

ZHONG RI  
GANHAN DIQU KAIFA YU HUANJINGBAOHU  
LUNWENJI

中日

干旱地区开发与环境保护

论文集

郭俊荣 北川秀树 编著  
村松弘一 金红实

西北农林科技大学出版社

# 中日干旱地区开发与环境保护 论文集

郭俊荣 北川秀树 编 著  
村松弘一 金红实

西北农林科技大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

中日干旱地区开发与环境保护论文集/郭俊荣等主编. —杨凌:西北农林科技大学出版社,2012

ISBN 978-7-81092-737-6

I. ①中… II. ①郭… III. ①干旱区—开发—文集②环境保护—文集  
IV. ①P941.71—53②X—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 177806 号

**中日干旱地区开发与环境保护论文集**

郭俊荣等 编 著

---

出版发行 西北农林科技大学出版社

地 址 陕西杨凌杨武路 3 号

邮 编: 712100

电 话 总编室:029-87093105

发行部: 87093302

电子邮箱 [press0809@163.com](mailto:press0809@163.com)

印 刷 西安华新彩印有限责任公司

版 次 2012 年 08 月第 1 版

印 次 2012 年 08 月第 1 次

开 本 787 mm × 1092 mm 1/16

印 张 19.5

字 数 360 千字

---

ISBN 978-7-81092-737-6

定价:48.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系

## 序

干旱地区的开发与环境保护是一对十分尖锐的矛盾,无论是在学术界还是在实践中,往往都存在两种截然不同的对立观点。当今社会所面临的诸多环境问题、生态问题,大都与这些分歧分不开。然而,随着人们在工业化进程中不断受到自然界的惩罚和在惩罚中的觉醒,如何正确处理开发与保护的关系,实现在发展中保护、在保护中发展,已成为社会关注的热点。由日本龙谷大学社会科学研究所、综合地球环境学研究所主办、陕西省森林资源管理局协办的中日干旱地区开发与环境保护研讨会,很有意义,尤其是在西北干旱和半干旱地区工业化、城镇化的进程中,对正确处理开发与环保的关系具有指导意义,对人们科学地认识自然、顺从自然、利用自然、与自然和谐共处,共生共赢也是一个很好的探索。

历史上的黄土高原和陕北的长城沿线,曾是森林茂密、水草丰沛、沃野千里、牛羊成群,人们安居乐业的好地方,也是中华民族的重要发祥地。然而随着历史的演替,战乱频发,生产方式的不可持续,到近代已演变成大片植被退化、黄土裸露、土地沙化、水土流失等,形成了严重的生态危机。新中国以后,特别是十一届三中全会后,经过几代人的艰苦努力,通过封山育林、封沙育草、人工植树、飞播造林、封山禁伐、退耕还林等措施的相继实施,使得这一地区生态环境得到了很大改善,自然演替能力得到恢复,实行了由“黄”变“绿”,绿色成为主色调,林草覆盖率大幅提升,水土流失大幅下降,成为陕西经济增长和极具活力的重要地区。这些都得益于多年来坚持的保护为本、生态优先、科学发展、循环发展、绿色发展的探索。

通过研讨会形式认真总结这方面的经验,并汲取日方在治山治水方面的成功实践,我认为很有必要,可以相互借鉴、相互总结、相互学习,取长补短。我大概看了一下本文集收集的文章,印象很好,感受颇多。这些资料的总结和提炼的观点都是在艰苦条件下,经过多年辛勤劳动所取得的成果,我们应当珍惜。借此机会,我也对他们的执着探索和辛勤劳动表示敬意。作为一个环保工作者,在此,向大家推荐这些经验,并希望在今后的工作中用心参考,为以后的环保工作作出贡献。

陕西省环境保护厅厅长: 何发理

二〇一二年七月二十五日

# 前 言

中国西部地区面积 682 万  $\text{km}^2$ , 占全国国土面积的 71.03%, 其中部分地区处于半干旱、干旱气候区, 由于蕴藏着大量的石油、煤炭、天然气等矿产资源, 是生态环境脆弱、水土流失严重的地区; 同时, 西部地区也是中国能源工业基地, 又是中国大江大河的主要发源地和黄河、长江经济带的重要生态屏障, 其环境质量的好坏, 不仅影响着当地老百姓的生活, 而且关系着国家生态经济安全和社会的可持续发展。因此, 做好西部地区特别是半干旱、干旱地区的开发与环境保护工作对西部大开发的顺利实施、国民经济的持续发展具有极其重要的战略意义。

陕北地处中国西部半干旱地区, 其南部为黄土丘陵沟壑区, 北部为毛乌素沙漠南缘。地表植被稀少, 空气干燥, 蒸发强度大, 降水少, 生态环境十分脆弱。但矿产资源却极其丰富, 已探明煤炭、石油、天然气和岩盐的储量分别为 1518 亿 t、13.61 亿 t、3580.33 亿  $\text{m}^3$  和 8858 亿 t。陕北凭借着丰富的能源资源成为中国西煤东运、西气东输、西电东送的重要源头, 被称为 21 世纪中国的加油站。矿产资源开发在支撑国民经济快速发展的背后, 却存在着无法回避的生态环境问题。近年来, 虽然各级政府采取了一系列生态建设与环境保护措施, 取得了一定成效, 但由于长期受人为和自然等因素的影响(例如, 地表塌陷、地下水被破坏、河流和空气被污染等由煤炭、石油、天然气开采带来的问题对生态环境的破坏), 总体恶化的局面还没得到彻底有效的遏制。因此, 如何发挥资源优势, 保护环境, 实现可持续发展, 是陕北半干旱地区工农业生产、老百姓健康生活迫切需要解决的问题。

由日本龙谷大学社会科学研究所、日本综合地球环境研究所主办, 陕西省森林资源管理局协办的“中日干旱地区的开发和环境保护”研讨会于 2011 年 9 月 4 日至 10 日在中国西安顺利召开。此次共同举办研讨会的主要目的有三点: 第一, 通过不同事例和学科研究, 介绍并把握资源开发和利用给环境造成的具体影响; 第二, 为了防止和控制这些问题的发生, 应该采取相应的制度、法律和政策加以制止; 第三, 探讨和讨论如何将经济发展和资源开发所取得的经济利益纳入到生态补偿机制中, 通过有效具体的途径还原到当地社会和生态建设事业中。中日两国的研究者们根据各自的专业和工作经验分别从干旱地区开发对环境造成

的影响、黄土高原的历史和农村社会、开发和环境保护政策、开发和环境影响评价等方面进行了大会发言和讨论。中日专家根据各自不同的经验,从法律政策、历史、自然科学等不同视角出发,对干旱地区开发与环境保护问题进行跨学科综合分析,探讨实现可持续发展的科学途径。尤其是日本专家尽可能多的提供了有关日本的经验,对干旱地区的开发进行提议与启发。

与会专家一致认为在干旱地区,环境一旦被破坏,要想恢复是极其困难的。人类不仅要掌握开发对环境造成的影响,同时还要制定和实施像环境影响评价等防患于未然的政策、可持续发展的方法以及将经营性开发所得的部分利益返还于环境恢复的措施。特别是日本学者介绍了过去日本走过的“先开发,后治理”的错误做法的例子,我们国家应该引以为鉴。

为了引起更多的中国干旱地区的人们对环境保护的关注,给资源开发、环境建设和保护的有关部门、地区及管理者在干旱地区进行开发前的科学决策提供依据,也给同行者提供研究和学习的借鉴、参考,我们将这次研讨会的论文编辑成册并正式出版。在编辑本论文集的过程中,编者对文稿进行了修改,有的论文中的彩色图表变成了黑白色,请作者予以谅解。

由于时间仓促,加之编者水平有限,经验不足,书中错漏和缺点在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2012年7月

# 目 录

|                                        |               |
|----------------------------------------|---------------|
| <b>第一部分 干旱地区的自然环境与经济开发所带来的影响</b> ..... | (1)           |
| 黄土高原退化草地封禁恢复演替过程研究 .....               |               |
| ..... 程积民 井赵斌 刘 伟                      | (3)           |
| 中国西北部黑河流域的农业开发和水资源利用 .....             | 寇田顺平(13)      |
| 生态脆弱区资源开发与生态保护双赢的有益尝试 .....            | 封 斌(22)       |
| 中国黄土高原水土流失的过去、现在、将来 .....              |               |
| ..... 松永光平 佐藤廉也 贾瑞晨 绳田浩志               | (30)          |
| 中国与日本的自然保护法及自然保护区的现状 .....             | 谷垣岳人(39)      |
| 黄土高原腹地不同林分空气质量对比研究 .....               |               |
| ..... 李年麒 田 毅 张玲玲 刘 艳 许喜明 苏印泉          | (50)          |
| 陕北煤矿区生态环境损害评价与健康诊断 .....               |               |
| ..... 赵晓光 宋世杰 张 勇 刘 晓                  | (60)          |
| 西北旱区煤矿废弃地生态环境特征研究 .....                |               |
| ..... 樊金栓 霍 锋 左俊杰 周心澄 许 丽              | (81)          |
| <b>第二部分 黄土高原的历史和农村社会</b> .....         | (99)          |
| 中国退耕还林工程对粮食产量影响的分析与测度 .....            | 刘 璨(101)      |
| 半干旱黄土高原退耕还林十年变化 .....                  | 郭俊荣(127)      |
| 黄土高原与日本人/环境史 .....                     | 村松弘一 寇 鑫(137) |
| 基于文化创造的区域环境治理 .....                    | 奥谷三穗 寇 鑫(149) |
| <b>第三部分 开发与环境保护政策</b> .....            | (163)         |
| 论陕北能源开发中的生态环境保护法律对策 .....              | 张炳淳(165)      |
| 中国生态环境保护政策和公共财政 .....                  | 金红实(171)      |
| 中国生态补偿的政策实践 .....                      | 王朝才(187)      |

第四部分 环境保护经验与启示 ..... (203)

    陕北煤炭开采的环境影响及其评价 ..... 梁丽华 范代娣(205)

    陕西毛乌素沙地治理成效与挑战 ..... 漆喜林(212)

    环境影响评价制度和可持续发展的有关考察 ..... 北川秀树(226)

    英国环境建设与保护现状、经验与启示 ..... 郭剑萍(243)

第五部分 环境保护与恢复技术 ..... (255)

    困难立地植被恢复新材料富丽禾(Frisol)试验研究 .....  
    ..... 刘 毅 谢 斌 王云芳(257)

    黄土高原植被恢复综合技术与优化配置模式初探 ..... 高列萌(267)

    渭北旱塬高效生态复合模式示范应用技术浅析 ..... 宋宪虎 王 锐(278)

    我国北方草地退化的监测与植被恢复建设 ..... 井赵斌 程积民(288)



## 第一部分

# 干旱地区的自然环境与 经济开发带来的影响





## 黄土高原退化草地封禁恢复演替过程研究

(程积民<sup>1\*</sup> 井赵斌<sup>2</sup> 刘伟<sup>1</sup>)

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨凌, 712100)

2. 西北农林科技大学动物科技学院, 杨凌, 712100)

**摘要:**【目的】对黄土高原退化草地封禁恢复演替动态变化趋势进行宏观探讨。【方法】在典型草原区对退化草地长期封禁, 选择4个不同草地群落类型, 设置固定样方进行长期定位监测试验。本文主要对封禁前后群落特征和物种多样性, 本氏针茅群落根系和土壤水分分布特征, 放牧和封禁26年群落土壤种子库及27年连续刈割干扰对草地群落演替的影响进行浅析。【结果】(1)随着封禁年限的增加, 草原植被物种盖度、高度、密度、生物量和物种多样性显著提高;(2)本氏针茅群落根系分布与土壤含水量具有相关性, 根系主要指标随土壤深度的增加而递减;(3)封禁提高土壤种子库的植物种类和密度, 立地条件对土壤种子库有较大影响;(4)适度刈割使草地保持较高的物种多样性和生产力, 并促进草地物质平衡及良性循环。【结论】(1)封禁是草地植被恢复最有效的途径;(2)半干旱区典型草原适宜封禁期15年;(3)封禁可改善群落特征, 增加物种多样性;(4)合理刈割可加速草地的自然更新;(5)在水分允许的条件下草地恢复到一定时期可进行人工林建设。

**关键词:**恢复; 退化草地; 物种多样性; 根系; 土壤种子库; 刈割干扰; 黄土高原

---

\* 作者简介: 程积民(1955—), 男, 陕西蒲城, 中国科学院水利部水土保持研究所研究员, 博士生导师, 西北农林科技大学教授, 博士生导师, 主要从事恢复生态学。培养研究生53名, 获国家及省部级一、二等奖12项, 公开发表论文150篇, 主编与合编专著10部, 获荣誉12项。

## Restoration and Succession Process of the Degraded Grassland Enclosure in the Loess Plateau of China

Jimin Cheng<sup>1,2</sup> Zhaobin Jing<sup>2</sup> Wei Liu<sup>1</sup>

1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and  
Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. College of Animal Science and Technology, Northwest A & F  
University, Yangling, Shaanxi 712100, China

**Abstract:** The objective of this experiment was to explore the dynamic change trend of succession process of degraded grassland enclosure in the loess plateau of China. **【Method】**In the degraded grassland enclosure of typical steppe, many fixed quadrats were established in four different plant communities. This paper made a preliminary analysis of the impact of community characteristics and biodiversity, root system and soil oil water distribution of *Stipa capillata* community, soil seed bank under both grazing and a 26 – year grazing ban, and 27 – years' consecutive cutting of grass on grassland community succession between before and after grassland enclosure. The results show that: (1) species coverage, height, density, biomass and diversity significantly increased as grassland enclosure continues; (2) there existed an correlation between root system distribution of *Stipa capillata* community and soil water content, and main index of root system decreased as increase of soil depth; (3) The enclosure increased plant species kinds and density of soil seed bank, and site conditions had large influence on soil seed bank; and (4) Proper cutting of grass could maintain higher species diversity and productivity of grassland, and promoted balance of grassland substance and good recycle. **【Conclusion】**(1) Enclosure is the most effective way for vegetation restoration; (2) The appropriate enclosure period for the typical steppe of semi – arid area is 15 years; (3) Enclosure could improve vegetation community characteristics add increase species diversity; (4) Rational cutting of grass can accelerate natural regeneration of grassland; and (5) When grassland is being restored to the certain stage, plantation could be established if water condition permits.

**Key words:** Restoration, degraded grassland, biodiversity, root system, soil

seed bank, disturbance by grass - cutting, loess plateau

## 引言

黄土高原是全世界最大的黄土堆积区,地处黄河中上游,总面积为 62.38 万  $\text{km}^2$ 。目前,受长期半干旱气候和水土流失的侵蚀,使该区已成为生态脆弱的典型区域。据测定黄土高原平均每年的土壤泥沙流失量达 22 亿  $\text{t}^{[1]}$ 。沙漠化严重,面积已占到国土面积的 27.3%,每年平均以 2460  $\text{km}^2$  的速率增加,导致约 4 亿人口受到直接或间接影响,每年的直接经济损失达到 54 亿元<sup>[2]</sup>。

引起草地退化的原因复杂多样,如过度放牧、大面积开垦农林地、自然灾害频发、长期干旱和水土流失、工农业建设占用草原等是导致草地退化和面积趋减的主要原因。生态恢复策略作为促进生态退化区域可持续发展的一种有效方式已得到公认<sup>[3]</sup>。20 世纪 70 年代以来,我国政府提出了一系列恢复退化草地植被的措施:三北防护林建设、人工草地建设和退耕还林还草工程,并取得了一定的成绩。植被群落的恢复和演替作为生态学中一个经典的理论之一,一直是许多学者关注的研究重点<sup>[1]</sup>。目前,植被恢复和演替研究主要集中在森林、荒弃农田和沼泽地等方面<sup>[4-7]</sup>,关于黄土高原草地恢复演替的研究报道很少,同时,黄土高原植被恢复演替究竟是以林为主还是以草为主,一直是不同学者争议的一个关键问题。

本文以黄土高原退化草地恢复演替 30 年监测的部分数据为基础,主要对群落演替过程中的群落特征、物种多样性、根系、土壤种子库及刈割干扰进行初探,旨在为黄土高原后期生态恢复和草原管理提供理论依据和参考。

## 1 研究内容与方法

### 1.1 试验区概况

试验区位于黄土高原宁夏省固原云雾山草原自然保护区(见图 1-1),地理位置  $106^{\circ}24' \sim 106^{\circ}28'E, 36^{\circ}13' \sim 36^{\circ}19'N$ , 面积 7150  $\text{hm}^2$ , 海拔 1800 ~ 2100 m;年均温  $5^{\circ}\text{C}$ , 最热月为 7 月, 气温为  $22 \sim 25^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 0^{\circ}\text{C}$  年积温 2370 ~ 2882 $^{\circ}\text{C}$ 。年蒸发量 1330 ~ 640 mm, 无霜期 137 天, 年降水量 400 ~ 450 mm, 降水季节分配不均, 全年 65% ~ 75% 的降水集中在 7 ~ 9 月。土壤类型为山地灰褐土和黑垆土。该区自 1982 年开始封育, 种子植物分布共 186 种, 其中乔木 8 种、灌木 18

种,草本植物 160 种。建群种和优势种植物主要以本氏针茅( *Stipa bungeana* )、百里香( *Thymus mongolicus* )、铁杆蒿( *A. rtemisia sacrorum* )、大针茅( *Stipa grandis* )、冷蒿( *A. frigida* )、猪毛蒿( *A. scoparis* )、星毛委陵菜( *Potentilla acaulis* )、阿尔泰狗娃花( *Heteropappus altaicus* )为主,其中丛生禾本科植物本氏针茅在该区分布范围最广。



图 1-1 试验区在黄土高原的地理位置

## 1.2 试验设计与研究方法

试验自 1982 ~ 2010 年进行,选择本氏针茅群落( type I )、大针茅群落( type II )、铁杆蒿群落( type III )和百里香群落( type IV ) 4 个草地群落类型,采用定期调查与长期定位监测相结合的方法布设样方,每一样方面积为 1 m × 1 m,每次重复 6 次测定相关指标,调查于每年的 4 ~ 10 月份及每月的 20 ~ 25 日进行。试验内容:(1)群落特征和物种多样性:物种高度、盖度、密度、地上生物量和物种多样性。(2)地面凋落物。(3)根系调查:2007 年采用土坑法和根钻法分层测定 0 ~ 100 cm 的根系特征。(4)草地枯枝落叶和土壤种子库测定:其中土壤种子库从 2007 年开始测定。(5)土壤水分:分层测定 0 ~ 200 cm 的土壤水分。(6)草地利用演替试验:不同时期进行不同强度和不同频率的刈割、放牧和火烧试验。

本文具体分析内容:(1)封禁前后群落特征和物种多样性。(2)根系分布特

征:2007 年采用根系取样器分 5 层测定本氏针茅群落 0 ~ 100 cm 地下生物量、根长密度、根表面积、比根长和 0 ~ 100 cm 土壤水分特征。’ (3) 土壤种子库:2007 年采用样线取样法选取封禁 26 年草地和放牧样地取样,在样线上每隔 15 m 设一个 1 m × 1 m 的样方,共 3 个重复。在小样方内按对角线取样的方法选取 5 个样点,用直径 9 cm 的土钻分 4 层取样。(4) 27 年连续不同强度和频率的刈割干扰试验。

1.3 数据处理

数据处理采用 Excel 和 SPSS 13. 0 软件进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 群落特征与物种多样性

已有研究表明封禁可以改善退化草地植物群落物种特征,促进草地群落结构和功能得到恢复。与封禁前(1982 年)比较,封禁后(2010 年)草地群落物种盖度、高度、密度和生物量显著提高(见图 1-2)。

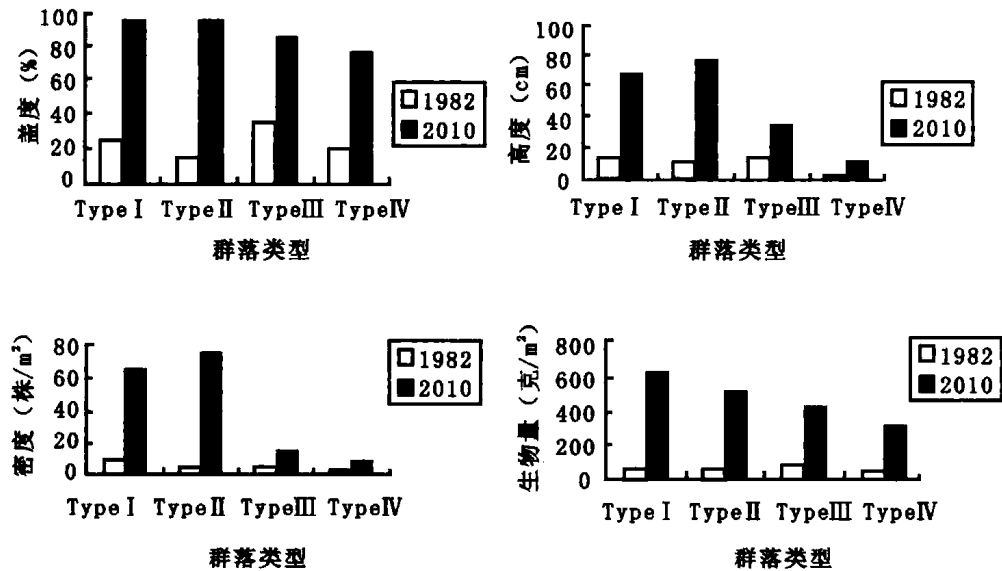


图 1-2 封禁前(1982 年)、后(2010 年)不同草地群落类型物种  
盖度、高度、密度和生物量的变化

30 年的草地自然恢复演替过程中,不同封禁年限(0、5、10、15、20、25、30 年)的物种多样性变化(见图 1-3),随着封禁年限的增加,4 个不同群落类型的物种

多样性也呈逐渐增加的变化趋势。群落特征和物种多样性与 Blesky 等(1992)研究退化草地采取封育措施后可以显著增加物种盖度和多样性等的结论一致。

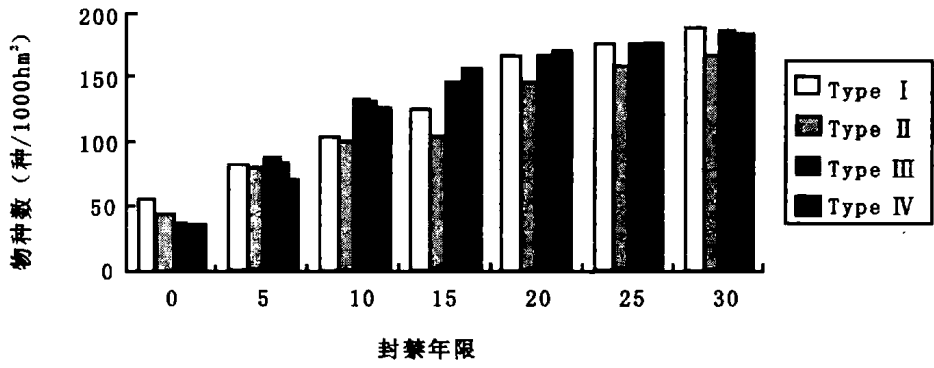


图 1-3 不同封禁年限不同草地群落类型物种多样性的变化

2.2 根系分布、土壤水分<sup>[9]</sup>和土壤种子库特征<sup>[10]</sup>

为揭示本氏针茅群落根系的生理生态适应机制，于 2007 年采用根系取样器  $\phi = 9\text{ cm}$ ，对封禁的本氏针茅群落 0 ~ 100 cm 根系分布特征和土壤含水量进行了研究。结果表明：本氏针茅群落地下生物量、根长密度、根表面积、比根长均随土壤深度增加而减少，均表现出向表层土 0 ~ 40 cm 集中分布的变化规律，最大值均分布在 0 ~ 20 cm 土层浅层，而最深层 80 ~ 100 cm 分布最小；主要根系分布参数在 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层之间的差异显著，以下各层差异不显著(见表 1-1)。土壤含水量与根生物量和比根长相关性达显著水平  $P < 0.05$ ，与根表面积、根长密度均呈成正相关；根表面积、根生物量、根长密度和比根长间相关性均达极显著水平  $P < 0.01$ (见表 1-2)。

表 1-1 本氏针茅群落根系在土壤各层的分布特征

| 土壤深度<br>(cm) | 根生物量<br>(mg. cm <sup>-3</sup> ) | 根长密度<br>(mm. cm <sup>-3</sup> ) | 根表面积<br>(mm <sup>2</sup> . cm <sup>-3</sup> ) | 比根长<br>(mm. mg <sup>-1</sup> ) |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------|
| 0 ~ 20       | 5. 65 ± 0.33 <sup>a</sup>       | 57.55 ± 0.62 <sup>a</sup>       | 43.97 ± 2.03 <sup>a</sup>                     | 32.76 ± 0.73 <sup>a</sup>      |
| 20 ~ 40      | 1.44 ± 0.12 <sup>b</sup>        | 21.61 ± 0.67 <sup>b</sup>       | 14.10 ± 0.67 <sup>b</sup>                     | 18.90 ± 0.82 <sup>b</sup>      |
| 40 ~ 60      | 0.69 ± 0.03 <sup>bc</sup>       | 7.02 ± 0.17 <sup>c</sup>        | 4.75 ± 0.25 <sup>c</sup>                      | 18.38 ± 2.47 <sup>b</sup>      |
| 60 ~ 80      | 0.35 ± 0.03 <sup>c</sup>        | 3.88 ± 0.13 <sup>c</sup>        | 2.81 ± 0.18 <sup>c</sup>                      | 13.27 ± 0.90 <sup>bc</sup>     |
| 80 ~ 100     | 0.19 ± 0.01 <sup>c</sup>        | 2.38 ± 0.17 <sup>c</sup>        | 1.65 ± 0.07 <sup>c</sup>                      | 9.87 ± 0.27 <sup>c</sup>       |

表 1-2 本氏针茅群落根系参数与土壤含水量的相关性分析

| 测定指标  | 土壤含水量  | 根表面积    | 根长密度    | 根生物量    | 比根长 |
|-------|--------|---------|---------|---------|-----|
| 土壤含水量 | 1      |         |         |         |     |
| 根表面积  | 0.509  | 1       |         |         |     |
| 根长密度  | 0.510  | 0.988** | 1       |         |     |
| 根生物量  | 0.618* | 0.949** | 0.945** | 1       |     |
| 比根长   | 0.571* | 0.930** | 0.931** | 0.848** | 1   |

注:\*\*表示相关性达极显著水平( $P < 0.01$ );\*表示相关性达显著水平( $P < 0.05$ )

2007 年选择封禁 26 年的草地群落和放牧样地,分别对土壤种子库种子密度、种子库组成、种子库物种多样性及均匀性进行了比较研究,主要结论如下(图表未列出):与放牧地比较,封禁可提高土壤种子库的植物种类和密度,使优良禾草和多年生植物增加;种子库在土壤中呈随着土层的加深种子在数量上迅速递减的垂直分布规律;不同立地条件,如坡向和坡位对土壤种子库有较大影响,种子库密度表现出阴坡 > 阳坡;坡下部 > 坡中部 > 坡上部的变化趋势;从丰富度、Shannon - Wiener 多样性和均匀性 3 个方面比较分析封育和放牧样地土壤种子库多样性,结果表明封育样地 Margalef 丰富度指数和 Shannon - Wiener 指数均高于放牧地,而 Pielou 均匀性指数低于放牧地。

2.3 刈割干扰试验

在封禁的本氏针茅群落进行刈割干扰试验。通过 27 年不同刈割强度干扰试验,结果表明,适度刈割可使草地保持较高的物种多样性和生产力,并能促进草地物质平衡及良性循环,为封禁草地的合理刈割利用提供了重要依据。刈割初期(1982 ~ 1987 年)受降雨及植物生长环境的影响,草地物种多样性呈波浪式增长;刈割中后期(1988 ~ 2008 年)不同刈割强度物种多样性差异显著,21 年平均物种数,2 年刈割 1 次区为  $24.1 \pm 0.64$  (种/ $m^2$ ),1 年刈割 1 次区为  $15.5 \pm 0.37$  (种/ $m^2$ ),1 年刈割 2 次区为  $13.9 \pm 0.41$  (种/ $m^2$ )。三种刈割处理生物量均呈抛物线型,27 年平均地上生物量 2 年刈割 1 次区为  $785.6 \pm 111.84$  (g/ $m^2$ ),1 年刈割 1 次区为  $630.8 \pm 115.1$  (g/ $m^2$ ),1 年刈割 2 次区为  $501.5 \pm 120.53$  (g/ $m^2$ )。三种刈割干扰草地群落的演替过程可分为五个阶段,在演替的第Ⅳ阶段,本氏针茅种群生长达到了亚顶极,2 年刈割 1 次区植物群落物种数量较为丰富,最高达 159 种,并出现森林草原区内生长的灌木和草本植物,使典型草原群落的演替具有向森林草原类型演替的趋势。