

不同植被覆盖类型黑土水分动态变化特征*

王 风^{1,2} 王树起² 韩晓增² 王凤仙² 张克强¹

(1. 农业部环境保护科研监测所 天津 300191;

2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所海伦农田生态系统国家野外科学观测研究站 哈尔滨 150081)

摘 要 采用中子水分仪定位监测方法,研究黑土区平水年大豆地、草地和裸地3种覆盖类型土壤水分变化特征。结果表明:土壤水分空间垂直动态变化随深度增加而降低,基于变异系数(Cv)将土壤水分垂直变化分为4层,即水分速变层、活跃层、次活跃层和相对稳定层。不同覆盖类型下,土壤水循环深度依次为大豆地>草地>裸地,土壤水循环强度依次为草地>大豆地>裸地;3种覆盖类型的土壤剖面含水量在作物生长季节内呈增长型变化特征,裸地0~20 cm土层各时段土壤含水量均高于草地和大豆地;30 cm土层以下土壤水分含量依次为草地>裸地>大豆地。该区土壤储水量主要受降雨调控,3种植被覆盖类型下,土壤水分的总蒸散量依次为草地>大豆地>裸地。

关键词 黑土 土地覆盖类型 土壤水分 土壤水分循环 土壤深度 蒸散 变异系数

中图分类号: S562 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2009)02-0256-05

Soil moisture dynamics of different land-cover types in the black soil regions of China

WANG Feng^{1,2}, WANG Shu-Qi², HAN Xiao-Zeng², WANG Feng-Xian², ZHANG Ke-Qiang¹

(1. Institute of Agro-environmental Protection, Ministry of Agriculture, Tianjin 300191, China; 2. National Observation Station of Hailun Agro-ecology System, Northeast Institute of Geography and Agro-ecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China)

Abstract Based on collected soil moisture data from the fixed-position monitoring system in the black soil regions of China, soil moisture dynamics in different land-cover types were analyzed. The results show that the variation in soil water under the three land-cover types decreases with increasing soil depth for which vertical change in soil water along the soil profile can be put into four groups, vertiginous layer, active layer, transitional layer and relative stable layer. The depth of soil water cycle for the different land-cover types is as follows: soybean-land > grassland > bare-land, and the order of soil water cycle intensity is: grassland > soybean-land > bare-land. Soil water content in the three land-cover types increases with increasing soil depth, and water content of the surface layer (0~20 cm) in bare-lands is higher than in grasslands and soybean-lands. However, under 30 cm soil depth, soil water content takes the following order: grassland > bare-land > soybean-land. Water storage in the 170 cm soil layer is controlled by rainfall. Under the three land-cover types, the order of total evapotranspiration is: grassland > soybean-land > bare-land.

Key words Black soil, Land-cover type, Soil moisture, Soil water cycle, Soil depth, Evapotranspiration, Variation coefficient (Received March 24, 2008; accepted July 29, 2008)

土壤水是土壤-植被-大气连续体的核心,是土壤养分循环和流动的载体,土壤水分的变化对水分循环和作物需水耗水有重要影响^[1,2]。不同植被利用土壤水分的能力不同,且土壤水分时空动态变化往

往影响土壤水分的贮存、运移和转化^[3]。因而应根据植被在特定区域的水分利用特征,选择植被覆盖类型^[4]。土壤水分动态研究一直是土壤水分研究的重点。王孟本等^[5]研究了柠条林蒸腾与土壤水分关

* 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2005CB121103)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(农业部环境保护科研监测所)资助

王风(1982-),男,硕士,主要从事土壤物理方面的研究。E-mail: wangfeng_530@163.com

收稿日期: 2008-03-24 接受日期: 2008-07-29

系, 并利用土壤含水量标准差将柠条林土壤剖面划分为水分活跃层、次活跃层和稳定层; 秦永胜等^[6]通过定位观测和对比试验, 对密云水库上游水源保护林土壤水分的动态变化进行了初步研究; 卢义山等^[7]依据土壤水分变异系数, 将海堤防护林地土壤水分垂直分布划分为土壤水分活跃层、次活跃层和稳定层; 孟凯等^[2]研究了黑土区单一作物地季节性土壤水分变化特征, 并以质量含水量相对变化粗略地将土壤水分垂直变化为 4 个层次; 张北赢等^[8]应用土壤含水量标准差方法研究了不同林地地块土壤水分垂直动态特征。但是, 在农田尺度下应用土壤水分变异系数比较不同植被覆盖类型土壤水分垂直变化的研究尚鲜见报道。本文对黑土区草地、裸地和农作物地的土壤水分动态进行了研究, 以期明确不同植被覆盖类型农田黑土水分时空变化特征, 探寻区域土壤水资源合理的植被承载能力, 为植被高效、合理利用土壤水分提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

试验在中国科学院海伦农田生态系统国家野外科学观测研究站进行, 该站地处黑土区中部, 位于东经 126°38', 北纬 47°26', 海拔高度 240 m。属温带大陆性季风气候区, 冬季寒冷干燥, 夏季高温多雨, 雨热同季。年平均气温 1.5℃, 极端最高温度为 37℃, 极端最低温度为 -39.5℃; 年均降水量 550 mm, 70% 集中在 7~9 月份; 年均有效积温 2 450℃, 年均日照时数为 2 600~2 800 h, 无霜期为 125 d。土壤类型为中厚层黑土, 地下水埋深 20~30 m。

1.2 研究方法

选择 3 个植物覆盖类型: I. 草地(Grassland, GL), 1985 年退耕休闲, 1 hm², 草原化草甸植被自然恢复, 以狗尾草[*Setaria viridis* (L.) Beauv]为优势物种; II. 裸地(Bare-land, BL), 1985 年退耕休闲, 0.667 hm², 定期将植物地上部铲除并移出; III. 作物地 (Soybean-land, SL), 水肥耦合长期定位试验化肥+有机肥+自然降水处理, 试验开始于 1993 年, 为玉米-大豆轮作, 小区面积约 60 m², 2006 年种植作物为大豆 (*Glycine max* L. Merr.)。

应用 CNC503DR 型中子仪(北京超能科技有限公司)于 5~10 月份植被生长季定位监测草地、裸地、大豆地土壤含水量, 每 5 d 测定 1 次, 观测土层深度依次为 10 cm、20 cm、30 cm、40 cm、50 cm、70 cm、90 cm、110 cm、130 cm、150 cm、170 cm, 含水量以体积百分数计。同时利用芬兰 M520 自动气象站和人工雨量筒监测降水量。

通过 M520 自动气象站和雨量筒观测数据计算发现, 2006 年海伦地区降水总量 522.2 mm, 低于年均降水量 5%, 属平水年。根据海伦站土壤水分补给和消耗途径^[9], 将土壤水平衡公式简化为:

$$\Delta W = P - E \quad (1)$$

式中, ΔW 为观测期始、末土体储水量的差 (mm), P 为降水量 (mm), E 为蒸散量 (mm)。土壤含水量在垂直空间上的动态特征用变异系数 C_v 表征:

$$C_v = S / \bar{X} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (3)$$

式中, X_i 为样点含水量实际测定值, \bar{X} 为样点含水量的平均值。从表达式中可以看出, \bar{X} 一定时, S 值越大, C_v 越大, 说明样点含水量变化越剧烈; C_v 值越小, 土壤含水量越稳定。基于 C_v 指标, 可以将剖面土壤水分垂直变化划分为 4 个层次: 速变层 ($C_v > 30\%$)、活跃层 ($30\% > C_v > 20\%$)、次活跃层 ($20\% > C_v > 10\%$) 和相对稳定层 ($C_v < 10\%$)^[10-12]。

2 结果与分析

东北黑土地区大气降水是土壤水的唯一来源^[9]。因此, 大气降水是土壤水变化的主导因素, 大气降水的季节性规律, 导致土壤含水量呈现季节性动态变化^[13]; 另外, 由于植被种类和根系形态的不同, 根系分布的深度和数量存在差异, 使土壤水在空间上表现一定的垂直动态特征^[14]。

2.1 土壤水分的垂直变化

影响土壤水分垂直变化的主要因素有降水、蒸散过程、植被覆盖类型、地形等^[15-17]。从图 1 可见, 3 种覆盖类型土壤水分的空间垂直动态随深度的增加而降低。下部土层因受降水入渗、再分布和土壤

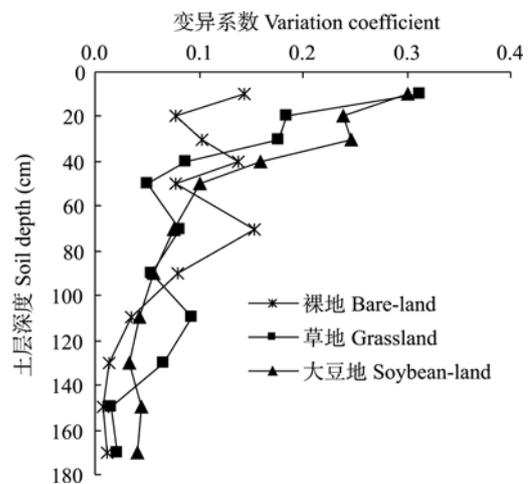


图 1 3 种覆盖类型土壤剖面水分变异系数的垂直变化
Fig. 1 Vertical changes of variation coefficients of soil water content along soil profile under the three land-cover types

蒸发滞后性的影响, 土壤含水量变幅明显小于受降水和蒸散直接影响的表层土壤。基于 C_v 指标将黑土区平水年土壤含水量垂直变化分为 4 层。

2.1.1 土壤水分速变层

该层是土壤系统与大气系统的交界, 是对气候最敏感的部位, 因而土壤水分变异系数最大^[18]。草地和大豆地水分速变层都在 0~10 cm 土层内, 以狗尾草为优势物种的草地因大量的须根系在土壤表层形成致密的根盘层, 该层特殊的结构能够促进降水的快速入渗^[13], 因而土壤水分变异系数大于大豆地。裸地不存在水分速变层, 黄土区的研究也发现无植被覆盖的裸露坡地土壤水分速变层较浅^[12]。

2.1.2 土壤水分活跃层

植被根系集中分布于该层, 由于不同植被根系分布的差异, 导致其土壤水分活跃层的范围也不相同^[8]。从图 1 可以发现, 大豆地和草地水分活跃层分别在 10~35 cm 和 10~20 cm 土层内, 裸地剖面不存在水分活跃层。大豆地水分活跃层 C_v 极大值出现在 30 cm 土层, 说明大豆根系在此区域吸水能力较强, 并且 0~30 cm 土体 C_v 变化趋势是先缓慢降低再增加, 也反映了大豆直根系分布的特征, 即大豆根系吸水深范围主要在 35 cm 土层内^[19]; 草地在 10~20 cm 土层 C_v 值迅速降低, 说明草地须根系分布特征, 即根系集中分布在表层形成致密的根盘层, 且随土壤深度增加根系生物量显著减少^[13]。

2.1.3 土壤水分次活跃层

土壤水分次活跃层在活跃层之下, 是植被根系分布较少的层次, 因此土壤含水量相对较稳定。从图 1 可以发现, 大豆地和草地水分次活跃层分别在 35~50 cm 和 20~40 cm 土层, 且随深度增加 C_v 缓慢降低, 说明根系吸水能力逐渐下降; 裸地水分次活跃层在 0~15 cm、30~45 cm、60~80 cm 土层, 呈间断性变化, 这种情况比较特殊, 可能因扰动引起土壤剖面物理性质变化有关, 有待于深入研究。

2.1.4 土壤水分相对稳定层

该层次是土壤水分调节补充层, C_v 相对稳定, 可在缺水期和植被强烈蒸腾期向水分次活跃层和活跃层供水, 丰水年雨季该层次可以用于储水, 从而调控植被根系吸水。大豆地和草地水分相对稳定层分别在 50 cm 和 40 cm 土层以下, 因为大豆根系和草地植物根系在该土层以下分布量极少^[19]; 裸地连续的相对稳定层在 80 cm 土层以下。

2.2 土壤水分的动态变化

土壤水分的动态变化是气候波动和植被时空动态变化的直接反映^[20]。图 2 所示 3 种植被覆盖类型

生长季节土壤含水量。整体上看, 3 种覆盖类型生长季土壤剖面含水量呈增长型的变化特征。而 8 月 5 日 3 种覆盖类型土壤剖面含水量呈现先增加后降低的趋势, 因为 7 月底到 8 月初连续降水达 150 mm, 水分在土体中处于再分布状态, 表现出剖面水分含量先增加后减少, 且 3 种覆盖类型各层次土壤含水量均高于其他时期。此外, 各时期裸地 0~20 cm 土层含水量均高于草地和大豆地(8 月 5 日除外), 说明植被覆盖条件下根系吸水是土壤水分消耗的重要原因。30 cm 以下各土层含水量主要表现为: 草地 > 裸地 > 大豆地, 一方面由于此范围草地根系较少导致水分消耗有限; 另一个方面, 根盘层疏松的结构有利于降水快速入渗到该层以下, 进而再分布到深部土层得以保存。根系消耗和上季作物的利用决定大豆地深层土壤较低含水量。

2.3 土壤储水量动态变化

从图 3 可以发现, 5 月 25 日至 6 月 25 日 3 种覆盖类型 170 cm 土体储水量缓慢增加, 随后降低, 到 7 月 5 日达最小值, 然后升高到 8 月 5 日达最大值, 继而缓慢降低直至植被死亡或作物收获。时段降水量呈现相同的变化特征, 但变化较 3 种植被覆盖类型土体储水量更显著, 反映时段蒸散作用对水分的消耗。3 种覆盖类型 170 cm 土体储水量与时段降水量变化趋势一致, 说明黑土区土壤储水量主要受降雨调控, 土体储水量在大规模降雨时增加, 而在雨量不足或干旱季节减少。

2.4 土壤水平衡

由表 1 可知, 无论各时段还是生长季, 土壤水分的总蒸散量基本呈现以下变化趋势: 草地 > 大豆地 > 裸地。5 月 25 日至 6 月 25 日, 草地植被和大豆处于生长初期, 蒸散量接近且稍大于裸地; 7 月 28 日出现罕见暴雨, 单次降雨量 95 mm, 且降雨强度大, 裸地出现少量径流, 因此蒸散量较实际偏大,

表 1 3 种覆盖类型 170 cm 土体蒸散量

Tab. 1 Evapotranspiration in 0~170 cm soil layers under the three land-cover types

时间(月-日) Time (month-day)	蒸散量 Evapotranspiration (mm)		
	裸地 Bare-land	草地 Grassland	大豆地 Soybean-land
05-25~06-15	37.46	42.06	43.65
06-15~06-25	46.47	51.42	49.11
06-25~07-05	62.70	87.59	65.39
07-05~08-05	147.10	126.18	108.44
08-05~08-25	90.11	105.52	115.27
08-25~10-05	69.06	86.73	73.93
04-25~10-05	452.89 ¹⁾	499.49	455.79

1) 数据偏大 The value is bigger.

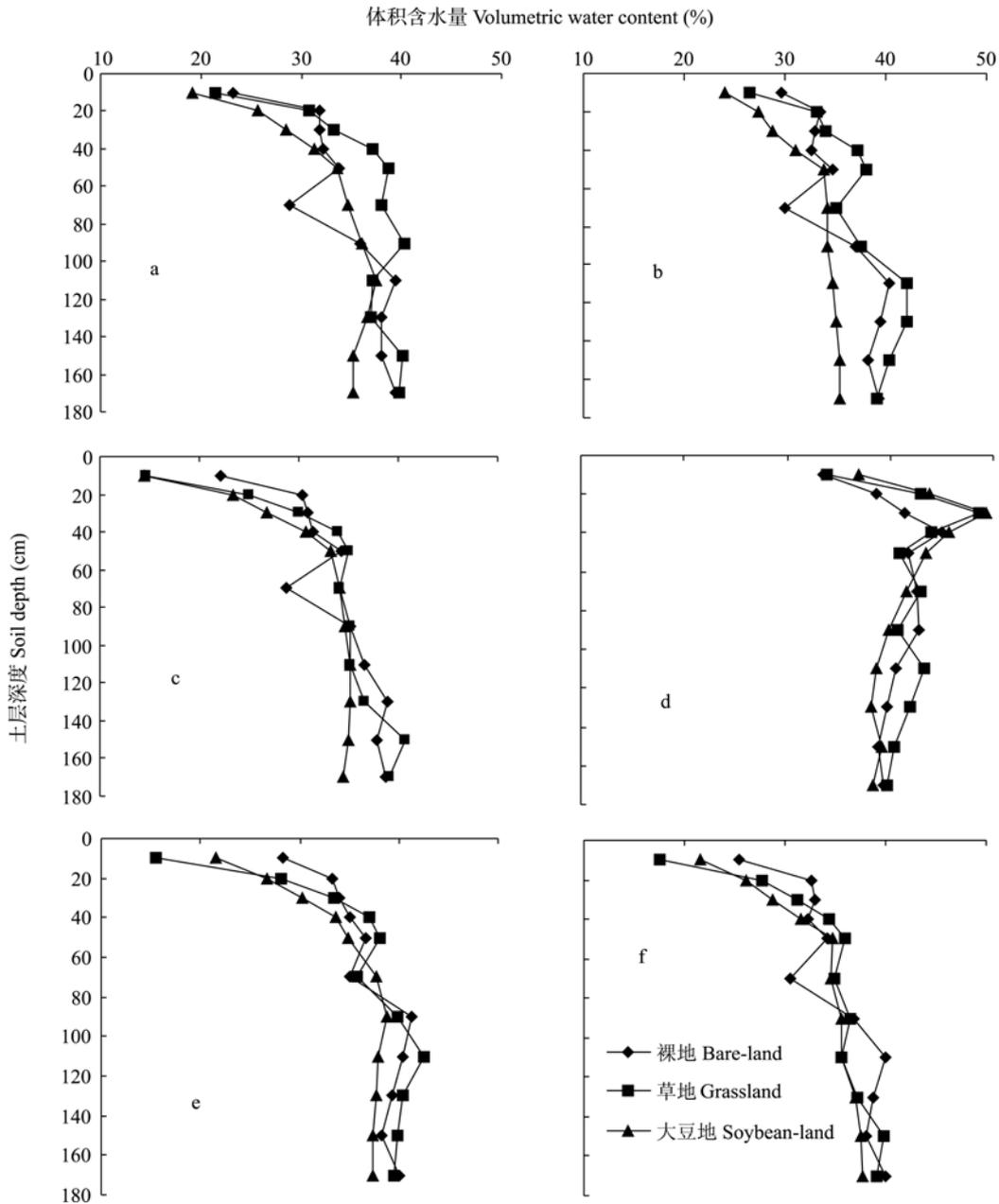


图 2 3 种植被覆盖类型土壤水分季节变化(a: 5 月 25 日; b: 6 月 15 日; c: 7 月 5 日; d: 8 月 5 日; e: 8 月 25 日; f: 10 月 5 日)
 Fig. 2 Temporal change of soil water content under the three land-cover types in May 25 (a), June 15 (b), July 5 (c), Aug. 5 (d), Aug. 25(e), Oct. 5 (f)

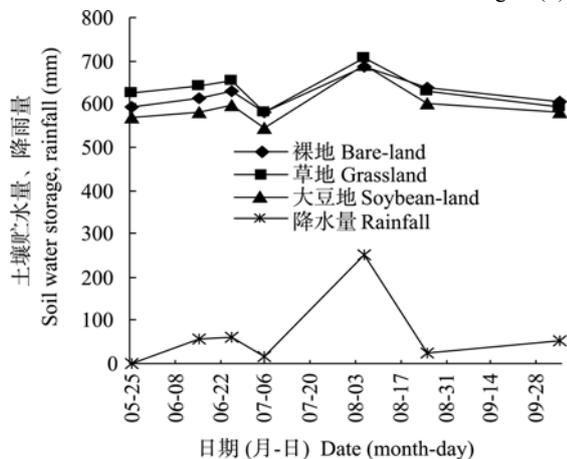


图 3 3 种植被覆盖类型 170 cm 土体储水量动态变化
 Fig. 3 Temporal changes of water storage in soil layer of 0~170 cm under the three land-cover types

草地未发现有径流, 大豆地因为有水泥池埂和隔水材料间隔也未发生径流; 8 月 5 日至 8 月 25 日大豆处于鼓荚期, 对水分消耗量大而超过草地植被; 整个生长季草地比大豆地多消耗 10% 的水量, 且草地水分大多在表层被消耗。

3 结论

平水年 3 种植被覆盖类型黑土水分垂直动态表现为随深度增加而降低。大豆地和草地水分速变层都分布在 0~10 cm; 活跃层分别在 10~35 cm 和 10~20 cm, 水分次活跃层分别在 35~50 cm 和 20~40 cm。大豆直根系的生理特征, 导致根系在较深的土层吸收水分, 较草地有更深的土壤水分循环深度。裸地没有

水分速变层和活跃层,水分次活跃层呈间断性变化。不同覆盖类型下,土壤水循环深度依次为大豆地 > 草地 > 裸地,土壤水循环强度依次为草地 > 大豆地 > 裸地。

3 种覆盖类型生长季土壤剖面含水量呈现增长型的变化特征。各时段裸地 0~20 cm 土层含水量均高于草地和大豆地,证实植被覆盖条件下植物根系是土壤水分消耗的重要原因;30 cm 土层以下含水量依次为草地 > 裸地 > 大豆地,草地特殊构造——根盘层促进水分保持在土壤深层,大豆地根系利用深层土壤水分导致其含水量最低。

3 种覆盖类型 0~170 cm 土体储水量与时段降水量变化趋势一致,说明黑土区土壤储水量主要受降水调控。3 种覆盖类型生长季节内各时段和总蒸散量呈草地 > 大豆地 > 裸地的趋势。

参考文献

- [1] 何其华,何永华,包维措.干旱半干旱山地土壤水分动态变化[J].山地学报,2003,21(2):149-156
- [2] 孟凯,张兴义,隋跃宇,等.黑龙江海伦农田黑土水分特征[J].土壤通报,2003,34(1):11-14
- [3] Wang J., Fu B. J., Yang Q., *et al.* Geostatistical analysis of soil moisture variability on Danangou catchment of the Loess Plateau [J]. *China Environment Geology*, 2001, 41: 113-120
- [4] 王晓燕,陈洪松,王克林,等.不同利用方式下红壤坡地土壤水分时空动态变化规律研究[J].水土保持学报,2006,20(2):110-113
- [5] 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
- [6] 秦永胜,余新晓.密云水库上游水源保护林试验示范区土壤水分动态初步研究[J].北京林业大学学报,1998,20(6):65-70
- [7] 卢义山,梁珍海.苏北海堤防护林土壤水分动态特征的研究[J].江苏林业科技,2002,29(2):5-9
- [8] 张北赢,徐学选,刘江华.黄土丘陵沟壑区不同土地利用方式的土壤水分效应[J].水土保持通报,2005,25(6):5-9
- [9] 韩晓增,王守宇,宋春雨,等.海伦地区黑土农田土壤水分动态平衡特征研究[J].农业系统科学与综合研究,2003,19(4):252-255
- [10] 杨文治,邵明安.黄土高原水分研究[M].北京:科学出版社,2000:86-114
- [11] 陈洪松,邵明安.黄土区坡地土壤水分运动与转化机理研究进展[J].水科学进展,2003,14(4):513-520
- [12] 陈洪松,郝明德,宋孝玉.黄土高原沟壑区农田土壤水分动态变化分析[J].水土保持研究,2003,10(1):192-194
- [13] 王凤,韩晓增,李海波,等.不同黑土生态系统的土壤水分物理性质研究[J].水土保持学报,2006,20(6):67-70
- [14] 张学龙,车克钧,王金叶,等.祁连山寺大隆林区土壤水分动态研究[J].西北林学院学报,1998,13(1):1-9
- [15] 李洪建,王孟本,柴宝峰.黄土高原土壤水分变化的时空特征分析[J].应用生态学报,2003,14(4):515-519
- [16] 王军,傅伯杰,邱扬,等.黄土丘陵区土地利用与土壤水分的时空关系[J].自然资源学报,2001,16(6):521-524
- [17] 陈洪松,邵明安,王克林.黄土区荒草地和裸地土壤水分的循环特征[J].应用生态学报,2005,16(10):1853-1857
- [18] 牛云,张宏斌,刘贤德,等.祁连山主要植被下土壤水的时空动态变化特征[J].山地学报,2002,20(6):723-726
- [19] 王法宏.夏大豆根系生长规律的初步研究[J].莱阳农学院学报,1990,7(1):24-27
- [20] Rodriguez-Iturbe I. Ecohydrology: A hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics[J]. *Water Res.*, 2000, 36(1): 1-9