

## 延河流域人工与自然植被土壤水分空间差异性研究

张春梅, 张锋, 张立鹏 (宁夏农业勘查设计院, 宁夏银川 750002)

**摘要** [目的]研究延河流域自然植被与人工植被土壤含水量及其空间变化,为黄土高原土壤水分的利用和人工植被建设提供理论依据。[方法]针对延河流域人工植被建造存在植被退化问题,根据降雨温度变化,将延河流域划分为17个环境梯度单元,对自然植被与人工植被进行了野外调查,研究了降雨梯度、坡位及坡向对植被0~500 cm土层土壤含水量的影响。[结果]流域内土壤水分具有很强的空间变异性。自然植被0~500 cm土壤含水量为8.15%,变异系数为33.12%;人工植被土壤含水量较低,仅6.74%。地形因子能够显著影响自然植被与人工植被的土壤含水量,自然植被不同坡位和坡向的0~500 cm土壤含水量大于人工植被。[结论]综合考虑土壤水分生态环境的可持续性,阴坡下与平地相对适合人工植被的营造,在植被配置时,需要考虑植被类型及耗水特点。

**关键词** 延河流域;土壤含水量;空间变化;降雨梯度

**中图分类号** S181 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)18-049-03

## Spatial Difference of Soil Water Contents between Artificial and Natural Vegetations in Yanhe Basin

ZHANG Chun-mei, ZHANG Feng, ZHANG Li-peng (Ningxia Agricultural Institute of Survey and Design, Yinchuan, Ningxia 750002)

**Abstract** [Objective] To study soil water content of artificial and natural vegetations in Yanhe Basin and their spatial variation, and to provide theoretical foundation for the soil water use and artificial vegetation construction in Loess Plateau. [Method] According to the problem of artificial vegetation degradation in Yanhe Basin, we divided the Yanhe Basin into 17 environmental gradient units based on the rainfall and temperature changes. Field investigation was carried out on the artificial and natural vegetations. Effects of the rainfall gradient, slope position and slope on 0-500 cm soil layer water content were researched. [Result] Soil moisture had a strong spatial variability in Yanhe Basin. The 0-500 cm soil water content of natural vegetation was 8.15% and coefficient of variation was 33.12%. The soil water content of artificial vegetation was lower than natural vegetation. Volatile terrain factors could significantly affect soil moisture in the natural and artificial vegetation. The 0-500 cm soil content of natural vegetation was higher than that of artificial vegetation in different position and aspect of slope. [Conclusion] Considering the sustainability of soil moisture ecological environment, it is concluded that shady slope of mountain and flat land is more suitable for planting artificial vegetation. But during vegetation allocation, we should consider the vegetation type and water consumption characteristics.

**Key words** Yanhe Basin; Soil water content; Spatial variation; Rainfall gradient

黄土高原是我国甚至世界上水土流失最为严重的地区之一<sup>[1-2]</sup>。多年来,国家投入了大量财力、物力和人力在该地区进行植被恢复重建工作,但因自然环境的制约及植被恢复规划等方面的不足,导致人工恢复植被仍面临较大困难。研究表明,物种选择不当、植被结构简单、物种组成单一等问题严重影响着生态环境恢复与重建效益的发挥<sup>[3-5]</sup>。未充分考虑立地环境的空间变异性及植被空间分布的地带性规律,忽略环境条件特别是土壤水分条件的制约是导致上述问题的重要成因<sup>[6-7]</sup>。因此,研究延河流域土壤水分空间变化是该地区植被恢复重建需要解决的关键问题。笔者以黄土高原延河流域为研究对象,分析了降雨梯度、坡位、坡向对自然植被群落(视为理想状态)和人工植被土壤水分的影响,评价了该流域自然植被与人工植被土壤含水量及其空间变化,以期为黄土高原土壤水分的利用和人工植被建设提供理论依据。

## 1 材料与方法

**1.1 研究区概况** 延河流域位于108°45'~110°28'E, 36°23'~37°17'N,属黄河中游河口镇-龙门区间的一级支流,流域全长286.9 km,总面积7 687 km<sup>2</sup>。年降水偏低且季节分配极不均匀,年均降雨量为500 mm左右;年均气温约9℃,呈现从东南向西北递减的趋势;多年平均水面蒸发量为897.7~1 067.8 mm。流域植被区划属于森林草原地带,从南向北依次为森林区、森林草原区和草原区。流域植被分布

从南向北依次为森林[主要植被带为南部崂山的刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、阔叶-针叶混交林带]、森林草原[主要植被带为中部延安到安塞之间的柠条(*Caragana intermedia*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)]、草原带和草原[安塞以北的百里香(*Thymus vulgaris*)、长芒草(*Stipa bungeana*)],植被类型随环境梯度变化明显。全流域分布有大量人工种植的乔灌木,其中,流域的中北部植被存在有比较严重的退化现象。

**1.2 数据来源** 该研究所需数据主要涉及影响植被分布的环境要素,如地形和气候因子,其中DEM数据为ESRI Grid格式的数据,空间分辨率大小为25 m,由中国科学院水土保持研究所区域水土保持研究室提供<sup>[8]</sup>。

**1.3 样品采集** 针对研究区特征,根据降雨和温度变化,将延河流域划分为17个环境梯度单元<sup>[8]</sup>。在这些单元内,降雨、温度具有相对的一致性。在整个流域内按照环境梯度单元,从西北向东南进行采样,调查自然植被样点109个,人工植被样点90个(图1),调查时间分别为2008和2010年的7、8月。样方选定后,记录采样的时间、样地号、地点名称、样地面积、经纬坐标、样地主要植被类型、地形、坡度、坡向、海拔等信息。在样方内采集0~500 cm深度的土壤,采集间隔距离为20 cm,土壤样品采集后密封,带回实验室于105℃烘至恒重后称重,然后计算干土重的土壤含水量。土壤含水量=(湿土质量-干土质量)/干土质量×100%。

## 2 结果与分析

## 2.1 流域土壤含水量空间变化

**2.1.1 自然植被土壤含水量空间分布。**为研究自然植被

**作者简介** 张春梅(1985-),女,宁夏银川人,助理工程师,硕士,从事农业土地勘察研究。

**收稿日期** 2016-05-06

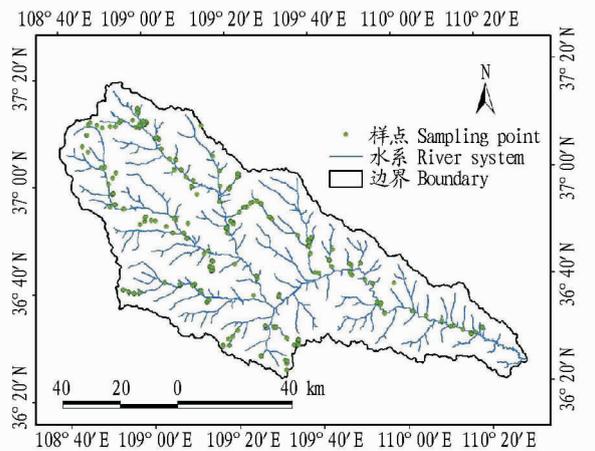


图1 延河流域地理位置及野外调查样点分布

Fig. 1 Geographic location and field investigation sample distribution in Yanhe Basin

0~500 cm 土壤含水量的空间变化,笔者将 108 个样本 0~500 cm 土壤含水量平均值在 ArcGIS 中采用克里格插值法,绘制研究区自然植被 0~500 cm 土壤水分空间分布情况(图 2)。从图 2 可见,流域北部 0~500 cm 土壤含水量较低,中南部土壤含水量整体较高。据统计,流域内土壤含水量具有很强的空间变异性,0~500 cm 土壤含水量最高值为 16.44%,最小值为 3.22%,平均值为 8.15%,变异系数为 33.12%。土壤含水量的空间分布主要受植被类型与降雨的影响。一般来说,在没有人为干预的情况下,植被类型、密度会形成与降雨条件基本一致的稳定群落,此时不会形成土壤干层。流域北部土壤含水量较小,一方面是由于降雨量较小、蒸发量较大,另一方面自然植被多生长在崩顶、坡上(在野外调查中发现坡中下较缓的地方或者沟谷底部种植人工植被较多,自然植被分布于坡上及崩顶),土壤水分条件较差。中南部区域土壤含水量较高,主要受当年降雨的补充、恢复,使土壤储水量能够得到及时有效的恢复,促进了水分循环。

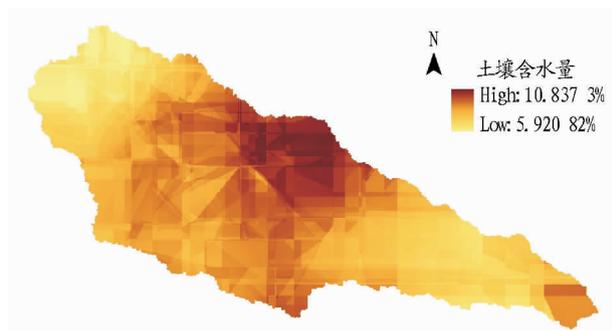


图2 延河流域自然植被土壤含水量空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of soil water content in natural vegetation in Yanhe Basin

**2.1.2 人工植被土壤含水量空间分布。**从图 3 可见,延河流域人工植被 0~500 cm 土壤含水量表现为西北较低,东南逐渐增高。延河流域南部土壤 0~500 cm 平均含水量较高(7.12%),主要原因是该地人工植被分布较少,雨水资源较丰富;延河流域北部土壤 0~500 cm 平均含水量较低

(6.35%),局部出现土壤干层,原因是该地区降雨量较少,加之大面积的人工植被消耗深层土壤水分。

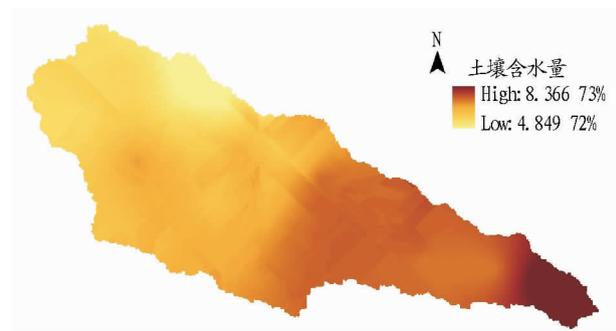


图3 延河流域人工植被土壤含水量空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of soil water content in artificial vegetation in Yanhe Basin

从图 2、3 可见,人工植被中部与南部土壤含水量比同地域自然植被土壤含水量小得多,特别是安塞北部土壤含水量差别相当大。根据实地采样的记录表明,安塞北部人工植被分布较广。人工乔木林已经形成较大的生物量,但是有明显的衰退之势,枝头干枯。

## 2.2 土壤含水量随降雨梯度的变化

**2.2.1 自然植被土壤含水量随降雨梯度的变化。**利用每个降雨梯度所有样点 0~500 cm 土壤含水量得出的平均值与降雨梯度进行线性、指数、对数、幂函数等方程拟合,发现对数函数最适宜土壤含水量与降雨梯度的模拟 [ $y = 1.1553 \ln(x) + 5.5613$ ,  $R^2 = 0.5009$ ] 达到显著相关水平。流域土壤含水量在降雨梯度上呈递增趋势(图 4),在降雨量为 430~460 mm 时土壤含水量属于快速增长阶段,原因是降雨量的增加有利于对土壤水分进行补充;但是在一定范围内(465~520 mm)土壤含水量增加幅度没有明显的线性关系,可以解释为随降雨梯度的增加,尽管降雨量有所增加,但同时温度也在升高,促进了土壤水分的蒸发,从而使土壤水分的散失增加,进而延缓了土壤含水量升高的幅度。

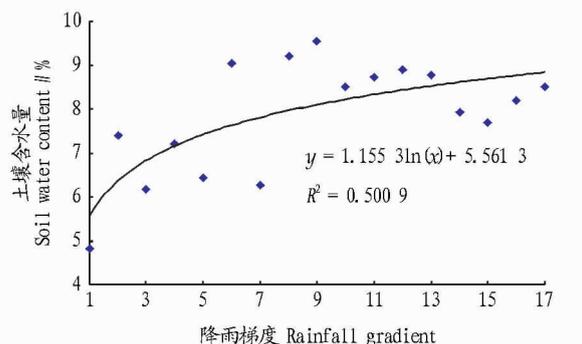


图4 自然植被土壤含水量随降雨梯度的变化

Fig. 4 Changes of soil water content in natural vegetation with rainfall gradient

**2.2.2 人工植被土壤含水量随降雨梯度的变化。**从图 5 可见,人工植被 0~500 cm 土壤含水量在降雨梯度上没有明显的变化规律,波动较大。由于采样时间在 7、8 月份,该区正值雨季,而北部降雨量为 435~440、445~450 和 450~455

mm 时,土壤含水量低于凋萎湿度,出现严重亏缺,深层土壤含水量未得到相应的补偿、恢复,这表明较高的生物量消耗土壤深层土壤水分,使土壤水分生态环境平衡遭到破坏。这些新问题的出现使人们重新认识人工植被建设的价值,从而重新建立人工植被的评价体系(植被土壤水分生物量承载力评价方法)及植被格局的配置体系。

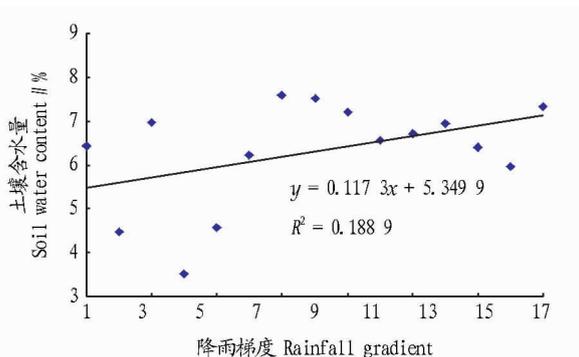
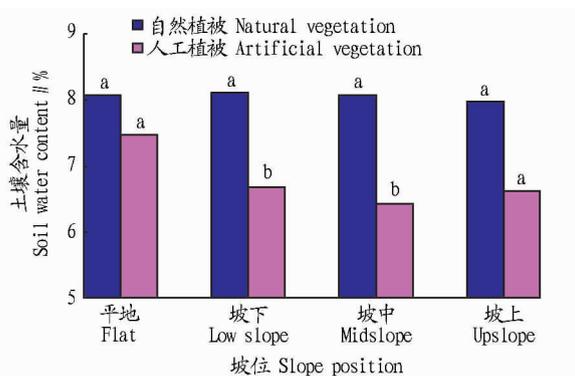


图5 人工植被土壤含水量随降雨梯度的变化

Fig. 5 Changes of soil water content in artificial vegetation with rainfall gradient

### 2.3 土壤含水量随地形的变化

2.3.1 自然植被与人工植被土壤含水量随坡位的变化。从图6可见,流域内不同坡位自然植被0~500 cm土壤含水量高于人工植被,不同坡位对自然植被和人工植被土壤含水量的影响不同。相同坡位下自然植被与人工植被0~500 cm土壤含水量差异性不同,平地、坡上的自然植被和人工植被之间无显著差异,坡下与坡中自然植被0~500 cm土壤含水量显著高于人工植被。人工植被营造在坡上会引起坡上土壤含水量过度消耗,而在平地营建人工植被对深层土壤含水量影响不明显。因此,在进行人工植被的营建时,应该尽量避免坡上,选择在坡下或者平地。



注:图中同一坡位不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

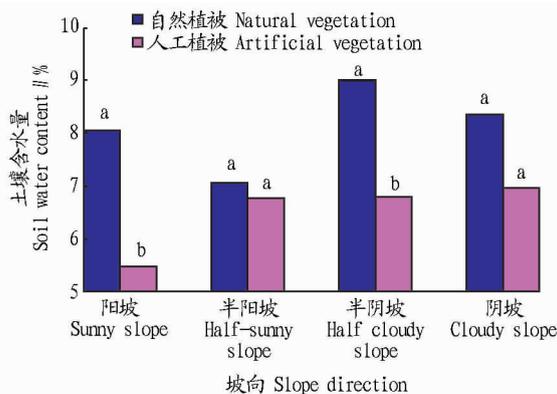
Note: Different lowercases in the same slope position indicated significant differences ( $P < 0.05$ ).

图6 植被土壤含水量随坡位的变化

Fig. 6 Changes of soil water content in vegetation with Slope position

2.3.2 自然植被与人工植被土壤含水量随坡向的变化。从图7可见,半阴坡自然植被0~500 cm土壤含水量最高,为9.00%;阳坡人工植被土壤含水量最小,仅5.48%,显著低于

阴坡,严重导致深层土壤水分亏缺。相同的坡向,人工植被土壤含水量与自然植被土壤含水量差异显著。不同的坡向,自然植被0~500 cm土壤含水量从大到小依次为半阴坡、阴坡、阳坡、半阳坡;人工植被0~500 cm土壤含水量从大到小依次为阴坡、半阴坡、半阳坡、阳坡。半阴坡与阴坡土壤含水量较高,原因是植被蒸腾蒸散作用相对较弱。综合比较,人工植被阴坡土壤含水量相对接近自然植被土壤含水量,因此进行人工植被营造时,可以优先考虑在阴坡。



注:图中同一坡位不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercases in the same slope position indicated significant differences ( $P < 0.05$ ).

图7 植被土壤含水量随坡向的变化

Fig. 7 Changes of soil water content in vegetation with slope direction

## 3 结论与讨论

(1) 土壤含水量是黄土高原植被生长发育的重要限制因子,因此土壤含水量是判定一个植物群落健康或退化的重要指标<sup>[9-10]</sup>。该研究表明,延河流域北部自然植被0~500 cm的土壤含水量较低,中南部土壤含水量整体较高;沿着降雨梯度,土壤含水量呈对数增长趋势。人工植被0~500 cm土壤含水量西北较低,东南逐渐增高,在降雨梯度上波动较大,空间变异性较强。穆兴民等<sup>[11]</sup>研究表明,人工林草植被使土壤含水量降低,甚至造成人为干层,这与笔者的研究结果一致。人工植被的建设可能会导致新的植被种类和种群生长模式的形成<sup>[12]</sup>,使植被群落与降雨量之间的平衡被破坏,导致土壤水分的长期过度消耗,造成土壤干层。因此,延河流域人工植被的建设必须参考自然植被的水分环境条件,因地制宜,才能探寻到适宜流域人工植被的种植或恢复模式。

(2) 该研究发现,地形因子能够显著影响自然与人工土壤含水量。综合考虑土壤水分生态环境的可持续性,笔者认为阴坡坡下与平地相对更适宜人工植被的营造,但在植被配置方面,仍需考虑植被类型及耗水特点等。

### 参考文献

- [1] 吴钦孝,赵鸿雁,刘向东,等. 森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J]. 水土保持学报,1998,4(2):23-28.
- [2] 邹厚远. 陕北黄土高原植被区划及与林草建设的关系[J]. 水土保持研究,2000,7(2):96-101.
- [3] 刘智军,周汝良,尹立红. 基于RS和GIS的安宁市景观格局动态变化分析[J]. 山东林业科技,2007(4):11-14.

续表 6

品种 Variety	蛋白质含量 Protein content//%	脂肪含量 Fat content %	SC-3		SC-7	
			病情指数 Disease index//%	抗性结论 Conclusion of resistance	病情指数 Disease index//%	抗性结论 Conclusion of resistance
周豆 25 号 Zhoudou 25	44.49	18.56	19	抗病	13	抗病
豫豆 22 号 Yudou 22	41.45	20.34	21	中抗	33	中抗
洛豆 1 号 Luodou 1	41.89	19.58	17	抗病	18	抗病
许豆 601 Xudou 601	43.24	19.47	17	抗病	4	抗病
周豆 24 Zhoudou 24	43.45	20.56	59	感病	54	感病
濮豆 820 Pudou 820	43.65	19.50	3	抗病	46	中感
科豆 17 Kedou 17	42.04	20.53	8	抗病	42	中感
长义豆 3 号 Changyidou 3	42.21	19.43	22	中抗	13	抗病

**2.6 参试品种的综合评价** 通过以上统计分析可以看出, 12 个参试品种的平均产量幅度为 2 603.70 ~ 3 517.80 kg/hm<sup>2</sup>, 与豫豆 22 号(CK)相比增减产幅度为 -19.21% ~ 9.15%。周豆 24 产量最高(3 517.80 kg/hm<sup>2</sup>), 较豫豆 22 号(CK)增产 9.15%; 洛豆 1 号产量达 3 414.90 kg/hm<sup>2</sup>, 较豫豆 22 号(CK)增产 5.96%, 居所有参试品种第 2 位; 长义豆 2 号产量达 2 603.70 kg/hm<sup>2</sup>, 较对照减产 19.21%, 居所有参试品种最后 1 位。综合各参试品种的产量、品质、抗性、生育期类型等主要性状及遗传稳定性、适应性等因素, 同时参照河南省夏大豆区域试验品种晋级或审定推荐标准, 虽然周豆 24 产量居所有参试品种第 1 位, 但抗病性不达标, 建议终止试验; 长义豆 2 号属于高蛋白大豆, 但较对照减产幅度较大, 建议终止试验; 秋乐 1401、许豆 601 和长义豆 3 号产量不达标, 建议终止试验; 而洛豆 1 号、周豆 25 号、安豆 5246、濮豆 820、中黄 301、科豆 17 和开豆 46 号这 7 个大豆新品种高产稳产性好、增产潜力大、品质优、抗性强、农艺性状优良, 综合表现较优秀, 可继续参加河南省夏大豆区域试验或生产试验, 进一步在河南省夏大豆区大面积示范种植。

### 3 结论与讨论

该研究以豫豆 22 号为对照品种, 以在河南省内 12 个不同生态区域种植的 12 个夏大豆新品种为研究对象, 利用“作物品种区域试验统计分析系统(RCTAS)1.0 版”和 Excel 2007 软件对其进行试验精确度、一年多点联合方差、双标图、品种试点互作和 Shukla 稳定性方差分析和评价, 鉴定筛选出丰产稳产性好、品质优良、生育期适中、抗大豆花叶病毒能力强、综合性状表现较好的洛豆 1 号、周豆 25 号、安豆 5246、濮豆 820、中黄 301、科豆 17 和开豆 46 号这 7 个大豆新品种。

该研究结果对指导大豆新品种选育及生产实践具有非

常重要的现实意义。由于大豆是典型的短日照作物, 对光周期的反应存在着显著差异, 表现出明显的地域性, 严重限制了优良品种的大面积示范推广<sup>[12-14]</sup>。在对大豆新品种进行鉴定筛选时, 一方面要进行品种丰产稳产性、品质、抗性和生育期等综合评价分析, 另一方面要进行多年多点多环境下的试验统计分析, 从而更科学、准确地鉴定出大豆新品种的生产应用价值和最适宜种植区域, 为品种的审定推广及其科学布局提供重要依据。

### 参考文献

- [1] 余永亮, 梁慧珍, 杨红旗, 等. 高产、多抗、广适大豆新品种郑豆 04023 的选育[J]. 河南农业科学, 2015, 44(1): 42-44.
- [2] 李卫东, 张孟臣. 黄淮海夏大豆及品种参数[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006.
- [3] 李卫东. 河南现代大豆品种及栽培技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008.
- [4] 张孟臣, 张磊, 刘学义. 黄淮海大豆改良种质[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [5] 余永亮, 梁慧珍, 杨红旗, 等. 河南夏大豆区试新品种丰产稳产性评价分析[J]. 中国农学通报, 2015, 31(9): 99-104.
- [6] 张群远, 孔繁玲, 廖琴, 等. 作物品种区域的评价体系及评价方法[J]. 农业系统科学与综合研究, 2000, 16(2): 81-86.
- [7] 王磊. 作物品种区域试验统计分析软件(RCTAS)[J]. 中国稻米, 2006(4): 26, 29.
- [8] 李伯群, 余国东, 周风云, 等. 小麦新品种渝麦 12 号丰产稳产性分析及应用前景[J]. 中国农学通报, 2010, 26(20): 166-170.
- [9] 孙建军, 王生轩, 尹海庆, 等. 河南省粳稻新品种丰产稳产性分析[J]. 河南农业科学, 2011, 40(4): 60-63.
- [10] 陈应志, 张群远, 孔繁玲. 国家大豆品种区域试验精确度研究[J]. 大豆通报, 2006(1): 9-15.
- [11] 全国农业技术推广服务中心. 中国大豆新品种动态: 2012 年国家级大豆品种试验报告[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2013.
- [12] 王越胜, 盖钧镒. 中国大豆品种光温综合反应与短光照反应的关系[J]. 中国油料作物学报, 2001, 23(2): 40-44.
- [13] 康军科, 王可珍, 景炜明. 不同大豆品种对光温反应特性的鉴定试验[J]. 陕西农业科学, 2014, 60(12): 37-38.
- [14] 费志宏, 吴存祥, 孙洪波, 等. 以光周期处理和分期播种试验综合鉴定大豆品种的光温反应[J]. 作物学报, 2009, 35(8): 1525-1531.

(上接第 51 页)

- [4] 申元村. 黄土高原植被生态建设的反思与对策[J]. 大自然, 2005(1): 16-19.
- [5] 罗彦芳, 钱翌, 王秀珍. 淳安县土地利用景观格局特征及其生态效应研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6): 388-392, 395.
- [6] 魏永林, 马晓虹, 宋理明. 青海湖地区天然草地土壤水分动态变化及对牧草生物量的影响[J]. 草业科学, 2009, 26(5): 76-80.
- [7] 刘勇, 上官周平. 子午岭森林群落土壤水分与生物量关系研究[J]. 西北农业学报, 2007, 16(5): 150-154.
- [8] 张春梅. 延河流域人工与自然植被生物量及其土壤水分效应比较研究

[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.

- [9] 胡良军, 邵明安. 黄土高原植被恢复的水分生态环境研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 1045-1048.
- [10] 曹军胜, 朱清科, 薛智德. 黄土高原地区土地植被承载力与植被生态恢复建设[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(1): 39-43.
- [11] 穆兴民, 陈霖伟. 黄土高原水土保持措施对土壤水分的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(4): 39-44.
- [12] 焦峰, 温仲明, 陈云民, 等. 基于 GIS 的安塞县土壤水分制图及其数量分析[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(1): 75-80.