$ 分别为 0.38 和 0.17,土壤水分亏缺程度相对较轻, $CSWDI$ 均随深度增加而增加。杨树林地、撂荒草地和马铃薯农地在 0—200 cm 土层有一定的土壤水分补充;其中 50 龄杨树林地受生长衰退影响在 0—100 cm 土层水分有所恢复,100—200 cm 土层仅有轻微水分亏缺现象。

(3)在土壤水分亏缺的定量化分析与评价方面, $CSWDI$ 可有效反映同一样地不同土层土壤水分相对亏缺程度, $PCSWDI$ 则可反映不同样点之间土壤水分的亏缺程度, $CSWDI$ 和 $PCSWDI$ 可用于不同植被恢复模式下土壤水分响应的定量化评估。

References:

- [1] Wang Y Q, Shao M A, Shao H B. A preliminary investigation of the dynamic characteristics of dried soil layers on the Loess Plateau of China. *Journal of Hydrology*, 2010, 381(1/2): 9-17.
- [2] Chen H S, Shao M A, Li Y Y. Soil desiccation in the Loess Plateau of China. *Geoderma*, 2008, 143(1/2): 91-100.
- [3] Shanguan Z P. Soil desiccation occurrence and its impact on forest vegetation in the Loess Plateau of China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2007, 14(3): 299-306.
- [4] Liu W Z, Zhang X C, Dang T H, Ouyang Z, Li Z, Wang Jun, Wang R, Gao C Q. Soil water dynamics and deep soil recharge in a record wet year in the southern Loess Plateau of China. *Agriculture Water Management*, 2010, 97(8): 1133-1138.
- [5] Yang K B, Liu G B, Wu F Q, Sun B S. Hydrological and environmental responses to comprehensive control of soil loss in a typical watershed of hill and gully region of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 2042-2051.
- [6] Sun G, Zhou G Y, Zhang Z Q, Wei X H, McNulty S G, Vose J M. Potential water yield reduction due to forestation across China. *Journal of Hydrology*, 2006, 328(3/4): 548-558.
- [7] Chen L D, Wang J P, Wei W, Fu B J, Wu D P. Effects of landscape restoration on soil water storage and water use in the Loess Plateau Region, China. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(7): 1291-1298.
- [8] Mu X M, Xu X X, Wang W L, Wen Z M, Du F. Impact on artificial forest on soil moisture of the deep soil layer on Loess Plateau. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(2): 210-217.
- [9] Fan J, Shao M A, Wang Q J, Jones S B, Reichardt K, Cheng X R, Fu X L. Toward sustainable soil and water resources use in China's highly erodible semi-arid loess plateau. *Geoderma*, 2010, 155(1/2): 93-100.
- [10] Wang Y P, Shao M A, Zhang X C. Soil moisture ecological environment of artificial vegetation on steep slope of loess region in North Shaanxi Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3769-3778.
- [11] Wang Z Q, Liu B Y, Liu G, Zhang Y X. Soil water depletion depth by planted vegetation on the Loess Plateau. *Science in China Series D: Earth Science*, 2009, 52(6): 835-842.
- [12] Wang Y Q, Shao M A, Shao H B. A preliminary investigation of the dynamic characteristics of dried soil layers on the Loess Plateau of China. *Journal of Hydrology*, 2010, 381(1/2): 9-17.
- [13] 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.
- [14] Chen H S, Shao M A. Standards for assessing desiccation of deep soil layer on Loess Plateau. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(3): 164-166.

- [15] Duan J J, Wang X L, Zhang C X, Gao Z L, Li R. Assessing indicator of dried soil layer on Loess Plateau and broken values. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(6): 151-154.
- [16] Dingxi Institute of Soil and Water Conservation. Identified Materials of Para Position Allocation Study under the Conditions of Microclimate, Soil Water and Control Measures in Small Catchment. Dingxi: Dingxi Institute of Soil and Water Conservation (Internal data), 1988: 5-7.
- [17] Li J, Chen B, Li X F, Cheng J M, Hao M D. Effects of deep soil desiccations on alfalfa grasslands in different rainfall areas of the Loess Plateau of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 75-89.
- [18] 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.
- [19] He F H, Jiang W G, Huang M B. Ecological water effect of returning orchard to cultivated land in apple base of gully region of the Loess Plateau. *Geographical Research*, 2010, 29(10): 1863-1869.
- [20] Zhao Z, Li P. Researches on vertical root distributions and drought resistance of main planting tree species in Weibei Loess Plateau. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(1): 96-99, 107-107.
- [21] Guo Z J, Song X D, Zhao H G. Biomass and soil characteristics of *Hippophae Rhamnoides* and *Platycladus Orientalis* mixed forest and its root system distribution. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2007, 27(3): 18-23.
- [22] Cao S X, Chen L, Xu C G, Liu Z D. Impact of three soil types on afforestation in China's Loess Plateau: Growth and survival of six tree species and their effects on soil properties. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 83: 208-217.
- [23] Cao S X. Why large-scale afforestation efforts in China have failed to solve the desertification problem. *Environmental Science and Technology*, 2008: 1826-1831.
- [24] 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.
- [25] Jiang D S, Fan X K, Huang G J. Experiment of the evaluation on benefits of soil and water conservation measures for slope land (I) effect of soil and water conservation measures on the infiltration of rainfall in slope land. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1990, 4(2): 1-10.
- [26] Prevati M, Bevilacqua I, Canone D, Ferraris S, Haverkamp R. Evaluation of soil water storage efficiency for rainfall harvesting on hillslope micro-basins built using time domain reflectometry measurements. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(3): 449-456.

参考文献:

- [5] 杨开宝, 刘国彬, 吴发启, 孙宝胜. 黄土高原典型小流域综合治理的水文生态效应. *生态学报*, 2008, 28(5): 2042-2051.
- [8] 穆兴民, 徐学选, 王文龙, 温仲明, 杜峰. 黄土高原人工林对区域深层土壤水环境的影响. *土壤学报*, 2003, 40(2): 210-217.
- [13] 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.
- [14] 陈洪松, 邵明安. 黄土区深层土壤干燥化程度的评价标准. *水土保持学报*, 2004, 18(3): 164-166.
- [15] 段建军, 王小利, 张彩霞, 高照良, 李锐. 黄土高原土壤干层评定指标的改进及分级标准. *水土保持学报*, 2007, 21(6): 151-154.
- [16] 甘肃省定西地区水土保持试验站. 小流域地形小气候、土壤水分特征及治理措施对位配置研究鉴定材料. 1988: 5-7.
- [17] 李军, 陈兵, 李小芳, 程积民, 郝明德. 黄土高原不同干旱类型区苜蓿草地深层土壤干燥化效应. *生态学报*, 2007, 27(1): 75-89.
- [18] 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. *生态学报*, 2009, 29(3): 1543-1553.
- [19] 何福红, 蒋卫国, 黄明斌. 黄土高原沟壑区苹果基地退果还耕的生态水分效应. *地理研究*, 2010, 29(10): 1863-1869.
- [20] 赵忠, 李鹏. 渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征及抗旱性研究. *水土保持学报*, 2002, 16(1): 96-99, 107-107.
- [21] 郭梓娟, 宋西德, 赵宏刚. 沙棘-侧柏混交林生物量、林地土壤特性及其根系分布特征的研究. *水土保持通报*, 2007, 27(3): 18-23.
- [24] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响. *生态学报*, 1983, 3(2): 91-101.
- [25] 蒋定生, 范兴科, 黄国俊. 黄土高原坡耕地水土保持措施效益评价试验研究 (I) 坡耕地水土保持措施对降雨入渗的影响. *水土保持学报*, 1990, 4(2): 1-10.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 11 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Responses of microbes-mediated carbon and nitrogen cycles to global climate change	SHEN Jupei, HE Jizheng (2957)
Formation of cyanobacterial blooms in Lake Chaohu and the photosynthesis of dominant species hypothesis	JIA Xiaohui, SHI Dingji, SHI Mianhong, et al (2968)
Unbalanced cyclical fluctuation pattern of intermittent outbreaks of beet armyworm <i>Spodoptera exigua</i> (Hübner) in China	WEN Lizhang, ZHANG Youjun, ZHU Liang, et al (2978)
Self-organizing feature map classification and ordination of <i>Larix principis-rupprechtii</i> forest in Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, ZHANG Jintun, Suriguga, et al (2990)
Ecological effects of lakeside wetlands restoration in Dalian Lake, Shanghai	WU Di, YUE Feng, LUO Zukui, et al (2999)
Soil organic carbon storage and profile inventory in the different vegetation types of Luya Mountain	WU Xiaogang, GUO Jinping, YANG Xiuyun, et al (3009)
Response of soil microbial community structure to the leaf litter decomposition of three typical broadleaf species in mid-subtropical area, southern China	ZHANG Shengxi, CHEN Falin, ZHENG Hua (3020)
The decomposition of coniferous and broadleaf mixed litters significantly changes the carbon metabolism diversity of soil microbial communities in subtropical area, southern China	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3027)
Spatiotemporal heterogeneity of topsoil nutrients in Karst Peak-Cluster depression area of Northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (3036)
Effects of cadmium stress on the activities of antioxidant enzymes, digestive enzymes and the membrane lipid peroxidation of the mangrove mud clam <i>Geloina coaxans</i> (Gmelin)	LAI Tinghe, HE Binyuan, FAN Hangqing, et al (3044)
The edge effects on tree-liana relationship in a secondary natural forest in Bawangling Nature Reserve, Hainan Island, China	WU Yuna, TAO Jianping, XI Weimin, et al (3054)
Soilwater deficit under different artificial vegetation restoration in the semi-arid hilly region of the Loess Plateau	YANG Lei, WEI Wei, MO Baoru, et al (3060)
The diurnal trends of sensible and latent heat fluxes of a subtropical evergreen coniferous plantation subjected to seasonal drought	HE Youwei, WANG Qiubing, WEN Xuefa, et al (3069)
Ecological adaptability of photosynthesis and water use for <i>Tamarix ramosissima</i> in the southern periphery of Gurbantungut Desert, Xinjiang	WANG Shanshan, CHEN Xi, WANG Quan, et al (3082)
Estimation of leaf area index of cotton using digital Imaging	WANG Fangyong, WANG Keru, LI Shaokun, et al (3090)
Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (<i>Glycine soja</i>) and cultivated soybean (<i>Glycine max</i>) to NaCl stress	XUE Zhongcai, GAO Huiyuan, LIU Jie (3101)
Effects of water and phosphorus supply on morphology and structure of special root hairs on nodal roots of wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	ZHANG Jun, HE Dexian, DUAN Zengqiang (3110)
Applications of species indicator for analyzing plant community types and their biodiversity at Kunyushan National Forest Reserve	SUN Zhiqiang, ZHANG Xingyao, ZHU Yanpeng, et al (3120)
Societal metabolism for chinese provinces based on multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSIASM)	LIU Ye, GENG Yong, ZHAO Hengxin (3133)
Comparative gene expression analysis for leaf trichomes of tobacco grown in two different regions in China	CUI Hong, JI Hao, YANG Huijuan, et al (3143)
Performance evaluation of B biotype whitefly, <i>Bemisia tabaci</i> on 23 host plants	AN Xincheng, GUO Qiang, HU Qiongbo (3150)
Studies of hemocytes DNA damage by two pesticides acetamiprid and chlorpyrifos in predaceous spiders of <i>Pardosa astrigera</i> Koch	LI Rui, LI Shengcai, LIU Jia, (3156)
Effects of the fungicide prochloraz on the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LI Daming, LU Zhenghe, FENG Qi, et al (3163)
Effects of long- and short-term successive parthenogenesis on life history and genetics characteristics of <i>Brachionus calyciflorus</i>	GE Yali, XI Yilong (3170)
Review and Monograph	
Review of the relationship between regional landscape pattern and surface water quality	ZHAO Jun, YANG Kai, TAI Jun, et al (3180)
Review of dew action effect on plants	YE Youhua, PENG Shaolin (3190)
Advances in Botryosphaeriaceae: identification, phylogeny and molecular ecology	CHENG Yanlin, LIANG Jun, LÜ Quan, et al (3197)
Advances in research on the mechanisms of age-related productivity decline of planted forests	MAO Peili, CAO Banghua, TIAN Wenxia, et al (3208)
The application of tree-ring on forest disturbance history reconstruction	FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (3215)
Research advances on stress responsive WRKY transcription factors in plants	LI Ran, LOU Yonggen (3223)
Scientific Note	
The soil microbial activities and microbial biomass in Sanjiangyuan Alpine grassland	REN Zuohua, ZHANG Yuguang, LI Diqiang, et al (3232)
The differences of water use efficiency (WUE) among three <i>Populus deltoids</i> clones, and the cloning and characterization of related gene, <i>PdERECTA</i>	GUO Peng, XIA Xinli, YIN Weilun (3239)
Arthropod community reestablishment and niche of the main groups in kiwifruit orchards	DU Chao, ZHAO Huiyan, GAO Huanhuan, et al (3246)

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 11 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 11 2011

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



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元