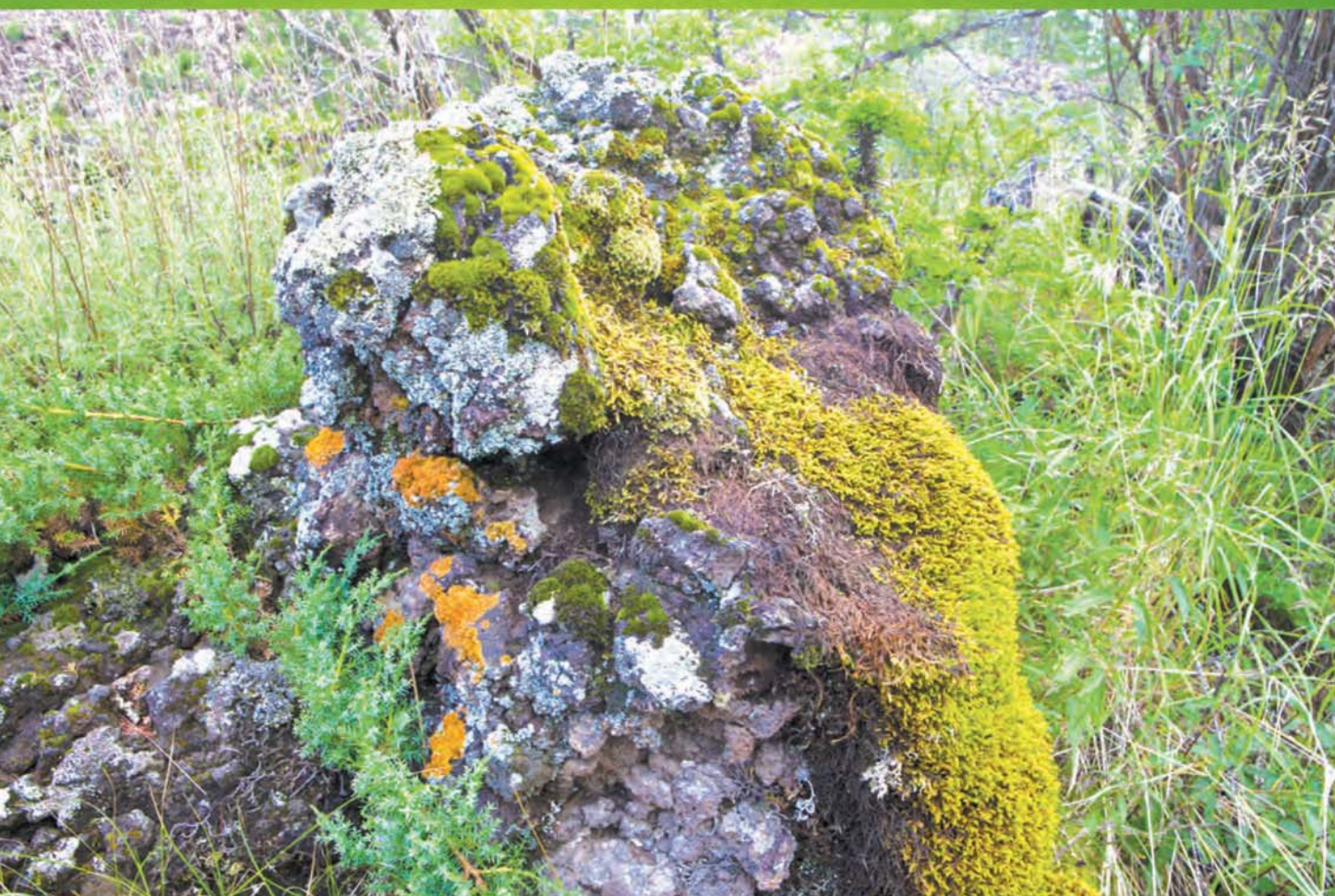


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

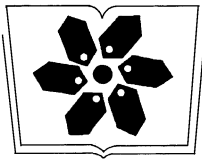
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第6期 Vol.32 No.6 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 6 期

2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

高原草被退化程度的遥感定量监测——以甘肃省玛曲县为例.....	周坚华,魏怀东,陈芳,等 (1663)
基于着生藻类的太子河流域水生态系统健康评价.....	殷旭旺,渠晓东,李庆南,等 (1677)
哀牢山常绿阔叶林水源涵养功能及其在应对西南干旱中的作用.....	杞金华,章永江,张一平,等 (1692)
青岛沿岸水体原生生物群落与水质状况的关系.....	杨金鹏,姜勇,胡晓钟 (1703)
增温对青藏高原高寒草甸生态系统固碳通量影响的模拟研究.....	亓伟伟,牛海山,汪诗平,等 (1713)
三峡水库消落带植物叶片光合与营养性状特征.....	揭胜麟,樊大勇,谢宗强,等 (1723)
三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学特性.....	任玉芹,陈大庆,刘绍平,等 (1734)
强壮前沟藻化感物质分析.....	冀晓青,韩笑天,杨佰娟,等 (1745)
饥饿对中间球海胆 MYP 基因转录表达的影响.....	秦艳杰,孙博林,李霞,等 (1755)
贺兰山牦牛冬春季的生境选择.....	赵宪南,苏云,刘振生,等 (1762)
利用元胞自动机研究一类捕食食饵模型中的斑块扩散现象.....	杨立,李维德 (1773)
转 <i>Cry1Ab</i> 和 <i>Cry1Ac</i> 融合基因型抗虫水稻对田间二化螟和大螟种群发生动态的影响.....	李志毅,隋贺,徐艳博,等 (1783)
光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响.....	范凡,任红敏,吕利华,等 (1790)
荧光素对舞毒蛾核型多角体病毒不同地理品系的增效与光保护作用.....	王树娟,段立清,李海平,等 (1796)
不同利用强度下绿洲农田土壤微量元素有效含量特征.....	李海峰,曾凡江,桂东伟,等 (1803)
稻田温室气体排放与土壤微生物菌群的多元回归分析.....	秦晓波,李玉娥,石生伟,等 (1811)
黄土高原典型区域土壤腐殖酸组分部分布特征.....	党亚爱,李世清,王国栋 (1820)
紫色土菜地生态系统土壤 N_2O 排放及其主要影响因素.....	于亚军,王小国,朱波 (1830)
中国亚热带典型天然次生林土壤微生物碳源代谢功能影响因素.....	王芸,欧阳志云,郑华,等 (1839)
基于 K-均值算法模型的区域土壤数值化分类及预测制图.....	刘鹏飞,宋轩,刘晓冰,等 (1846)
淹水条件下秸秆还田的面源污染物释放特征.....	杨志敏,陈玉成,张赞,等 (1854)
推迟拔节水对小麦氮素积累与分配和硝态氮运移的影响.....	王红光,于振文,张永丽,等 (1861)
江苏省冬小麦渍害的风险区划.....	吴洪颜,高苹,徐为根,等 (1871)
草原植物根系起始吸水层深度测定方法及其在不同群落状态下的表现.....	郭宇然,王炜,梁存柱,等 (1880)
亚热带 6 种树种细根序级结构和形态特征.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (1888)
高寒草原植物群落种间关系的数量分析.....	房飞,胡玉昆,张伟,等 (1898)
菊花近缘种属植物幼苗耐阴特性分析及其评价指标的确定.....	孙艳,高海顺,管志勇,等 (1908)
南方菟丝子寄生对喜旱莲子草生长及群落多样性的影响.....	王如魁,管铭,李永慧,等 (1917)
基于 cDNA 克隆的亚热带阔叶林和针叶林生态系统担子菌漆酶基因多样性及其群落结构研究.....	陈香碧,苏以荣,何寻阳,等 (1924)
细柄阿丁枫和米槠细根寿命影响因素.....	黄锦学,凌华,杨智杰,等 (1932)
基于 TM 遥感影像的森林资源线性规划与优化配置研究.....	董斌,陈立平,王萍,等 (1943)
基于 CFD 的城市绿地空间格局热环境效应分析.....	刘艳红,郭晋平,魏清顺 (1951)
专论与综述	
生态补偿效率研究综述.....	赵雪雁 (1960)
研究简报	
黄河三角洲石油生产对东营湿地底栖动物群落结构和水质生物评价的影响.....	陈凯,肖能文,王备新,等 (1970)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 34 * 2012-03	

封面图说: 植物生命演进石——这不是一块普通的火山岩,而是一块集中展示植物“原生演替”过程最有价值的石头。火山熔岩冷却后的玄武岩是无生命无土壤的真正“裸石”,风力使地衣的孢子传入,在一定温湿度环境下,开始出现了壳状地衣,壳状地衣尸体混合了自然风化的岩石碎屑提供的条件使叶状、枝状地衣能够侵入,接着苔藓侵入,是它们启动了土壤的形成,保持了土壤的湿度,并使营养物质反复循环。于是蕨类定居,草丛长了起来,小灌木出现,直到树木生长,最终形成森林。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201102140171

郭宇然, 王炜, 梁存柱, 王立新, 刘华民. 草原植物根系起始吸水层深度测定方法及其在不同群落状态下的表现. 生态学报, 2012, 32(6): 1880-1887.

Guo Y R, Wang W, Liang C Z, Wang L X, Liu H M. Determination of the initial depth of water uptake by roots of steppe plants in restored and overgrazed communities, Inner Mongolia, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 1880-1887.

草原植物根系起始吸水层深度测定方法及其 在不同群落状态下的表现

郭宇然¹, 王 炜^{1,*}, 梁存柱¹, 王立新², 刘华民¹

(1. 内蒙古大学生命科学学院, 呼和浩特 010021; 2. 内蒙古大学环境与资源学院, 呼和浩特 010021)

摘要:通过比较实验导出用于研究草原群落中不同植物种群起始吸水层研究方法, 暂称之为“土体挖空法”。该方法是将土壤剖面的下部挖空, 保留上面 0—5、0—10、0—15 cm 的土层和上面的全部植物, 当从地表浇的水在被挖空部分的向下表面开始渗出时测定哪些植物种群吸收了水分。实验中用于检验植物是否吸水的方法是用水势仪测定法。在内蒙古锡林郭勒盟白音锡勒牧场中国科学院草原生态系统定位研究站的实验样地上, 通过对处于不同退化恢复演替阶段的草原群落中主要植物种群的研究得出以下结论: 1) 同一群落中不同植物种间根系起始吸水层存在差异, 在恢复群落中存在根系起始吸水位置的生态位分离和重叠现象, 其中黄囊苔草 (*Carex korshinskyi*)、冷蒿 (*Artemisia frigida*)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*) 的起始吸水层位置表明它们在对土壤中水资源利用空间维上存在空间生态位重叠现象; 羊草 (*Leymus chinensis*)、大针茅 (*Stipa grandis*)、米氏冰草 (*Agropyron michnoi*) 之间也存在类似的生态位重叠; 两组植物种群间存在对土壤中水资源利用空间维上的空间生态位分离现象。2) 无论是否退化的草原群落, 其中黄囊苔草、冷蒿、糙隐子草的根系起始吸水层深度保持不变; 在严重退化的群落中羊草、大针茅、米氏冰草同种个体的起始吸水层则变浅, 即呈浅层化分布现象。退化群落中, 植物体小型化和根系浅层化的同时植物根系对水分吸收的起始位置总体呈浅层化。3) 典型草原群落中各植物种群间存在较大幅度的生态位重叠和一定的生态位分离, 其中生态位分离的幅度较小, 重叠的程度较大。

关键词:退化演替; 生态位; 植物水势; 根系; 典型草原; 吸水

Determination of the initial depth of water uptake by roots of steppe plants in restored and overgrazed communities, Inner Mongolia, China

GUO Yuran¹, WANG Wei^{1,*}, LIANG Cunzhu¹, WANG Lixin², LIU Huamin¹

1 College of Life Sciences of Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China

2 College of Environment and Resources of Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China

Abstract: We studied water uptake by plant roots in two typical steppe communities, at the Inner Mongolia Grassland Ecosystem Research Station of the Chinese Academy of Sciences, Xilin Gol League, Inner Mongolia, China. Water uptake by roots forms the base of the Soil-Plant- Atmosphere Continuum. Previously, a model of root water uptake has been used, based on root distribution, but there has been no effective way to research water uptake of steppe plants directly. We used a new method to determine where the plant roots begin the uptake of water. First, we excavated to the subsoil and measured soil water seepage in the selected plots. By watering the plants and then measuring leaf water potential using a water potential system, we were able to use changes in water potential to indicate water uptake. The initial depth of water uptake

基金项目:国家自然科学基金项目(31060076, 40861002, 30330120); 国家科技支撑计划项目(2011BAC02B03, 2008BAD95B03)

收稿日期:2011-02-14; **修订日期:**2011-05-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: weiwang686@sina.com

by roots could thus be determined indirectly. We contrasted two different successional communities, a recovery plot enclosed since 1983, and an open, grazed, degraded plot. Second, we measured uptake by some major plants in different successional communities. We found that the initial depth of water uptake by roots could be measured using the soil excavation method described. In the degraded community, six species showed initial root water uptake at 0–5 cm beneath the surface, *Agropyron michnoi*, *Artemisia frigida*, *Carex korshinskyi*, *Cleistogenes squarrosa*, *Leymus chinensis* and *Stipa grandis*. In the restored community, different species exhibited deeper initial uptake of water. The initial depth of water uptake by roots of *Carex korshinskyi*, *Cleistogenes squarrosa* and *Artemisia frigida* was 0–5 cm below the surface. Here a spatial niche overlap exists in the exploitation of water. However, initial uptake depth of *Leymus chinensis*, *Stipa grandis* and *Agropyron michnoi* was 5–10 cm, these species also share a similar niche. Obviously, the former species uptake water more shallowly than the latter, providing evidence for some spatial separation of water utilization niches. In a different restored community, the initial depth of root water uptake of *Carex korshinskyi*, *Cleistogenes squarrosa* and *Artemisia frigida* did not change with a transition to overgrazing. However, *Leymus chinensis*, *Stipa grandis* and *Agropyron michnoi* began to take up water more shallowly following degradation. As plants miniaturized and root systems became shallower, the initial layer of water uptake also becomes increasingly shallow. This indicated that the steppe plant community was able to vary its use of water resources. In a typical steppe community, there was more substantial niche overlap and less niche separation among plant species. In general, taller plants showed a tendency towards deeper initial depth of water uptake than shorter plants.

Key Words: degrading succession; niche; plant water potential; roots; typical steppe; water uptake

在草原群落中水资源量是制约群落生产力,决定群落组成与结构的最重要因素。已知草原群落可获得的水资源在土壤垂直空间中的分布并非均匀,因此群落中的各个植物种群如何分配和利用这些可获得的水资源就成为非常引人关注的科学命题。有人猜测,草原群落中的不同种群分别利用不同土壤层次中的水资源^[1],也有人以草原群落中植物种群间生态位大幅度重叠为间接证据^[2],暗示在水资源维上不存在生态位的空间分离。由于研究方法的限制,前人尚无法提出有力证据对上述两种认识加以证实或证伪。本研究用以测定草原群落中的植被根系吸水层次,并期望对其它群落类型的测定有所裨益。

根系是植物吸收水分的重要器官,植物根系对土壤水分的吸收是土壤-植物-大气连续体 (Soil-Plant-Atmosphere Continuum 简称 SPAC) 中重要的组成部分,也是 SPAC 系统的基础,已受到国内外相关领域的重大关注,是 IGBP、WCRP、LUCC 等一系列国际合作计划开展研究的核心领域之一。同时也是构建植物根系吸水模型的基础和关键参数,是研究水文、生态、环境等科学领域的重要组成部分。以往大量的研究集中在草原群落地下生物量及其分布方面,所采用的方法常是土钻法或挖掘法分层取样后,通过测定生物量进行分析研究^[3-5]。而对吸水根系分布的相关研究多集中于各类组成单调的农牧作物、树木和少数荒漠区植物^[6-15],典型草原群落的相应研究尚属空白。由于典型草原区植物地下根系错综复杂,很难区分取回的根系属于何种植物,且有效吸水根系筛选也存在一定困难,所以使用现有方法直接对吸水根系进行研究存在极大困难。20 世纪 80 年代以来,国内关于群落中种群生态位的研究已有许多报道^[2],但关于不同放牧退化群落中,草地植物种群地下吸水根系生态位的详细研究尚未见报道。通过对草原群落主要植物种根系吸水相应分布的研究,了解植物及其群落水分生态位分离重叠情况,吸水根系在地下空间分布规律和对水资源的利用方式,为草地研究及管理提供科学依据。

草原群落在过度放牧的情况下会发生退化演替,草原群落退化演替的特征性结果主要为群落生产力的大幅度下降和优势种的更替^[16-17]。植物个体的小型化现象已被作为群落退化演替的机理性环节予以揭示^[18],植物地上部分小型化的同时,地下部分的根系分布是否也存在浅层化现象,则是需要实验加以实证。尽管目前直接测定天然的草原群落中各植物种群的根系分布在手段和方法上还存在困难,本文通过确定植物根系起

始吸水层的深度达到分析草原群落演替过程中植物根系分布变化的研究目的。

1 实验样地与研究方法

实验工作在内蒙古锡林郭勒盟典型草原区,中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站设置的围栏样地内外进行。实验样地的地理坐标为:北纬 $43^{\circ}33'12''$ — $43^{\circ}33'35''$,东经 $116^{\circ}42'26''$ — $116^{\circ}42'31''$ 。该样地位于白音锡勒牧场锡林河阶地与丘陵坡麓间,地势略倾斜,地表较平整。该区土壤为典型栗钙土,原生植被为羊草(*Leymus chinensis*) + 大针茅(*Stipa grandis*)群落^[19]。实验地所在地区年平均降水量 349.6 mm,年均温 0.18°C 。

1.1 实验设计

实验时间为 2009 年和 2010 年 7 月和 8 月植物生长季。在晴朗天气的 9:00 前和 16:00 后有阳光照射时进行。测定工作在围栏内、外分两部分进行,围栏内为 1983 年围封后自然恢复的群落,已恢复到接近原生群落状态,简称为“恢复群落”。围栏外仍为过牧导致的严重退化群落,简称为“退化群落”,在此群落中冷蒿(*Artemisia frigida*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)为优势种。选取测定的植物为羊草、米氏冰草(*Agropyron michnoi*)、大针茅、冷蒿、黄囊苔草(*Carex korshinskyi*)和糙隐子草,共 6 种植物。

1.2 实验方法

方法 1 土体挖空法

土体掏空的主要目的是切断特定厚度土体中的根系与下层根系的联系,使导致植物体内水分动态发生变化的水分仅限于保留下的土体中的水分,更深层次土壤因其被挖空,分布于其中的根系受到破坏,其中的水分显然无法被植物吸收。这样处理后测定的植物吸水情况直接反应保留土层中根系吸水的状况。在围栏内、外的两个不同恢复状态下的样地中随机选取 $0.5\text{ m}\times 0.5\text{ m}$ 的群落片段,2 个相似群落片段为一组。在 2 个群落片段中将下述特定厚度土体下的土层挖空,挖进部分在水平面上长、宽均为 0.5 m,垂直深度不限(如图片所示)。用土壤刀修整保留的土层,使其厚度均匀、平整,注意在操作中要保护好所有植物的地上部分和保留土体中的根系(不要拉拽根系),并将所测植物的根系与下层根系完全断开。修整好后马上在一个已挖空土体的群落片段地表浇水,另一个不浇水用于对照。浇水量达到有水从保留土体的下表面开始渗出为止。浇水控制在挖空土层上表面贴地表均匀进行,以避免叶片与水接触,当有水滴开始从保留土体下表面渗出时,用植物水势仪对每组中有、无浇水的 2 个保留土层上面的植物同时进行水势测定,以通过植物水势的变化反应植物的吸水情况,每植物种群重复测定 3 次。本实验选取的保留土层厚度分别为 5、10、15 cm,通过实验测得在不同土层厚度,植物根系的吸水情况,进而确定植物根系起始吸水位置。

水势测定所用仪器为美国 Wescor 公司生产的 Psypro 型露点水势仪。测量时取有浇水的和无浇水两个样方中同种植物的相同部位的等量植物叶片放入 C-52 样品室中,密封稳定 30 min,测定植物水势。每次测量装入的样品为 3 株同种植物平均取样后的混合样品。

通过测定植物水势,观察在不同处理后有无浇水时,植物水势的变化情况来说明植物的吸水情况。与未浇水的植物的水势值比较,如果浇水植物的植物水势升高则表示植物吸水,反之则植物没有吸水。

方法 2 土壤渗水法

设置该项实验方法的目的是间接测定不同植物根系起始吸水的位置。由于不同浇水量在一定时间后所能下渗的深度不同,可以确定水分入渗深度与时间的关系。通过测定不同时间和浇水量条件下植物的叶片水势值,说明植物根系吸水情况;同时测定土壤渗水深度,结合渗水情况和植物吸水情况间接说明植物根系起始吸水层的深度。根据实验地区近 20a 的 7、8 月份降水量数据统计分析结果中的平均值,按由小到大顺序排列位于 75% 的值及最大值,本实验选取的浇水梯度分别为 8、15、25 L/m^2 。首先在围栏内、外的两个不同恢复状态下的样地中每组随机选取 2 个群落组成相似的 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的群落片段,然后浇水后 2h 测量植物水势,进行 3 次重复测定。与方法 1 不同的是对植物下层土体不采取任何处理,直接向其中 1 个片段浇一定量的水,另一个不浇水用于对照。浇水控制在选取片段内均匀的贴地表进行,以避免叶片与水接触。浇水 2 h 后土壤渗

水速度已明显减慢,测定每组中有、无浇水的群落片段中的植物叶片水势和土壤含水量测定相结合的方法测量土壤渗水深度。通过对比测定在不同浇水量时,土壤渗水深度和植物根系的吸水情况,进而确定植物根系起始吸水位置。

为了使本文所使用的实验方法得到更广泛的应用,方法中所设计的实验梯度为理论测定过程。在实验中,测定工作从浅层向深层逐级进行,即方法 1 的测定从保留土层厚度 5 cm 开始,方法 2 的测定从浇水量为 8 L/m² 开始并逐级进行。当某种植物的植物水势测定结果已经明显说明该植物吸水,可以确定该植物的根系起始吸水层深度,则将不会进行更深一层的测量。

1.3 实验数据处理和统计分析

实验数据处理采用 Microsoft EXCEL 软件进行,数据的统计分析使用 SPSS16.0 软件。

2 结果与分析

2.1 恢复群落中不同植物吸水层深度

2.1.1 恢复群落中土体挖空法测定结果

恢复群落中冷蒿、黄囊苔草、糙隐子草在土体保留 5 cm 时,浇水后植物水势值极显著大于未浇水的,如表 1 所示,说明都已经明显吸水,也就是说这 3 种植物在恢复群落中根系的水分起始吸收层为 0—5 cm。而羊草、大针茅、米氏冰草浇水后的水势值显著或极显著地低于未浇水的,说明这 3 种植物没有吸水,而导致这 3 种植物未吸收水分的原因应该只有一个,那就是植物根系在此土壤层次中没有用于吸收水分的根毛的分布。接下来进行的土体保留厚度为 10 cm 的实验时,发现羊草、米氏冰草浇水后的水势值极显著高于未浇水,而大针茅浇水后显著高于未浇水,说明植物吸水,即这 3 种植物在恢复群落中根系的水分起始吸收层为 5—10 cm。在恢复群落中,米氏冰草、羊草、大针茅的根系起始吸水位置要深于黄囊苔草、糙隐子草和冷蒿,说明在恢复群落中,不同植物间根系的起始吸水位置具有差异。

表 1 恢复群落中植物水势的测定结果——土体挖空法

Table 1 Results of plant water potential in restoring community using the method of soil emptied

物种 Species	土体留层厚度 Soil thickness/cm	未浇水对照的水势 Water potential without irrigation/(-MPa)	浇水处理的水势 Irrigated water potential/(-MPa)
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	5	1.5567±0.06028 ^a	1.8800±0.11533 ^b
大针茅 <i>Stipa grandis</i>	5	1.9267±0.07024 ^A	2.3033±0.06028 ^B
米氏冰草 <i>Agropyron michnoi</i>	5	1.2967±0.02082 ^A	2.0767±0.04509 ^B
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	5	2.6267±0.02517 ^A	2.0533±0.03512 ^B
黄囊苔草 <i>Carex korshinskyi</i>	5	2.2733±0.03055 ^A	1.9333±0.04726 ^B
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	5	3.7933±0.02517 ^A	3.3800±0.03606 ^B
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	10	2.7133±0.02517 ^A	2.2533±0.11504 ^B
大针茅 <i>Stipa grandis</i>	10	4.2133±0.07572 ^a	4.0700±0.04359 ^b
米氏冰草 <i>Agropyron michnoi</i>	10	2.6300±0.05568 ^A	1.1400±0.03606 ^B
大针茅 <i>Stipa grandis</i>	15	2.1200±0.04245 ^A	1.5133±0.08737 ^B

不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$); 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.1.2 恢复群落中用土壤渗水法测定结果

经过对不同浇水量的植物水势变化情况的观察,对比发现冷蒿、羊草、黄囊苔草、米氏冰草、大针茅、糙隐子草在 8 L/m² 浇水量时,浇水的植物水势值都极显著高于未浇水的植物,说明都已经明显吸水,如表 2 所示。



图 1 土体挖空示意图

Fig. 1 Schematic diagram of soil emptied

8 L/m² 浇水量使近地表 5 cm 深度的土壤含水量发生明显变化,即方法 2 测得在恢复群落中这 6 种植物根系起始吸水层均为 0—5 cm。

表 2 恢复群落中植物水势的测定结果——土壤渗水法

Table 2 Results of plant water potential in restoring community using the method of soil seepage

物种 Species	未浇水对照的水势 Water potential without irrigation/(-MPa)	浇水处理的水势 Irrigated water potential/(-MPa)
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	2.5367±0.05508 ^A	2.1267±0.09713 ^B
大针茅 <i>Stipa grandis</i>	2.3700±0.02000 ^A	2.2833±0.01155 ^B
米氏冰草 <i>Agropyron michnoi</i>	1.9600±0.03000 ^A	1.6433±0.05508 ^B
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	2.8767±0.02517 ^A	1.9667±0.02517 ^B
黄囊苔草 <i>Carex korshinskyi</i>	2.4333±0.05132 ^A	1.6767±0.08505 ^B
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	3.8967±0.09018 ^A	3.4133±0.06028 ^B

不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)

2.2 退化群落中不同植物吸水层深度

2.2.1 退化群落中土体挖空法测定结果

退化群落实验样地为没有进行围封的样地,为严重退化群落。该样地使用土体挖空法进行测定时,有无浇水处理中植物水势情况如表 3 所示,发现在土体留层厚度为 5 cm 时,羊草、米氏冰草、大针茅、黄囊苔草、糙隐子草、冷蒿这 6 种植物浇水后的植物水势要显著高于没有浇水的,说明已经明显吸水,即这 6 种植物在退化样地的根系的起始吸水位置为 0—5 cm。

表 3 退化群落中植物水势的测定结果——土体挖空法

Table 3 Results of plant water potential in degraded community using the method of soil emptied

物种 Species	土体留层厚度 Soil thickness/cm	未浇水对照的水势 Water potential without irrigation/(-MPa)	浇水处理的水势 Irrigated water potential/(-MPa)
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	5	2.3633±0.01528 ^A	1.3833±0.09074 ^B
大针茅 <i>Stipa grandis</i>	5	1.8433±0.05508 ^A	1.5633±0.06506 ^B
米氏冰草 <i>Agropyron michnoi</i>	5	2.2033±0.03786 ^A	1.8000±0.04583 ^B
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	5	1.8267±0.02517 ^A	1.6167±0.01528 ^B
黄囊苔草 <i>Carex korshinskyi</i>	5	2.6767±0.02517 ^A	2.2567±0.04163 ^B
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	5	1.9767±0.04163 ^A	1.6567±0.07024 ^B

不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)

2.2.2 退化群落中用土壤渗水法测定结果

退化群落实验样地通过土壤渗水法测定时,有无浇水处理的植物水势情况如表 4 所示,当浇水量为 8 L/m² 时,6 种植物浇水后的植物水势值都极显著高于未浇水的植物,说明都已经明显吸水。8 L/m² 浇水量当时使退化样地近地表 5 cm 深度的土壤含水量发生明显变化,即测得在退化群落中这 6 种植物根系的起始吸水层为 0—5 cm。

2.3 不同实验方法结果差异分析

在不同群落中,将 2 种实验方法得到的结果进行比较。退化群落中 2 种方法得到的结果无差异,均得到 6 种植物根系起始吸水层为 0—5 cm 的结果。但是在恢复群落中发现 2 种实验方法得到的结果并不相同,羊草、大针茅和米氏冰草采用方法 1(土体挖空法)得到的结果是部分种群起始吸水深度比用方法 2(土壤渗水法)得到的要深一些。因为方法 2 并没有对植物群落下层土体进行处理,测定渗水的深度是土壤的,而土壤与根系界面间隙不同于土壤的孔隙,所以土壤的渗水深度并不能说明水分在根系处的渗水情况,所以方法 1

更加有效,其结果更具有说服力。因此本文后面的分析将基于土体挖空法得到的结果进行。

表 4 退化群落中植物水势的测定结果——土壤渗水法

Table 4 Results of plant water potential in degraded community using the method of soil seepage

物种 Species	未浇水对照的水势 Water potential without irrigation/(-MPa)	浇水处理的水势 Irrigated water potential/(-MPa)
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	1.5067±0.05508A	0.7733±0.01528B
大针茅 <i>Stipa grandis</i>	2.5733±0.05859A	1.9733±0.05508B
米氏冰草 <i>Agropyron michnoi</i>	1.8800±0.05568A	1.1400±0.04359B
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	1.6367±0.02517A	1.0500±0.03000B
黄囊苔草 <i>Carex korshinskyi</i>	2.8067±0.07506A	1.6200±0.13000B
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	2.1467±0.18230A	1.5133±0.12741B

数字后不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)

比较还发现恢复群落中方法 1 测得起始吸水位置在 5—10 cm 的羊草、大针茅和米氏冰草,用方法 2 测定时却能吸收到渗透到土壤 5 cm 深处的水,说明同一时间水分沿根系下渗的深度要深于土壤颗粒间的下渗深度。也就是说当降水渗透到土层一定深度时,沿根系—土壤界面下渗的水分已使更深处的根系吸收到水分。也因此更加证明了方法 1 的可用性,在方法 1 中渗入的水即使能沿着根系加速下渗,缺少根毛的植物根系依然无法吸水,方法 2 中则不然。

实验方法对比分析后得出的测定结果(即土体挖空法的测定结果)为:在退化群落中羊草、大针茅、黄囊苔草、糙隐子草、米氏冰草、冷蒿这 6 种植物根系起始吸水层位置处于同一深度范围,即地表 0—5 cm 层。恢复群落中可分两层,由浅到深的排列,第一层为黄囊苔草、糙隐子草和冷蒿,处于地表 0—5 cm 层;第二层为大针茅、羊草、米氏冰草,处于地表 5—10 cm 层。在不同群落中黄囊苔草、冷蒿、糙隐子草随着放牧退化演替的进行同种个体的根系起始吸水层深度几乎不变;羊草、大针茅、米氏冰草则变浅,呈浅层化分布现象。

3 结论与讨论

典型草原植物吸水根系空间分布的研究一直是草原及其它群落研究的空白,也是深入研究群落结构、组织模式、生产力维持机理等诸多生态学基本问题的重点和难点。本文在研究典型草原植物吸水根系分布的测定工作中,利用植物水势说明吸水情况,间接确定植物的起始吸水层位置。通过比较,确定有效方法为土体挖空后测定植物水势法。

典型草原群落中,根是植物体的主要吸水器官,但是否所有深度的根都能吸水是一个重要的科学问题。通过对典型草原群落中主要植物根系起始吸水位置的研究,确定草原群落中植物在水资源利用上存在生态位分离:在恢复群落中,羊草、大针茅、米氏冰草根开始吸水的位置要深于糙隐子草、黄囊苔草和冷蒿。其中大针茅在 10—15 cm 深度处有更好的吸水表现,表明其在 5—10 cm 处开始吸水,但主要起始吸水层的深度接近 10—15 cm。在更深土壤层次上未检出有草本植物起始吸水层的分布。在这个群落中,在对土壤中水资源利用空间维上,糙隐子草、黄囊苔草和冷蒿的生态位是重叠的;羊草、米氏冰草的生态位是完全重叠的,大针茅与羊草、米氏冰草有部分重叠。关于羊草与米氏冰草间生态位重叠的另外证据可以在二者具有明显竞争关系的研究中找到^[20]。

在退化群落中,长期的过度放牧,由牲畜的践踏使土壤紧实度增强,从而导致土壤的通透性变差,降水下渗困难,植物根系呼吸受到影响。所以羊草、米氏冰草、大针茅的根系趋于起始吸水位置变浅。表明草原群落中植物种群具有可变的水资源利用空间的生态位。

植物个体在草原长期过度放牧的作用下会在退化演替的过程中产生变化。王伟等人已经研究发现的具有普遍性和持续性的植物个体小型化和根系浅层化现象就是植物对长期过度放牧的响应^[16-17]。严重退化的群落中,植物起始吸水层位置总体呈浅层化分布的现象表明草地植物为适应过度放牧所表现出的形态可塑性和资源分配策略的变化是草原群落在退化与恢复演替过程的基本机理环节。换言之,种群生态位的变化是导

致典型草原群落向优势种更替和生产水平下降方向演替的重要原因。而植物具有可变化的生态位这个事实也表明生态位的非恒定特性。

草原群落中各植物种群间的大规模生态位重叠的现象已被揭示^[21-24],与此相对的是种群生态位分离的猜测^[1]。本文获得的结果表明典型草原群落中各植物种群间存在较大幅度的生态位重叠和一定的生态位分离,其中生态位分离的幅度较小,重叠的程度较大。生态位分离的大体趋势是植物地上部分高大的植物,其起始吸水层的深度也较深,反之亦然。

References:

- [1] Bai Y F, Han X G, Wu J G, Chen Z Z, Li L H. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland. *Nature*, 2004, 431 (7005): 181-184.
- [2] Chen B, Zhou X M. Analyses of niche breadths and overlaps of several plant species in three *Kobresia* communities of an alpine meadow. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1995, 19(2): 158-169.
- [3] Li P, Li Z B, Tan T Z. Dynamic distribution characters of herbaceous vegetation root systems in abandoned grasslands of Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(5): 849-853.
- [4] Zhou M H. The Study on Distribution Characteristics of the Natural Grassland Vegetation Roots in Yunwu Mountain in Ningxia. Yangling: Northwest A and F University, 2008.
- [5] Fan G Y, Zhang J N, Zhang Y S, Li G, Wang Q, Yang D L. Effects of grazing on plant root distribution and soil physicochemical properties in *Stipa baicalensis* grassland. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(9): 1715-1721.
- [6] Bai W W, Zuo Q, Li B G. A simulation model for water uptake by alfalfa roots in the Wulanbuhe sandy desert. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(4): 431-437.
- [7] Zhu Y H, Wu Y Q, Lu H S. Mathematical model of water absorption of eremophyte root system. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2001, 15(2): 75-79.
- [8] Chi D C, Wang X, Xia G M. A study on water-uptake model of paddy root. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2004, 23(1): 56-61.
- [9] Yao L M, Kang S Z, Gong D Z. Discussion about research methods of apple tree root water uptake. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2004, 15(1): 13-18.
- [10] Yao L M, Kang S Z, Gong D Z, Jia H W, Pang X M. The apple tree root water uptake models established through two kinds of methods and the comparison of these models. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2004, 23(6): 67-70.
- [11] Zhang J S, Meng P. Spatial distribution characteristics of fine roots of pomegranate tree. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2004, 28(4): 89-91.
- [12] Si J H, Feng Q, Li J L, Zhao J. Spatial distribution pattern of *Populus euphratica* fine roots in desert riparian forest. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(1): 1-4.
- [13] Feng Q, Si J H, Li J L, Xi H Y. Feature of root distribution of *Populus euphratica* and its water uptake model in extreme arid region. *Advances in Earth Science*, 2008, 23(7): 765-772.
- [14] Li J L, Feng Q, Si J H. Distribution of uptake roots of *Populus euphratica* in extreme arid region, China. *Arid Land Geography*, 2008, 31(1): 97-101.
- [15] Li J L, Feng Q, Si J H, Chang Z Q, Ju D S, Guo Q L. Two-dimensional model of *Populus euphratica* root water uptake in extremely arid region of China. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(6): 1188-1193.
- [16] Wang W, Liu Z L, Hao D Y, Liang C Z. Research on the restoring succession of the degenerated grassland in Inner Mongolia. Basic characteristics and driving force for restoration of the degenerated grassland. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(5): 449-459.
- [17] Wang W, Liu Z L, Hao D Y, Liang C Z. Research on the restoring succession of the degenerated grassland in Inner Mongolia II. Analysis of the restoring processes. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(5): 460-471.
- [18] Wang W, Liang C Z, Liu Z L, Hao D Y. Mechanism of degradation succession in *Leymus chinensis*+*Stipa grandis* steppe community. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(4): 468-472.
- [19] Jiang S. Setting up of the grassland ecosystem research sites and their vegetation status//Research on Grassland Ecosystem, No 3. Beijing: Science Press, 1988: 1-12.
- [20] Wang X T. The Research on the Change of Plant Populations Spatial Distribution Pattern of the Degraded Community on Typical Steppe in the Course of Restoring Succession [D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2005.

- [21] Wang R Z. The niche breadths and niche overlaps of main plant populations in *Leymus chinensis* grassland for grazing. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, 21(4): 304-311.
- [22] Wang W, Liang C Z, Liu Z L, Hao D Y. Research on restoring succession of degenerated grassland in Inner Mongolia IV. Analysis of plant population dynamics during restoring succession. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1999, 13(4): 44-55.
- [23] Han Y H, Wang S P, Chen Z Z. Responses of the major plant populations of Inner Mongolia typical steppe to grazing rate based on niche considerations. *Acta Agrestia Sinica*, 1999, 7(3): 204-210.
- [24] Lin L, Zhao C Z, Long R J, Wang S, Wang X, Li Y K, Zhang F W. Niche differentiation characteristics of plant functional groups on degraded grassland in the upstream of Shiyang River — A case study of *Heteropappus altaicus* type grassland. *Pratacultural Science*, 2009, 26(5): 50-55.

参考文献:

- [2] 陈波, 周兴民. 三种嵩草群落中若干植物种的生态位宽度与重叠分析. *植物生态学报*, 1995, 19(2): 158-169.
- [3] 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. *应用生态学报*, 2005, 16(5): 849-853.
- [4] 周梦华. 宁夏云雾山天然草地根系分布特征的研究. 陕西: 西北农林科技大学, 2008.
- [5] 范国艳, 张静妮, 张永生, 李刚, 王琦, 杨殿林. 放牧对贝加尔针茅草原植被根系分布和土壤理化特征的影响. *生态学杂志*, 2010, 29(9): 1715-1721.
- [6] 白文明, 左强, 李保国. 乌兰布和沙区紫花苜蓿根系吸水模型. *植物生态学报*, 2001, 25(4): 431-437.
- [7] 朱永华, 仵彦卿, 吕海深. 荒漠植物根系吸水的数学模型. *干旱区资源与环境*, 2001, 15(2): 75-79.
- [8] 迟道才, 王瑄, 夏桂敏. 水稻根系吸水模型的初步研究. *灌溉排水学报*, 2004, 23(1): 56-61.
- [9] 姚立民, 康绍忠, 龚道枝. 苹果树根系吸水研究方法的讨论. *水资源与水工程学报*, 2004, 15(1): 13-18.
- [10] 姚立民, 康绍忠, 龚道枝, 贾宏伟, 庞秀明. 苹果树根系吸水模型研究. *灌溉排水学报*, 2004, 23(6): 67-70.
- [11] 张劲松, 孟平. 石榴树吸水根根系空间分布特征. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2004, 28(4): 89-91.
- [12] 司建华, 冯起, 李建林, 赵健. 荒漠河岸林胡杨吸水根系空间分布特征. *生态学杂志*, 2007, 26(1): 1-4.
- [13] 冯起, 司建华, 李建林, 席海洋. 胡杨根系分布特征与根系吸水模型建立. *地球科学进展*, 2008, 23(7): 765-772.
- [14] 李建林, 冯起, 司建华. 极端干旱区胡杨吸水根系的分布与模拟研究. *干旱区地理*, 2008, 31(1): 97-101.
- [15] 李建林, 冯起, 司建华, 常宗强, 巨登三, 郭巧玲. 极端干旱区胡杨根系吸水的二维数学模型. *生态学杂志*, 2009, 28(6): 1188-1193.
- [16] 王炜, 刘钟龄, 郝敦元, 梁存柱. 内蒙古草原退化群落恢复演替的研究. 退化草原的基本特征与恢复演替动力. *植物生态学报*, 1996, 20(5): 449-459.
- [17] 王炜, 刘钟龄, 郝敦元, 梁存柱. 内蒙古草原退化群落恢复演替的研究 II. 恢复演替时间进程的分析. *植物生态学报*, 1996, 20(5): 460-471.
- [18] 王炜, 梁存柱, 刘钟龄, 郝敦元. 羊草+大针茅草原群落退化演替机理的研究. *植物生态学报*, 2000, 24(4): 468-472.
- [19] 姜恕. 草原生态系统试验地的设置及其植被背景. *草原生态系统研究*, 1988, 3: 1-12.
- [20] 王鑫厅. 典型草原退化群落在恢复演替过程中植物种群空间分布格局的变化研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2005.
- [21] 王仁忠. 放牧影响下羊草草地主要植物种群生态位宽度与生态位重叠的研究. *植物生态学报*, 1997, 21(4): 304-311.
- [22] 王炜, 梁存柱, 刘钟龄, 郝敦元. 内蒙古草原退化群落恢复演替的研究 IV. 恢复演替过程中植物种群动态的分析. *干旱区资源与环境*, 1999, 13(4): 44-55.
- [23] 韩苑鸿, 汪诗平, 陈佐忠. 以放牧率梯度研究内蒙古典型草原主要植物种群的生态位. *草地学报*, 1999, 7(3): 204-210.
- [24] 林丽, 赵成章, 龙瑞军, 王帅, 王溪, 李以康, 张法伟. 石羊河上游退化草地植物功能群生态位分异特征——以阿尔泰狗娃花型草地为例. *草业科学*, 2009, 26(5): 50-55.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 6 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Quantitatively monitoring undergoing degradation of plateau grassland by remote sensing data; a case study in Maqu County, Gansu Province, China	ZHOU Jianhua, WEI Huaidong, CHEN Fang, et al (1663)
Using periphyton assemblages to assess stream conditions of Taizi River Basin, China	YIN Xuwang, QU Xiaodong, LI Qingnan, et al (1677)
Water-holding capacity of an evergreen broadleaf forest in Ailao Mountain and its functions in mitigating the effects of Southwest China drought	QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (1692)
The relationship between protistan community and water quality along the coast of Qingdao	YANG Jinpeng, JIANG Yong, HU Xiaozhong (1703)
Simulation of effects of warming on carbon budget in alpine meadow ecosystem on the Tibetan Plateau	QI Weiwei, NIU Haishan, WANG Shiping, et al (1713)
Features of leaf photosynthesis and leaf nutrient traits in reservoir riparian region of Three Gorges Reservoir, China	JIE Shenglin, FAN Dayong, XIE Zongqiang, et al (1723)
Spatio-temporal distribution of fish in the Pengxi River arm of the Three Gorges reservoir	REN Yuqin, CHEN Daqing, LIU Shaoping, et al (1734)
Analysis on allelochemicals in the cell-free Filtrates of <i>Amphidinium carterae</i>	JI Xiaoqing, HAN Xiaotian, YANG Baijuan, et al (1745)
Effect of starvation on expression patterns of the MYP gene in <i>Strongylocentrotus intermedius</i>	QIN Yanjie, SUN Bolin, LI Xia, et al (1755)
Habitat selection of feral yak in winter and spring in the Helan Mountains, China	ZHAO Chongnan, SU Yun, LIU Zhensheng, et al (1762)
Using cellular automata to study patchy spread in a predator-prey system	YANG Li, LI Weide (1773)
Effects of insect-resistant transgenic <i>Bt</i> rice with a fused <i>Cry1Ab+Cry1Ac</i> gene on population dynamics of the stem borers, <i>Chilo suppressalis</i> and <i>Sesamia inferens</i> , occurring in paddyfield	LI Zhiyi, SUI He, XU Yanbo, et al (1783)
Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of <i>Frankliniella Occidentalis</i> (Pergande)	FAN Fan, REN Hongmin, LU Lihua, et al (1790)
The synergistic action and UV protection of optical brightener on three different geographic isolates of Asian Gypsy Moth Nucleopolyhedrovirus (LdMNPV)	WANG Shujuan, DUAN Liqing, LI Haiping, et al (1796)
The availability of trace elements in an oasis soil under different utilization intensity in an arid area in China	LI Haifeng, ZENG Fanjiang, GUI Dongwei, et al (1803)
Multivariate regression analysis of greenhouse gas emissions associated with activities and populations of soil microbes in a double-rice paddy soil	QIN Xiaobo, LI Yu'e, SHI Shengwei, et al (1811)
Distribution characteristics of humus fraction in soil profile for the typical regions in the Loess Plateau	DANG Ya'ai, LI Shiqing, WANG Guodong (1820)
N ₂ O emissions from vegetable farmland with purple soil and the main factors influencing these emissions	YU Yajun, WANG Xiaoguo, ZHU Bo (1830)
Relationships between carbon source utilization of soil microbial communities and environmental factors in natural secondary forest in subtropical area, China	WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1839)
Numerical soil classification using fuzzy K-means algorithm and predictive soil mapping at regional scale	LIU Pengfei, SONG Xuan, LIU Xiaobing, et al (1846)
Releasing characteristics of nonpoint source pollutants from straws under submerging condition	YANG Zhimin, CHEN Yucheng, ZHANG Yun, et al (1854)
Effects of delayed irrigation at jointing stage on nitrogen accumulation and its allocation, and NO ₃ -N migration in wheat	WANG Hongguang, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (1861)
Risk division on winter wheat suffering from spring wet damages in Jiangsu Province	WU Hongyan, GAO Ping, XU Weigen, et al (1871)
Determination of the initial depth of water uptake by roots of steppe plants in restored and overgrazed communities, Inner Mongolia, China	GUO Yuran, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1880)
Fine root architecture and morphology among different branch orders of six subtropical tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (1888)
Numerical analysis of inter-specific relationships in Alpine steppe community in Bayanbulak	FANG Fei, HU Yukun, ZHANG Wei, et al (1898)
Analysis of shade-tolerance and determination of evaluation indicators of shade-tolerance in seedlings of <i>Chrysanthemum grandiflorum</i> and its closely related genera	SUN Yan, GAO Haishun, GUAN Zhiyong, et al (1908)
Effect of the parasitic <i>Cuscuta australis</i> on the community diversity and the growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i>	WANG Rukui, GUAN Ming, LI Yonghui, et al (1917)
Diversity and community structure of basidiomycete laccase gene from subtropical broad-leaved and coniferous forest ecosystems based on cDNA cloning	CHEN Xiangbi, SU Yirong, HE Xunyang, et al (1924)
Fine root longevity and controlling factors in subtropical <i>Alingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (1932)
Linear programming and optimal distribution of the forest resources based on TM remote sensing images	DONG Bin, CHEN Liping, WANG Ping, et al (1943)
Urban green space landscape patterns and thermal environment investigations based on computational fluid dynamics	LIU Yanhong, GUO Jinping, WEI Qingshun (1951)
Review and Monograph	
Review of the ecological compensation efficiency	ZHAO Xueyan (1960)
Scientific Note	
The effects of petroleum exploitation on water quality bio-assessment and benthic macro-invertebrate communities in the Yellow River Delta wetland, Dongying	CHEN Kai, XIAO Nengwen, WANG Beixin, et al (1970)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 6 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 6 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元