

黄土丘陵沟壑区三种不同植被土壤水分动态及蒸散耗水规律研究^{*}

朱德兰¹, 杨涛^{1,2}, 王得祥³, 蔺雨阳¹, 钱红格¹, 周金星⁴

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 陕西省治沙研究所, 陕西 榆林 719000; 3. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 4. 中国林业科学研究院 林业研究所 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091)

摘 要:通过连续 5 a 定点观测流域土壤水分、气象要素等资料, 利用水量供求平衡原理, 分析了该区域 3 种不同植被类型阶段储水量、耗水量和耗水规律。结果表明: 天然次生林年耗水量最少, 为 487.8 mm, 玉米次之, 为 519.65 mm; 苹果最大, 为 540.7 mm; 从不同类型土壤储水量分析表明: 在阴坡生长的天然次生林处于充分供水状态, 年耗水量稳定在 500 mm 左右; 而玉米和苹果树全生育期内大部分月份都处在土壤水分亏缺状态, 耗水量年变差较大, 其年最大耗水量之差分别达 240 mm 和 140.7 mm, 当作物在土壤水分亏缺状态下生长时耗水量较小; 年耗水量与当年降雨量关系不显著, 而与降雨时间分布较为密切。

关键词:黄土丘陵沟壑区; 植被类型; 耗水规律; 土壤储水量

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)01-0008-05

Study on Soil Water Dynamic and the Evapotranspiration of Three Different Vegetation in the Loess Hilly and Gully Region

ZHU De-lan¹, YANG Tao^{1,2}, WANG De-xiang³, LIN Yu-yang¹, QIAO Hong-ge¹, ZHOU Jin-xing⁴

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute for Control Sand of Shaanxi Province, Yulin, Shaanxi 719000, China; 3. College of Forestry, Northwest A & F University Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: The located observation on soil moisture dynamics and analysis the characteristics of water consumption rhythm under three kinds of vegetations in five years show that annual water consumption of nature forestry, maize and apple tree are 487.8 mm, 519.65 mm and 540.7 mm respectively. Analyzing the water accumulating capacity under three kinds of vegetation showed that the nature forestry of shaded hillside grew in the condition of sufficient soil moisture and every annual water requirement is steady with about 500 mm. Apple tree and maize grew in the condition of shortage soil moisture in the almost every month, which difference of annual water requirement is very large, the variation of water accumulating capacity the nature forestry and maize are 240 mm and 140.7 mm respectively. The crop growing of shortage soil moisture, the annual water consumption is small. The relationship between annual water consumption and rainfall is not significant. But the relationship between annual water consumption and rainfall distribution is closer.

Key words: the Loess hilly and gully region; vegetation types; water consumption rhythm; water accumulating capacity

^{*} 收稿日期: 2008-10-18

基金项目: 国家自然科学基金(30671721); 西北农林科技大学人才支持计划“退耕还林工程效应评价及林草植被自我维持机制研究”; 西北农林科技大学“青年学术骨干支持计划”

作者简介: 朱德兰(1969-), 女, 青海乐都人, 博士, 教授, 主要从事水资源高效利用方面的研究。E-mail: DLzhu@126.com

通信作者: 王得祥(1966-), 青海乐都人, 男, 博士, 教授, 主要从事森林生态和森林可持续经营的的教学和研究。E-mail: wangdx66@126.com

黄土高原生态环境的恢复重建已经成为我国一项跨世纪的战略任务,土壤水分是植物生长的主要生态因子之一,而水分又是制约植被恢复与重建以及农业和林业发展的首要因素,它通常受降水、地下水、地形(地貌类型、坡向以及海拔高度)、土-气交界面的温度梯度以及植被蒸腾等自然因素的影响^[1]。由于全球气候变暖,地下水位的下降,所以现在比任何时候都迫切需要进行“植被与水相互关系”的基础研究^[2-5]。不同植被类型对于陆地生态系统的水分循环具有重要的调节作用。只有研究不同植被土壤水分生态效应,掌握土壤水分动态变化,能及时采取相应措施指导黄土高原植被恢复重建,促进黄土高原的农业发展^[6]。国内众多学者针对黄土高原不同植被土壤水分生态效应进行了大量的研究工作。徐化成和易宗文分析了土壤水分季节变化与林木生长之间的关系^[7]。20 世纪 80 年代以来,侯喜禄等分析了土壤状况与造林成活率的关系^[8];90 年代末,王孟本、黄明斌、康绍忠、李玉山等研究了森林系统中水分动态及环境演变^[9-10];李凯荣、马玉玺等对刺槐的蒸腾特征进行了研究,认为刺槐的蒸散是林地上土壤水分支出的主要形式^[11-13];侯庆春、韩蕊莲等人从林学角度出发,对土壤水分和树木生长等进行了综合调查研究。20 世纪后初,国内外学者对土壤水量平衡及水分动态分布进行了更为系统的研究;王军等系统分析了黄土丘陵沟壑区土地在不同利用方式下的土壤水分变化规律^[14]。李建洪指出蒸散作用使林地土壤水分不断向大气逸散,同时降雨使土壤含水率升高,从而引起土壤水分的垂直变化、季节变化和年际变化^[15]。陈云明、原焕英等研究了黄土高原人工林土壤水分效应特征,得出不同植被地带的人工林均存在一定的水分亏缺和干化层现象^[15-16]。茹桃勤从苗木、单株、林分 3 个层面对刺槐林的耗水特性进行研究^[17]。李艳梅、王克勤等进行了人工植被土壤水分状况与动态研究^[18]。余新晓、陈丽华等人对黄土地区防护林生态系统水量平衡进行了研究^[19]。赵名茶研究了黄土高原降水的季节性指标及其与作物水分亏缺的关系^[20]。邱扬、傅伯杰、王军等从不同时间、地点和土层对土壤水分时空变异及其与环境因子的关系进行了研究^[21]。本文基于对流域土壤水分动态变化定点监测的基础上,系统分析了不同立地条件下不同植被土壤水分分布特点及亏缺程度,并提出黄土丘陵沟壑区不同植被生存和生长的耗水规律,为黄土高原植被恢复重建工程中不同植被类型耗水特性提供科学的理论依据。

1 研究区自然概况

研究区位于延安市宝塔区,属于陕北黄土高原中部,是典型的黄土丘陵区,区内沟壑纵横梁峁起伏,地面割裂度大,河谷面积占流域面积的 50% 以上。宝塔区全区土地面积 354 068.73 hm²,其中耕地面积 94 228.13 hm²,占全区总土地面积的 26.6%,园地面积 15 452.93 hm²,占 4.4%,林地面积 156 762.26 hm²,占 44.3%,牧草地面积 72 737.87 hm²,占 20.5%,城镇、交通占地 2.5%,水域占地 0.9%,荒地 0.8%。区内土地利用现状的特点是农田以台川地为主,有零散坡耕地,果园主要分布在梁峁顶部和梁峁坡上,天然林以阴坡为主,牧草地在各种类型上均有分布,但以阳坡居多。该区多年平均降雨量 550.0 mm,其中平水年(50%)570.0 mm,偏枯年(75%)440.0 mm,枯水年(95%)360.0 mm。

2 研究方法

2.1 试验设计

依据流域立地类型和土地利用特点,从 2001 年 4 月开始分别在不同坡向、坡位和植被类型进行了土壤水分的观测。即在阳坡(苹果园)、阴坡(天然次生林)、半阴半阳坡(苹果园)以及天然环草地的上、中、下不同部位,川地(川地宽度 20 m)玉米地内、中、外侧,阳坡窄式梯田(果园)内、外侧布设了 17 个土壤水分观测点进行定点观测。

2.2 测定项目

(1)土壤含水量监测。土壤水分测定深度 200 cm,每隔 20 cm 为一层,共分为 10 层。0 - 20 cm 土壤水分采用烘干法测定,20 - 200 cm 的土壤水分测定采用 CPN - 503 探头式中子土壤水分仪测定;标定中子仪时将中子仪读数标定成重量含水量。每月 1 日、15 日测定,降雨前后加测。

(2)降水量测定。降水量测定采用普通雨量计和自记雨量计相结合的方法进行观测。

2.3 计算方法

土壤水分储量,按式(1)计算。

$$W_i = 10 w_e \cdot r_i \cdot h_i \quad (1)$$

式中: W_i ——第 i 层土壤水分储量(mm); w_e ——第 i 层土壤重量含水量(%); r_i ——第 i 层土壤干容重(g/cm³); h_i ——第 i 层土壤的厚度(20 cm)。

植被阶段耗水量利用水量平衡方程计算,如式(2)。

$$ET = (W_0 - W_e) + M + P_0 + K - D \quad (2)$$

式中: ET ——植被耗水量(mm); W_0, W_e ——阶段初、阶段末 2 m 土层的土壤储水量(mm); M ——灌

水量(mm); P_0 ——有效降雨量(mm); K ——地下水供给(mm); D ——深层渗漏(mm); 由于该地区地下水埋藏在 40 m 以下,可忽略地下水供给,即 K 值取零;灌溉时计划湿润层为 60 cm,果树根系深达 1.5 m,故不会发生深层渗漏, D 取值为 0。

3 结果分析

3.1 果园耗水规律研究

研究区苹果栽植在 2 m 宽窄式梯田内。在延安宝塔区飞马河选择当地具有代表性且有灌溉条件的苹果地,供试果树为 8 a 生红富士,株距 3.5 m,行距 4.5 m。基于 2001 年 11 月 - 2005 年 10 月的降雨量、土壤水分观测资料,利用水量平衡方程对其耗水量进行逐月计算。并分析其结果,得出苹果园内土壤水分动态变化及其蒸散耗水规律(见图 1, 2)。

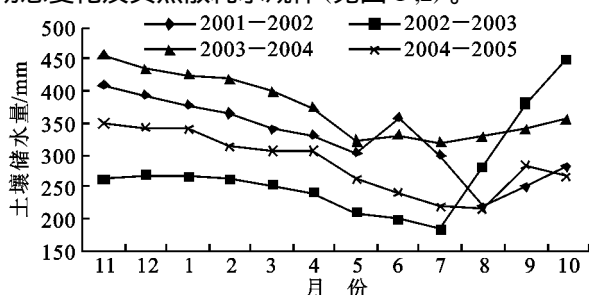


图1 苹果园年内土壤水分动态变化

由图 1 可以看出,苹果园土壤水分动态变化,整体上先减少后增大。从 11 月到次年 5 月为果树生长的前期,由于降水量较少,降水不能及时补充土壤水分的消耗,土壤储水量处于亏损状态,呈现下降趋势;6 - 10 月,是果树生长期和生长后期,由于有效降水量的增加,土壤储水量在不同程度上有所增加,但 2001 - 2002 年由于 6 - 8 月降水的减少土壤含水量也相应的降低。

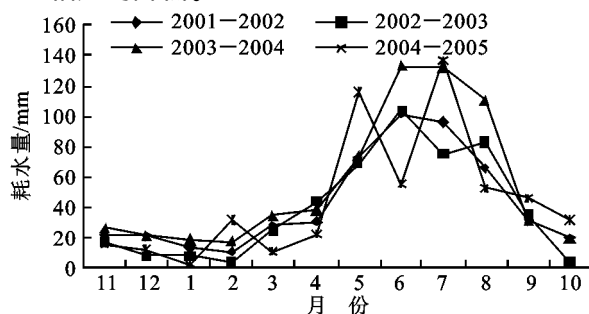


图2 苹果园年内耗水变化规律

由图 2 可以看出,从 11 月到次年 2 月果树生长的前期,由于气温较低,果园的棵间蒸发比较小,随着越冬期的来临,果树处于休眠状态,蒸腾耗水也达到最低,故其耗水量比较低。随着温度的升高和果树生长的加速,果园的棵间蒸发和果树随着生长而引起的植株蒸腾也在迅速增加,到 7 月,果树生长达

到高峰时,年内土壤水分消耗也随之达到高峰。后期,由于苹果的成熟,果树的耗水减少,10 月达到最低,2003 年仅为 3.8 mm。

苹果生长周期内全年平均耗水量为 540.7 mm。2001 - 2002 年度苹果生长初期,土壤初始储水量较高,而后期高达 500.8 mm 降水量使土壤储水量增加且变动幅度较大,主要是由于降水分布时间不均匀,年耗水量为 651.93 mm;从 2002 年 10 月(土壤储水量仅为 280 mm)到 2003 年 7 月,果树生长一直处于水分亏缺状态,耗水量较小,7 - 10 月降雨量增大,由于有效降水增加了土壤含水量,年降水量高达 645 mm,到 10 月底,土壤储水量达到 450 mm,果树全年耗水量仅为 475 mm;2003 - 2004 年度,果树生长初期,土壤储水量较大,耗水量较高,而在生长后期,其中 7 - 9 月三个月降水的均匀分布使土壤储水量变化不明显,虽有 411.9 mm 有效降水,但到 10 月底土壤储水量仅为 355.5 mm,果园的年耗水量达到 506.4 mm;2004 - 2005 年度,土壤初始储水量较低,后期较为均匀分布的降水使土壤储水量变化不明显,年内有效降水为 440.9 mm,年耗水量为 529.5 mm。

综上所述,由于降雨不足和年内分配不均,尤其是在生长旺盛季节,造成苹果生长水分的亏缺。因此,在该地区有必要采取相应的水分调控措施,才能满足苹果的生理需水。

3.2 玉米田耗水规律研究

试验研究区玉米均种植在宽度为 15 m 以上川道梯田中,选择梯田中部具有代表性的玉米田进行土壤水分观测,基于 2001 年 11 月到 2005 年 10 月的降雨量、土壤水分观测资料,利用水量平衡方程对其耗水量进行逐月计算。并分析其结果,得出玉米田的土壤水分动态变化及其蒸散耗水规律(见图 3, 4)。

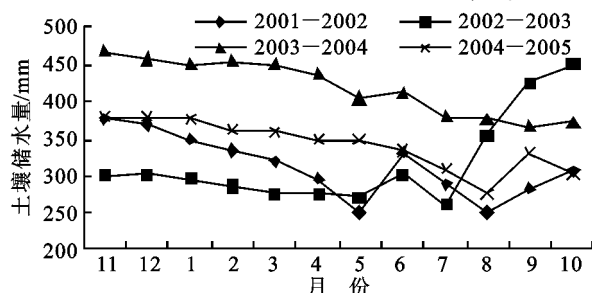


图3 玉米地年内土壤水分动态变化

从图 3 可以看出,玉米田的土壤水分年内变化为先减少后增加,但变化不明显。在春季播种前,由于降水量较少,降水量不能及时补充蒸散造成的土壤水分消耗,土壤储水量处于下降趋势;播种后到玉米抽穗期,随着玉米生长以及气温回升带来的玉米

地的耗水量增加,但在此阶段分配不均的有效降水不同程度的补充了土壤储水量,因而土壤储水量没有显著的变化,反而在 2003 年 6 - 10 月,由于集中的强有效降水使土壤储水量持续增加。

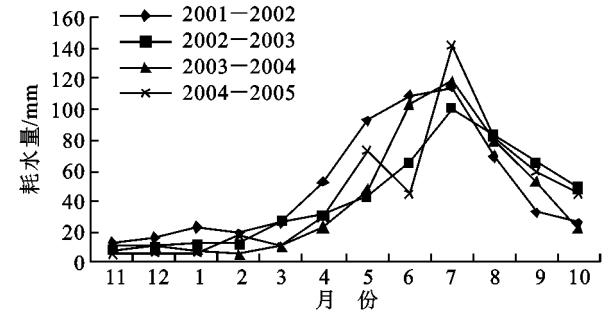


图 4 玉米地年内耗水变化规律

从图 4 可以看出,在春季播种前,由于气温低且没有植株蒸腾,仅以地面蒸发为主,其耗水量较小;播种后,随着气温升高和玉米生长,玉米田的棵间蒸发和植株蒸腾均在迅速增加,使玉米地的耗水量迅速增加,在 6 - 8 月达到年内耗水高峰,如 2005 年 7 月,月耗水量高达 142.6 mm。在后期,玉米成熟收获后,玉米田的耗水迅速减少,10 月降到最低,2004 年 10 月的耗水量仅 21.3 mm。

3.3 天然次生林耗水规律

次生林研究区位于飞马河阴坡地,建群种主要有辽东栎、山杨,伴生种有茶条槭,林下木有柔毛绣线菊、二色胡枝子等灌丛。坡上部植被稀少,郁闭度约为 0.6;坡中下部次生林的长势良好,郁闭度在 0.9 以上。选择植被长势良好的坡中部进行土壤水分观测,通过水量平衡方程对其耗水量进行逐月计算,并分析其结果得出天然次生林地的土壤水分动态变化及其耗水规律(见图 5、6)。

从图 5 可以看出,天然次生林的土壤储水量一直高于 60 % 的田间持水量(壤土的田间持水量一般在 18 % ~ 26 %) [24],所以次生林在充分供水条件下生长,因而各年耗水量变化相对稳定。土壤水分从 11 月到次年 5 月土壤储水量变化并不明显,后期由于降水量及降水时间分布不同使得土壤储水量有了较大的变化。

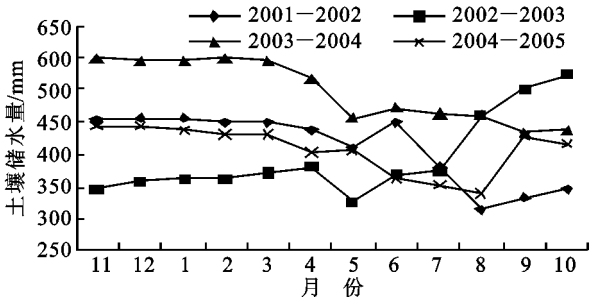


图 5 天然次生林年内土壤水分动态变化

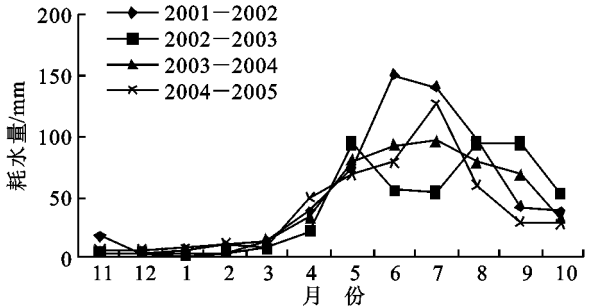


图 6 天然次生林年内耗水变化规律

从图 6 可以看出,次生林年内耗水变化从 11 月到次年 3 月,由于气温低,棵间蒸发较小。随着秋冬季节的到来,落叶使次生林的植株蒸腾耗水降低,故其耗水量比较低。春季后,随着气温的回升和林地植被的发芽生长,棵间蒸发和蒸腾也相应的迅速增加,在 6 - 7 月达到年内耗水高峰,2002 年 7 月耗水量达到 141 mm;进而随着气温逐渐降低,林地蒸腾减小,10 月降到最低,2005 年 10 月耗水量仅为 26.3 mm,年平均耗水量为 487.8 mm。

3.4 研究区降水量

降雨量采用普通雨量计和自记雨量计相结合的方法进行观测。从表 1 可知,研究区月平均降水量从 1 - 6 月呈递增趋势,6 月降水处于高峰期,7 - 9 月降水略有降低,但总体保持充足的降水。6 - 9 月也是植物生长最旺盛的阶段,需水、耗水均处于最高时期,充足有效的降水使得土壤含水量大幅度增加,有力的保证植物生长、结实的水分需求。但每年的降水并不完全一致,如 2005 年 6 月和 8 月的降水很低,而 7 月和 9 月较高。

表 1 2001 - 2005 年研究区有效降水量统计 mm

年 份	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	全年总降水量
2001 - 2002	5.0	4.5	3.5	2.9	9.8	27.0	44.8	191.4	71.4	29.6	61.4	49.5	500.8
2002 - 2003	0.0	15.0	3.0	1.1	15.9	29.8	39.6	94.1	60.0	177.9	134.8	73.8	645.0
2003 - 2004	26.5	0.0	1.4	6.9	6.9	4.9	17.4	110.0	86.3	73.6	43.0	35.0	411.9
2004 - 2005	10.1	4.0	0.0	4.4	4.2	21.4	69.9	33.6	115.7	48.2	116.3	13.1	440.9
平均降水量	10.4	5.9	2.0	3.8	9.2	20.8	42.9	107.3	83.4	82.3	88.9	42.9	499.7

4 结 论

通过对黄土高原丘陵沟壑区 3 种不同植被土壤水分的定点观测,分析其土壤水分的动态变化及蒸散耗水规律,从而得出以下几点结论:

(1)从苹果、玉米、天然次生林的耗水总量看,年平均耗水量苹果最大,为 540.7 mm;玉米次之,为 519.7 mm;天然次生林最少,为 487.8 mm。当苹果、玉米、天然次生林耗水量保持在该水平时,能够保证正常生长。

(2)从土壤储水量看,生长在阴坡的天然次生林处于充分供水状态,年耗水量稳定在 500 mm 左右,而苹果树和玉米在大部分月份都处在土壤水分亏缺状态下生长,当土壤水供应充足时,耗水量大,反之亦然。当作物处于非充分供水或降水分布不均时,会造成作物不同程度的水分亏缺,而土壤储水量能在一定程度上发挥水分调节作用。

(3)2002 - 2005 年度玉米生育期(4 - 9 月)耗水量分别为 465.6,386.2,423.1,431.1 mm,生育期降水量分别为 425.6,536.2,336.1,405.1 mm,平均耗水量为 426.5 mm。

综上所述,黄土丘陵沟壑区土壤水分含量、耗水量与当年的降雨时间及分布关系较为密切。由于降水不足和年内降水分布不均,造成不同植被土壤水分变化不同,尤其表现在植被生长的旺盛季节和结实期,苹果地土壤水分的亏缺尤为明显,相比之下天然次生林耗水量最小。主要原因在于苹果在结实期需要大量水分的消耗来合成碳水化合物和养分的输送,再加之果园地表覆盖物较少,造成地表水分因大量蒸发而损失;天然次生林由于本身生长环境以及地表枯枝落叶的覆盖减少了大量的地表蒸发,从而大大减少了土壤水分的无效损失。因此,为了确保苹果在全生育期内能够正常良好的发育生长,在该地区应具有针对性的推广科学的土壤水分调控技术,有利于当地水资源充分有效的利用和经济的可持续发展。

参考文献:

- [1] 程积民,万惠娥.中国黄土高原植被建设与水土保持[M].北京:中国林业出版社,2002.
- [2] 中国科学院黄土高原综合考察队.黄土高原地区植被资源及其合理利用[M].北京:中国科学技术出版社,1991.

- [3] 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[J].生态学报,1983,3(2):91-101.
- [4] 杨文治.黄土高原土壤水分状况分区与造林问题[J].水土保持通报,1981,1(2):13-19.
- [5] 杨新民,杨文治,马玉玺,等.纸坊沟流域人工刺槐林生长状况与土壤水分条件研究[J].水土保持研究,1994,1(3):31-42.
- [6] 吴钦孝,杨文治.黄土高原植被建设与持续发展[M].北京:科学出版社,1998.
- [7] 徐化成,易宗文.华北低山区土壤水分季节变化与林分生长关系[J].林业科学,1979,15(2):97-104.
- [8] 侯喜禄.实验区土壤水分动态与树种布设[J].水土保持通报,1985,5(4):9-12.
- [9] 黄明斌,康绍忠,李玉山.黄土高原沟壑区小流域水分环境演变[J].应用生态学报,1999,10(4):411-414.
- [10] 王孟本,李洪建.柠条林蒸腾状况与土壤水分动态研究[J].水土保持通报,1990,10(6):85-90.
- [11] 李凯荣.刺槐人工林地土壤水分下渗研究[J].西北林学院学报,1998,18(2):26-29.
- [12] 单长卷,梁宗锁,郝文芳.黄土高原刺槐林生长与土壤水分分析研究进展[J].西北植物学报,2003,23(8):1341-1346.
- [13] 杨新民,杨文治.黄土丘陵区人工林地土壤水分平衡初探[J].林业科学,1989,25(6):549-553.
- [14] 王军,傅伯杰.黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响[J].地理学报,2000,55(1):84-91.
- [15] 陈云明,刘国彬,杨勤科.黄土高原人工林土壤水分效应的地带性特征[J].自然资源学报,2004,19(2):195-200.
- [16] 原焕英,许喜明.黄土高原半干旱丘陵沟壑区人工林土壤水分动态研究[J].西北林学院学报,2004,19(2):5-8.
- [17] 茹桃勤,李吉跃,朱延林,等.刺槐耗水研究进展[J].水土保持研究,2005,12(2):135-140.
- [18] 李艳梅,王克勤.人工植被土壤水分状况与动态研究进展[J].西南林学院学报,2003,23(3):68-71.
- [19] 余新晓,陈丽华.黄土地区防护林生态系统水量平衡研究[J].生态学报,1996,16(3):238-245.
- [20] 赵名茶.黄土高原降水的季节性指标及其与作物水分亏缺的关系[J].自然资源学报,1990,14(3):218-228.
- [21] 邱扬,傅伯杰,王军,等.土壤水分时空变异及其与环境因子的关系[J].生态学杂志,2007,26(1):102-109.
- [22] 林大仪.土壤学[M].北京:中国林业出版社,2002.