

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

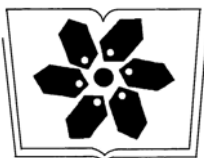
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 22 期 Vol.33 No.22 **2013**

中国生态学会
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 33 卷 第 22 期 2013 年 11 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 利用分布有/无数据预测物种空间分布的研究方法综述 刘芳,李晟,李迪强 (7047)
- 景观服务研究进展 刘文平,宇振荣 (7058)
- 土壤呼吸组分分离技术研究进展 陈敏鹏,夏旭,李银坤,等 (7067)

个体与基础生态

- 平茬高度对四合木生长及生理特性的影响 王震,张利文,虞毅,等 (7078)
- 不同水分梯度下珍稀植物四数木的光合特性及对变化光强的响应 邓云,陈辉,杨小飞,等 (7088)
- 水稻主茎节位分蘖及生产力补偿能力 隗溟,李冬霞 (7098)
- 基于辐热积法模拟烤烟叶面积与烟叶干物质产量 张明达,李蒙,胡雪琼,等 (7108)
- 耕作方式和秸秆还田对华北地区农田土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响 田慎重,王瑜,李娜,等 (7116)
- 不同光照强度下兴安落叶松对舞毒蛾幼虫生长发育及防御酶的影响 鲁艺芳,严俊鑫,李霜雯,等 (7125)
- 南方小花蝽在不同空间及笼罩条件下对西花蓟马的控制作用 莫利锋,鄧军锐,田甜 (7132)
- 浮游植物对溶解态 AI 的清除作用实验研究 王召伟,任景玲,闫丽,等 (7140)
- 卧龙巴郎山川滇高山栎群落植物叶特性海拔梯度特征 刘兴良,何飞,樊华,等 (7148)
- 春夏季闽江口和兴化湾虾类数量特征 徐兆礼,孙岳 (7157)
- 啃食性端足类强壮藻钩虾对贫筲湖三种大型海藻的摄食选择性 郑新庆,黄凌风,李元超,等 (7166)

种群、群落和生态系统

- 4 种农业措施对三化螟种群动态的控制作用 张振飞,黄炳超,肖汉祥,等 (7173)
- 黄土高原沟壑区森林带不同植物群落土壤氮素含量及其转化 邢肖毅,黄懿梅,安韶山,等 (7181)
- 基于诊断学的生态系统健康评价 蔡霞,徐颂军,陈善浩,等 (7190)
- 稻田生态系统中植硅体的产生与积累——以嘉兴稻田为例 李自民,宋照亮,姜培坤 (7197)
- 自由搜索算法的投影寻踪模型在湿地芦苇调查中的应用 李新虎,赵成义 (7204)
- 贺兰山不同海拔典型植被带土壤微生物多样性 刘秉儒,张秀珍,胡天华,等 (7211)
- 内蒙古典型草原灌丛化对生物量和生物多样性的影响 彭海英,李小雁,童绍玉 (7221)
- 黄土丘陵沟壑区 80 种植物繁殖体形态特征及其物种分布 王东丽,张小彦,焦菊英,等 (7230)
- 基于 MAXENT 模型的贺兰山岩羊生境适宜性评价 刘振生,高惠,滕丽微,等 (7243)
- 太湖湖岸带浮游植物初级生产力特征及影响因素 蔡琳琳,朱广伟,李向阳 (7250)

景观、区域和全球生态

- 艾比湖地区土壤呼吸对季节性冻土厚度变化的响应…………… 秦 璐,吕光辉,何学敏,等 (7259)
- 田间条件下黑垆土基础呼吸的季节和年际变化特征…………… 张彦军,郭胜利,刘庆芳,等 (7270)

资源与产业生态

- 光核桃遗传资源的经济价值评估与保护 …………… 张丽荣,孟 锐,路国彬 (7277)
- 棉花节水灌溉气象等级指标…………… 肖晶晶,霍治国,姚益平,等 (7288)

研究简报

- 云南红豆杉人工林萌枝特性…………… 苏 磊,苏建荣,刘万德,等 (7300)
- 赣中亚热带森林转换对土壤氮素矿化及有效性的影响…………… 宋庆妮,杨清培,余定坤,等 (7309)

学术信息与动态

- 2013 年 European Geosciences Union 国际会议述评 …………… 钟莉娜,赵文武 (7319)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 276 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2013-11



封面图说:山坡岩羊图——岩羊属国家二级保护动物,因喜攀登岩峰而得名,又名石羊。贺兰山岩羊主要分布于海拔 1500—2300m 的山势陡峭地带,羊群多以 2—10 只小群为主。生境适宜区主要为贺兰山东坡(宁夏贺兰山国家级自然保护区)的西南部,而贺兰山西坡(内蒙古贺兰山国家级自然保护区)也有少量分布。贺兰山建立国家级自然保护区以来,随着保护区环境的不断改善,这里岩羊的数量也开始急剧增长,每平方公里的分布数量现居世界之首,岩羊的活动范围也相应扩大到低山 900 米处的河谷。贺兰山岩羊生境选择的主要影响因子为海拔、坡度及植被。

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

DOI: 10.5846/stxb201207231047

王东丽, 张小彦, 焦菊英, 杜华栋, 王宁, 贾燕锋. 黄土丘陵沟壑区 80 种植物繁殖体形态特征及其物种分布. 生态学报, 2013, 33(22): 7230-7242.
Wang D L, Zhang X Y, Jiao J Y, Du H D, Wang N, Jia Y F. Research on diaspore morphology and species distribution of 80 plants in the hill-gully Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(22): 7230-7242.

黄土丘陵沟壑区 80 种植物繁殖体 形态特征及其物种分布

王东丽¹, 张小彦³, 焦菊英^{1,2,*}, 杜华栋², 王 宁², 贾燕锋^{2,4}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨凌 712100;

3. 陕西省榆林市府谷县林业局, 府谷 719400; 4. 沈阳农业大学水利学院, 沈阳 110866)

摘要:植物繁殖体的形态特征及其物种分布是植物长期适应环境的结果,对退化生态系统的更新与恢复具有重要的理论与实践指导意义。研究了 80 种植物的繁殖体形态特征及其物种分布的关系,结果表明:1)繁殖体重量差别较大(0.020—357.428 mg),主要集中在 1—9.999 mg(占 52.5%)。2)繁殖体的形状指数 *FI* 变化范围较大(1.06—12.93),61.3%的植物繁殖体的形状近圆球形。3)33 种植物繁殖体具有明显的附属物,包括毛、翅、芒和刺等。4)87.5%的植物繁殖体表面具有各种纹饰(棱、被毛、纹和颗粒状等);繁殖体颜色以褐色和黑色为主,少数繁殖体颜色鲜艳;6 种植物繁殖体具有吸水分泌粘液的特性。5)黄土丘陵沟壑区繁殖体重量小或形状近圆球形的植物分布数量多、范围广。6)繁殖体具有毛、翅和芒附属物或吸湿分泌粘液的植物在黄土丘陵沟壑区较繁殖体无附属物的植物能够分布更多、更广。繁殖体这些有利于物种分布的形态特征对于植物适应该区干旱与土壤侵蚀干扰具有重要的生态学意义,而且可用于指导该区人工补播促进植被恢复的物种选择。

关键词:繁殖体形态;物种分布;土壤侵蚀;生态退化;植被恢复;黄土丘陵沟壑区

Research on diaspore morphology and species distribution of 80 plants in the hill-gully Loess Plateau

WANG Dongli¹, ZHANG Xiaoyan³, JIAO Juying^{1,2,*}, DU Huadong², WANG Ning², JIA Yanfeng^{2,4}

1 College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forest University, Yangling 712100, China

2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China

3 Forestry Administration of Fugu County, Fugu 719400, China

4 College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China

Abstract: Soil erosion is a natural geomorphic process on slopes in semiarid region, which influences the soil water holding capacity, nutrients stored and the plant species distribution. The hill-gully Loess Plateau is located in the forest-steppe region and has a semiarid climate with severe soil erosion. Vegetation is identified as the essential and available approach to control soil erosion and to recover degraded ecosystem. Diaspore is the base of vegetation regeneration and recovery after disturbance. Unfortunately, in the degraded ecosystem, diaspore is always regarded as a limited factor of vegetation regeneration. Especially, in eroded environments, seed limitation is caused not only by seed production reducing due to the soil degradation, but also by other seed ecological process. Diaspore morphology is one of the most important functional characteristics of plant, which influences seed production, seed dispersal, seed longevity, seed germination, seedling establishment, then influences species distribution and community composition. Many ecologists have studied seed mass,

基金项目:中国科学院重要方向资助项目(KZCX2-EW-406);国家自然科学基金重点资助项目(41030532)

收稿日期:2012-07-23; **修订日期:**2013-06-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jyjiao@ms.iswc.ac.cn

seed shape, and the corresponding ecological function. However, there are few studies on diaspore morphology and ecological function carried out in the hill-gully Loess Plateau region. 80 species were chose to investigate their diaspore morphology and distribution characteristics, in order to better understand the influence of diversity and adaptation of diaspores on plant restoration. Diaspores of the 80 species were collected from three small watersheds of Xinzihe watershed. To determine species distribution (species density and frequency) on eroded slopes in the study area, 304 quadrats of 69 sample plots from 16 eroded slopes were investigated. The results showed the mean seed mass varied widely (0.020—357.428 mg), with the mean mass of the heaviest diaspore (*Ziziphus jujuba*) was 17870 times higher than the smallest diaspore (*Artemisia scoparia*). The mean diaspore mass of most plant species were varied from 1.000 to 9.999 mg, occupied 52.5% of the study species. The Flatness Index of diaspore ranged from a value of 1.06 for spherical shape to greater value of 12.93 for spindle shape, with most of diaspores had the approximate spherical shape (61.3%). Diaspores of 33 species had appendages, such as pappus, awn, wing, spine, etc. About 87.5% species had emblazonry on the surface of diaspore. The main colours of diaspores among these species were brown and black. The diaspores of six species had the ability to secrete mucilage in contact with water. The relationship between diaspore mass and species density and frequency were negative, as well as the relationship between diaspore shape (*FI*) and species density and frequency were negative. The species with small diaspore, or the approximate spherical diaspore, or with the appendages such as awn, wing and pappus on the diaspore, or with the diaspore that can secrete mucilage distribute widely in the study region. These morphological traits of the diaspore have important role in the distance dispersal, adhering to the soil and persisting in the eroded habitat. And then help the species to adapt the drought and erosion. Diaspore morphological characteristics of adapting the drought and erosion are useful to guide the species selection of revegetation by seed addition.

Key Words: diaspore morphology; species distribution; soil erosion; ecological degradation; revegetation; hill-gully Loess Plateau

黄土丘陵沟壑区是我国土壤侵蚀与生态环境退化严重的地区之一,而植被更新与恢复是该区水土流失治理与生态改善的根本途径^[1-2]。繁殖体是植物有性繁殖的最初载体,更是植被更新与恢复的基础与关键,在生态系统中占有非常重要的地位^[3-4];同时,繁殖体又是植物生命周期中唯一具有迁移力的阶段,是植物进行扩散和应对不良环境胁迫的主要载体,形成了形态、生理和生态多方面适应环境的特征和策略,对植物种群更新及分布、扩展具有重要的影响^[5-7]。

繁殖体形态是植物的主要功能特征之一,不仅受到植物分类学与系统学研究者的重视,而且与繁殖体生产、传播、寿命和萌发及幼苗建植等植物生活史繁殖对策密切相关,影响着植被的更新、发展及分布,进而影响着退化生态系统植被的更新与恢复^[8-12]。

繁殖体形态的适应性对植物适合度和植物群落稳定性有所贡献,备受生态学家的关注,尤其国内外关于繁殖体重量与植物学、群落学性状及生态因子的研究已有不少成果^[13]。近年来,国内相关研究主要集中在荒漠区、高寒草甸区繁殖体重量与形状及其繁殖生活史特征的研究^[12-18],而在黄土丘陵沟壑区关于繁殖体形态特征的基础研究罕见报道。另外,繁殖体形态特征是植物长期适应环境的结果,人工补播的干扰方式对于该区的植被恢复具有重要性^[19],繁殖体形态特征及与物种分布关系可作为人工补播物种选择的参考依据。

为此,本研究通过对黄土丘陵沟壑区 80 种植物繁殖体的形态特征及其物种密度和频度的观测与分析,阐明该区植物繁殖体的形态特征及与其物种分布的关系,一方面为生态学的相关研究提供基础理论依据,另一方面为人工促进植被恢复的补播物种选择提供理论指导,进而改善其土壤侵蚀与生态退化问题。

1 材料和方法

1.1 繁殖体采集

按照不同物种种子成熟期,2008 年 10 月—2009 年 10 月在黄土丘陵沟壑区杏子河流域选择 3 个小流域,

在每个流域均匀选择 3 座典型梁峁,按照由每座梁峁的南坡底部到顶部再到北坡底部的路线采集所有物种繁殖体,每种植物繁殖体采集于至少 10 株个体。植物的繁殖体通常指种子,但很多情况指的是果实,有些植物果实与种子难以分开^[20],而且很多果实具有独特的形态特征,这里研究对象包括种子和果实。共采集了 80 种植物繁殖体,33 种种子和 47 种果实,其形态特征与物种组成结构见附表。

1.2 繁殖体形态特征的观测

繁殖体的形态特征主要是通过重量、形状、附属物及表面特征等来表征的^[21]。

1.2.1 繁殖体重量的测定

根据繁殖体大小不同,分成 5 粒(>100 mg)、10 粒(10—100 mg)或 100 粒一组(<10 mg),用万分之一天平称其重量,每种植物 5 个重复。禾本科植物的繁殖体带外稃和芒测量,菊科植物果实带冠毛测量。

1.2.2 繁殖体形状的测算

对于较大的繁殖体以游标卡尺为量测工具,量测繁殖体的长(L)、宽(W)、高(H),对于较小的繁殖体(如蒿类)则采用显微镜辅助测量,每种植物测量 5 个重复。禾本科植物不带外稃测量,菊科植物不带冠毛测量,杠柳等种子不带绢毛测量。同时,采用 Poesen flatness index $FI = (L+W)/2H$ 来计算繁殖体的形态指数^[22]。当 FI 取值为 1 时,繁殖体为圆球体,其值越接近 1,繁殖体形状越接近球体,其值越大,繁殖体越扁平、狭长。

1.2.3 繁殖体附属物及表面特征的鉴定与描述

选择发育良好的繁殖体,在立体显微镜下观察其附属物、颜色和表面纹饰等并进行描述与鉴定。形态学描述参考刘长江等曾用术语^[11]。同时,采用 24h 浸泡法测定繁殖体表面能否分泌粘液。

1.3 物种分布特征调查

2010 年 8—10 月,在杏子河流域选取了 8 座典型的梁峁,按照由每座梁峁的南坡底部到顶部再到北坡底部的路线,选取 69 个大小为 20 m×50 m 的典型群落样地,在每个样地内选取 3—6 个 2 m×2 m 的样方,测定并记录每个样方的物种组成及各物种的密度和频度。

1.4 数据统计与分析

采用相关分析分别分析植物繁殖体重量、形状指数与物种多度、频度的关系,对繁殖体的重量数值进行了对数转换,使数据近似正态分布。

采用单因素方差分析(ANOVA)分析不同附属物类型的物种密度与频度间的差异性。

统计分析使用 SPSS 16.0 软件,作图使用 SigmaPlot 10.0 软件。

2 结果与分析

2.1 80 种植物的结构组成特征

采集的 80 种植物分别属于 31 科 70 属,以菊科、豆科、禾本科和蔷薇科物种数居多,植物的生活型以多年生植物为主,灌木与 1 年生植物次之,水分生态型以中生植物为主,中旱生和旱生次之,反映了黄土丘陵沟壑区自然植被的基本特征,与焦菊英等对陕北丘陵沟壑区的自然植被调查的结果一致^[19]。同时,80 种植物包括了不同演替阶段的优势物种及主要伴生种,可以反映该区植被演替过程中的物种信息^[23]。

2.2 80 种植物的繁殖体重量特征

80 种植物繁殖体重量差别较大,猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)的单粒重量最小(0.020 mg),酸枣(*Ziziphus jujuba*)果实重量最大(357.428 mg),二者相差约 17870 倍。80 种繁殖体重量分为 5 个组别(表 1),繁殖体重量分布在 1—9.999 mg 的比例最大,分布在 0.1—0.999 mg 组别的比例次之,两个组别物种数达到总数的 80%;其次,有 11 种植物繁殖体的重量>10 mg,其中黄刺玫(*Rose xanthina*)和酸枣的繁殖体重量重达 350 mg 左右;仅有 6 种植物繁殖体的重量<0.1 mg;繁殖体重量>10 mg 的植物几乎都是乔木和灌木。草本植物中,对于不同生活型植物,繁殖体的重量大小为多年生植物>1 年生植物>1 年生植物。对于不同水分生态型植物,繁殖体的重量大小为旱中生>中生>中旱生、旱生。

表 1 植物繁殖体单粒重量的分组结果

Table 1 The grouping result of individual diaspore weight

单粒重量 Individual diaspore weight	物种数 No.	植物种 Species
<0.1 mg	6	阴行草 ⁶⁰ 猪毛蒿 ¹ 铁杆蒿 ³ 抱茎苦蕒菜 ⁵ 茭蒿 ⁸ 画眉草 ²²
0.1—0.999 mg	21	白羊草 ²¹ 灰绿藜 ⁵¹ 地黄 ⁶¹ 沙参 ⁶⁶ 角盘兰 ⁶⁸ 绿苋 ⁷⁵ 亚麻 ⁷⁷ 角蒿 ⁸⁰ 阿尔泰狗娃花 ² 苦苣菜 ⁶ 蒙古蒿 ¹² 牡蒿 ¹³ 蒲公英 ¹⁵ 狗尾草 ¹⁷ 北京隐子草 ²⁰ 臭草 ²⁴ 绣线菊 ³⁶ 委陵菜 ⁴⁰ 野棉花 ⁴⁷ 柴胡 ⁵⁸ 异叶败酱 ⁶² 甘草 ²⁵ 白花草木樨 ²⁶ 沙打旺 ³⁰ 苜蓿 ³² 灰叶黄耆 ³⁴ 砂珍棘豆 ³⁵ 野葱 ⁴¹ 细叶韭 ⁴³ 杠柳 ⁵⁴ 地稍瓜 ⁵⁵ 紫丁香 ⁵⁷
1—9.999 mg	42	山丹丹 ⁶³ 沙棘 ⁶⁴ 火炬树 ⁷¹ 茜草 ⁷² 葱皮忍冬 ⁷³ 黄柏刺 ⁷⁶ 远志 ⁷⁸ 凤毛菊 ⁴ 飞廉 ⁷ 旋覆花 ⁹ 大蓟 ¹⁰ 鬼针草 ¹¹ 小蓟 ¹⁴ 鹅观草 ¹⁸ 大针茅 ¹⁹ 长芒草 ²³ 达乌里胡枝子 ²⁷ 尖叶胡枝子 ³¹ 灌木铁线莲 ⁴⁴ 芹叶铁线莲 ⁴⁵ 唐松草 ⁴⁶ 白头翁 ⁴⁸ 猪毛菜 ⁴⁹ 虫实 ⁵⁰ 香青兰 ⁵² 益母草 ⁵³ 连翘 ⁵⁶ 野胡萝卜 ⁵⁹ 互叶醉鱼草 ⁶⁹ 牻牛儿苗 ⁷⁰ 紫筒草 ⁷⁹
10—99.999 mg	9	刺槐 ²⁸ 野豌豆 ²⁹ 狼牙刺 ³³ 杜梨 ³⁸ 天门冬 ⁴² 臭椿 ⁶⁷ 魁蓟 ¹⁶ 虎榛子 ⁶⁵ 水栒子 ³⁹
100—999.999 mg	2	黄刺玫 ³⁷ 酸枣 ⁷⁴

表中物种右上角的数字 1—80 与附表中物种的序号一致

2.3 形状特征

80 种植物繁殖体的形状指数 FI 变化范围较大(附表),其中 13 种植物繁殖体为圆球形 ($FI<1.50$),包括水栒子(*Cotoneaster multiflorus*)、酸枣、天门冬(*Asparagus cochinchinensis*)等;茭蒿(*Artemisia giralaaii*)、狗尾草(*Setaria viridis*)和远志(*Polygala tenuifolia*)等 36 种植物 ($1.50\leq FI<2.80$),是该研究区植物繁殖体的主要形状特征(占 45%);有 18 种植物繁殖体形状为纺锤形 ($1.80\leq FI<4.00$),包括白羊草(*Bothriochloa ischaemun*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)和抱茎苦蕒菜(*Ixeris sonchifolia*)等;其余 13 种植物繁殖体形状表现为更扁、更长 ($FI\geq 4.00$),如长芒草(*Stipa bungeana*)、杠柳(*Periploca sepium*)、鬼针草(*Bidens tripartita*)和大针茅(*Stipa grandis*)的繁殖体为明显的长条形,灌木铁线莲(*Clematis fruticosa*)、紫丁香(*Syringa oblata*)、地稍瓜(*Cynanchum thesioides*)和角蒿(*Incarvillea sinensis*)的繁殖体为明显的扁平状。

2.4 附属物

80 种植物中,有 33 种植物繁殖体具有明显的附属物,具芒(7.5%)、具翅(7.5%)和具冠毛(6.2%)的繁殖体所占比例相对较大(图 1)。其中阿尔泰狗娃花、小蓟(*Cirsium setosum*)、苦苣菜(*Sonchus oleraceus*)和魁蓟(*Cirsium leo*)等菊科植物具有明显的冠毛和刚毛,鹅观草(*Roegneria kamoji*)、大针茅、白羊草和长芒草等禾本科植物繁殖体具有明显的芒,萝藦科的杠柳和地稍瓜具有绢毛,毛茛科的灌木铁线莲、芹叶铁线莲(*Clematis aethusifolia*)和白头翁(*Pulsatilla chinensis*)具宿存花柱,异叶败酱(*Patrinia heterophylla*)、角蒿等的繁殖体具翅,鬼针草的繁殖体具刺,牻牛儿苗(*Erodium stephanianum*)繁殖体的附属物为长喙。

2.5 表面特征

研究对象中,82.5%的植物繁殖体具有表面纹饰(图 2)。其中,主要纹饰包括表面具棱(20.0%)、表面被毛(17.5%)、表面粗糙(15.0%)、表面具条纹(11.2%)、表面凹凸不平(6.2%)、表面具颗粒状(3.8%)。繁殖体表面具褶皱和表面瘤状突起的植物分别有 2 种,繁殖体表面具网纹、具脑纹状和具指纹状的植物各只有 1 种。

此外,黄土丘陵沟壑区 80 种植物繁殖体的颜色以褐色、黄褐色、黑色为主,只有少部分颜色鲜艳,主要为红色;19 种植物繁殖体表面具有光泽,61 种植物繁殖体无光泽;猪毛蒿、茭蒿、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、蒙

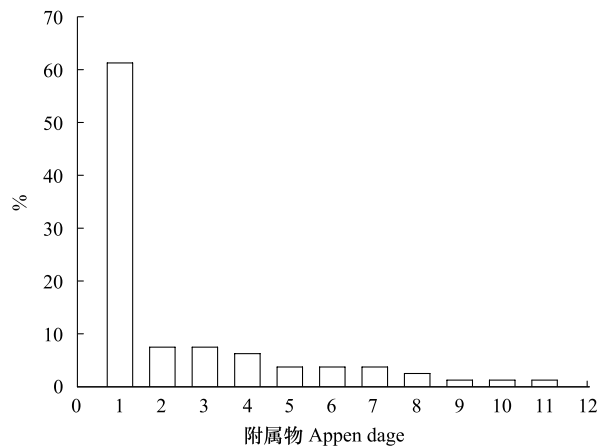


图 1 80 种植物不同繁殖体附属物的百分比

Fig.1 The percentages of diaspores with different appendages among 80 plant species

1: 无 None;2: 具芒 Awn;3: 具翅 Wing;4: 具冠毛 Pappus;5: 具刚毛 Bristly;6: 具花柱 Style;7: 具绢毛 Hair;8: 具喙 Beak;9: 具刺 Spine;10: 具花被 Perianth;11: 具绵毛 Wooly

古蒿 (*Artemisia mongolica*)、香青兰 (*Dracocephalum moldavica*) 和亚麻 (*Linum usitatissimum*) 6 种植物的繁殖体具有吸分泌粘液的特性。

2.6 植物繁殖体形态特征与物种分布的关系

黄土丘陵沟壑区植物繁殖体重量与其物种密度具有显著的负相关关系 ($F = 5.431, P = 0.023 < 0.05$), 植物繁殖体越小, 其物种密度越大, 分布数量多 (图 3); 植物繁殖体重量与物种频度也存在负相关关系, 植物繁殖体越小, 物种出现的频度越大, 在该区分布范围广 (图 3), 但是它们的关系未达到显著性水平 ($F = 3.538, P = 0.065$)。同时, 物种密度较大 ($> 10/\text{m}^2$) 和物种频度较大 ($> 20\%$) 的繁殖体重量都分布在较小值范围 (图 3)。

植物繁殖体形状指数与其物种密度、频度具有负相关关系, 即植物繁殖体越趋于扁、平, 其物种分布数量较少且分布范围较小, 但相关性均不显著 (P 分别为 0.546 和 0.463) (图 4)。另外, 物种密度较大 ($> 10/\text{m}^2$) 和物种频度较大 ($> 20\%$) 的繁殖体形状主要为近圆球形和纺锤形 ($FI < 4.00$), 而物种密度和频度较小的繁殖体形状更趋于扁、长 ($FI \geq 4.00$) (图 4)。

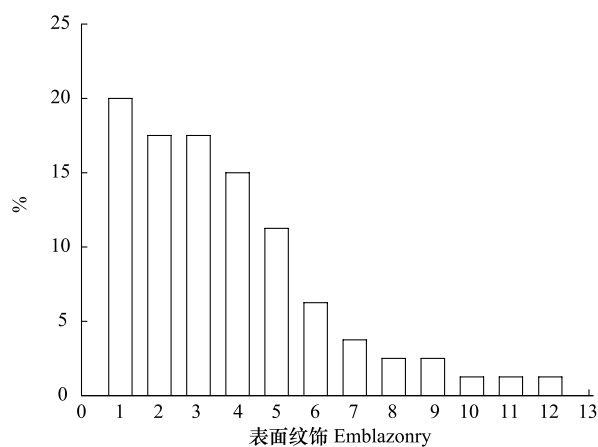


图 2 80 种植物不同繁殖体表面纹饰的百分比

Fig.2 The percentages of diaspores with different emblazonries on surface of 80 plant species

1: 具棱 Edge; 2: 被毛 Hair coat; 3: 光滑 Smooth; 4: 粗糙 Rough; 5: 具条纹 Fringle; 6: 凹凸不平 Lumpur; 7: 具颗粒 Particles; 8: 具褶皱 Fold; 9: 具瘤状突起 Tubercles; 10: 具脑纹 Brain stria; 11: 具网纹 Reticulate Clay; 12: 具指纹 Fingerprint

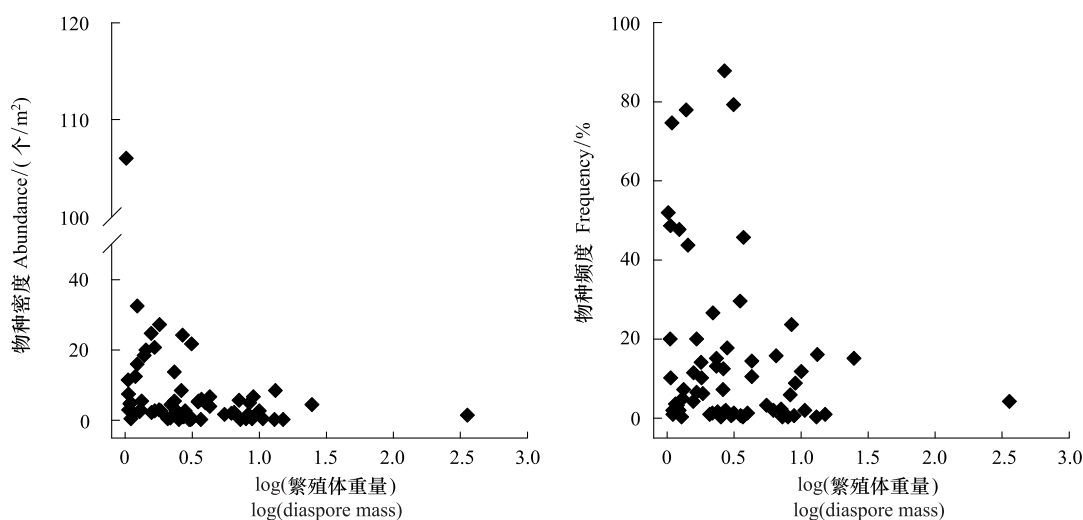


图 3 植物繁殖体重量与物种密度、频度的关系

Fig.3 Relationship between diaspore mass and species density and frequency

植物繁殖体附属物对其物种密度与物种频度的作用是一致的, 繁殖体具有翅、芒和毛附属物的物种的平均密度和频度都大于繁殖体无附属物的物种, 但均没有达到显著性水平 (图 5); 繁殖体具有刺、花柱、花被等其他附属物的物种的平均密度和频度显著小于繁殖体无附属物的物种; 繁殖体能够分泌粘液的物种的平均密度和频度显著大于繁殖体无附属物的物种和繁殖体具有刺、花柱、花被等其他附属物的物种。

3 讨论

黄土丘陵沟壑区地形破碎, 水热随地形部位分配不均, 具有明显的垂直分带性, 影响着植被的形成、发展及空间分布特征。植物在空间上的主要分布特征反映了对环境的长期适应, 而且体现了其生活史繁殖对策, 涉及持久种子 (或传播体) 库更新、大量风媒种子 (或传播体) 更新和持久幼苗库更新等^[24]。然而, 繁殖体形

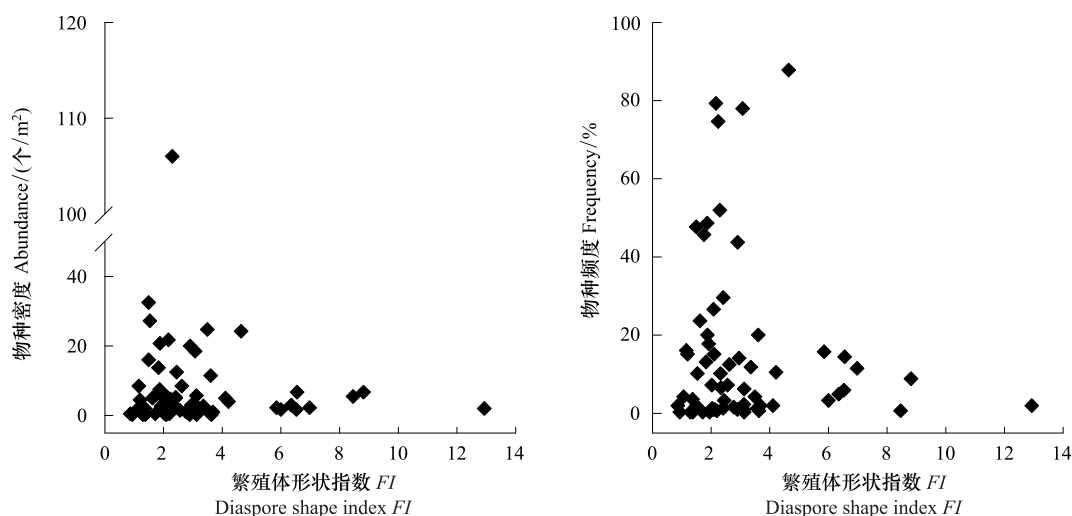


图4 植物繁殖体形状与物种密度、频率的关系

Fig.4 Relationship between diaspore shape and species density and frequency

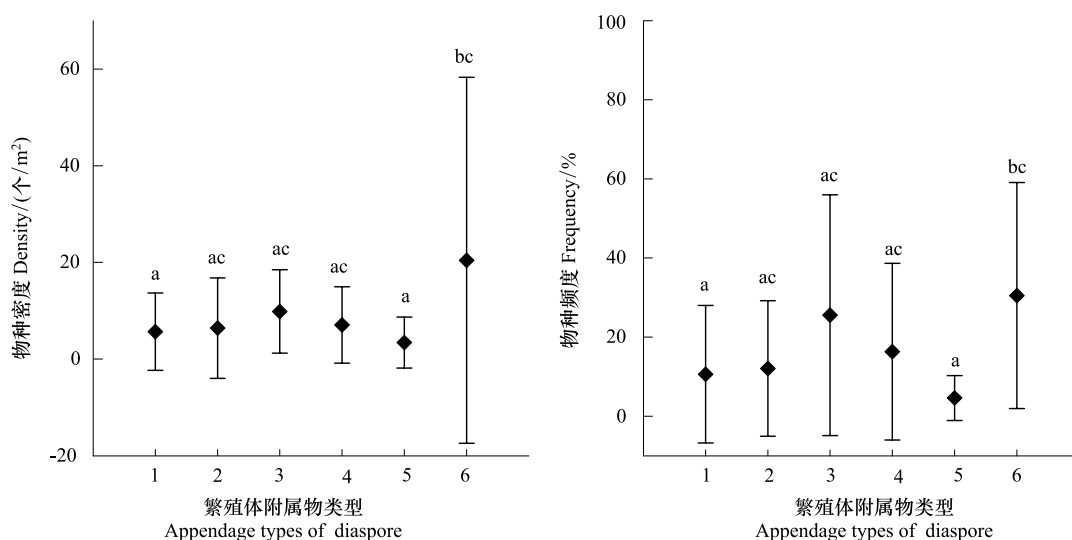


图5 植物繁殖体附属物与物种密度、频率的关系

Fig.5 Diaspore appendages in relation to species density and frequency

1: 无附属物 None; 2: 具翅 Wing; 3: 具芒 Awn; 4: 具毛 Pappus; 5: 其他 Others; 6: 无附属物具粘液 Mucilage

态特征贯穿着植物生活史的众多繁殖对策,进而影响着植物的分布^[25]。

繁殖体重量作为植被功能类型划分的指标之一^[12],在植物学和生态学研究上都备受关注。已有研究发现群落中物种之间繁殖体重量的变化范围非常广,可以跨 11 个数量级以上^[26],即使在同一生境内也可跨 6 个数量级^[13]。本研究中 80 种植物的繁殖体重量跨 5 个数量级(0.020—357.428 mg),与我国内蒙古典型草原^[20]、科尔沁沙地^[14]等半干旱地区的研究结果相近。本研究中不同生活型的植物繁殖体重量表现为乔、灌木植物>草本植物,与澳大利亚中部干旱区^[27]的研究结论一致;对于不同生活型的草本植物,该区植物繁殖体的重量大小为多年生植物>1、2 年生植物>1 年生植物,而对于澳大利亚中部干旱区草本植物,繁殖体重量与生活型没有明确的关系。繁殖体重量与植物分布的关系备受国内外学者关注,本研究表明,植物繁殖体重量小的物种具有更大的数量分布、更广的空间分布范围、出现的频次更多,与地中海草地^[28]、英格兰北部和美国沙漠地区^[29]等多个生态系统具有一致的结果;然而,植物繁殖体重量与物种密度在科尔沁沙地不同植被类型间表现出不一致的关系^[30],Leishman 和 Murra 研究也表明,不同群落内物种多度与繁殖体大小没有统一的关

系^[31]。本研究中的猪毛蒿、菊叶委陵菜(*Potentilla tanacetifolia*)、铁杆蒿、茭蒿和白羊草等繁殖体重量小的物种在该区出现频率大,分布范围广,可能在于繁殖体重量小的植物能够产生大量的繁殖体分担延续生命的危险^[32],一方面容易形成规模较大的持久土壤种子库^[33-34],另一方面能够借助风力等外力作用进行趋远散布^[33],扩大其时空分布,还具有较高的萌发率和较快的萌发速率^[35],能够及时地把握降水时机完成萌发,增大了成功定居的几率。

繁殖体的形状作为繁殖体形态的重要特征之一,其生态功能及与植被关系也备受关注。闫巧玲等研究得出,繁殖体形状与植物生活型、植被动态等植被特征可能有关^[16]。在科尔沁沙地2年生和多年生植物较1年生植物的繁殖体更加扁、长^[16],而本研究区鬼针草(*Bidens tripartita*)和山丹丹(*Crotalaria sessiliflora*)等1年生植物的繁殖体更趋向扁、长,可能与适应研究区的土壤侵蚀干扰有关,繁殖体凭借扁而长的形状可以与土壤表面有较大的接触面积,一方面来抵抗径流冲蚀与雨滴溅蚀^[36],另一方面可能有利于吸收土壤表面水分并萌发,从而增加在侵蚀环境中成功定居的几率。然而,在黄土丘陵沟壑区,植物繁殖体以近圆球形所占比重较大,繁殖体近圆球形的大部分物种密度较大且出现的频度较大,这与科尔沁沙地沙丘植被的规律一致^[30]。近圆球形为该区植物繁殖体形状的主要形态特征(61.3%),一方面在于近似圆球形的繁殖体更易形成持久土壤种子库^[37],如本研究中的达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)和菊叶委陵菜等物种在土壤种子库中出现的频度大,具有持久种子库^[34];另外,近圆球形的繁殖体在侵蚀坡面上更容易受自身重力或水力、风力等外力作用发生二次分布^[36],有利于到达适宜的环境进行萌发、建植并定居。

繁殖体的附属物特征很稳定,有助于繁殖体的鉴定^[38],而且具有重要的生态功能^[16, 39]。本研究中,繁殖体具有翅、芒和毛的物种平均密度和频度都大于繁殖体无附属物的物种,这些附属物特征对其物种适应侵蚀环境具有重要的生态意义。有报道表明^[40-41],繁殖体的冠毛、绢毛和翅等附属结构可以增加与空气接触的表面积,降低自身降落的速度,更有利于被风传播散布得更远,而且毛与翅还可将繁殖体固结在土壤表面,从而增加了萌发的几率和抵抗径流冲刷能力,增加了其物种在侵蚀环境中成功定居的几率,如本研究中的阿尔泰狗娃花、抱茎苦蕒菜、异叶败酱和杠柳等在该区分布较广。芒的存在,一方面降低了种子下降的速度,芒上的短柔毛在空气干燥时竖起,增加了种子在空气中的浮力,尽可能地增大散布的距离;另一方面,芒的吸湿运动,在垂直方向上,对土壤的锚住作用更有利于实现自我的埋藏,既可避免虫食、流失等损失,还可增加对水分的吸收^[42],提高萌发成活率,如本研究中数量多且分布广的长芒草和白羊草。

此外,繁殖体分泌粘液的特征对其物种在侵蚀坡面上的分布也具有积极的作用。本研究中,繁殖体能够分泌粘液的物种平均密度和频度均大于其他类型的物种,尤其显著大于繁殖体无附属物的物种和繁殖体具有刺、花柱、花被等的物种。众多研究表明,分泌粘液的繁殖体具有很强的抗水蚀作用,进而影响其物种的分布^[36, 39],如本研究中的猪毛蒿、茭蒿、铁杆蒿和香青兰(*Dracocephalum moldavica*)等能够较多、较广的分布在各种侵蚀环境中。

繁殖体表面形态结构与其传播、寿命、萌发及对水分的吸收密切相关^[4]。繁殖体的表面纹饰以及凹凸不平有利于在干旱环境下吸收和保留水分^[43],种子萌发试验也证实这一结果^[44]。在本研究中,具有不同纹饰的物种占81.25%,如细叶韭(*Allium tenuissimum*)的褶皱、狗尾草的凹凸不平、紫筒草(*Incarvillea sinensis*)的瘤状突起等均具有增加繁殖体对水分吸收的潜力。另外,不同表面纹饰还使种子与土壤充分接触,增大种子在坡面上的摩擦力,可能会降低径流冲刷的干扰。此外,种皮(果皮)结构决定着繁殖体的生活力和对水分的吸收^[43],而且种皮(果皮)致密和木质化影响着繁殖体的萌发特性,如达乌里胡枝子、狼牙刺(*Sophora davidii*)等豆科物种和黄刺玫、酸枣等灌木的繁殖体萌发率低,萌发时滞与萌发持续时间较短,在适宜萌发条件下占领一定的空间,同时凭借因硬实引起的休眠得以后续萌发^[45],增强了繁殖体在干旱环境中的适应性和在土壤中的持久性,进而在合适的时机萌发并定居。然而,关于繁殖体的表面特征及其生态功能的研究还很薄弱,有待加强。

80种植物繁殖体的颜色以褐色、灰褐色、黑色为主,与所处环境相似,这是植物繁殖体对环境适应的表

现,避免了被捕食等损失;而有些繁殖体颜色鲜艳,通过动物的取食达到自身的扩散作用,而且经过动物的消化有利于加快种子的萌发^[46]。本研究物种中,黄刺玫、水栒子、酸枣、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)等以果实为传播体的植物具有鲜艳的红色、黄色,能够引起人和动物注意,从而被采食达到传播。

综上所述,黄土丘陵沟壑区植物繁殖体的形态特征以重量中等或偏小、形状近圆球形、表面具有纹饰及与环境相近的颜色占主要组成部分,可能与其适应该区干旱与土壤侵蚀的干扰有关;同时,繁殖体重量小,或形状近圆球形,或具有附属物,或能够分泌粘液的植物在黄土丘陵沟壑区分布更多、更广,这些形态特征可为人工补播促进植被恢复的物种选择中提供参考。然而,繁殖体的形态特征通过繁殖体的扩散、分布、萌发策略、种子库策略、幼苗建植规律等生活史繁殖策略与物种分布的关系,还需深入研究,进而完善种子生态学的基础理论,更好地指导该区的植被更新与恢复。

References:

- [1] Chen H, Cai Q G. Impacts of hillslope vegetation restoration on gully erosion induced sediment yield. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2006, 36(1): 69-80.
- [2] Zheng F L. Effect of vegetation changes on soil erosion on the Loess Plateau. *Pedosphere*, 2006, 16(4): 420-427.
- [3] Harper J L. *Population Biology of Plants*. London: Academic Press, 1977.
- [4] Fenner M. *Seed Ecology*. London: Chapman and Hall, 1985.
- [5] Fone A I. Relationships between components of plant form and seed output in *Collinsonia verticillata* (Lamiaceae)// Brooks J H, Linhart Y B. *The Evolutionary Ecology of Plants*. Boulder: Westview Press, 1989: 257-271.
- [6] Baskin J M, Baskin C M. Studies on the autecology and population biology of the weedy monocarpic perennial, *Pastinaca sativa*. *Journal of Ecology*, 1979, 67(2): 601-610.
- [7] Alexander R W, Harvey A M, Calvo A, James P A, Cerdà A. Natural stabilisation mechanisms on badland slopes: Tabernas, Almeria, Spain// Millington A C, Pye K, eds. *Environmental Change in Drylands: Biogeographical and Geomorphological Perspectives*. Chichester: Wiley, 1994: 85-111.
- [8] Chang T L, Heckard L R. Seed coat morphology in *cordylanthus* (scrophulariaceae) and its taxonomic significance. *American Journal of Botany*, 1972, 59(3): 258-265.
- [9] Crow G E. The systematic significance of seed morphology in *Sagina* (Caryophyllaceae) under scanning electron microscopy. *Brittonia*, 1979, 31(1): 52-63.
- [10] Fenner M, Thompson K. *The Ecology of Seeds*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [11] Liu C J, Lin Q, He J X. Methods and terminology of study on seed morphology from China. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2004, 24(1): 178-188.
- [12] Yan Q L, Liu Z M, Li R P, Luo Y M, Wang H M. Relationship of seed production, seed morphology and life form of plant species. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(4): 21-28.
- [13] Yu S L, Chen H W, Li H. Review of advances in ecology of seed mass. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(6): 989-997.
- [14] Liu Z M, Li R P, Li X H, Luo Y M, Wang H M, Jiang D M, Nan Y G. A comparative study of seed weight of 69 plant species in Horqin Sandyland, China. *Journal of Plant Ecology*, 2004, 28(2): 225-230.
- [15] Liu Z M, Li X H, Li R P, Luo Y M, Wang H M, Jiang D M, Nan Y G. A comparative study on diaspore shape of 70 species in the sandy of Horqin. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 12(5): 55-61.
- [16] Yan Q L, Liu Z M, Luo Y M, Wang H M. A comparative study on diaspore weight and shape of 78 species in the Horqin steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2422-1429.
- [17] Chen X L. *Studies on Evolutionary Ecology of Seed Size Variation in the Eastern Pinghai-Tibet Plateau Flora* [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2010.
- [18] Zhang L, Zhang C H, Lü J P, Wang C Y, Zhang Y Y, Bu H Y, Du G Z. Seed germination characteristics and their correlations with seed sizes of 31 common weeds in eastern Qinghai-Tibet Plateau. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(10): 2115-2121.
- [19] Jiao J Y, Zhang Z G, Jia Y F, Wang N, Bai W J. Species composition and classification of natural vegetation in the abandoned lands of the hilly-gullied region of North Shaanxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 2981-2997.
- [20] Zhong Y K, Bao Q H. The influence of mowing on seed amount and composition in soil seed bank of typical steppe III Size and weight of seeds of 120 plant species. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMongol*, 2001, 32(3): 280-286.

- [21] Zhang X Y, Jiao J Y, Wang N, Jia Y F, Han L Y. Effects of seed morphology on vegetation restoration and succession. *Seed*, 2009, 28(7): 67-72.
- [22] Poesen J. Transport of rock fragments by rill flow-a field study. *Catena*, 1987, (8): 35-54.
- [23] Du F, Shan L, Liang Z S. Studies on vegetation succession of abandoned arable land in loess hilly regions of northern Shaanxi Province-Analyses of community composition and structure. *Acta Agrestia Sinica*, 2005, 13(2): 140-143.
- [24] Grime J P. *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. Chichester: John Wiley and Sons, 2002.
- [25] Liu Z M, Jiang D M, Gao H Y, Chang X L. Relationships between plant reproductive strategy and disturbance. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(3): 418-422.
- [26] Moles A T, Ackerly D D, Webb C O, Tweddle J C, Dickie J B, Westoby M. A brief history of seed size. *Science*, 2005, 307(5709): 576-580.
- [27] Jurada E, Westoby M, Nelson D. Diaspore weight, dispersal, growth form and perenniality of central Austrian plants. *Journal of Ecology*, 1991, 79(3): 811-830.
- [28] Azcónrate F M, Sánchez A M, Arqueros L, Peco B. Abundance and habitat segregation in Mediterranean grassland species; the importance of seed weight. *Journal of Vegetation Science*, 2002, 13(2): 159-166.
- [29] Guo Q F, Brown J H, Valone T J, Kachman S D. Constraints of seed size on plant distribution and abundance. *Ecology*, 2000, 81(8): 2149-2155.
- [30] Liu Z, Yan Q, Li X, Ma J, Ling X. Seed mass and shape, germination and plant abundance in a desertified grassland in northeastern Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments*, 2007, 69(2): 198-211.
- [31] Leishman M R, Murray B R. The relationship between seed size and abundance in plant communities; model predictions and observed patterns. *Oikos*, 2001, 94(1): 151-161.
- [32] Venable D L, Brown J S. The selective interactions of dispersal, dormancy, and seed size as adaptations for reducing risk in variable environments. *American Naturalist*, 1988, 131(3): 360-384.
- [33] Leishman M R, Wright I J, Moles A T, Westoby M. The evolutionary ecology of seed size // Fenner M, eds. *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. 2nd ed. CAB International: Wallingford, 2000: 31-57.
- [34] Wang N, Jiao J Y, Jia Y F, Wang D L. Seed persistence in the soil on eroded slopes in the hilly-gullied Loess Plateau region, China. *Seed Science Research*, 2011, 21(4): 295-304.
- [35] Wang J H, Cui X L, Chen X L, Du G Z. Comparative study of seed germination, seed size and their relationships in mesic and xeric species. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(6): 1037-1045.
- [36] Han L Y, Jiao J Y, Jia Y F, Wang N, Lei D, Li L Y. Seed removal on loess slopes in relation to runoff and sediment yield. *Catena*, 2011, 85(1): 12-21.
- [37] Moles A T, Hodson D W, Webb C J. Seed size and shape and persistence in the soil in the New Zealand flora. *Oikos*, 2000, 89(3): 541-545.
- [38] Comparative Seed Morphology Group of Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. *Illustrated Weed Seeds*. Beijing: Science Press, 1980.
- [39] García-Fayos P, Bochet E, Cerdà A. Seed removal susceptibility through soil erosion shapes vegetation composition. *Plant and Soil*, 2010, 334(1/2): 289-297.
- [40] Li R H, Qiang S. Progresses and prospects in research of weed seed dispersal. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5361-5370.
- [41] Burrows F M. Calculation of the primary trajectories of plumed seeds in steady winds with variable convection. *New Phytologist*, 1973, 72(3): 647-664.
- [42] Qing X L, Bai Y F. A review on morphology and adaptive significance of trypophobic diaspore. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2547-2553.
- [43] Chen X L, Jing G H, Guo H. Ornamentation characteristics of seed coats in nineteen plants of *Pedicularis* from alpine meadow in east Qinghai-Xizang plateau and its ecological significance. *Acta Prataculturae Sinica*, 2007, 16(2): 60-68.
- [44] Ma J, Wang X L. A study on the seeds micro-morphological characteristics of *Peganum* from China Northwest and its taxonomic and ecological significance. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1997, 15(4): 323-327.
- [45] Zhang X Y, Jiao J Y, Wang N, Jia Y F, Han L Y. Seed germination characteristics of 14 species in the hilly-gullied Loess Plateau of Northern Shaanxi. *Bulletin of Botanical Research*, 2010, 30(5): 604-611.
- [46] Lu C H. Review on the study of relationship between natural regeneration of Korean pine and animals. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(1): 49-53.

参考文献:

- [1] 陈浩, 蔡强国. 坡面植被恢复对沟道侵蚀产沙的影响. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2006, 36(1): 69-80.

- [11] 刘长江, 林祁, 贺建秀. 中国植物种子形态学研究方法和术语. 西北植物学报, 2004, 24(1): 178-188.
- [12] 闫巧玲, 刘志民, 李荣平, 骆永明, 王红梅. 科尔沁沙地 75 种植物结种子形态和植物生活型关系研究. 草业学报, 2005, 14(4): 21-28.
- [13] 于顺利, 陈宏伟, 李晖. 种子重量的生态学研究进展. 植物生态学报, 2007, 31(6): 989-997.
- [14] 刘志民, 李荣平, 李雪华, 骆永明, 王红梅, 蒋德明, 南寅镐. 科尔沁沙地 69 种植物种子重量比较研究. 植物生态学报, 2004, 28(2): 225-230.
- [15] 刘志民, 李雪华, 李荣平, 骆永明, 王红梅, 蒋德明, 南寅镐. 科尔沁沙地 70 种植物繁殖体形状比较研究. 草业学报, 2003, 12(5): 55-61.
- [16] 闫巧玲, 刘志民, 骆永明, 王红梅. 科尔沁沙地 78 种植物繁殖体重量和形状比较. 生态学报, 2004, 24(11): 2422-1429.
- [17] 陈学林. 青藏高原东缘种子大小变异的进化生态学研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2010.
- [18] 张蕾, 张春辉, 吕俊平, 王晨阳, 张莹莹, 卜海燕, 杜国祯. 青藏高原东缘 31 种常见杂草种子萌发特性及其与种子大小的关系. 生态学杂志, 2011, 30(10): 2115-2121.
- [19] 焦菊英, 张振国, 贾燕锋, 王宁, 白文娟. 陕北丘陵沟壑区撂荒地自然恢复植被的组成结构与数量分类. 生态学报, 2008, 28(7): 2981-2997.
- [20] 仲延凯, 包青海. 割草干扰对典型草原土壤种子库种子数量与组成的影响——Ⅲ 120 种植物种子的大小与重量. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2001, 32(3): 280-286.
- [21] 张小彦, 焦菊英, 王宁, 贾燕锋, 韩鲁艳. 种子形态特征对植被恢复演替的影响. 种子, 2009, 28(7): 67-72.
- [23] 杜峰, 山仑, 梁宗锁. 陕北黄土丘陵区撂荒演替研究-群落组成与结构分析. 草地学报, 2005, 13(2): 140-143.
- [25] 刘志民, 蒋德明, 高红瑛, 常学礼. 植物生活史繁殖对策与干扰关系的研究. 应用生态学报, 2003, 14(3): 418-422.
- [35] 王桔红, 崔现亮, 陈学林, 杜国祯. 中、旱生植物萌发特性及其与种子大小关系的比较. 植物生态学报, 2007, 31(6): 1037-1045.
- [38] 中国科学院植物研究所植物园种子组, 形态室比较形态组. 杂草种子图说. 北京: 科学出版社, 1980.
- [40] 李儒海, 强胜. 杂草种子传播研究进展. 生态学报, 2007, 27(12): 5361-5370.
- [42] 青秀玲, 白永飞. 植物锥形繁殖体结构及其适应. 生态学报, 2007, 27(6): 2547-2553.
- [43] 陈学林, 景国海, 郭辉. 青藏高原东缘高寒草甸 19 种马先蒿属植物种皮纹饰特征及其生物学意义. 草业学报, 2007, 16(2): 60-68.
- [44] 马骥, 王勋陵. 骆驼蓬属种子微形态及其生态学与分类学意义. 武汉植物学研究, 1997, 15(4): 323-327.
- [45] 张小彦, 焦菊英, 王宁, 贾燕锋, 韩鲁艳. 陕北黄土丘陵沟壑区 14 种植物的萌发特性. 植物研究, 2010, 30(5): 604-611.
- [46] 鲁长虎. 动物与红松天然更新关系的研究综述. 生态学杂志, 2003, 22(1): 49-53.

附表 80 种植物的生态与繁殖体形态特征
Appendix The ecological characteristics and diaspore morphology of 80 plant species

序号 No.	植物种 Species	所属科 Family	生活型 Life form	水分 生态型 Water ecotype	单粒重量/mg Individual weight	FI	附属物 Appendages	表面纹饰 Emblazonry on surface	颜色 Colour	果实 类型 Fruit type
1	猪毛蒿* <i>Artemisia scoparia</i>	菊科 Composite	ABH	X	0.020±0.003	2.30	无	具棱	褐色	瘦果
2	阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>		PH	X	0.388±0.014	3.08	冠毛	被毛	黄褐色	瘦果
3	铁杆蒿* <i>Artemisia gmelinii</i>		SS	X	0.085±0.014	2.24	无	粗糙	黄褐色	瘦果
4	凤毛菊 <i>Saussurea japonica</i>		PH	MX	1.612±0.052	2.56	冠毛	具条纹	褐色	瘦果
5	抱茎苦苣菜 <i>Ixeris sonchifolia</i>		PH	M	0.054±0.009	3.61	具喙	具棱	黑色	瘦果
6	苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>		ABH	MX	0.568±0.023	3.49	冠毛	具瘤状突起	褐色	瘦果
7	飞廉 <i>Carduus crispus</i>		BH	MX	1.882±0.055	3.50	刚毛	具条纹	灰褐色	瘦果
8	菱蒿* <i>Artemisia giralaui</i>		SS	MX	0.061±0.004	1.87	无	具棱	褐色	瘦果
9	旋覆花 <i>Inula japonica</i>		PH	HM	1.732±0.046	3.68	绢毛	被毛	褐色	瘦果

续表

序号 No.	植物种 Species	所属科 Family	生活型 Life form	水分 生态型 Water ecotype	单粒重量/mg Individual weight	FI	附属物 Appendages	表面纹饰 Emblazonry on surface	颜色 Colour	果实 类型 Fruit type
10	大蓟 <i>Cirsium japonicum</i>	禾本科 Gramineae	PH	M	6.087±0.011	3.12	冠毛	具棱	暗灰色	瘦果
11	鬼针草 <i>Bidens tripartita</i>		AH	M	5.222±0.092	12.93	具刺	具棱	深褐色	瘦果
12	蒙古蒿* <i>Artemisia mongolica</i>		PH	M	0.193±0.012	2.45	无	具棱	深褐色	瘦果
13	牡蒿 <i>Artemisia japonica</i>		PH	M	0.103±0.003	4.11	无	具棱	深褐色	瘦果
14	小蓟 <i>Cirsium setosum</i>		PH	M	2.512±0.311	2.41	刚毛	具棱	黄褐色	瘦果
15	蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>		PH	M	0.790±0.048	2.95	冠毛	具棱	黄褐色	瘦果
16	魁蓟 <i>Cirsium leo</i>		PH	M	13.783±0.566	1.83	冠毛	具条纹	灰黑色	瘦果
17	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>		AH	M	0.659±0.081	1.88	无	凹凸不平	灰白色	颖果
18	鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i>		PH	MX	3.284±0.222	6.55	具芒	被毛	黄褐色	颖果
19	大针茅 <i>Stipa grandis</i>		PH	X	8.080±0.223	8.82	具芒	被毛	黄褐色	颖果
20	北京隐子草 <i>Cleistogenes hancei</i>		PH	X	0.303±0.007	6.35	具芒	粗糙	黄褐色	颖果
21	白羊草 <i>Bothriochloa ischaemun</i>		PH	MX	0.432±0.016	2.90	具芒	光滑	深褐色	颖果
22	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>		AH	M	0.088±0.005	1.47	无	具条纹	红棕色	颖果
23	长芒草 <i>Stipa bungeana</i>		PH	X	1.682±0.047	4.65	具芒	被毛	黄色	颖果
24	臭草 <i>Melica scabrosa</i>		PH	M	0.329±0.013	2.02	具芒	具棱	红褐色	颖果
25	甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	豆科 Leguminosae	PH	X	7.474±0.219	1.62	无	光滑	褐色	荚果
26	白花草木樨 <i>Melilotus albus</i>	豆科 Leguminosae	ABH	X	1.808±0.050	1.92	无	具网纹	灰褐色	荚果
27	达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>		SS	X	2.129±0.347	2.17	无	被毛	黄褐色	荚果
28	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>		A	M	14.108±0.680	2.08	无	具脑纹	褐色	荚果
29	野豌豆 <i>Vicia sepium</i>		PH	M	12.216±0.917	1.16	无	具条纹	灰黑色	荚果
30	沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i>		PH	MX	1.452±0.028	2.11	无	光滑	褐色	荚果
31	尖叶胡枝子 <i>Lespedeza juncea</i>		SS	X	1.624±0.078	2.62	无	被毛	黄褐色	荚果
32	苜蓿 <i>Medicago sativa</i>		PH	M	2.156±0.033	2.03	无	光滑	黄色	荚果
33	狼牙刺 <i>Sophora davidii</i>		S	XM	23.769±1.538	1.20	无	光滑	黄褐色	荚果
34	灰叶黄耆 <i>Astragalus discolor</i>		PH	X	1.664±0.030	2.77	无	被毛	黑色	荚果
35	砂珍棘豆 <i>Oxytropis gracillima</i>		PH	X	1.340±0.061	2.10	无	光滑	暗褐色	荚果

续表

序号 No.	植物种 Species	所属科 Family	生活型 Life form	水分 生态型 Water ecotype	单粒重量/mg Individual weight	FI	附属物 Appendages	表面纹饰 Emblazonry on surface	颜色 Colour	果实 类型 Fruit type
36	绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i>	蔷薇科 Rosaceae	SS	XM	0.876±0.029	2.10	无	粗糙	黄褐色	蓇葖果
37	黄刺玫 <i>Rose xanthina</i>		S	XM	335.132±16.045	1.16	无	光滑	鲜红色 Red	聚合 瘦果
38	杜梨 <i>Pyrus betulaeifolia</i>		A	M	10.498±0.630	2.51	无	具条纹	黄褐色	浆果
39	水栒子 <i>Cotoneaster multiflorus</i>		SS	XM	49.105±0.616	1.09	无	光滑	深红色	核果
40	菊叶委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>	百合科 Liliaceae	PH	MX	0.233±0.014	1.49	无	具指纹	红褐色	瘦果
41	野葱 <i>Allium chrysanthum</i>		PH	XM	2.981±0.106	2.41	无	凹凸不平	黑色	蒴果
42	天门冬 <i>Asparagus cochinchinensis</i>		PH	MX	12.032±0.381	1.37	无	具颗粒	黑色	浆果
43	细叶韭 <i>Allium tenuissimum</i>		BH	XM	1.520±0.000	1.29	无	具褶皱	黑色	蒴果
44	灌木铁线莲 <i>Clematis fruticosa</i>	毛茛科 Ranunculaceae	SL	MX	3.284±0.126	4.21	花柱	被毛	深褐色	瘦果
45	芹叶铁线莲 <i>Clematis aethusifolia</i>		PH	MX	2.674±0.016	3.13	花柱	被毛	褐色	瘦果
46	唐松草 <i>Thalictrum aquilegifolium</i>		PH	M	1.382±0.073	3.05	无	具棱	黑褐色	瘦果
47	野棉花 <i>Anemone hupehensis</i>		PH	M	0.280±0.046	1.95	绵毛	被毛	深褐色	瘦果
48	白头翁 <i>Pulsatilla chinensis</i>	藜科 Chenopodiaceae	PH	MX	2.089±0.057	2.90	花柱	被毛	褐色	瘦果
49	猪毛菜 <i>Salsola ruthenica</i>		AH	X	1.334±0.067	1.83	花被	具条纹	灰褐色	胞果
50	虫实 <i>Corispermum hyssopifolium</i>		AH	XM	2.008±0.109	3.63	无	具瘤状突起	黄褐色	胞果
51	灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>		AH	M	0.444±0.052	1.97	无	粗糙	黑色	胞果
52	香青兰* <i>Dracocephalum moldavica</i>	唇形科 (Labiatae)	AH	M	1.200±0.594	2.08	无	具颗粒	黑褐色	坚果
53	益母草 <i>Leonurus artemisia</i>		ABH	M	1.080±0.071	2.13	无	具棱	黑褐色	坚果
54	杠柳 <i>Periploca sepium</i>		S	M	5.506±0.405	5.85	绢毛	具棱	红褐色	蓇葖果
55	地稍瓜 <i>Cynanchum thesioides</i>		PH	X	7.288±0.159	6.53	绢毛	粗糙	暗褐色	蓇葖果
56	连翘 <i>Forsythia suspensa</i>	木犀科 Oleaceae	S	M	3.970±0.114	4.47	无	具颗粒	红褐色	瘦果
57	紫丁香 <i>Syringa oblata</i>		S	M	4.530±0.295	6.00	具翅	粗糙	黄褐色	蒴果
58	柴胡 <i>Bupleurum scorzoniferifolium</i>		PH	X	0.664±0.039	2.33	无	具棱	褐色	双悬果
59	野胡萝卜 <i>Raphanus raphanistrum</i>		BH	M	1.179±0.072	3.57	无	具棱	黄褐色	双悬果
60	阴行草 <i>Siphonostegia chinense</i>	玄参科 Scrophulariaceae	AH	M	0.064±0.002	2.32	无	凹凸不平	深褐色	蒴果
61	地黄 <i>Rehmannia glutinosa</i>		PH	MX	0.153±0.004	1.37	无	粗糙	褐色	瘦果

续表

序号 No.	植物种 Species	所属科 Family	生活型 Life form	水分 生态型 Water ecotype	单粒重量/mg Individual weight	FI	附属物 Appendages	表面纹饰 Emblazonry on surface	颜色 Colour	果实 类型 Fruit type
62	异叶败酱 <i>Patrinia heterophylla</i>	败酱科 Valerianaceae	PH	MX	0.810±0.019	1.53	具翅	凹凸不平	褐色	瘦果
63	山丹丹 <i>Crotalaria sessiliflora</i>	蝶形花科 Papilionaceae	AH	M	2.530±0.079	8.46	无	具褶皱	褐色	蒴果
64	沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i>	胡颓子科 Elaeagnaceae	S	MX	6.245±0.106	1.38	无	光滑	红色	浆果
65	虎榛子 <i>Ostryopsis davidiana</i>	桦木科 Betulaceae	S	M	11.506±1.167	2.07	无	具棱	黑褐色	坚果
66	沙参 <i>Adenophora stricta</i>	桔梗科 Campanulaceae	PH	XM	0.105±0.004	3.11	无	光滑	黄褐色	蒴果
67	臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	苦木科 Simaroubaceae	A	M	10.702±0.605	2.99	具翅	具条纹	灰色	翅果
68	角盘兰 <i>Hemimium monorchis</i>	兰科 Orchidaceae	PH	M	0.129±0.006	1.94	无	粗糙	褐色	蒴果
69	互叶醉鱼草 <i>Buddleja alternifolia</i>	马钱科 Loganiaceae	S	M	6.972±0.357	1.71	具翅	粗糙	褐色	蒴果
70	牻牛儿苗 <i>Erodium stephanianum</i>	牻牛儿苗科 Geraniaceae	ABH	X	9.031±0.135	3.36	具喙	被毛	褐色	蒴果
71	火炬树 <i>Rhus typhina</i>	漆树科 Anacardiaceae	A	M	8.178±0.267	1.61	无	光滑	褐色	核果
72	茜草 <i>Radix rudix</i>	茜草科 Rubiaceae	PH	M	9.674±0.400	1.47	无	粗糙	黑色	浆果
73	葱皮忍冬 <i>Lonicera ferdinandii</i>	忍冬科 Caprifoliaceae	S	M	3.848±0.220	3.09	无	粗糙	红褐色	浆果
74	酸枣 <i>Ziziphus jujuba</i>	鼠李科 Rhamnaceae	S	M	357.428±9.184	1.07	无	光滑	红色	核果
75	绿苋 <i>Amaranthus viridis</i>	苋科 Amaranthaceae	AH	MX	0.346±0.011	1.91	无	光滑	黑色	胞果
76	黄柏刺 <i>Berberis virgetorum</i>	小蘗科 Berberidaceae	S	M	7.858±0.020	2.20	无	粗糙	黄褐色	浆果
77	亚麻* <i>Linum usitatissimum</i>	亚麻科 Linaceae	AH	MX	0.849±0.013	3.13	无	光滑	黄褐色	蒴果
78	远志 <i>Polygala tenuifolia</i>	远志科 Polygalaceae	PH	MX	2.722±0.172	1.76	具翅	被毛	黑色	蒴果
79	紫筒草 <i>Stenosolenium saxatile</i>	紫草科 Boraginaceae	PH	XM	2.000±0.043	1.17	无	凹凸不平	黑褐色	坚果
80	角蒿 <i>Incarvillea sinensis</i>	紫葳科 Bignoniaceae	PH	X	0.576±0.032	6.97	具翅	具条纹	褐色	蒴果

AH: 1 年生草本 Annual herb; BH: 2 年生草本 Biennial herb; ABH: 1、2 年生草本 Annual/biennial herb; PH: 多年生草本 Perennial herb; S: 灌木 Shrub; SS: 半灌木 Semi-shrub; SL: 小半灌木 Shrublet; T: 乔木 Tree; X: 旱生 Xerophyte; XM: 旱中生 Xerophytic-mesophyte; M: 中生 Mesophyte; MX: 中旱生 Mesoxerophyte; HM: 湿中生 Hygromorphic-mesophyte; *: 繁殖体具有吸分泌粘液的能力

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.22 Nov., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The review of methods for mapping species spatial distribution using presence/absence data LIU Fang, LI Sheng, LI Diqiang (7047)
- A research review of landscape service LIU Wenping, YU Zhenrong (7058)
- Progress on techniques for partitioning soil respiration components and their application in cropland ecosystem CHEN Minpeng, XIA Xu, LI Yinkun, MEI Xurong (7067)

Autecology & Fundamentals

- Effect of different stubble height treatments on the annual growth index and physiological characteristics of *Tetraena mongolica* in two growing seasons WANG Zhen, ZHANG Liwen, YU Yi, et al (7078)
- Photosynthetic characteristics of an endangered species *Tetrameles nudiflora* under different light and water conditions DENG Yun, CHEN Hui, YANG Xiaofei, et al (7088)
- The compensation capacity of tillering and production of main stem nodes in rice WEI Ming, LI Dongxia (7098)
- Simulation of leaf area and dry matter production of tobacco leaves based on product of thermal effectiveness and photosynthetically active radiation ZHANG Mingda, LI Meng, HU Xueqiong, et al (7108)
- Effects of different tillage and straw systems on soil water-stable aggregate distribution and stability in the North China Plain TIAN Shenzhong, WANG Yu, LI Na, et al (7116)
- Effects of the *Larix gmelinii* grown under different light intensities on the development and defensive enzyme activities of *Lymantria dispar* larvae LU Yifang, YAN Junxin, LI Shuangwen, et al (7125)
- Biological control efficiency of *Orius similis* Zheng (Hemiptera: Anthocoridae) on *Frankliniella occidentalis* (Pergande) under different spatial and caged conditions MO Lifeng, ZHI Junrui, TIAN Tian (7132)
- Preliminary study on scavenging mechanism of dissolved aluminum by phytoplankton WANG Zhaowei, REN Jingling, YAN Li, et al (7140)
- Leaf-form characteristics of plants in *Quercus aquifolioides* community along an elevational gradient on the Balang Mountain in Wolong Nature Reserve, Sichuan, China LIU Xingliang, HE Fei, FAN Hua, et al (7148)
- Comparison of shrimp density between the Minjiang estuary and Xinhua bay during spring and summer XU Zhaoli, SUN Yue (7157)
- The feeding selectivity of an herbivorous amphipod *Ampithoe valida* on three dominant macroalgal species of Yundang Lagoon ZHENG Xinqing, HUANG Lingfeng, LI Yuanchao, et al (7166)

Population, Community and Ecosystem

- Effects of four different agricultural prevention and control measures on rice yellow stem borer *Tryporyza incertulas* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) ZHANG Zhenfei, HUANG Bingchao, XIAO Hanxiang, et al (7173)
- Soil nitrogen concentrations and transformations under different vegetation types in forested zones of the Loess Gully Region XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (7181)
- Ecosystem health assessment based on diagnosis CAI Xia, XU Songjun, CHEN Shanhao, et al (7190)
- The production and accumulation of phytoliths in rice ecosystems: a case study to Jiaxing Paddy Field LI Zimin, SONG Zhaoliang, JIANG Peikun (7197)
- Application of a free search-based projection pursuit model in investigating reed in wetlands LI Xinhua, ZHAO Chengyi (7204)

- Soil microbial diversity under typical vegetation zones along an elevation gradient in Helan Mountains
..... LIU Bingru, ZHANG Xiuzhen, HU Tianhua, et al (7211)
- Effects of shrub encroachment on biomass and biodiversity in the typical steppe of Inner Mongolia
..... PENG Haiying, LI Xiaoyan, TONG Shaoyu (7221)
- Research on diaspore morphology and species distribution of 80 plants in the hill-gully Loess Plateau
..... WANG Dongli, ZHANG Xiaoyan, JIAO Juying, et al (7230)
- Habitat suitability assessment of blue sheep in Helan Mountain based on MAXENT modeling
..... LIU Zhensheng, GAO Hui, TENG Liwei, et al (7243)
- Characteristic of phytoplankton primary productivity and influencing factors in littoral zone of Lake Taihu
..... CAI Linlin, ZHU Guangwei, LI Xiangyang (7250)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Responses of soil respiration to changes in depth of seasonal frozen soil in Ebinur Lake area, arid area of Northwest China
..... QIN Lu, LV Guanghui, HE Xuemin, et al (7259)
- Seasonal and annual variation characteristic in basal soil respiration of black loam under the condition of farmland field
..... ZHANG Yanjun, GUO Shengli, LIU Qingfang, et al (7270)
- Resource and Industrial Ecology**
- Economic evaluation and protection of *Amygdalus mira* genetic resource ZHANG Lirong, MENG Rui, LU Guobin (7277)
- Meteorological grading indexes of water-saving irrigation for cotton XIAO Jingjing, HUO Zhiguo, YAO Yiping, et al (7288)
- Research Notes**
- Sprouts characteristic structure of *Taxus yunnanensis* plantation SU Lei, SU Jianrong, LIU Wande, et al (7300)
- The effects of forest conversion on soil N mineralization and its availability in central jiangxi subtropical region
..... SONG Qingni, YANG Qingpei, YU Dingkun, et al (7309)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 杨志峰

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 33 卷 第 22 期 (2013 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 22 (November, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	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

国内外公开发行人

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元