

黄土丘陵区不同植被类型下土壤水分动态

赵传普¹, 徐学选^{1,2}, 高朝侠¹, 张少妮²

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: [目的] 探讨黄土丘陵区不同植被类型对土壤水环境分异规律的影响。[方法] 以陕西省延安市燕沟鸡蛋卵小流域 1997 年退耕建造的样板坡面为对象, 于 2009 年 4—10 月对其西坡面, 自坡顶向下分布的 7 种植被类型(苹果园、刺槐林、沙棘灌丛、柠条林、紫穗槐灌丛、荒草地、农地(谷子)), 采用土钻法每月中旬监测。[结果] 生长期(4—10 月)0—200 cm 深度平均土壤含水量大小呈现: 紫穗槐灌丛>荒草地>农地(谷子)>刺槐林>柠条林>沙棘灌丛>苹果园。不同植被类型下土壤水分垂直剖面分布有较大差异, 在浅层(0—40 cm), 恢复时段的紫穗槐灌丛、刺槐林下土壤含水量一般高于荒草地, 沙棘灌丛、农地(谷子)、苹果园土壤含水量低于荒草地; 在中层(40—120 cm), 荒草地土壤含水量最高, 苹果园含水量最低, 乔灌木地居中; 在深层(120—400 cm), 只有紫穗槐灌丛、农地(谷子)土壤含水量高于荒草地, 其他乔灌木地、苹果园含水量较低。[结论] 延安地区植被恢复的乔灌木土壤含水量以紫穗槐灌丛偏高, 柠条林、刺槐林、沙棘灌丛对深层土壤水分消耗较大, 不利于土壤水环境及其永续利用。

关键词: 黄土丘陵区; 土壤水分; 植被类型; 时空变异性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)01-0068-05

中图分类号: S157.2

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.013

Dynamics of Soil Moisture Under Different Vegetation Types in Loess Hilly Area

ZHAO Chuanpu¹, XU Xuexuan^{1,2}, GAO Zhaoxia¹, ZHANG Shaoni²

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] To determine the spatial and temporal dynamics of soil moisture under different vegetation types in loess hilly area. [Methods] We studied the typical slope which was built in Yangou watershed of Yan'an City, Shaanxi Province in 1997. The soil moisture content was measured using drilling method from April to October in 2009 under seven vegetations (apple orchard, *Robinia pseudoacacia* forest, *Hippophae rhamnoides* scrubland, *Caragana microphyllas* forest, *Amorpha fruticosa* scrubland, grassland, farmland with *Setaria talica*) in the middle of each month. [Results] The average soil moisture (0—200 cm) in growing season (April to October) was: *A. fruticosa* scrubland > grassland > farmland (*Setaria talica*) > *R. pseudoacacia* forest > *C. microphyllas* forest > *H. rhamnoides* scrubland > apple orchard. Soil moisture under different vegetation types was significantly different in the vertical profile. The soil moisture of *A. fruticosa* scrubland and *R. pseudoacacia* forest was generally higher than that of grassland. In 0—40 cm, the soil moisture in *H. rhamnoides* farmland and apple orchard was lower than that in grassland. In 40—120 cm, soil moisture was highest in grassland and lowest in apple orchard. In 120—200 cm, soil moisture of *Amorpha* shrub and farmland was higher than that of grassland, whereas the soil moisture of bushes trees and apple orchard was relatively lower. [Conclusion] The results revealed that *C. microphyllas* forest, *R. pseudoacacia* forest and *H. rhamnoides* scrubland made greater consumption of deep soil moisture, being harmful to the soil water environment and its sustainable utilization.

Keywords: loess hilly region; soil moisture; vegetation type; spatial-temporal variability

收稿日期: 2014-05-02

修回日期: 2014-05-23

资助项目: 国家自然科学基金资助项目“黄土丘陵区小流域大气降水—土壤水—地下水转化行为机理研究”(41171421); 中国科学院重点项目“近百年黄土高原侵蚀环境与水沙变化”(KZZD-EW-04-03)

第一作者: 赵传普(1990—), 男(汉族), 山东省临沂市人, 硕士研究生, 研究方向为流域管理、水土保持。E-mail: chuanpu2008ok@163.com。

通信作者: 徐学选(1966—), 男(汉族), 陕西省大荔县人, 博士, 研究员, 主要从事土壤水分生态方面研究。E-mail: xuxuexuan@nwsuaf.edu.cn。

土壤水分是流域水循环中的关键因子,也是制约干旱半干旱区植被恢复的主要因子^[1-2]。近几十年来,国内外已有大量关于土壤水分时空变异性及其影响因素的研究。Y. Cantón 等^[3]对西班牙半干旱区不同植被类型下的土壤水分连续观测 18 个月发现,地表植被类型及土壤质地是引起土壤水分空间变异的主要因子。受气候地带性分布规律影响,各研究结果得到的土壤水分时空变异规律并不完全一致。在中国黄土高原地区,土壤水分的时空变异具有其自身特点。自 1999 年“退耕还林(草)”工程实施后^[4],黄土高原土壤水分动态一直是研究的热点,已取得大量成果。主要包括降水年型、土壤特性、植被类型、坡度和坡向、土地利用方式等对土壤水分时空变异性的影响。虽然土壤水分时空变异性是由上述因子共同作用的结果,但是姚雪玲等^[5]研究发现,坡面尺度上土壤水分空间差异的主导因子是植被类型。以往研究多集中于单一植被类型下短时间序列的浅层土壤水分(100 cm 以内),而对黄土高原森林草原交错带植被下的深层土壤水分研究还不是很多。黄土丘陵区是黄土高原植被恢复的关键地区,而该区处在森林向草原的过渡区^[6],因此,研究该区不同植被类型下土壤水分动态对于黄土高原植被建设具有重要意义。

本文通过对黄土丘陵区典型坡面不同植被类型下土壤水分的定点观测,旨在探讨植被类型对土壤水分时空变异规律的影响,为研究模拟半干旱区地表径流、侵蚀过程及黄土高原植被恢复提供理论依据。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省延安市燕沟流域(36°20′—36°32′N,109°20′—109°35′E),流域面积 46.9 km²,属黄土高原丘陵沟壑区。该区属暖温带半湿润偏旱季风气候,年均降水量 532.3 mm,主要集中在 6—9 月,年均温度 9.8℃,年均蒸发量约 1 000 mm。土壤类型主要为绵黄土,占 90% 以上。自 1999 年实施“退耕还林(草)”工程,土地利用类型以农地、疏林地、灌木地、草地为主。植被主要有:辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana microphylla*)等。

2009 年降水量为 535.8 mm,接近多年平均水平(1952—2006 年延安气象站年均 532.3 mm,其中 4—10 月 493.3 mm。),其中 4—10 月降水量为 494.0 mm(图 1)。降水年内分布状况为 4—6 月干旱少雨,降雨集中于 7—9 月,占整个生长季降雨总量

的 76%,8 月份降雨量最多为 161.4 mm,而 10 月份降雨量仅为 1.7 mm。2009 年降雨属于正常年份,因此该研究代表了正常降雨年份水平。

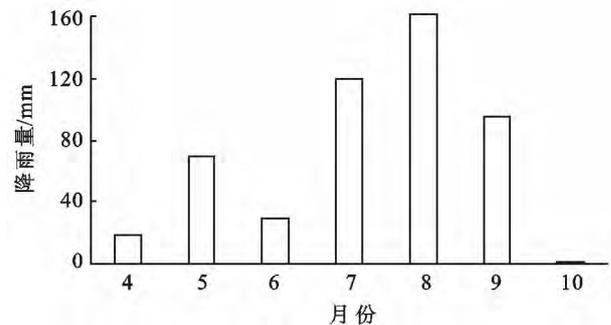


图 1 燕沟鸡蛋卵小流域 2009 年生长季降雨量

1.2 研究方法

选取流域内康圪崂一处典型西坡面,坡度 12°~26°范围,从坡顶向下选取 7 个样地,植被类型分别为苹果园、刺槐林、沙棘灌丛、柠条林、紫穗槐灌丛、荒草地、农地(谷子)。样地坡度在 12°~22°之间,土壤为质地均一的黄绵土,这样对结果进行分析时,可以忽略土壤质地、坡向的影响。采用土钻定位监测土壤含水量,2009 年 4—10 月每月测定一次,为了更好的研究生长季前后土壤水分值的差异,4,10 月测定土层深度为 4 m,5—9 月为 2 m。0—1 m 土层每隔 10 cm 取样,1 m 以下每隔 20 cm 取样。采用 GPS 对样地进行坐标定位,同时记录各样地的坡度、林冠郁闭度、地表覆盖度、退耕年限等信息(表 1)。采用样点法估算林冠郁闭度,沿标准地对角线和四对边中点连线穿过标准地进行“米”字形路线调查,根据望见的树冠点数求得郁闭度,郁闭度=郁闭点数/总点数^[7]。采用照相法估算地表覆盖度,通过 Pcover 软件自动判读并估算地表覆盖度^[8]。烘干法测定土壤含水量,用重量百分比表示。沿坡面设置 5 个雨量桶测定雨量,取平均值代表降雨量。

表 1 样地基本信息

样地	植被类型	坡度/ (°)	林冠郁 闭度/%	地表覆 盖度/%	退耕 年限/a
1	苹果园	12	50	50	9
2	刺槐林	15	45	80	11
3	农地(谷子)	14	—	40~90	—
4	荒草地	19	—	100	12
5	紫穗槐灌丛	22	35	70	7
6	沙棘灌丛	18	95	100	14
7	柠条林	20	60	70	14

1.3 数据处理

采用 SPSS 软件对试验数据进行统计分析,采用方差分析、LSD 多重比较法分析不同植被类型下土壤水分的季节差异。

2 结果与分析

2.1 不同植被类型下土壤水分的时间动态

表 2 为不同植被类型下 0—200 cm 土层平均土壤含水量季节动态及其差异的方差分析。由表 2 可知,不同植被类型生长季(4—10 月)平均土壤含水量排序为:紫穗槐灌丛>荒草地>农地(谷子)>刺槐林>柠条林>沙棘灌丛>苹果园,紫穗槐灌丛下土壤含水量较荒草地(11.06%)高出 0.69%,农地(谷子)、刺槐林、柠条林、沙棘灌丛、苹果园土壤含水量低于荒草地,差值分别为 0.04%、0.28%、1.42%、1.45%和 2.47%。刺槐林虽为疏林地,但林下生物量大,耗水量较荒草地大;柠条林、沙棘灌丛退耕年限较长,沙棘灌丛生长旺盛密度大,柠条林下生物量较大,故耗水量大。苹果树具有较强的耗水能力^[9],且苹果园株行距为 2 m×3 m,种植密度较大,树龄有 9 a 以上,加之人工管理(施肥、翻耕)措施下果树生长状况良好,所以对土壤水分消耗较大。紫穗槐灌丛退耕年限短,蒸腾耗水量相对较小。

2009 年 5 和 9 月份降水较往年充足,受降雨年

内分布的影响,不同植被类型下土壤水分的年内变化大致呈现不规则的“M”型变化(图 2)。生长季初期(4—5 月)植被蒸腾耗水量小,土壤蒸发潜力小,经 5 月份降雨补给后,土壤含水量呈增大趋势,4—5 月苹果园土壤含水量最低,是由于苹果树春季萌发期较其他植被类型早,蒸腾耗水使得土壤水分偏低。生长季中期(5—8 月)是土壤水分消耗期,气温逐渐升高,充足的降水补给下植被生长旺盛,植被蒸腾耗水及土壤蒸发能力逐渐增强,耗水量大于补给量,土壤含水量呈下降趋势,8 月份达最低值。此时苹果园土壤含水量仅为 5.72%,这是由于苹果处在果实膨大期(6 月底—8 月下旬),耗水量较大。生长季后期(9—10 月)是土壤水分补偿期,植被需水量降低,植被蒸腾及土壤蒸发潜力弱,土壤水分进入恢复期,较 8 月份显著增大。10 月份降水量仅为 1.7 mm,9—10 月土壤含水量呈现下降趋势,由于降雨集中于 7—9 月,占整个生长季降雨总量的 76%,雨季后土壤含水量显著超过雨季前水平。也超过年初 4 月份的值。这与延安在 4 月份温度回暖、气候干燥有关^[10]。从表 2 可以看出,西面坡上的农地土壤水分与荒草地相差不大,而紫穗槐灌丛则显著地提高了坡地土壤水分值。这可能是由于紫穗槐是较好的耐旱树种且耗水量小,能够有效的增加土壤孔隙度,提高土壤的蓄水保水能力^[11-12]。这也与紫穗槐灌丛退耕年限较短有关。

表 2 不同植被类型下 0—200 cm 土层土壤水分季节变化

%

植被类型	日期							均值
	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	
苹果园	7.70a	8.14a	7.60a	5.74b	5.72b	13.61c	11.62d	8.59
刺槐林	13.33a	12.95ac	7.99b	6.92b	6.72b	14.87c	14.70c	10.78
农地(谷子)	12.70a	14.85b	9.98c	6.65d	6.27d	14.43b	12.26a	11.02
荒草地	11.69a	12.56a	8.42b	7.04b	6.39b	15.77c	15.56c	11.06
紫穗槐灌丛	13.34a	14.29ad	9.46b	7.16bc	6.77c	15.90de	15.30e	11.75
沙棘灌丛	8.68a	9.78a	7.92ab	6.33b	6.38b	14.75c	13.39c	9.61
柠条林	9.11a	10.41ab	7.29c	7.63c	6.20c	14.83d	11.99be	9.64

注: * 同行不同字母代表差异达到 0.05 显著水平。

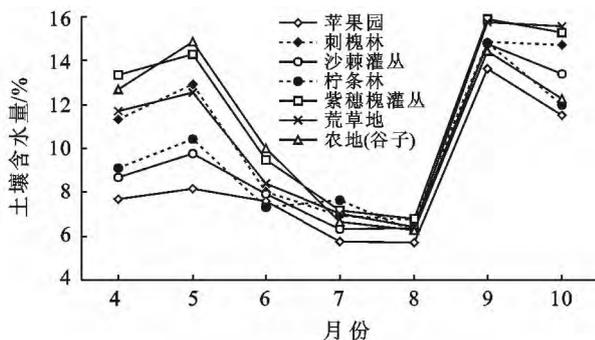


图 2 不同植被类型下 0—200 cm 土层平均土壤含水量月动态

2.2 不同植被类型下土壤水分的垂直空间动态

为研究植被类型对土壤水分垂直空间变化的影响,根据黄土高原林、灌、草植被根系分布及土壤水分利用分层特点^[13-16],现将 0—200 cm 深度土层分为 3 个层次:浅层(0—40 cm)、中层(40—120 cm)、深层(120—200 cm),选取雨季前的 4 月份、耗水量最大的 8 月份、雨后的 10 月份观测数据(见表 3)分析土壤水分的垂直空间动态。

在 4 月份,同一植被类型下中层和深层土壤水分

之间差异不大,此时植被处于生长初期,不会对深层土壤水分造成消耗。不同植被类型下表层土壤水分差异较大,紫穗槐灌丛(14.38%)和沙棘灌丛(6.94%)土壤含水量相差达7.44%,这与紫穗槐发芽晚有关。紫穗槐灌丛下表层和深层土壤含水量较荒地高,柠条林、沙棘灌丛、苹果园较荒地低。农地(谷子)的深层土壤含水量最高,苹果园最低。

在8月份,不同植被类型下各层土壤含水量较接近,此时植被蒸腾耗水及土壤蒸发耗水量远大于降水补给量,土壤含水量都处于低值。在表层,紫穗槐灌丛土壤含水量最低为5.59%。在中层和深层,苹果园土壤含水量最低。

在10月份,同一植被类型下土壤水分随土层深度呈现出先增后减的变化趋势。此时植被处在生长季末期,蒸腾耗水量减少,降水补给量开始大于蒸腾

及蒸发消耗量,土壤水分处于恢复期,表层土壤水分开始向下层入渗,下层土壤得到更多的净补给水分。表层土壤含水量排序为:紫穗槐灌丛>刺槐林>荒地>柠条林>沙棘灌丛>农地(谷子)>苹果园。中层排序较表层变化不大:荒地>刺槐林>紫穗槐灌丛>沙棘灌丛>柠条林>农地(谷子)>苹果园。深层排序较表层和深层出现较大的变化,排序为:紫穗槐灌丛>荒地>苹果园>农地(谷子)>沙棘灌丛>刺槐林>柠条林。这一结果与沙棘、柠条、刺槐根系下扎较深有关,苹果、谷子、荒地它们根系一般集中于浅层,深根少有关。可以看出0—200 cm土壤水分波动是不同植被类型生长耗水特性决定的。为了探究不同植被类型土壤水分的垂直变化规律,我们对10月份0—400 cm深度土层土壤水分动态进行研究(见图3)。

表 3 不同植被类型下土壤水分垂直空间差异

植被类型	各土层土壤水分含量/%								
	0—40 cm			40—120 cm			120—200 cm		
	4月	8月	10月	4月	8月	10月	4月	8月	10月
苹果园	6.94	6.38	8.83	8.24	5.52	12.19	7.52	5.42	13.44
刺槐林	10.44	5.95	13.32	12.05	7.01	17.15	10.95	6.99	11.80
农地(谷子)	10.35	5.88	10.42	12.18	6.35	12.81	15.99	6.53	13.12
荒地	11.74	5.96	13.26	12.31	6.57	17.43	10.55	6.51	14.58
紫穗槐灌丛	14.38	5.59	13.93	13.31	6.85	16.08	12.28	7.80	15.29
沙棘灌丛	7.09	6.13	11.52	9.24	6.59	15.35	9.31	6.27	11.84
柠条林	10.12	5.62	11.56	9.02	6.78	13.31	8.27	5.77	10.12

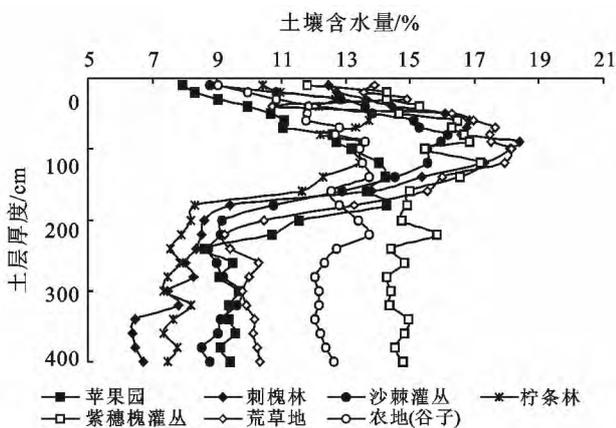


图 3 不同植被类型下 10 月土壤水分剖面

从图3可以看出,在0—200 cm深度土层土壤水分随深度的波动较大,其不同植被类型引起的土壤含水量差异尚存在不确定的先后差异。在200—400 cm深度土壤水分随深度变化逐渐趋于稳定,其土壤含水量大小呈现:紫穗槐灌丛>农地(谷子)>荒地>苹果园>沙棘灌丛>柠条林>刺槐林。紫穗槐

灌丛、农地(谷子)含水量高于荒地(9.98%),分别高出4.98%,2.56%,沙棘灌丛(9.09%),柠条林(7.72%),刺槐林(7.56%)深层土壤含水量处于低值,不利于土壤水环境及其永续利用。

2.3 不同植被类型下土壤水分的时间稳定性

表4为整个生长季(4—10月)不同植被类型下土壤水分时间变异系数随土层深度的变化。

由表4可见,土壤水分时间变异系数大小顺序为:农地(0.30)<林地(0.37)<草(灌)地(0.39),与王云强等^[17]在黄土高原区域尺度上的研究结果(农地(0.25)<林地(0.40)<草地(0.43))相一致。

在10—30 cm深度土层,土壤水分时间变异系数较大,这主要由于表层土壤水受降水、温度、蒸发等因素的影响较大,水分变化剧烈。

在50—120 cm深度土层,时间变异系数依然较大,这主要由于植被根系耗水引起土壤水分有较大波动。在160—200 cm深度土层,时间变异系数趋于低值,土壤水分稳定性增强。

表 4 不同植被类型下土壤水分时间变异系数 C_v

植被类型	各土层深度土壤水分变异系数 C_v								均值
	10 cm	30 cm	50 cm	70 cm	90 cm	120 cm	160 cm	200 cm	
苹果园	0.30	0.35	0.35	0.38	0.44	0.49	0.45	0.31	0.38
刺槐林	0.40	0.42	0.42	0.42	0.34	0.36	0.28	0.30	0.37
农地(谷子)	0.37	0.35	0.34	0.31	0.33	0.35	0.22	0.12	0.30
荒草地	0.49	0.39	0.38	0.47	0.49	0.48	0.28	0.14	0.39
紫穗槐灌丛	0.48	0.44	0.41	0.43	0.44	0.36	0.28	0.25	0.39
沙棘灌丛	0.53	0.41	0.44	0.43	0.45	0.40	0.24	0.13	0.38
柠条林	0.39	0.40	0.44	0.41	0.45	0.38	0.20	0.14	0.35

3 结论

从不同植被类型土壤水分的时间动态来看,研究区不同植被类型生长季(4—10月)0—200 cm 深度土壤含水量大小呈现:紫穗槐灌丛>荒草地>农地(谷子)>刺槐林>柠条林>沙棘灌丛>苹果园。这说明以紫穗槐为恢复植被,至少在 7 a 内和密度为 1 500 株/hm² 低密度时,其对土壤水环境尚为补偿效应,而刺槐林、柠条林、沙棘灌丛、苹果园土壤含水量低于荒草地,表明了此类植被在其达到完全郁闭或覆盖时,会使得土壤水分处于过度消耗。

从不同植被类型土壤水分的垂直空间动态来看,0—200 cm 深度土壤水分存在波动,200—400 cm 深度土壤水分趋于稳定,研究区不同植被类型下土壤水分垂直剖面分布具有较大差异。在表层(0—40 cm),紫穗槐灌丛、刺槐林土壤含水量较高,沙棘灌丛、农地(谷子)、苹果园土壤含水量较低;在中层(40—120 cm),荒草地土壤含水量最高,农地(谷子)、苹果园含水量依然处于低值;在深层(120—400 cm),紫穗槐灌丛、农地(谷子)土壤含水量高于荒草地,而沙棘灌丛、柠条林、刺槐林含水量较低。这种水分消耗在垂向的差异,应是今后建造混交林的依据,结果有助于提出最优化的植被配置模式,指导干旱区植被建设。

不同植被类型下土壤水分的时间稳定性存在差异,0—200 cm 深度土壤水分时间变异系数谷子农地(0.30)<林地(0.37)<草(灌)地(0.39),这与植被根系分布趋势相一致。

[参 考 文 献]

- [1] Pandey V, Pandey P K. Spatial and temporal variability of soil moisture[J]. International Journal of Geosciences, 2010,1(2):87-98.
- [2] 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.
- [3] Canton Y, Sole-Benet A, Domingo F. Temporal and spatial patterns of soil moisture in semiarid badlands of SE Spain [J]. Journal of Hydrology, 2004,28(1):199-214.
- [4] 虎陈霞,傅伯杰,陈利顶. 浅析退耕还林还草对黄土丘陵沟壑区农业与农村经济发展的影响:以安塞县为例[J]. 干旱区资源与环境, 2006,20(4):67-72.
- [5] 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[J]. 生态学报, 2012,32(16):4961-4968.
- [6] 王国梁,刘国彬,刘芳. 黄土丘陵区纸坊沟流域植被特点与生态交错带效应[J]. 西北植物学报, 2002,22(5):1102-1108.
- [7] 孟宪学. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,1996.
- [8] 章文波,路炳军,石伟. 植被覆盖度的照相测量及其自动计算[J]. 水土保持通报, 2009,29(2):39-42.
- [9] 刘贤赵,衣华鹏,李世泰. 渭北旱塬苹果种植分区土壤水分特征[J]. 应用生态学报, 2004,15(11):2055-2060.
- [10] 孙智辉,刘志超,雷延鹏,等. 延安北部丘陵沟壑区植被指数变化及其与气候的关系[J]. 生态学报, 2010,30(2):533-540.
- [11] 常介田,王喜枝,杨喜田,等. 人工龙须草与紫穗槐的水土保持效应[J]. 水土保持通报, 2012,32(3):245-248.
- [12] 李文华,刘广权,马松涛,等. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水和生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2004,32(1):61-65.
- [13] 李鹏,李占斌,澹台湛. 黄土高原退耕草地植被根系动态分布特征[J]. 应用生态学报, 2005,16(5):849-853.
- [14] 荐圣淇,赵传燕,方书敏,等. 黄土高原丘陵沟壑区柠条和沙棘灌丛的降雨截留特征[J]. 应用生态学报, 2012,23(9):2383-2389.
- [15] 毕建琦,杜峰,梁宗锁,等. 黄土高原丘陵区不同立地条件下柠条根系研究[J]. 林业科学研究, 2006,19(2):225-230.
- [16] 余新晓,张建军,朱金兆. 黄土地区防护林生态系统土壤水分条件的分析与评价[J]. 林业科学, 1996,32(4):289-297.
- [17] 王云强,邵明安,刘志鹏. 黄土高原区域尺度土壤水分空间变异性[J]. 水科学进展, 2012,23(3):310-316.