

水土保持生态修复的若干科学问题^①

刘国彬, 杨勤科, 陈云明, 张文辉, 许明祥

(中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘要: 生态修复是水土保持生态建设的深化和发展。在综合分析国内外生态修复研究进展、发展趋势、存在问题的基础上, 根据我国水土流失造成生态系统退化的特殊性, 以及水土保持生态修复的特点, 提出了一系列我国水土保持生态修复过程中需要深入研究的科学问题。主要包括生态修复的潜力及驱动因子, 不同尺度生态修复的布局, 生态修复技术措施及标准, 以流域为单元的生态系统健康评价, 水土保持生态修复对生态水文过程、植被演替、生物多样性、农村经济的影响等的综合评价与预测等。

关键词: 水土流失; 生态修复; 综合治理

中图分类号: X171.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2005)06-0126-05

Some Scientific Issues of Ecological Restoration of Soil and Water Conservation

LIU Guo-bin, YANG Qin-ke, CHEN Yun-ming, ZHANG Wen-hui, XU Ming-xiang

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences,

Northwest Sci Tech University of Agriculture and Forest, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Ecological restoration is the development of eco construction of soil and water conservation. Based on analysis of characteristic of soil erosion, progress, tendency of eco restoration research, and existing problems, this paper presented the further research area on eco restoration of soil and water conservation including potential and driving factors of eco restoration, configurations of different scales eco restoration, technical measures and standards of eco restoration, healthy assessment of ecosystem of watershed scale, impact of soil and water conservation on eco hydrological process, vegetation succession, bio diversity and agricultural economy.

Key words: soil and water conservation; eco restoration; comprehensive control

随着人口的急剧增长, 水土资源的不断匮乏及生态系统的退化, 导致了水土流失、土地沙化等自然灾害的加剧及土地生产力的下降。资源-环境-人口矛盾日益突出, 影响了区域经济、社会的可持续发展, 现已成为全球性问题并受到各国的高度重视。基于对全球生态系统退化后果的认识, 世界各国纷纷出台了有关生态保护、生态建设的政策与措施, 并组织科研机构和专业人员进行系统研究。自 20 世纪 80 年代以来, 退化生态系统的恢复重建、生态系统健康诊断及生态系统保育的理论与技术等已成为生态学研究的热点^[1,2]。1973 年美国召开了“受损生态系统恢复”国际会议, 第一次专门讨论了受损生态系统的恢复和重建问题。Gairms 从不同角度探讨了受害生态系统恢复过程中的重要生态学理论和应用问题。1995 年, 美国制定的“国家环境技术战略报告”中提出的目标之一就是通过对研究、开发和应用环境技术, 以经济、有效的方式改善生态环境, 其中涉及到生态系统的恢复与管理——针对受威胁和受破坏生态系统的监测以及受损生态系统的功能恢复等问题^[3]。

水土流失是我国的头号环境问题, 对我国生态环境、经济建设造成多种危害, 成为我国资源、环境与社会、经济可持续发展的主要障碍之一。建国以来, 我国开展了大规模水土流失综合治理工作, 取得了显著成绩。然而, 由于所需治理面积大、资金缺乏, 治理进度缓慢, 到目前为止, 仍有高达 200 多万 km² 面积需要开展水土流失综合防治, 不能满足经济社会发展需求, 尤其是国家西部大开发对生态环境建设的需求。因此, 需要转变传统的治理思路, 充分发挥植被的自然再生能力, 加快水土流失区的治理。2003 年水利部提出了“加强封育保护, 充分发挥生态自我修复能力, 加快水土流失防治步伐”的水土流失防治新思路^[4,5], 是水土保持生态建设的深化和发展, 也是水土保持生态建设思路的重大战略调整。作为综合治理措施之一的生态修复, 就是根据人与自然和谐发展的原理, 利用自然的力量并辅以人工措施, 使已被破坏的生态系统得以恢复, 水土流失得到控

① 收稿日期: 2005-05-02

基金项目: 中国科学院知识创新项目(KZCX1-06); 国家“十五”科技攻关课题(2004BA508B14); 科技部重点项目(2002BA901A43) 共同资助

作者简介: 刘国彬, 男, 生于 1958 年, 土壤学博士, 研究员, 中科院水利部水土保持研究所副所长, 中科院安塞站站长。主要研究领域为水土保持与流域管理。E-mail: gblu@ms.iswc.ac.cn

制。水土保持生态修复的科学有效实施,必须以人对自然环境及生态系统演化规律不断认识为前提,需要对有关生态修复的科学与技术问题进行深入系统地研究。几十年来,我国在水土保持科研实践中虽然积累了较为丰富的观测、试验数据和示范样板,并创造了许多成功的经验,但仍不能满足全国范围大规模实施生态修复的需求。近年来,我国在生态修复范畴、区划、机制和评价等方面开展了大量的科学研究工作,取得了较为丰富的科研资料,但其研究的系统性仍显不足,定量分析研究尤为缺乏^[6]。我国地域辽阔,造成生态系统退化的因素复杂、多样,因此,需要深刻认识水土流失造成生态系统退化的特殊性,了解水土保持生态修复的特点,从退化生态系统修复的恢复生态学基础,包括生态系统修复的理论、修复的驱动因子、调控机制,生态修复的潜力、布局、标准、技术措施,生态系统健康评价等进行深入、系统地研究,为水土保持生态修复工程的顺利实施提供科学支撑。

1 生态修复的潜力及驱动因子

要了解生态修复的潜力,首先需要对生态系统的退化程度进行诊断,这是生态恢复的基础与前提^[7]。目前,对于生态系统退化程度的诊断研究大多处于定性阶段。如有的研究者把退化生态系统分为受害轻微的生态系统(可逆的)和受害严重的生态系统(不可逆的)等。一般来说,诊断的参照物将是生态恢复的基本目标。生态系统退化程度的诊断,主要包括诊断的参照系统、退化程度的表达、诊断的途径及方法指标等。水土流失区生态系统退化的直接结果是水土流失加剧、土地资源丧失和质量下降、植被遭受破坏、生物生产力降低。其中,土壤侵蚀强度增大、生态系统功能的丧失是诊断的重要标准。

水土保持生态修复是指在水土流失区,通过一定的人工辅助措施,促使自然界本身固有的再生能力得以最大限度地发挥,促进植被的持续生长发育和演替,保护并改善受损生态系统的功能,加快水土流失防治的步伐,建立和维系与自然条件相适应、与经济社会可持续发展相协调并良性发展的生态系统^[4](水利部生态修复规划)。由此看出,水土保持生态修复的核心是减少人为干扰,充分发挥植被的自然恢复能力,从而恢复生态系统的功能,实现生态环境改善的目标。植被的正向演替是生态修复的驱动因子,植被恢复的能力及条件是关键。因此,有关生态修复潜力及其驱动因子研究,需要针对不同地区水土流失、植被破坏现状,根据生态学、植被群落学等理论,深入研究影响生态自我修复的主要因子,建立生态自我修复潜力评价指标体系,从生态系统自我更新与修复能力、生态系统主要生活因子的代谢与供应能力、生态系统自我修复与环境生活因子的协同适应能力等进行分析,对不同地区的退化生态系统自我修复潜力进行评价。在此基础上,研究不同类型区植被演替的动力机制及其承载力,包括植被演替阶段及其主要植被类型的生态、群落学特征;生态系统自我修复机理及其生物多样性;不同类型区植被演替的土壤与水资源承载力等。

通过对代表黄土丘陵区目前大面积治理状况的县南沟流域和已进行了20年水土流失综合治理的纸坊沟流域植物多样性的比较研究发现,两流域的物种丰富度、植被类型几乎没有变化,但比较两流域同一类型的群落发现,在种的多度、种的生活力、群落面积、群落盖度、群落高度以及群落内部优势种群的物种多样性指数等方面差别大。经过自然恢复后的纸坊沟流域内,群落的物种多样性、优势群落的盖度、高度和植被总体盖度均大于未治理的县南沟流域。纸坊沟流域经过10年封禁,使植被类型和种类由封育前4科8种增到12科26种,地带性物种数量明显增加。这说明目前在黄土丘陵区,生态环境的破坏并没有从根本上破坏该区植被演替的基础,只要保护措施得力,完全有可能依靠自然力恢复当地植物群落,也说明在该区实施生态修复是可行的^[8]。

2 生态修复的布局

生态修复的布局是规划的基础。生态修复布局包括了全国生态修复分区,以及区域布局、中小流域的空间布局等。蔡建勤、张长印等^[4]根据影响生态修复和植物生长的水分条件作为一级类型区主导因子,把全国水土保持工作分区划分为生态修复二级类型区,并依据区内相似性、区间差异性、社会经济条件确定生态修复的措施布局。这种分区考虑了影响生态修复的关键因素,具有可操作性。在区域尺度上,生态修复的关键是植被的正向演替及其自然恢复的潜力,分区可以按照中国自然植被地带的分布来布局。同时,生态修复作为水土保持的重要措施,也是一项社会经济活动,其布局也应重视土地利用的格局,与该区的生态建设和经济社会发展战略相结合。尤其是在水土流失严重地区,从建立该区的生态安全体系、食物安全体系和生态经济系统出发,以生态环境改善和社会经济可持续发展为目标(图1),布局生态修复的重点地区。以黄土高原为例,土地资源类型可以分为生产用地、生态保护地两大类型。生态保护地的特点是:①生产力低、难治理,现有技术条件不能用于生产,开发将导致本地和相邻地段土地退化。②以生态保护为主要功能,包括封禁生态保护和防护林。生态保护地将是生态修复,尤其是自我修复的重点区域。

我国在不同尺度流域水土流失综合治理模式布局方面积累了丰富的经验,建立了多种示范样板,尤其是以小流域为单元的综合治理是我国一条成功的经验^[8]。在新的水土流失治理思路下,不同尺度流域治理模式及尺度转换是急需解决的关键问题。例如在黄土高原,小流域的面积一般是 10 km² 左右,而县域尺度的面积达 1 000 km² 以上。在特定的流域中,实施生态修复的面积比例应该是多少?在流域中如何布局?所需考虑的因素不仅是水土保持措施,而且应与该区的经济发展需求和目标相结合。根据我们对安塞县纸坊沟小流域的研究

表明,生态保护用地占土地总面积 24%(表 1,图 2)。对黄土高原 11 个小流域统计结果表明,以减少流域土壤侵蚀至容许侵蚀量(1 000 t/km²·a)的植被覆盖率为标准,流域内有效植被面积应该占到流域总面积的 43% 以上。

目前,在全国各主要流域,有大量成功的综合治理模式及不同尺度的示范样板,有力地推动了当地水土保持生态建设。对于一个区域而言,所有

小流域模式的结合不等于区域模式。因此,对于同一区域不同尺度模式间的关系,模式的尺度转换,从地理到生态经济目标角度,仍然是今后大规模实施生态修复需要解决的重要科学问题。

3 生态修复技术措施及标准

尽管恢复生态学在近 10 年间取得令人瞩目的进展,但仍有不少问题有待于解决,也是当前研究的热点问题。其中之一就是生态系统恢复的不可确定性,虽然已提出了许多恢复的标准,但对于生态系统服务功能的恢复程度尚不清楚;生态修复要求综合考虑生态经济和社会因素,但对于时间、空间上存在异质性的生态系统而言往往非常困难,尤其是在持续干扰的情况下,很难恢复到理想状态。由于生态系统的复杂性,生态系统退化程度和干扰因子很难简单概括到一些易测定的指标;生态系统恢复的时间问题,仍然需要可重复的和长期的试验和观测。生态恢复的机理尚不完全清楚,尤其是重新引进当地消失的物种或外来种恢复中的定位。从人类与自然的关系看,水土保持作为人类与水土

流失作斗争的一门科学,其基本目标是实现人类与自然的协调发展,这种协调既包括人类活动要适应自然规律,也包括人类主动利用自然规律达到人类发展的目的。水土保持作为社会公益性工程,需要巨大的人力和资金的投入。目前的治理速度和规模很难满足国家经济发展对环境的要求,生态修复作为一种低成本的措施,将水土保持概念进一步扩展,充分发挥利用大自然的生态自我修复潜力,达到生态改善的目的。尽管水土保持生态修复的关键是植被的恢复,但在我国水土流失类型多样、社会经济条件千差万别的条件下,它仍然是一项复杂的系统工程。修复措施包括了退耕还林还草、封山禁牧、舍饲养殖及综合治理等。对水土流失轻度区通过封育保护,尽快遏制水土流失,大面积地进行生态修复,加快治理进度;对地广人稀土地利用不高的

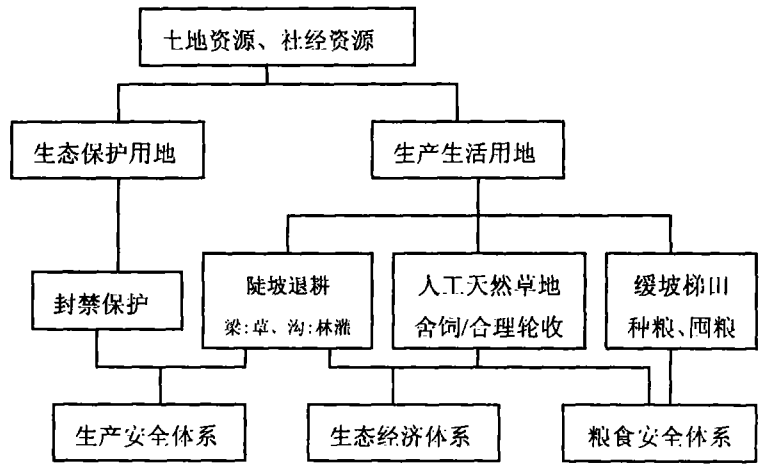


图 1 黄土高原土地资源类型及区划

表 1 纸坊沟流域土地资源评价统计表

单元	宜耕合计面积		宜林合计面积		宜草合计面积		生态用地面积		水域面积	
	(hm ²)	(%)	(hm ²)	(%)	(hm ²)	(%)	(hm ²)	(%)	(hm ²)	(%)
梁峁坡	65.8	21.8	120.6	40.0	115.4	38.3			0	0
沟谷坡	73.7	13.7	39.8	7.4	212.9	39.6	204.6	38.1	6.5	1.2
全流域	139.5	16.6	160.4	19.1	328.2	39.1	204.6	24.3	6.5	0.8

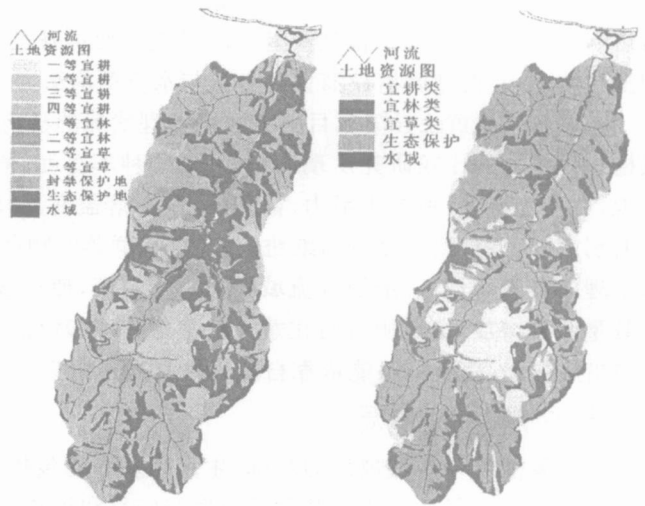


图 2 安塞纸坊沟流域土地资源及评价

区域,指轻度或部分中度但人口较少的区域,进行灌草补植、封育保护;在强度水土流失的部分区域,因投资力度的限制,无法进行大面积的治理,先进行简单的治理措施,控制大的水土流失,再进行生态修复。但这些措施实施中尚有许多问题没有解决。如就植被恢复方面,目前对人工恢复途径研究的比较深入,研究结果具有很好的操作性,在实践中得到广泛应用;但对以生态自我修复为主的恢复途径的研究较少,且主要集中在封禁的效果上,在生态自我修复的途径、方法、关键技术、区域差异、动态监测与评价等方面研究极少,缺乏操作性;从研究尺度上,对封育措施的研究,由不同研究单位分散进行,缺乏区域的系统的比较研究,不能对大范围的生态自我修复工程的实施提供可靠依据,而且缺乏同一种方法同样的评价指标的分析。因此在生态修复工程的实施中,需要了解不同地区修复措施怎样配置,技术措施的相互关系是什么?生态自我修复能达到什么程度?在哪些地区或区域依靠生态自我修复还不能完全实现生态改善的目标,还需要人类的有序干预及干预的程度如何?这些问题的科学解答,对于充分发挥生态自我修复能力、加快植被恢复与生态重建,具有重要的实践意义。

4 生态系统健康评价

与生态系统修复关系最为密切的是当前国际上兴起的生态系统健康研究。它是研究人为活动、社会组织、自然系统及人类健康之间相互关系的领域。所谓“健康”即指系统在各种不良环境影响中结构和功能保持相对稳定状态,并可持续发展不断完善特性。健康的生态系统应该具有以下特征:不存在失调症状,具有很好的恢复能力和自我维持能力、对邻近的其它生态系统没有危害、对社会经济的发展和人类的健康有支持推动作用。Rapport认为生态系统健康是指一个生态系统所具有的稳定性和可持续性,即在时间上具有维持其组织结构、自我调节和对胁迫的恢复能力,并认为生态系统健康可以通过活力、组织结构和恢复力3个特征来定义。生态系统健康是保证生态系统功能正常发挥的前提^[1]。结构和功能的完整性、具有抵抗干扰和恢复能力、稳定性和可持续性生态系统健康的特征。由此可见,建立健康的流域生态系统是水土保持生态修复的最终目标。

生态系统健康包括从短期到长期的时间尺度、从地方到区域空间尺度的社会系统、经济系统和自然系统的功能,从区域到全球胁迫下的地球环境与生命过程。其目标是保护和增强区域甚至地球环境容量及恢复力,维持其生产力并保持地球环境为人类服务的功能。以流域为单元的水土保持生态修复、健康评价需要基于生态系统的结构、功能过程来确定指标,包括生态系统的完整性、适应性和效率。它来源于水土保持治理,但又不同于综合效益评价。无论是广义的生态修复还是水土保持生态修复,目前对于评价生态系统健康尚无成熟的理论和方法,一般的过程是首先根据区域特征、生态系统的服务功能确定评价的目标及生态健康的标准,通过对反映系统水、土、气、生各要素特征的指标敏感性及其相关性分析,选择健康诊断指标,然后建立生态系统健康诊断指标体系及诊断模型。就评价指标的类型而言,生态系统健康评价主要可分为指示物种法和结构功能指标法。指示物种评价生态系统健康,主要是依据生态系统的键物种、特有物种、指示物种、濒危物种、长寿命物种和环境敏感物种等的数量、生物量、生产力、结构指标、功能指标及其一些生理生态指标来描述生态系统的健康状况。指示物种评价法比较适用于一些自然生态系统的健康评价。虽然采用生物类群指示生态系统健康的研究取得很大进展,成为生态系统健康研究常用的基本方法,但是仍然存在着一一些问题。例如,指示物种的筛选标准不明确,有些采用了不合适的类群以及标准并不一致等。

刘国彬等^[9]以黄土丘陵区安塞纸坊沟小流域为对象,利用层次分析法,选取林草覆盖度、基本农田面积、土壤抗冲性、土壤有机质含量、农业产投比、粮食单产、人均纯收入和综合治理减沙效率等反映流域生态经济系统功能评价指标,初步建立了小流域生态系统健康评价指标,但这些指标在其他地区的适应性仍有待于研究,综合评价方法也需要完善。虽然不同的研究者提出了各种生态系统健康的标准,但对于生态系统的健康状况评价仍有许多不确定性。由于水土流失因素的复杂多样性,评价流域生态系统很难用一些易测定的指标简单概括,目前尚没有成熟的理论和模型。今后对于水土保持生态修复的健康评价需要深入研究生态健康诊断与生态安全理论;生态系统健康评价指标的识别及提取;生态经济系统健康标准与阈值;生态系统健康诊断方法及趋势预测等。

5 生态修复及环境效应

由于水土流失区生态环境的复杂性、恢复的多目标性以及目前技术的局限性,现有的恢复理论及技术措施在生态系统演替的长时间序列中对生态环境的效应有正面的,也有不确定的甚至会负面的。近年来生态恢复的环境效应引起了国内外科学家的高度重视。如美国自开始实施了自然生态保护项目(Conservation Re-

serve Program, CRP), 学者们便对其可能带来的环境效应, 包括项目对于土壤性状、土壤侵蚀、地表径流、河流污染状况和野生动物栖息地等方面的影响进行了研究。有关研究表明, CRP 项目实施后对环境产生的影响主要表现在土壤理化性状明显改善, 土壤侵蚀明显减少, 土壤退化明显控制, 野生动物生境得到改善。然而在项目结束以后, 随着土地再度垦殖(种植牧草和作物), 在一定程度上带来了负面影响。如保护地被耕种以后, 有机碳和 N 将明显减少, 生物营养储存量将明显降低, 预示着土壤质量的退化。以小流域为单元, 研究土地利用变化引起的水文生态过程的变化、强调了流域植被类型和土地利用结构与水行为要素间的关系, 是植被重建水文效应研究的热点。

水土保持生态环境建设, 特别是植被建设的水环境效应研究中, 最富有意义的成果是“土壤干层”现象的发现和研究的。黄土丘陵区土地利用结构变化对土壤水分的影响研究表明, 林地土壤水分含量相对较低。黄土丘陵区营造人工林, 将使之向干燥化发展的趋势。一些多年生人工林草使深层土壤(图 3)含水量接近于凋萎湿度, 形成土壤干层甚至出现人工草地的衰败或死亡。土壤干燥化被认为是一种普遍存在的现象, 是当前黄土高原土地利用结构调整和植被建设中普遍关心的热点问题之一。如何维持不同利用类型(林、草、农田等)有效生态用水的平衡, 较少或消除区域土壤干燥化的不利影响等, 有待更深入的研究。

目前在对环境要素的影响方面, 较多注意了土壤水分、侵蚀产沙和养分分析研究, 对于区域性侵蚀土壤的抗侵蚀性变化、植物多样性等方面的影响却缺乏系统的分析。所以不能形成植被建设和土地利用结构调整对环境影响的全面认识。对环境的影响, 较多注意了短期、正面影响(水土保持效益)的分析评价, 中长期和负面影响基本尚未涉及。研究的尺度较多地集中于径流小区、自然坡面和小流域等, 而众多点状研究中普遍没有得到时空连续数据(如土地利用图、遥感影像等)的支持, 致使研究结论不能适于较大尺度的区域。

总之, 生态修复对环境的影响是深远的、多方面的。研究的方面应该包括对流域、区域生态水文过程的效应; 不同修复措施下水分行为及其调控机制; 生态修复过程中物质迁移与养分循环。对土壤质量及侵蚀产沙的影响; 对植被演替及生物多样性影响; 对农村产业结构、经济和人文的影响、对全球变化的影响及响应; 以及环境效应的综合评价与预测。

参考文献:

- [1] 任海, 邬建国, 彭少麟. 生态系统健康的评估[J]. 热带地理, 2000, 20(4): 300-316.
- [2] 任海, 彭少麟. 恢复生态学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 14-23.
- [3] 章家恩, 徐琪. 恢复生态学研究的一些基本问题[J]. 应用生态学报, 1999, 10(1): 109-113.
- [4] 蔡建勤, 张长印, 等. 全国水土保持生态修复分区研究[J]. 中国水利, 2004(4): 46-48.
- [5] 焦居仁. 生态修复的探索与实践[J]. 中国水土保持, 2003(1): 10-12.
- [6] 王治国. 关于生态修复若干概念与问题的讨论[J]. 中国水土保持, 2003(10): 4-5.
- [7] 杜晓军, 等. 生态退化程度的诊断: 生态恢复的基础与前提[J]. 植物生态学报, 2003, 27(5): 700-708.
- [8] Guobin Liu, Soil conservation and sustainable agriculture on the Loess Plateau: challenges and prospective[J]. AMBIO, 1999, 128(8): 663-668.
- [9] 刘国彬, 胡维银, 许明祥. 黄土丘陵区小流域生态经济系统健康评价[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 44-49.
- [10] 王国良, 刘国彬, 周生路. 黄土高原干层形成概述[J]. 水土保持学报, 2003, 17(6): 156-159.

上接第 113 页

参考文献:

- [1] Anderson J M, et al. A study of the roughness effects of multiple windbreak[J]. Boundary Layer Meteorology, 1977(11): 187-203.
- [2] 曹新孙. 农田防护林学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985.
- [3] 刘静, 王林合, 崔学明, 等. 两种防护林蒸发效能和土壤蒸发的对比研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005(1): 20-25.
- [4] 张晋英. 半干旱风沙区农田防护林地功能及效益评价[J]. 山西林业科技, 1999(4): 28-31.

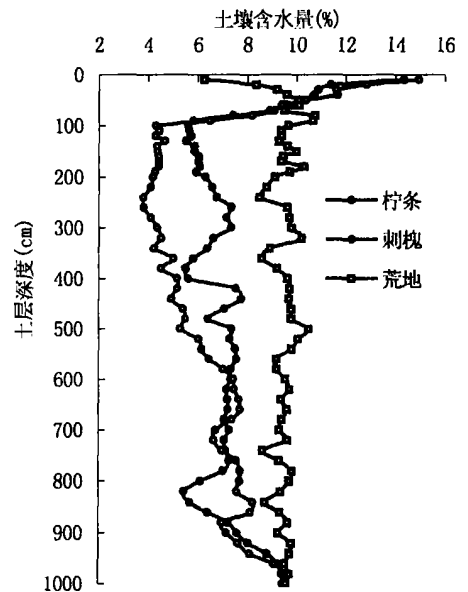


图 3 安塞刺槐、柠条林地土壤含水量