

## 干旱区不同荒漠植被土壤水分的时空变化特征分析

马海艳<sup>1</sup>, 龚家栋<sup>1</sup>, 王根绪<sup>1,2</sup>, 程国栋<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室, 兰州 730000;

2. 兰州大学 西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000)

**摘要:** 土壤水分是连接气候变化和植被覆盖动态的关键因子。以额济纳地区为研究对象, 通过在6~10月间, 于四种荒漠植被类型: 胡杨林地, 人工梭梭林, 苜蓿地及戈壁观测点, 布置管式时域反射仪(TDR)水分测定仪进行定点、定位观测, 研究了上游放水前后, 同一观测点不同深度及不同土地利用条件下土壤水分的时空分布和动态变化状况。分析表明: 潜水蒸发对土壤水的补给作用越强, 剖面水分条件越好; 受土壤特性影响, 垂直剖面含水量自下而上并不是严格递减的, 对外界环境条件变化所做出的反应也不同, 其中戈壁及人工梭梭林地土壤水分在垂直剖面上分布较均匀; 胡杨林地和苜蓿地各剖面土壤水分差异较大。

**关键词:** 时域反射仪(TDR); 土壤水分; 时空分布; 动态变化

**中图分类号:** S152.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2005)06-0231-04

## Study on the Characteristics of Space- Time Change on Soil Moisture in Arid Region

MA Hai-yan<sup>1</sup>, GONG Jia-dong<sup>1</sup>, WANG Gen-xu<sup>1,2</sup>, CHEN G Guo-dong<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, CAREERI, CAS, Lanzhou 730000, China;

2. Education Ministry Key Laboratory of Western Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Soil moisture is the key factor, which connects climate with vegetation change. Four typical desert vegetations in Ejina natural oasis were taken as examples. Soil moisture were observed by the time domain reflectometry probes at those sampling sites since June to October, which in order to investigate the space- time distribution and dynamic change of soil moisture around the water coming from upper reaches. The expand of dive evaporation will strengthen the supply of soil moisture, and hydrology conditions of section. By the influence of soil characteristics, soil moisture is not degressive strictly from bottom to top at the vertical section. It is comparatively steady at the vertical section of Gobi and *Haloxyylon ammodendron* forest; but have great difference comparatively in *Populus euphratica* forest region and clover land.

**Key words:** time domain reflectometry probes; soil moisture; space- time distribution; dynamic change

土壤水分在干旱区用水中占有举足轻重的地位, 通过了解土壤水分状况, 掌握土壤水分动态变化, 提高土壤水分的利用效率, 对于改善干旱地区的生态环境有着极为重要的意义<sup>[1-3]</sup>。Mckin et al (1980) and Schmugge et al (1980) 对常用的测定土壤含水量的方法做了全面的论述和回顾, 但以上方法都具有一定的局限性。而早在1936年Fletcher(1939)就提出可以利用土的介电性质来测试土的含水量, Fellner-Feldeg (1969)第一次使用TDR测试了液态水的介电常数的依赖性。Davis et al (1976)则首先使用TDR测试了土的介电常数。Topp et al (1980)发现TDR在一定频率范围内, 所测量的介电常数能灵敏的反映土的体积含水量, 即TDR技术可用于土壤容积含水量的非扰动测量, 在这种背景下, 许多学者对使用TDR所做的室内外土壤含水量测试进行了大量的报道<sup>[4-9]</sup>。

额济纳绿洲位于黑河下游冲击平原上, 受水文条件的影响, 近年来, 绿洲急剧萎缩, 植被退化, 荒漠化进程加快, 由此

产生的生态环境问题受到了普遍关注<sup>[10,11]</sup>。本文运用管式TDR对额济纳地区不同土地利用类型的含水量分别做了定期的动态观测, 从而对各利用类型土壤在上游泄洪放水前后土壤含水量的动态变化做出了初步分析。

### 1 研究方法 & 观测区概况

所有类型的TDR测量系统都具有一个发射脉冲的信号源和一个探测系统, 沿介质传播的能量无论在何处遇到阻抗变化的界面, 都会发生部分能量被反射回去的现象。由于水和土壤中其它成分的介电常数存在很大的差别, 所以土壤中一条线路中的一个电子脉冲的传输速度在很大程度上取决于土壤中的水分含量。TDR通过测量电磁波沿置于土壤介质中的波导线传播并在其末端反射的时间来确定土壤的介电常数, 再换算出土壤的容积含水量<sup>[8]</sup>。

额济纳地处我国西北极端干旱区, 属于欧亚大陆的中心地段, 年均气温8.2℃, 年均风速4.7m/s, 多年平均降水量为

\* 收稿日期: 2005-01-10

基金项目: 国家973项目(G199904350601); 中科院寒区旱区环境与工程研究所知识创新工程项目(KZCX1-09-03)资助

作者简介: 马海艳(1979-), 女, 宁夏人, 现为中国科学院寒区旱区环境与工程研究所博士研究生, 主要从事干旱内陆流域LUCC影响下的环境效应研究。

37.9 mm, 而蒸发量高达3 700 mm以上, 干燥度13.7, 属典型的荒漠地带。由于青藏高原的不断隆起阻隔了西南季风进入内陆地区, 所以该地区主要受高温干旱的气团控制, 气候更趋于干旱少雨, 蒸发强烈, 植被稀疏, 风蚀剧烈, 干旱荒漠化是其主要的自然生态特征, 这使得额济纳有限的可利用水资源显得更为珍贵。

观测于2002年6月初至10月中旬在额济纳旗胡杨林地、人工梭梭林地、苜蓿地及戈壁四个点进行, 观测周期为10 d, 数据分析时分别选择其中有代表性的5~6次。胡杨林地位于额济纳旗东七道桥胡杨林核心保护区内, 距旗政府16.5 km, 土壤为林层草甸土, 植被覆盖率达70%; 苜蓿地位于额济纳旗北老林场东约1 km处, 为灌耕地; 人工梭梭林位于额济纳旗西约4 km处, 为灰棕漠土, 无明显的土壤发生层, 盖度在5%左右; 戈壁位于人工梭梭林北约1 km处, 为灰棕漠土, 无植被覆盖, 土壤含水量较小, 全部小于13%。各观测点海拔均在900 m左右, 全年大部分时间胡杨林区和苜蓿地地下水位在2 m左右, 戈壁和人工梭梭林地下水位均在2.5 m以下。7月中旬上游放水后, 地下水得到地表径流的补给, 各地下水位均有所回升。受地下水水位的影响, 各点布置的TDR测管深度不同, 即对于平面上不同的区域, 以20 cm为标准划分层次, 其对应的土壤剖面层次数有所区别。

## 2 土壤含水量时空变化特征分析

土壤含水量的分布, 不仅与土壤特性的空间变异性有关, 而且与其它自然因素(如气候因素、地下水埋深等)、及有无人类活动影响等有密切关系<sup>[3]</sup>。在多种影响因素的共同作用下, 土壤含水量必然会呈现出时空分布的差异性。

### 2.1 土壤含水量时间分布的变异性

受降雨、蒸发在时间分布上的差异性, 作物生长期的差异性, 土壤质地的不同及土壤水排泄和补给条件等因素的综合影响, 土壤含水量的时间分布必然存在差异性。

#### 2.1.1 胡杨林区观测点

该点测深为0~150 cm(140 cm为土壤的间歇潜水面)<sup>[5]</sup>, 共8层。1~16 cm为腐质层, 16~47 cm为壤土, 47 cm以下为砂土。6月初至7月中旬, 蒸发强烈, 土壤含水量急剧下降, 最大降幅为13%, 为观测段内最低; 7月中旬漫灌一次, 漫灌在很大程度上补给了土壤水分, 受滞后效应影响, 到7月下旬, 土壤含水量全剖面均升至25%以上, 达到了观测段内最大, 且浅层含水量变化远大于深层, 其中140 cm以上含水量增幅14%~40%, 140~150 cm增幅不到10%; 7月下旬至10月, 40~120 cm土壤水分首先迅速降低, 并影响到相邻层也出现水分较大幅度降低的情况, 后期土壤水分降低的速率随时间逐渐减小。在整个观测段内, 土壤剖面不同层次含水量差别较大, 跨度几近30%, 其变化程度也存在一定的差异, 尤其是60~120 cm之间变化最大。见图1:

#### 2.1.2 苜蓿地观测点

该点测深0~120 cm, 共6层。6月初至7月中旬, 在蒸发作用下, 土壤含水量达到最低, 其中20~80 cm土壤含水量减少, 最大减少量为11%, 80 cm以下土壤水分增多1%~8%; 7月中下旬相邻地块放水灌溉, 地下水位上升, 20~100 cm水分平均增长16%, 下层土壤水分已经开始减少。

8月上旬至10月, 剖面各层土壤水分相应减少, 减少量均在10%以内。观测段内含水量皆在10%以上, 其中40~80 cm的土层变化幅度最大。见图2:

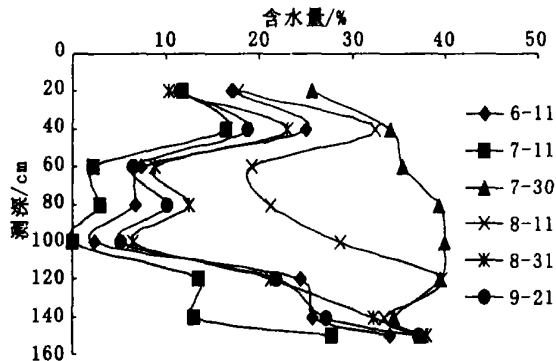


图1 胡杨林区土壤含水量分析图

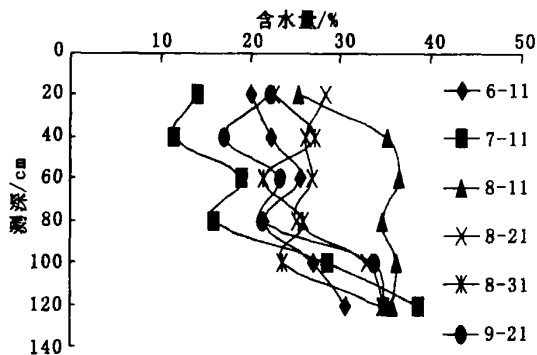


图2 苜蓿地土壤含水量分析图

#### 2.1.3 人工梭梭林观测点

该点测深0~180 cm, 共9层。6月初至7月, 整个剖面土壤含水量有缓慢增高的迹象, 平均增长4%; 7月下旬, 观测点周边短时间漫灌一次, 120 cm以下土壤水分增加20%左右, 上层仅有1%~2%的波动; 7月下旬到8月初, 除100~120 cm层外, 其它各层水分均有0~5%的减少量; 8月至10月, 0~120 cm的上层土壤水分有缓慢回升的趋势, 而120 cm以下水分则大幅减少; 100~120 cm土壤层在观测段内含水量发生持续的小幅增长。见图3:

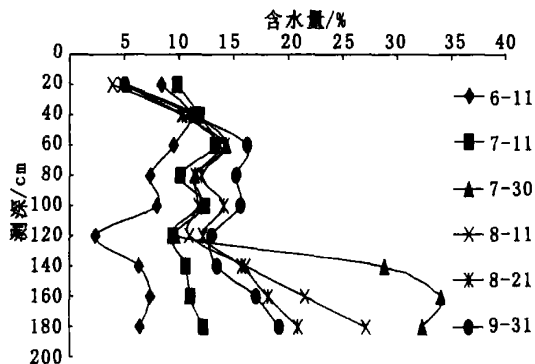


图3 人工梭梭林土壤含水量分析图

#### 2.1.4 戈壁观测点

该点测深0~180 cm, 共9层。观测期内, 表层土壤水分在蒸发作用下持续下降至9月中旬略有反弹, 后继续减少; 表层以下土壤含水量主要受地下水水位的影响, 由于地下水位抬升在时间上呈现出的滞后性, 其变化具有一定的滞后效应。在强烈蒸发的情况下, 水分呈波形减少, 地下水得到地表径流补给后, 垂直剖面各层亦呈波形增加。见图4:

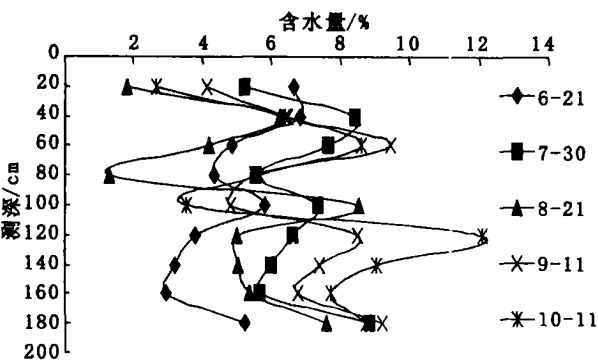


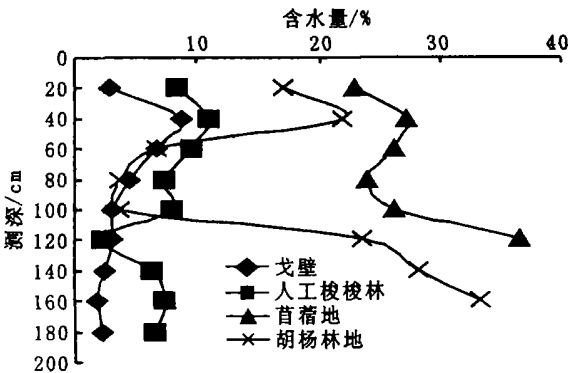
图 4 戈壁土壤含水量分析图

总之, 同一剖面的特定层次在来水前后含水量不同。当地下水作为其唯一补给源时, 在植物生长耗水和蒸发蒸腾作用下, 土壤水分有持续下降的趋势, 来水后, 土壤蓄水, 各层土壤含水量都有相应提高。随着地表径流的干枯, 土壤含水量逐渐趋于最初的稳定状态, 相应提高量发生回落。即各个剖面平均土壤含水量在观测期内也不同, 胡杨林地及人工梭梭林地平均土壤含水量在 7 月下旬漫灌后分别出现约为 36% 和 18% 的最大值; 苜蓿地则在 8 月上旬相邻地块灌溉后出现平均土壤含水量最大值, 为 34%; 上游放水对戈壁的影响不大, 其平均最大土壤含水量值仅为 7.5%, 发生在 9 月下旬平均日辐射已显著降低的时候。

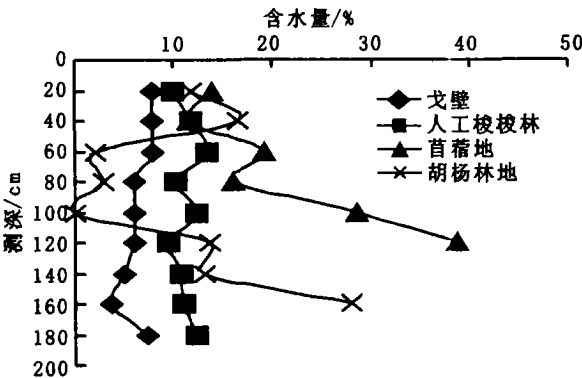
2.2 土壤含水量空间分布的变异性

土壤含水量空间分布的差异性, 主要是由于土壤特性(如粘粒含量、干容重)、生物孔洞、灌溉方式、地形及植被类型等引起的<sup>[3,4]</sup>。即使是同一土壤剖面, 由于毛管力的作用, 其土壤水分也是自潜水面以上逐渐递减的。研究区内, 不同

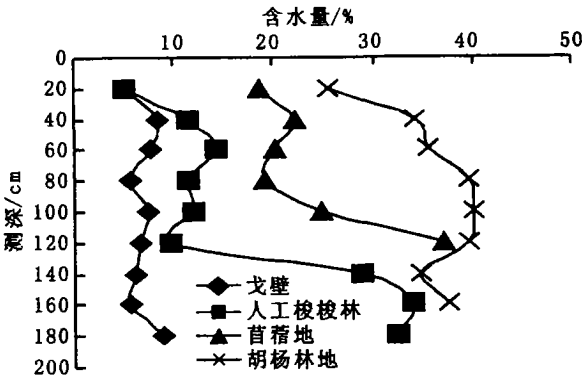
土地利用类型土壤水分同期观测数据分析见图 5A ~ E: 在没有降雨的情况下, 潜水埋深越浅, 则土壤水的有效天然补给量也越大; 但当潜水埋深在 2.5 m 以上时, 潜水蒸发对土壤水有效天然补给量的补给作用就不显著了<sup>[6]</sup>。相对而言, 苜蓿地及胡杨林地土壤水分动态变化更为显著, 除漫灌后, 人工梭梭林深层土壤含水量增幅较大外, 戈壁及人工梭梭林在整个观测期内仅有小幅波动。6 月至 7 月(见图 5a, b), 苜蓿地表层以下至 80 cm 土壤水分明显减少, 胡杨林地土壤水分减少量最大达 15%; 7 月中下旬(见图 5c), 受地表径流的补给, 胡杨林地土壤水分增幅最大, 尤其是 60~120 cm, 几乎增加了 40%; 其它土地利用条件下, 土壤水分只有少量增加; 7 月下旬至 8 月(见图 5c, d), 由于灌溉时间、方式的不同, 在其余三个观测点土壤水分已经开始回落的情况下, 苜蓿地 100 cm 以上土壤水分增加约 10%; 8 月至 9 月(见图 5d, e), 经过蒸发和蒸腾作用后, 地下水位再次下降, 潜水蒸发作用减小, 土壤水分含量随之减少, 逐渐趋于平稳下降。



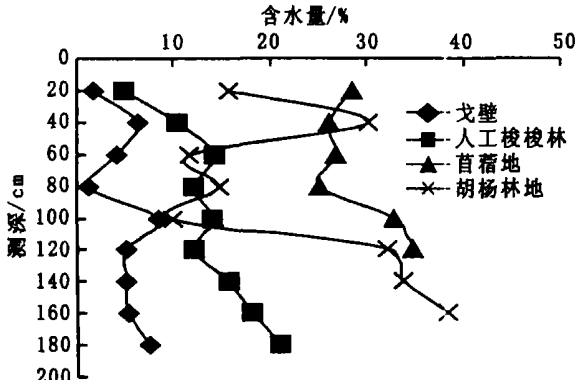
a 6 月 1 日土壤含水量分析图



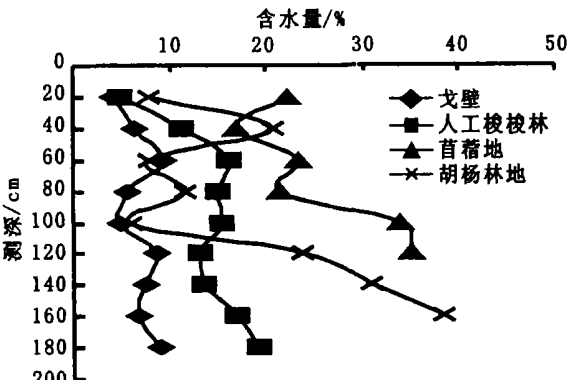
b 7 月 11 日放水前土壤含水量分析图



c 7 月 30 日放水后土壤含水量分析图



d 8 月 21 日土壤含水量分析图



e 9 月 11 日土壤含水量分析图

图 5 不同土地利用类型土壤水分同期观测数据分析图

一方面,由于植物耗水机理不同,地下水位不同,导致不同观测点同一深度放水前后变化幅度不同,除7月下旬胡杨林地漫灌后含水量剧增外,其余时间苜蓿地表层0~20 cm及60~120 cm水分条件最好,基本上戈壁含水量最低。另一方面,由于土壤特性的不同,同一观测点不同深度放水前后变化幅度也不同。各观测点土壤含水量变化最大的土层分别对应为:胡杨林地60~120 cm;苜蓿地40~80 cm;人工梭梭林地120 cm以下;戈壁各层含水量变化幅度基本一致。

### 3 结 论

本文分析结果表明:

(1)地下水位小于2.5 m时,可有效补给土壤水。各个观测点中胡杨林地及苜蓿地地下水埋深较浅,对土壤水的有效天然补给作用比较明显,人工梭梭林地次之,仅在上游放水使地下水位抬升后,120 cm以下土壤水含量有近25%的增量,戈壁最差。

(2)观测期内,由于灌溉与否及灌溉方式的不同,导致胡杨林地平均土壤含水量最大值出现在7月下旬漫灌后,约为36%;苜蓿地平均土壤含水量最大值则出现在8月上旬,为34%;人工梭梭林地平均最大土壤含水量也出现在7月下旬

周边漫灌后,约为18%;戈壁平均最大土壤含水量值最小,为7.5%,发生在9月下旬平均日辐射已显著降低的时候。

(3)放水前,戈壁及人工梭梭林地土壤水分在垂直剖面上分布较均匀,各层水分含量绝对差基本在8%以内,放水后,戈壁各土层水分含量变化较小,人工梭梭林地120 cm以下水分含量升至28.8%以上,水分含量最大绝对差达到了27%,后期降至15%;放水前,胡杨林地及苜蓿地各层水分含量最大绝对差接近30%,放水后,该值降低为不足15%,胡杨林地这一水分最大绝对差在8月底再次上升为30%,而苜蓿地直到10月该绝对差值仍控制在20%以内。

(4)由于土壤特性以及植物根系发育所造成的差异性,同一土壤剖面不同深度在来水前后变化的程度有一定的差异。胡杨林地土壤含水量变化最大的土层为60~120 cm;苜蓿地40~80 cm的土层含水量变化最大;而人工梭梭林地含水量变化最大的土层则在120 cm以下;戈壁各层含水量较小,变化量也较小,各层含水量变化幅度无太大差异。

土壤水分是作物生长的基本条件,了解土壤剖面含水量的变化规律,有助于更合理的开发利用土壤水资源。对防止额济纳旗生态环境进一步恶化,有极为重要的意义。

### 参考文献:

- [1] 沈振荣,等. 水资源科学实验与研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 261-280
- [2] 刘昌明, 王会肖, 等. 土壤—作物—大气界面水分过程与节水调控[M]. 北京: 科学出版社, 1999. 12-18
- [3] 康绍忠, 梁银丽, 蔡焕杰, 等. 旱区水—土—作物关系及其最优调控原理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998. 84-90
- [4] Thom sen A, Hansen B, Schelde K. Application of TDR to water level measurement[J]. Journal of Hydrology, 2000, 236: 252-258
- [5] Ferre P A, Rudolph D. Spatial averaging of water content by time domain reflectometry: implications for twin rod probes with and without dielectric coatings[J]. Water Resource Research, 1996, 32(2): 271-279
- [6] Zegelin S J, White I, Jenkins D R. Improved field probes for soil water content and electrical conductivity measurement using time domain reflectometry[J]. Water Resource Research, 1989, 25(11): 2367-2376
- [7] Herkelrath W N, Hamburg S P, Fred Murphy. Automatic real-time monitoring of soil moisture in a remote field area with time domain reflectometry[J]. Water Resource Research, 1991, 27(5): 857-864
- [8] 王国尚, 金会军, 林清. 时域反射仪在寒区冻融土参数测试中的应用[J]. 冰川冻土, 1998, 20(1): 88-92
- [9] 李晓娟, 曾德超. TDR在监测土壤水分动态变化中的应用[J]. 计算机与农业, 1999, (4): 14-15
- [10] 王根绪, 沈永平, 钱鞠, 等. 高寒草地植被覆盖对土壤水分循环影响研究[J]. 冰川冻土, 2003, 25(6): 653-659
- [11] 张丽, 王秀茹, 刘兰华, 等. 黑河流域额济纳景观格局分析[J]. 水土保持学报, 2003, 10(4): 124-128

(上接第168页)

盖度降低时,人工造林恢复植被11年和封禁恢复植被7年的样地还有一定的风蚀存在,必须加强治理,而人工造林恢复植被2年的样区,植被盖度提高到80%,一年生草本植物盖度仅占19%,可以更好地起到抑制地表起沙的作用。

从以上可以看出,由于延庆县荒滩风蚀比较严重,种子定居比较困难,仅靠封禁手段还不能使植被达到很好的恢复;而

乔灌草结合(乔木采用大苗),并配以高科技技术手段的模式,能够快速成林,保证一、二年生植物种有一个良好的生存环境,使地表覆盖度增加很快,为以后多年生物种的演替创造良好条件。目前形成的乔灌草混交林,结构好,生物多样性显著提高,林分自适应机制趋于完善,防沙治沙功能显著,可以在京津及其周边地区相似立地条件的地方推广应用。

### 参考文献

- [1] 任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996. 15
- [2] 孙儒泳, 李博, 等. 普通生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.
- [3] 贺金生, 陈伟烈. 陆生植物群落多样性梯度变化回顾[J]. 生态学报, 1997, 17(1): 91-97.
- [4] Simpson E H. Measurement of diversity [J]. Nature, 1949, 163(4148): 688
- [5] Magurran A. Ecological diversity and its measurement [M]. Princeton: Princeton University Press, 1988
- [6] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东陵山植物群落多样性研究(II)——物种丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, 15(3): 268-277.
- [7] 黄和平, 等. 皇甫川流域治理区与原生植被区植物多样性比较研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(6): 125-128
- [8] 刘鸿雁, 等. 内蒙古浑善达克沙地和河北坝上地区不同地表覆盖类型对北京沙尘天气物源的贡献[J]. 科学通报, 2003, 48(11): 1229-1232