

我国北方农牧交错带气候对植被的影响  
——以宁夏盐池为例

卢晓杰, 张克斌, 李 瑞

(北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘 要: 为了解我国北方农牧交错带气候对植被的影响规律, 以宁夏盐池县为对象, 采用样方调查法进行植被调查, 并收集研究区降水、气温等气象资料。通过统计学方法对调查资料进行处理, 并结合多年的气象数据分析了宁夏盐池气候变化对各种植被参数的影响。结果表明: 在大时间尺度上, 气温与植被生长呈负相关; 在短期内, 植被生长与气温关系不很明显; 降水与盐池地区植被生长呈现明显的正相关, 是植被生长的主要限制因子; 降水的变化对植被的影响存在滞后效应, 主要体现在植被盖度、植被高度和生物量上。

关键词: 温度; 降水; 植被数量特征

中图分类号: S716. 3 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2007) 06-0188-04

Impact of Climate on Vegetation in Northern Agriculture and  
Animal Husbandry of Our Country Interlocks  
—Take Yanchi of Ningxia as an example

LU Xiaojie, ZHANG Ke-bin, LI Rui

(Soil and Water Conservation College, Beijing Forestry University, Key laboratory of Ministry of Education on Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to understand northern agriculture and animal husbandry of our country interlocks and takes the law of climate impact on vegetation, this literary grace uses one kind of square investigation methods to carry on the vegetation investigation in a kind of ground of fixing already laid, precipitation, temperature, etc. meteorological materials of studying area are collected. Engage in the survey materials to deal with foreign countries through the statistics method, combine the impact on various vegetation parameters of climatic change of salt pond of Ningxia of meteorological data analysis for many years, The result shows: On yardstick in great time, the temperature and vegetation grow and present and is defeated by relevantly. In a short time, it is not very obvious that the vegetation grows with the temperature relation; The precipitation and vegetation of salt pond district grow and present obvious positive correlation, it is a main restriction factor of growth of vegetation; The lagging effect exists in the impact on vegetation of change of precipitation, mainly reflect it on the amount of degree, vegetation height and living beings covered of the vegetation.

**Key words:** temperature; precipitation; vegetation quantity characteristic

关于气候与植被的关系, 国内外学者进行了深入的研究。20 世纪 90 年代以来, 以美国 NASA 和 NOAA 的地球观测系统( Earth Observation System, EOS) 计划所建立的探路者数据库(Pathfinder Data Sets) 为代表的全球土地覆盖数据库正在建立和完善多种空间分辨率、多时相的对地观测数据<sup>[1]</sup>, 包含了全球变化研究所需的若干地表特征值<sup>[2]</sup>; Nicholson 等<sup>[3]</sup> 在 1990 年研究了 NDVI 对降水的时间响应, 结果表明在季及年的时间尺度上 NDVI 与降水有很好的关系。后来 Schmidt 等<sup>[4]</sup> 对以色列的一个南北样带内不同植被带植被对降水的响应进行了研究, 结果也表明在过渡带 NDVI 对降水很敏感。在国内, 孙睿等<sup>[5]</sup> 分析了黄河流域植被覆盖动态变化与降水的关系; 张新时等<sup>[6-9]</sup> 在介绍几个国

际上流行的植被- 气候系统时, 讨论了中国植被的气候定量问题。此外, 陈昌笃<sup>[10]</sup> 还采用年降水量对我国的荒漠进行了划分, 李斌等<sup>[11]</sup> 用 CCA 排序结果表明: 在纬向上, 生态梯度中主要的制约因子是热量梯度和水分梯度, 水分因子是决定植被分布的最主要气候因子。在经向上, 热量梯度是决定植被经向性分布的最主要气候因子。但是在小尺度研究上, 这种规律并不明显。目前在小空间尺度上国内外对气候与植被参数的直接对应关系研究较少。盐池地区属干旱半干旱农牧交错带, 温度和降水是影响自然植被生长的最主要限制因子<sup>[12]</sup>。本文在小空间尺度上结合大小时间尺度两个层次, 通过年际与年内变化两个方面, 利用多年的观测数据, 阐明了宁夏盐池地区温度和降水变化与植被高度、生物量等植

\*收稿日期: 2006-12-19  
基金项目: “十五” 国家科技攻关项目( 2005BA517A04, 2005BA517A07); 国家林业局项目( 盐池荒漠化定位监测 660550)  
作者简介: 卢晓杰( 1982- ), 男, 硕士在读, 主要从事荒漠化防治与监测研究。  
通信作者: 张克斌, 博士, 主要从事荒漠化防治与监测及干旱区环境管理研究。

被参数的对应关系。研究结果对于估计我国农牧交错区气候对植被的影响程度,以及采取人工措施恢复生态脆弱区的植被都具有参考价值。

1 研究区概况

盐池县位于宁夏东部,地理坐标为北纬 37°04′–38°10′,东经 106°30′–107°41′。盐池县北与毛乌素沙地相连,南靠黄土高原,在地理位置上属于一个典型的过渡地带。即自南向北地形上是从黄土高原向鄂尔多斯台地(沙地)过渡地带,在气候上是从半干旱区向干旱区的过渡地带,在植被上是从干草原向荒漠的过渡地带,在资源利用上是从农区向牧区过渡地带。这种地理上的过渡性造成了本县自然条件资源的多样性和脆弱性特点。

盐池县植被在区系上属于亚欧草原区亚洲中部亚区——中国中部草原区的过渡带。共有种子植物 331 种,分属 57 科,221 属。植被类型有灌丛、草原、草甸、沙地植被和荒漠植被。其中灌丛、草原、沙地植被数量较大,分布也广。由于该县地理位置和诸多自然因素的过渡性特点,植被类型也显示出自南而北逐渐演替和互相交错的过渡性特点。该县属于典型中温带大陆性气候。干旱少雨、风大沙多、蒸发强烈、日照充足是本县气候的几大特点。该县年平均降水 250~350 mm,从南向北,从东南向西北递减。在降水时间的分配上,80% 以上的降水量分布于 5–9 月,其中 7–9 月又占年降雨的 60% 以上。春季降水偏少(占年降水的 10%~15%)。中温带和干旱半干旱的气候条件,决定了该县的自然景观为温带草原和荒漠草原。

2 研究方法

2.1 固定样地设置

依据《全国沙化典型地区定位监测技术方案》、《退耕还林效益监测实施方案》和盐池县自然条件特点、土地利用类型分布等因素,同时,为了比较不同年份不同土地利用类型的植被

参数,分别选择天然草场、流动沙丘近旁、撂荒地、人工封育区、退耕还林地等不同土地利用类型,设置固定样地。所设固定样地(样方)包括当地主要土地利用类型,并选择植被分布均匀的地段作为样地。每一块样地代表一种土地利用类型或沙化土地类型。样地规格 200 m×200 m。采用 GPS 定位,并在地面布设永久性标记,样区中心打水泥桩,必要时可采用铁丝围栏,所有指标的采样和测定同步进行。

2.2 植被调查

在已布设的固定样地内,随机布设 1 m×1 m 样方(考虑到所调查的多属草本植物),每块样地 4~5 个重复,进行实地调查。调查时间为每年的 6–8 月(植物生长季节),调查内容包括:群落的名称、多度、密度、盖度、高度、生物量(鲜重)等。

2.3 气象资料收集

气象资料来源于国家气象局气象共享网站及盐池县气象站。以往气象资料主要从当地气象站收集,主要因子包括:降水、温度及各种灾害性天气。

3 结果分析

植被与气候之间的相互作用主要表现在 2 个方面:植被对气候的适应性与植被对气候的反馈作用。不同的植被类型通过影响植被与大气之间的物质和能量交换来影响气候,改变的气候又通过大气与植被之间的物质和能量的交换作用对植被的生长产生影响,最终可能导致植被类型的变化<sup>[13]</sup>。但在小尺度研究层面上,特别是在我国北方农牧交错带,植被对气候的反馈作用并不明显,本文在区域小尺度层面上着重分析气候对植被的影响。

3.1 盐池县近 50 a 气候变化及其对植被的影响

根据盐池县气象资料,年降水量波动较大,1954–1964 年达到 333.48 mm,随后下降,到 1990 年代又呈现上升趋势,年均温度呈现规律变化,逐年升高,比 1954–1964 年段增加 1.83℃,年大风日数则逐年减少。

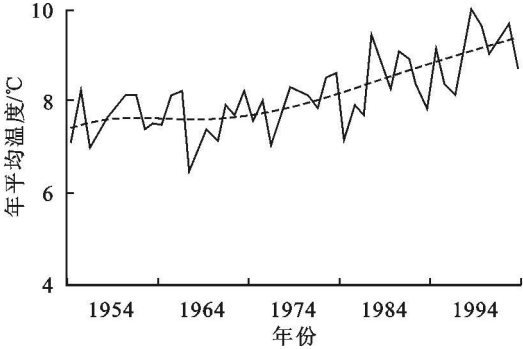


图 1 盐池县历年平均温度及其拟合趋势线

有研究表明:只有合理的水热条件的配比才能够满足植物生长的需要<sup>[14]</sup>。温度变化对植被的影响在短期内主要表现在功能上的变化,在较长的时间尺度上,其影响不仅局限在功能上,而更重要的是在组成和格局上<sup>[15]</sup>。从盐池县近 50 a 的年均温度变化(图 1)可以看出,近 20 多年来盐池县年均温度出现了一个显著上升的趋势,从 70 年代中期以来,特别是近 10 a 来,气温明显上升。增温对土壤干燥化加剧的影响是深刻的,进而抑制了地表生物量的增长,因此,从总体上使土壤荒漠化加剧。对荒漠草原来说,在其他气候条件一定时,在增温的条件下,植被生长要消耗贮存在土壤中更

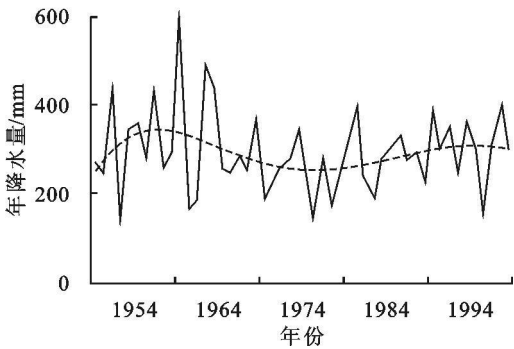


图 2 盐池县历年平均降水量及其拟合趋势线

多的水分<sup>[16]</sup>。可以说在过去的 40 a 内如果其它气候因子没有明显变化,温度作为一个主要气候因子使该地区逐渐变干,造成一些天然群落里的中生植物向旱生或超旱生植物过渡以及原有人工植被的衰退。以盐池县占据面积最大的中部草原为例,其植被退化演替序列呈如下变化趋势:

针茅–胡枝子型→禾草–杂草型→苦豆子→杂草–禾草型→老瓜头–根茎禾草型。

对盐池县 50 a(1954–2005 年)降水资料(图 2)的分析表明,盐池县 1954 年以来,多年平均降雨量为 287.5 mm,最大值(418.8 mm,1961 年)是最小值(144.5 mm,1966 年)2.9

倍, 变差系数达  $C_v = 0.287$ , 而且存在“三年两头旱”特点, 即基本上是丰水年前、后 1~2 a 出现极端干旱年。降雨是当地土壤水分的惟一来源, 并且天然植被恢复与年降雨量之间有一个时间差, 导致多年生抗逆性差的植物种生长不良或繁衍速度受到限制, 质量不高抗逆性强的植物种成为当地地带性植被的建群种, 呈现荒漠草原景观。同时连续干旱也导致一部分 1 a 生优良牧草失去种源使得恢复速度减缓, 群落组成单一, 在适合生长该植物的地方被当地抗逆性强、品质较差的植物种代替。盐池县降水量另一个明显的特征是 1954 年以来每 7 a 的时段平均降水量呈现有规律的变化, 在 1975~1981 年达到最小值 223.96 mm。经过这一阶段的连续大旱, 加之人为过度干扰及常年连续升温, 导致盐池县 20 世纪 80 年代生态环境极其恶劣, 植被低矮稀疏, 草原严重退化、沙化。

3.2 盐池县 2002–2005 年植被数量特征值动态分析

表 1 及图 3 为 5 种具有代表性的样地类型(沙丘近旁、撂荒地、退耕还林地、人工封育区和天然草场)植被数量特征值动态变化情况(上述 5 种样地平均值)。

表 1 2002–2005 年盐池县植被数量特征参数

年份	株数/ m <sup>2</sup>	植被 盖度/%	植被 高度/cm	生物量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )
2002	330	67	15	4096.6
2003	255	69	19.6	4189.8
2004	183	60.6	17	4485.4
2005	92	36.4	14	2688.8

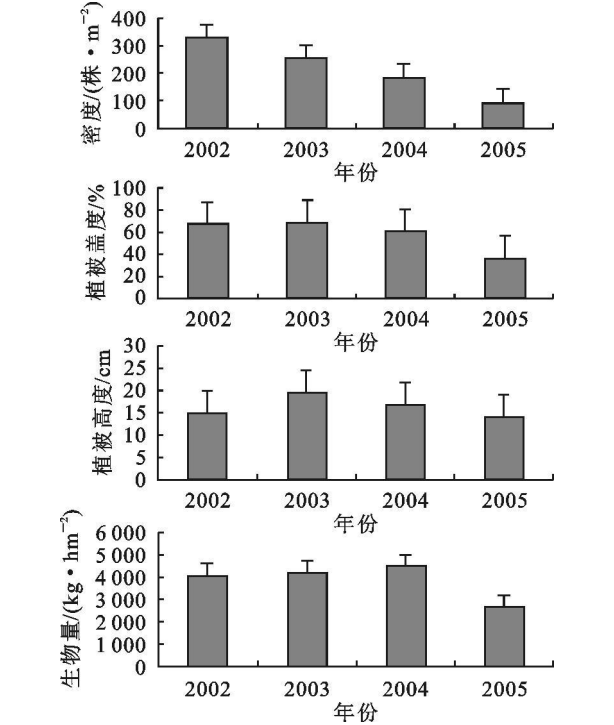


图 3 2002–2005 年盐池县植被数量特征变化

从表 1 可以看出, 2002 年和 2003 年是植被生长状况较好的两年, 特别是 2003 年, 植被盖度及高度明显高于其它年份。2004 年的生物量是 4 a 中的最高值, 植被盖度仅比 2002 年最高值减少 6.4%。2005 年是植被生长状况最差的一年, 植被密度、植被盖度、植被高度及生物量均处于 4 a 中最

低。其中植被密度仅是 2002 年的 27.9%, 占 2003 年的 36.1%。植被盖度比 2002 年减少 30.6%, 比 2004 年减少 24.2%。生物量仅占 2004 年的 59.9%。

由图 3 可知, 植被密度 4 a 中变化明显, 几乎呈直线下降趋势; 植被盖度的变化总体上呈下降趋势, 仅 2003 年出现一个突出值; 从植被高度的变化趋势看, 2002 年的起点较低, 由 2003 年起植被高度开始出现下降趋势; 生物量的变化有所不同, 以 2004 年为转折点出现先上升后下降的趋势。4 条曲线都以 2005 年的最低点结束, 表现出 2005 年生态环境受外界因子干扰强烈, 植被退化严重。

3.3 北方农牧交错带降水因素对植被动态的影响

总体上讲, 最近几年盐池气温变化平缓, 年均温及植被生长季节均温分别在 8.8℃和 21.6℃左右变化并呈轻微下降趋势, 这与长时间尺度的温度变化有所不同, 与植被变化曲线的对应性也不很明显。由于盐池地区  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温均在 3 200℃以上, 完全能够满足植物生长需要, 而且因降水不足, 很好地光热条件都被浪费掉了, 所以近年来气温不是植被生长的主要限制因素, 现仅拿降水因素做重点分析。

3.3.1 研究区 2002–2005 年降水特征分析

本研究区域属于干旱、半干旱过渡区域, 降水量相对不足。该区域多年平均降水量合计仅为 287.5 mm, 而且降水的年际年内变率都比较大。表 2 及图 4 列出了盐池县多年平均降水量以及 2002–2005 年实际降水状况。由于植被调查月份为 7–8 月, 考虑到 6 月的降雨对 7 月份植被生长的影响, 选择 6–8 月作为降水调查月份。从中可以看出, 对于盐池县而言, 2002 年和 2003 年是明显的丰水年, 特别是 2002 年为典型丰水年。2002 年全年降水量比多年降水量平均值多 111.6 mm, 高出多年平均值 38.8%, 6–8 月降水量比同期多年平均值多 42.8 mm, 高出多年平均值 26.9%。2003 年全年降水量比多年降水量平均值多 14.6 mm, 高出多年平均值 51%, 6–8 月降水量比同期多年平均降水量高出 6.8 mm。2004 年降水量总量较低, 但 6–8 月降水量较高, 比同期多年平均降水量增加了 31 mm。2005 年年降雨量最低, 少于多年平均降雨量 92.8 mm。从图 4 以明显看出 2004 年、2005 年盐池县出现了严重的大旱, 两条变化曲线呈显著下降趋势, 仅 2004 年 6–8 月降水出现一点波折。

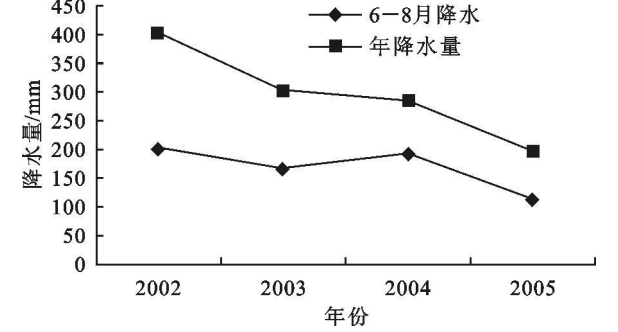


图 4 2002–2005 年植物生长季节降水量及年降水量

3.3.2 降水变化对植被的影响

由表 3 可以看出, 经过相关性分析, 除植被高度外, 降水与植被密度、盖度和生物量的相关系数基本在 0.8 以上, 说明降水与植被生长关系密切。特别是年降水量与植被密度的相关系数高达 0.97, 在变化曲线(图 5)上表现为高度一致

性,都呈显著下降趋势。归其原因,从 4 月底种子萌发期开始,在植被生长期内的降水都会对其产生影响,期间的降水量多少直接影响种子萌发的数量,因而植被密度与年降水量呈明显正相关。

表 2 2002– 2005 年植被生长季节降水量及年降水量

2002 年		2003 年		2004 年		2005 年		多年平均	
6– 8 月降水	年降水量	6– 8 月降水	年降水量	6– 8 月降水	年降水量	6– 8 月降水	年降水量	6– 8 月降水	年降水量
201.8	399.8	165.8	302.1	190	283	109.9	194.7	159	287.5

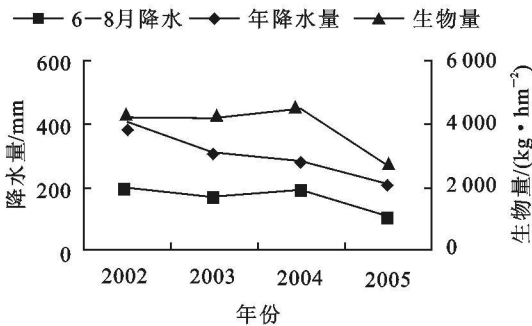
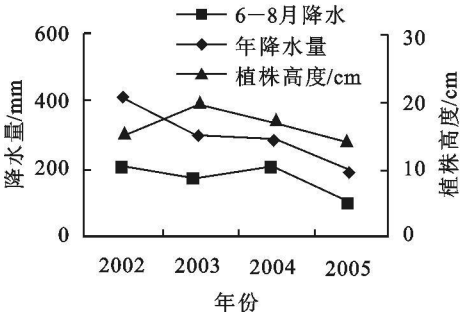
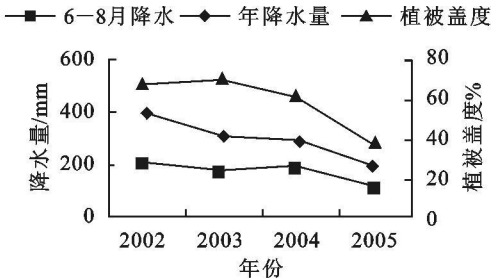
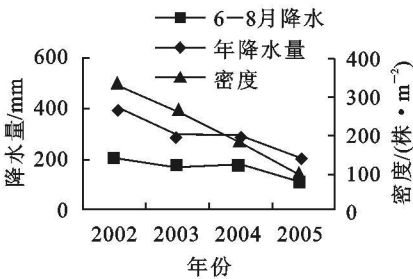


图 5 2002– 2005 年研究区降水与植被数量特征变化趋势

由植被盖度、高度变化曲线与降水变化曲线对比分析得出:植被盖度和高度的变化趋势与年降水的趋势线相似但存在滞后现象,2002 年植被高度因受前期降水影响而低于 2003 年的水平,2003 年因受 2002 年降水影响,土壤水分积累充足,植被高度明显好于其他年份,2004 年和 2005 年情况以此类推,因而植被高度虽与当年降水相关性不强,却与降水积累有着密切关系。同样,生物量的变化特征也部分受降雨滞后效应的影响而表现出 2002 年生长状况不如 2003 年的情况。分析其原因,盐池沙地降水多集中在 7~ 9 月,这一时期降水量是一年中最为丰富的,应对植物的生长是最有利的,然而事实上并非如此,由于盐池沙地的植被多数是 1 a 生沙生植物,雨季时,很多沙生植物的生长季已经过去,即这些沙生植物的生长并不是很旺盛,而是开始处于枯竭凋萎阶段,所以当年降雨量对这些植物的生长作用已不是很大,降水积累于土壤中,反而对下一年的植被生长起作用,这种现象称之为降水滞后现象。

植被除了受降水的年际变化影响以外,也受降水年内分配的影响。由图 5 中降水与生物量变化可以看出,生物量变化趋势与 6– 8 月降水量变化趋势相似,两者相关系数很高。2004 年 6– 8 月的降水量明显高于与其相临的前后两年,而 2004 年的生物量也相应的高于前后两年,2 条曲线存在着极强的相似性。这说明很多沙生植物种类对降水敏感性很强,一场透雨过后,这些植物因水分条件不足而无法发芽的种子会借着降水破芽出土,迅速生长,尽可能多地积累生物量,以更多的利用降雨带来的土壤水分,抵抗干旱的气候条件。而且,由于研究区植被处于恢复阶段,1 a 生植物种群大量生长,它们的生长期往往围绕在降雨期的周围,生长周期短,发育速度快,藉着几场降水就可以完成发芽、发育、成熟的生命周期,

以适应长期干旱的生态环境。2005 年是极端干旱年,植被盖度和生物量等植被参数都处于曲线的最低点,很明显的反映出盐池地区植被生长对降水的依赖程度。

另外,在对比分析中出现的一些不规则情况说明植被生长同样受其他因素的影响,特别是人为干扰不容忽视。在以后气候、植被关系研究中既应考虑人类活动对植被的负面影响,又应考虑人类活动对改善植被的正面影响<sup>[17]</sup>。由于耗水量上的差异,有人认为,在干旱、半干旱荒漠草原及其退化地区,种草是生态建设的最佳和唯一的选择<sup>[18]</sup>。笔者认为,考虑到低耗水及生态多样性等因素,可采用人工封育与人工种植灌草相结合的方式恢复当地植被,具体措施可根据当地实际情况,宜封则封,宜种则种。

表 3 2002– 2005 年降水与植被数量特征相关系数

相关系数	密度	盖度	高度	生物量
6– 8 月降水	0.82	0.87	0.32	0.90
年降水	0.97	0.83	0.18	0.67

4 结 论

(1) 盐池地区在大时间尺度上,气温与植被生长呈负相关。近 20 a 来盐池地区气温明显升高,增温对土壤干燥化加剧影响深刻,导致植被向旱生群落发展。

(2) 在短期内,植被生长与气温关系不很明显。盐池地区最近几年气温变化趋势与大时间尺度上的变化有所不同,短期温度不是植被生长的限制因子。

(3) 降水与盐池地区植被生长呈现明显的正相关,是植被生长的主要限制因子。盐池地区长期的降水稀少决定了植被的旱生群落特性,降水的短期变化直接导致植被覆盖度、生物量等植被参数的变化。

3 种不同植被恢复林地土壤有机质含量均为土壤表层大于下层,在林地表层,土壤有机质含量基本在 2006 年 3 月最低,这是因为在 3 月时雨量极少,温度低,地上凋落物少,不利于土壤动物和微生物的分解。土壤非毛管孔隙度、土壤 pH 值对土壤有效磷均有显著的负相关关系,土壤湿度对土壤有效磷有着极显著的负相关关系,土壤有机质含量与土壤有效磷有着极显著的正相关关系,通过土壤有机质含量可以评价退化地恢复后土壤有效磷的供应状况。

3 种不同植被恢复林地土壤全磷与有效磷含量的大小顺序基本为刺槐林> 混交林> 湿地松,这与刺槐是一种落叶阔叶树种,其凋落物易分解,磷素可得到及时的释放和归还,且该林分灌草种类多,凋落物丰富,林地土壤石砾多有关,而湿地松林地树种单一,地上凋落物常被当地农户收集垫家畜、家禽圈用,导致磷素养分的流失。这也说明了阔叶树种较针叶树种有利于磷素的富集,但在刺槐林地地表径流水中的磷素浓度高,充分证实了正确选择树种与栽培模式对退化地的恢复、水土保持与水源涵养有重要的作用。

本研究中所涉及的混交林目前由于受人为干扰(砍柴、放牧等)强度大,土壤磷素含量不及刺槐林高,但是从长远看,因为它较湿地松纯林与刺槐纯林能更好地改善土壤结构,提高土壤有机质的含量,从而会更好地有利于水土保持与涵养水源。因此,在川北地上暴雨区退化地的植被恢复过程中,应该以人工林为主,并引进阔叶树种和乡土树种,营造

乔- 灌- 草复层针阔混交林,并辅之封禁治理措施,以期达到生态效益、经济效益与社会效益的可持续发展。

参考文献:

[1] 赵琼,曾德慧. 陆地生态系统磷素循环及其影响因素[J]. 植物生态学报,2005,29(1): 153- 163.

[2] 莫江明. 鼎湖山退化马尾松林、混交林和季风常绿阔叶林土壤全磷和有效磷的比较[J]. 广西植物, 2005, 25(2): 186- 192.

[3] 王海英,宫渊波,等. 不同植被模式下土壤微生物及酶活性的比较: 以嘉陵江上游地区为例[J]. 长江流域资源与环境,2006,15(2): 201- 206.

[4] Sanyal S K, De Datta S K. Chemistry of phosphorus transformations in soil[J]. Advances in Soil Science, 1991, 16: 1- 12.

[5] Lajtha K, Schlesinger W H. The biochemistry of phosphorus cycling and phosphorus availability along a desert soil chronosequence[J]. Ecology, 1998, 69: 24- 39.

[6] Kellogg L E, Bridgham S D. Phosphorus retention and movement across an ombrotrophic-minerotrophic peatland gradient [J]. Biogeochemistry, 2003, 299- 315.

[7] Gahoonia T S, Nielsen N E. The effect of root-induced pH changes on the depletion of inorganic and organic phosphorus in the rhizosphere[J]. Plant and soil, 1992, 143: 185- 191.

(上接第 191 页)

(4) 降水的变化对植被的影响存在滞后效应,主要体现在植被盖度、植被高度和生物量上。

从所得到的气候、植被关系分析得出,盐池地区不适合大面积植树造林。从低耗水和生物多样性考虑,建议采用人工封育与人工种植灌草相结合的方式恢复当地植被。考虑到植被生长和更新,人工封育可采用植被生长季及降水旺季封育、其他季节开放的政策执行。

参考文献:

[1] Townshnd J R G. Global data sets for land applications from the Advance Very High Resolution Radiometer: an introduction [J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(17): 3319- 3332.

[2] James M E, Kalluri S N V. The Pathfinder AVHRR land data set: An improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring[J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(17): 3347- 3363.

[3] Nicholson S F, Davenport M L, Malo A R. A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa. using NDVI from NOAA AVHRR [J]. Climatic Change, 1990, 17: 209- 241.

[4] Schmltdt H, Gltelson A. Temporal and spatial vegetation cover changes in Israeli ransition zone: AVHRR-basedassessment of rainfall impact [J]. Int. J. Remote Sensing, 2000, 21: 997- 1010.

[5] 孙睿,刘昌明,朱启疆. 黄河流域植被覆盖动态变化与降水的关系[J]. 地理学报, 2001, 56(6): 667- 672.

[6] 张新时,杨莫安,倪文革. 植被 PE(可能蒸散) 指标与植被

- 气候分类(三): 几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17(2): 97- 109.

[7] 张新时. 植被 PE(可能蒸散) 指标与植被- 气候分类(一): 几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 1(13): 1- 9.

[8] 张新时. 植被 PE(可能蒸散) 指标与植被- 气候分类(二): 几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13(3): 197- 207.

[9] 张新时. 研究全球变化的植被- 气候分类系统[J]. 第四纪研究, 1993(2): 157- 169.

[10] 陈昌笃. 中国荒漠的主要类型与经济开发[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1987, 11(2): 81- 91.

[11] 李斌,张金屯. 基于 GIS 的黄土高原地区植被与气候关系研究[J]. 环境科学与技术, 2003, 26(5): 25- 26, 42.

[12] 孙睿,等. 黄河流域植被覆盖度动态变化与降水的关系[J]. 地理学报, 2001, 56(6): 667- 672.

[13] 杨正宇,等. 4 常用的气候- 植被分类模型对中国植被分类模拟的比较研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(5): 587- 593.

[14] 李晓兵,等. 气候变化对中国北方荒漠草原植被的影响[J]. 地球科学进展, 2002, 17(2): 254- 261.

[15] 齐晔,等. 北半球高纬度地区气候变化对植被的影响途径和机制[J]. 生态学报, 1999, 19(4): 474- 477.

[16] 史培军,李晓兵,等. 利用“3S”技术检验我国北方气候变化的植被响应[J]. 第四纪研究, 2000, 20(3): 220- 228.

[17] 王连喜,等. 气候变化和植被关系研究方法探讨[J]. 生态学杂志, 2003, 22(1): 43- 48.

[18] 闵庆文,余卫东. 从降水资源看黄土高原地区的植被生态建设[J]. 水土保持研究, 2002, 9(3): 109- 117.