

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

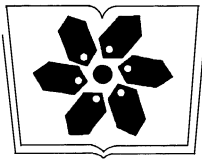
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第7期 Vol.33 No.7 **2013**

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 33 卷 第 7 期

2013 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 线虫转型发育和寄主识别的化学通讯研究进展..... 张 宾,胡春祥,石 进,等 (2003)
- 生物物种资源监测原则与指标及抽样设计方法..... 徐海根,丁 晖,吴 军,等 (2013)

个体与基础生态

- 呼伦贝尔草原人为火空间分布格局..... 张正祥,张洪岩,李冬雪,等 (2023)
- 青藏高原草地地下生物量与环境因子的关系..... 杨秀静,黄 玫,王军邦,等 (2032)
- 1961—2010 年桂林气温和地温的变化特征 陈 超,周广胜 (2043)
- 黄泥河自然保护区狗冬季卧息地选择..... 朱洪强,葛志勇,刘 庚,等 (2054)
- 青藏高原草地植物叶解剖特征..... 李全发,王宝娟,安丽华,等 (2062)
- 青藏高原高寒草甸夏季植被特征及对模拟增温的短期响应..... 徐满厚,薛 娴 (2071)
- 高温影响番茄小孢子发育的细胞学研究..... 彭 真,程 琳,何艳军,等 (2084)
- 黄土丘陵半干旱区柠条林株高生长过程新模型..... 赵 龙,王振凤,郭忠升,等 (2093)
- 柝属 7 种植物种子的发芽抑制物质研究..... 李庆梅,刘 艳,刘广全,等 (2104)
- 水分胁迫和杀真菌剂对黄顶菊生长和抗旱性的影响..... 陈冬青,皇甫超河,刘红梅,等 (2113)
- 铜尾矿废弃地与相邻生境土壤种子库特征的比较..... 沈章军,欧祖兰,田胜尼,等 (2121)
- 云雾山典型草原火烧不同恢复年限土壤化学性质变化..... 李 媛,程积民,魏 琳,等 (2131)
- 根系分区交替灌溉条件下水肥供应对番茄果实硝酸盐含量的影响..... 周振江,牛晓丽,李 瑞,等 (2139)
- 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响..... 李 娟,廖洪凯,龙 健,等 (2147)
- 自生固氮菌活化土壤无机磷研究..... 张 亮,杨宇虹,李 倩,等 (2157)
- 德国鳶尾对 Cd 胁迫的生理生态响应及积累特性 张呈祥,陈为峰 (2165)
- 施污土壤重金属有效态分布及生物有效性..... 铁 梅,宋琳琳,惠秀娟,等 (2173)
- 基于叶面积指数改进的直角双曲线模型在玉米农田生态系统中的应用..... 孙敬松,周广胜 (2182)
- 中稻田三种飞虱的捕食性天敌优势种及农药对天敌的影响..... 林 源,周夏芝,毕守东,等 (2189)

种群、群落和生态系统

- 珠江口超微型浮游植物时空分布及其与环境因子的关系..... 张 霞,黄小平,施 震,等 (2200)
- 输水前后塔里木河下游物种多样性与水因子的关系..... 陈永金,刘加珍,陈亚宁,等 (2212)
- 南海西北部陆架区鱼类的种类组成与群落格局..... 王雪辉,林昭进,杜飞雁,等 (2225)
- 滇西北高原碧塔湖滨沼泽植物群落分布与演替 韩大勇,杨永兴,杨 杨 (2236)
- 石羊河下游白刺灌丛演替过程中群落结构及数量特征..... 靳虎甲,马全林,何明珠,等 (2248)

资源与产业生态

- 土壤深松和补灌对小麦干物质生产及水分利用率的影响..... 郑成岩,于振文,张永丽,等 (2260)

豆科绿肥及施氮量对旱地麦田土壤主要肥力性状的影响..... 张达斌,姚鹏伟,李 婧,等 (2272)

沟壑全覆盖种植方式对旱地玉米生长及水分利用效率的影响..... 李 荣,侯贤清,贾志宽,等 (2282)

城乡与社会生态

北京北护城河河岸带的温湿度调节效应 吴芳芳,张 娜,陈晓燕 (2292)

西安太阳总辐射时空变化特征及对城市发展的响应..... 张宏利,张纳伟锐,刘敏茹,等 (2304)

研究简报

安徽琅琊山大型真菌区系多样性..... 柴新义,许雪峰,汪美英,等 (2314)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2320)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-04



封面图说: 金灿灿的小麦熟了——小麦是世界上最早栽培的农作物之一,是一种在世界各地广泛种植的禾本科植物,起源于中东地区。全世界大概有 43 个国家,近 35%—40% 的人口以小麦为主要粮食。小麦是禾谷类作物中抗寒能力较强的越冬作物,具有一定的耐旱和耐盐碱能力。中国的小麦分布于全国各地,主要集中于东北平原、华北平原和长江中下游一带。小麦秋季播种、冬季生长、春季开花、夏季结实。子粒含有丰富的淀粉、较多的蛋白质、少量的脂肪,还有多种矿物质元素和维生素 B,是一种营养丰富、经济价值较高的粮食。

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/stxb201112231957

靳虎甲, 马全林, 何明珠, 贾晓红, 刘有军, 张有佳, 李发鸿. 石羊河下游白刺灌丛演替过程中群落结构及数量特征. 生态学报, 2013, 33(7): 2248-2259.

Jin H J, Ma Q L, He M Z, Jia X H, Liu Y J, Zhang Y J, Li F H. Analysis on community structure and quantitative characteristics of *Nitraria tangutorum* nebkhas at different succession stage in lower reaches of Shiyang River. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2248-2259.

石羊河下游白刺灌丛演替过程中群落结构及数量特征

靳虎甲^{1,*}, 马全林¹, 何明珠², 贾晓红², 刘有军¹, 张有佳³, 李发鸿³

(1. 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治重点实验室-省部共建国家重点实验室培育基地, 甘肃省荒漠化防治重点实验室 & 甘肃省治沙研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730070; 3. 甘肃民勤连古城国家级自然保护区管理局, 民勤 733003)

摘要:白刺灌丛(*Nitraria tangutorum* Bobr.)是在石羊河下游存活面积最大的天然植被类型,研究不同演替阶段白刺灌丛群落的结构和数量特征可为该区白刺群落保护与恢复提供科学依据。根据白刺灌丛生长及其生境状况,在石羊河下游选择了初期发育、稳定、衰退、严重衰退的群落,研究了各演替过程中各阶段的群落物种组成、生活型谱、群落盖度、群落物种多样性及各演替阶段群落的相似性特征。结果表明,从初期发育阶段到稳定阶段的群落物种数量明显减少,而从稳定阶段至严重衰退阶段的演替过程中群落物种是逐渐增加的。在整个演替过程中,1年生植物所占比例逐渐增加,至严重衰退阶段时1年生植物所占的比重高达80%。不同演替阶段群落盖度最高、最低值出现的月份也不相同,5—10月群落盖度的平均值为稳定阶段>初期发育阶段>衰退阶段>严重衰退阶段。各演替阶段多样性 Simpson、Shannon-Wiener 指数以及 Pielou 均匀度指数 5—10月均呈现波动变化特征, Simpson、Shannon-Wiener 指数大小顺序均表现为初期发育阶段>严重衰退阶段>衰退阶段>稳定阶段,而均匀度 Pielou 指数为衰退阶段>严重衰退阶段>稳定阶段>初期发育阶段。各演替阶段群落之间的相似性均较低,演替序列越相近,相似性系数越高。

关键词:民勤;白刺;灌丛演替;群落特征

Analysis on community structure and quantitative characteristics of *Nitraria tangutorum* nebkhas at different succession stage in lower reaches of Shiyang River

JIN Hujia^{1,*}, MA Quanlin¹, HE Mingzhu², JIA Xiaohong², LIU Youjun¹, ZHANG Youjia³, LI Fahong³

1 State Key Laboratory of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Gansu Key Laboratory of Desertification Combating & Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070, China

2 Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730070, China

3 Administration Bureau of Minqin Liangucheng National Nature Reserve of Gansu Province, Minqin Gansu 733003, China

Abstract: *Nitraria tangutorum* occupy the largest area among all natural vegetation in the lower reaches of the Shiyang River. The plant is tolerant to high-temperature, drought, salts, wind-erosion and sand burial, so it has been highly regarded as a sand fixation plant. The formation and development of *N. tangutorum* nebkhas is also the result of interaction between vegetation and environment in the process of community succession. The research on the structure and quantitative characteristics of *N. tangutorum* communities in different succession stages can provide a scientific basis for its conservation and restoration. Based on growth and habitats, *N. tangutorum* communities at different succession stages: early

基金项目:国家自然科学基金(41061030);国家重点基础研究发展计划(973)项目(2012CB723203);中国博士后科学基金(20110490474, 2012T50162);甘肃省自然科学基金(1010RJZA141);甘肃省科技支撑(1104FKCA128)

收稿日期:2011-12-23; 修订日期:2012-09-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jinhj1984@126.com

development, stable equilibrium, deterioration, and serious deterioration, were selected to look into species composition, life form spectrum, coverage, species diversity and community similarities. The results demonstrated that the species composition of the plant community was relatively simple. There were 29 plant species, belonging to 25 genera and 11 families. Zygophyllaceae and Chenopodiaceae showed up in all succession processes. Gramineae dominated the early development stage, whereas Chenopodiaceae was predominant in the stable equilibrium. At the deterioration stage, species of Zygophyllaceae were prevailing after *N. tangutorum* community came to deterioration. Chenopodiaceae was dominant again when the succession was at the serious deterioration phase. The number of species abated significantly from the early development to the stage of stability, whereas that increased gradually from the stable equilibrium to deterioration and serious deterioration. Throughout the succession process, the proportion of annuals was increasing by degrees, from about 26% at the early development to 80% at the serious deterioration stage. So, the degradation succession of desert plants was a course of gradual increase of annual plants. The proportion of phanerophyte was gradually increasing from the early development to the deterioration stage, and decreasing at the stage of serious deterioration. Chamaephytes had larger quantities at the early development stage, were decreasing at the stable equilibrium stage, and disappeared at the deterioration stage. Hemicryptophyte were prevailing at the early development stage, decreasing at the stable equilibrium phase, and disappeared at the deterioration period, even only 1 species of hemicryptophyte existing at the serious deterioration phase. There was no cryptophytes in all succession processes. The annual variations of community coverage at different succession stages were various and the maximum and minimum values of the community coverage at different succession stages occurred in various months. The mean community covering rates in May to October was in the order stable equilibrium, early development, deterioration, serious deterioration. With respect to community diversity at different stages, the Simpson index, the Shannon-Weiner index, and the Pielou evenness index showed fluctuation. The Simpson and Shannon-Wiener indexes rank the stages in the order of early development, severe decline, decline, and stability. Meanwhile, the Pielou index ranked as follows: recession, serious recession, stability, and early development. The species composition of *N. tangutorum* communities in different succession stages was various with a level of similarities. Coefficients of similarity between communities at the stages of deterioration and serious deterioration were lightly similar, and those between other communities were dissimilar. The closer the successional series, the higher the similarity coefficients.

Key Words: Minqin; *Nitraria tangutorum* Bobr.; bush succession; community characteristics

石羊河是河西走廊三大内陆河之一,其下游地区有各类荒漠化土地面积达到 1.52 万 km²,绿洲面积仅占总面积的 9%,绿洲边缘风沙线长达 408 km^[1]。地处石羊河流域最下游的民勤县是我国浮尘、扬沙、沙尘暴发生最严重地区之一,也是我国生态环境最恶劣、最脆弱的地区之一^[2],该区的生态环境问题引起国家、社会各界的高度关注。石羊河下游天然灌木植被中,白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr.)是存活面积最大的天然植被类型,由于具有耐干旱、盐碱、抗风蚀等特点,故在植物固沙方面一直很受重视^[2]。白刺常以灌丛沙堆的形式出现^[3],白刺灌丛沙堆的形成和发育也是群落演替过程中植被与环境相互作用的结果。白刺群落在其维持该区生态环境良性循环中起着十分重要的作用^[4],而在白刺灌丛沙堆不同的演替阶段,群落组成和结构也发生着巨大的变化,对沙地生态系统产生巨大的影响,因此,深入了解白刺灌丛不同的演替阶段的群落结构及数量特征对该区植物的恢复及退化生态系统的重建,以及改善生态环境具有非常重要的理论指导意义。有关该区白刺群落生态特性的研究仅见刘建泉^[5]对分布在民勤西沙窝的白刺群落的物种组成、种间关系、垂直结构、周期性和物种多样性进行了研究,但相关研究没有区分白刺灌丛沙堆不同的演替阶段,缺乏对不同演替阶段白刺群落结构和数量特征的对比研究。本文则根据白刺灌丛生长及其生境状况,选择初期发育、稳定、衰退、严重衰退的白刺群落,研究其不同演替阶段群落物种组成、群落盖度及多样性的季节变化以及群落的相似性特征,为该区白刺群落的保护、利用和植被恢复与重建提供科学依据。

1 研究区自然概况与研究对象

研究区设立在石羊河下游的甘肃民勤连古城国家级自然保护区内(38°10′08″—39°09′10″N,103°30′00″—103°57′40″E),保护区位于民勤县境内的荒漠区域内,面积达 $38.99\times10^4\text{ hm}^2$,占民勤国土面积的四分之一,是全国面积最大的荒漠生态类型国家级自然保护区。保护区东北被腾格里沙漠包围,西北有巴丹吉林沙漠环绕,北、西、南三面蔽着民勤绿洲,多年平均气温 $7.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量 113.2 mm ,年均蒸发量 2604.3 mm ,年均风速 2.8 m/s 。该区的地表水资源由20世纪50年代的 5.731 亿 m^3 减少到本世纪初期的 1.0 亿 m^3 左右。土壤多为风沙土,养分贫瘠且风蚀严重。保护区现有天然植被有白刺、猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、柠条(*Caragana korshinskii*)、绵刺(*Potania mongolica*)、霸王(*Zagophyllum xanthoxylon*)、膜果麻黄(*Ephedra przewalskii*)、怪柳(*Tamarix hohenackeri*)、红砂(*Reaumuria songarica*)、胡杨(*Populus euphratica*)等。为了更好的保护荒漠天然植被群落及区内珍稀濒危动植物,保护区自2002年开始对重点公益林实行全面的封育和禁牧,在减少和防治沙尘暴危害及遏制腾格里和巴丹吉林两大沙漠合拢方面具有重要的战略意义。

保护区现有灌木林 $23.41\times10^4\text{ hm}^2$,其中白刺占灌木林的31.2%,且分布区域广泛,对维持该区荒漠生态系统良性循环起着十分重要的作用。近20年来,由于地下水的持续大规模过度开采利用和石羊河上中游水资源消耗提高,使得位于石羊河下游的保护区地下水埋深由1961年的 2.21 m 下降到2010年的 17.5 m ,并仍以 $0.50\text{—}0.71\text{ m/a}$ 的速度下降。地下水位的快速下降破坏了该区生态平衡,也加速了白刺灌丛的退化演替进程,使其出现了不同程度的退化现象,本文以这种人为因素而造成的不同退化演替阶段白刺灌丛为研究对象,对其群落的结构及数量特征进行研究分析。

2 研究样地设置与研究方法

2.1 样地设置

在甘肃民勤连古城国家级自然保护区封育禁牧区内,参考杜建会等^[6]对该地区不同演替阶段白刺灌丛的分类标准,通过实地考察后,以空间代替时间序列的方法,按照白刺灌丛沙堆形态、植被生长状况、沙堆土壤状况(表1)分别选择红土井、青土湖、三角城、沙井子这4个点代表白刺灌丛的发育阶段、稳定阶段、衰败阶段和严重衰败阶段的群落^[7],每个演替阶段选6个样地(共计24样地),在每个样地中设置 $30\text{ m}\times30\text{ m}$ 灌木样方,并在每个灌木样方内的中心和4个角处共设置5个 $1\text{ m}\times1\text{ m}$ 的草本植物调查样方,使用全球定位系统(GPS)对调查地点定位,并记录各样地的海拔高度、地貌及土壤类型等环境因子。

表1 不同演替阶段白刺灌丛沙堆形态、土壤及植被特征
Table 1 Soil and vegetation characteristics of *N. Tangutorum* at different succession stage

地点 Location	演替阶段 Succession stage	沙堆长轴均值 Long axis of sandpile/cm	沙堆短轴均值 Minor axis of sandpile/cm	沙堆高度均值 Height of sandpile/cm	植被生长状况 Status of vegetation growth	沙堆土壤状况 Status of sandpile soil
红土井	初期发育阶段	227	201	49	灌丛多株生长,结实率高,白刺生长较好,没有枯死现象。	风沙土,迎风坡为流沙,背风坡形成结皮,结皮以生物结皮为主,存在部分物理结皮,丘间地为粘土。
青土湖	稳定阶段	559	333	85	白刺灌丛多株生长,生长较好,枯死率较低。	风沙土,迎风坡和背风坡均有结皮,且以生物结皮为主,沙堆以下为粘土丘间地。
三角城	衰败阶段	965	618	96	灌丛多株生长,自疏现象严重,枯死率较高。	风沙土,结皮以生物结皮为主,迎风坡及沙堆两侧结皮破损较为严重。
沙井子	严重衰败阶段	642	450	125	灌丛多以单株形式生长,且绝大多数已经枯死。	风沙土,迎风坡和背风坡均以流沙为主,形成少量物理结皮。

2.2 植被调查

根据白刺的生长期^[8],植被调查于5月开始,每月的中旬在每个样方内进行植被调查,逐株调查样方内所有植物种类、株数(丛数)、盖度及高度指标,调查于当年10月结束。

2.3 数据分析

(1)重要值 在统计各样地植物高度、盖度、密度及频度的基础上,分别按灌木和草本植被计算样方内各物种重要值,具体的计算公式如下^[9]:

$$\text{重要值} = (\text{相对密度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度}) / 3$$

通过以上公式对各样地物种的重要值进行计算。

(2)生活型 根据丹麦植物学家 Raunkiaer 的生活型分类系统^[10],植物生活型包括高位芽植物、地上芽、地面芽、隐芽植物和1年生植物。

(3)群落物种多样性 依据物种多样性测度指数应用的广泛程度以及对群落物种多样性状况的反映能力,本研究综合大多数学者的分析结果^[11-13],选用 Shannon-Wiener 指数(H')、Simpson 指数(D)、均匀度指数(E),这3个指数的优点在于它们同时考虑了种数和各个种的相对多度,相应的计算公式如下:

$$\text{Shannon-Wiener 指数} (H') \quad H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

$$\text{Simpson 指数} (D) \quad D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2$$

$$\text{Pielou 均匀度指数} (E) \quad E = (- \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i) / \ln S$$

式中, S ,为物种数目; P_i ,为所有物种个体中,第*i*个物种的重要值。

(4)群落相似性 群落相似性是指群落间或样地间植物种类组成的相似程度,是群落分析的一个重要基础,常用群落相似性系数表示^[14]。目前,群落相似性系数有很多计算方法,其中 Jaccard 相似性系数是目前最为基础和常用相似性系数之一^[15]。

$$\text{群落相似性系数} (C_j) \quad C_j = \frac{a}{a + b + c}$$

式中, a 为群落A和B共有的物种数, b 为群落B有但群落A没有的物种数, c 为群落A有但群落B没有的物种数。相似性指数(C_j)的变动范围是0—1。相似性等级一般划分为6级:1级完全不相似, C_j 值为0.00;2级极不相似, C_j 值为0.01—0.25;3级轻度相似, C_j 值为0.26—0.50;4级中度相似, C_j 值为0.51—0.75;5级极相似, C_j 值为0.76—0.99;6级完全相似, C_j 值为1.00^[16]。

(5)数据处理 数据分析处理和图形绘制均使用 Microsoft 公司的表格处理软件 Excel 完成。方差分析和相关性分析在 spss13.0 数据处理系统中进行,多重比较用 Duncan 新复极差法检验(取显著度 0.05)。

3 结果与分析

3.1 不同演替阶段群落物种组成

表2统计了5月—10月白刺沙堆各演替阶段群落中所有出现的物种的科、属、种组成情况。白刺灌丛在各演替阶段其不同科植物的变化规律不同,从而影响群落结构的变化。由表2可知组成白刺灌丛初期发育阶段的群落中共有19种植物,隶属8科18属,其中禾本科植物物种数量最多,共有4个种,占该阶段物种总数的21%,菊科、藜科及蒺藜科植物各有3种,均占物种总数的16%,百合科和豆科各有2个物种,而旋花科和柽柳科植物只有1个种出现;在稳定阶段有3科7属共7种植物,数量最多的是藜科植物共有4个物种,占该阶段物种总数的57%,而禾本科和蒺藜科植物分别有2种和1种;衰退阶段群落中共出现物种8种,隶属于5科7属,其中蒺藜科植物数量最多,共有3个种出现,其次是藜科植物,共2个种,而柽柳科、菊科、茄科植物均只有1个物种出现;组成严重衰退阶段的群落物种共有10种,隶属于5科9属,其中藜科植物有4个种,占该阶段物种总数的40%,禾本科和蒺藜科植物各有2种植物,而百花丹科和十字花科各有1种植物出现,数量最少。

表 2 白刺沙堆不同演替阶段群落物种组成

Table 2 Species composition of community at different succession stage of *N. Tangutorum*

演替阶段 Succession stages	科名 Family name	属名 Generic name	种名 Specific name
初期发育阶段 Early development stage	蒺藜科 Zygophyllaceae	白刺属 <i>Nitraria</i>	白刺 <i>Nitraria tangutorum</i>
			泡泡刺 <i>Nitraria sphaerocarpa</i>
	百合科 Liliaceae	骆驼蓬属 <i>Peganum</i>	骆驼蓬 <i>Peganum harmala</i>
		天门冬属 <i>Asparagus</i>	戈壁天门冬 <i>Asparagus gobicu</i>
		葱属 <i>Allium</i>	沙葱 <i>Allium mongolicum</i>
	禾本科 Gramineae	针茅属 <i>Stipa</i>	针茅 <i>Stipa capillata</i>
		芦苇属 <i>Phragmites</i>	芦苇 <i>Phragmites australis</i>
		隐子草属 <i>Cleistogenes</i>	无芒隐子草 <i>Cleistogenes songorica</i>
	豆科 Leguminosae	画眉草属 <i>Eragrostis</i>	小画眉草 <i>Eragrostis poaeoides</i>
		棘豆属 <i>Oxytropis</i>	猫头刺 <i>Oxytropis aciphylla</i>
		黄耆属 <i>Astragalus</i>	乳白黄耆 <i>Astragalus galactites</i>
	菊科 Compositae	蜡菊属 <i>Olgaea</i>	蜡菊 <i>Olgaea leucophylla</i>
		蒿属 <i>Artemisia</i>	油蒿 <i>Artemisia ordosica</i>
		蓝刺头属 <i>Echinops</i>	砂蓝刺头 <i>Echinops gmelini</i>
	旋花科 Convolvulaceae	旋花属 <i>Convolvulus</i>	鹰爪柴 <i>Convolvulus gortschakovii</i>
	柽柳科 Tamaricaceae	红砂属 <i>Reaumuria</i>	红砂 <i>Reaumuria songarica</i>
	藜科 Chenopodiaceae	碱蓬属 <i>Suaeda</i>	碱蓬 <i>Suaeda glauca</i>
		猪毛菜属 <i>Salsola</i>	刺沙蓬 <i>Salsola ruthenica</i>
		虫实属 <i>Corispermum</i>	虫实 <i>Corispermum hyssopifolium</i>
稳定阶段 Stable stage	禾本科 Gramineae	芦苇属 <i>Phragmites</i>	芦苇 <i>Phragmites australis</i>
		画眉草属 <i>Eragrostis</i>	小画眉草 <i>Eragrostis poaeoides</i>
	藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜属 <i>Salsola</i>	刺沙蓬 <i>Salsola ruthenica</i>
		盐爪爪属 <i>Kalidium</i>	盐爪爪 <i>Kalidium foliatum</i>
		碱蓬属 <i>Suaeda</i>	碱蓬 <i>Suaeda glauca</i>
	蒺藜科 Zygophyllaceae	蒿属 <i>Artemisia</i>	沙蒿 <i>Artemisia sphaerocephala</i>
		白刺属 <i>Nitraria</i>	白刺 <i>Nitraria tangutorum</i>
		白刺属 <i>Nitraria</i>	白刺 <i>Nitraria tangutorum</i>
	蒺藜科 Zygophyllaceae		泡泡刺 <i>Nitraria sphaerocarpa</i>
			蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>
严重衰退阶段 Serious recession stage	柽柳科 Tamaricaceae	红砂属 <i>Reaumuria</i>	红砂 <i>Reaumuria songarica</i>
	菊科 Compositae	蓝刺头属 <i>Echinops</i>	砂蓝刺头 <i>Echinops gmelini</i>
	藜科 Chenopodiaceae	碱蓬属 <i>Suaeda</i>	碱蓬 <i>Suaeda glauca</i>
		沙蓬属 <i>Agriophyllum</i>	沙米 <i>Agriophyllum squarrosum</i>
	茄科 Solanaceae	枸杞属 <i>Lycium</i>	黑果枸杞 <i>Lyciumru thenicum</i>
	蒺藜科 Zygophyllaceae	白刺属 <i>Nitraria</i>	白刺 <i>Nitraria tangutorum</i>
		蒺藜属 <i>Tribulus</i>	蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>
	藜科 Chenopodiaceae	雾冰藜属 <i>Bassia</i>	雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>
		猪毛菜属 <i>Salsola</i>	刺沙蓬 <i>Salsola ruthenica</i>
		沙蓬属 <i>Agriophyllum</i>	沙米 <i>Agriophyllum squarrosum</i>
	白花丹科 Plumbaginaceae	碱蓬属 <i>Suaeda</i>	碱蓬 <i>Suaeda glauca</i>
		补血草属 <i>Limonium</i>	黄花补血草 <i>Limonium aureum</i>
	十字花科 Cruciferae	沙芥属 <i>Pugionium</i>	沙芥 <i>Pugionium cornutum</i>
	禾本科 Gramineae	画眉草属 <i>Eragrostis</i>	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>
			小画眉草 <i>Eragrostis poaeoides</i>

显然,在白刺灌丛各演替阶段群落物种组成比较简单,仅出现 29 种植物,隶属于 25 属 11 科,其中藜科、藜科在演替的整个过程出现,初期发育阶段中禾本科占有优势,适宜 1 年生及多年生草本植物的生长;演替至稳定阶段后藜科植物占有绝对优势,禾本科的草本类植物物种数量则明显减少;白刺群落进入衰退阶段后藜科植物占有优势,而演替至严重衰退阶段时群落又以藜科植物为主。

3.2 不同演替阶段生活型组成

对白刺灌丛各演替阶段群落植物的生活型进行分类,然后根据生活型系,计算出各演替阶段白刺群落植物的生活型谱(表 3)。由表 3 可知,在白刺初期发育阶段中地面芽植物数量最多,占群落物种总数的 36.84%,1 年生植物次之,占总数的 26.32%,地上芽植物居于第三,占总数的 21.05%,此外还有 15.79% 的高位芽植物;稳定阶段的白刺群落是以 1 年生植物居于首位,占总数的 42.86%,高位芽植物居于第二位,占总数的 28.57%,而地上芽植物和地面芽植物各占 14.29%;衰退阶段的白刺群落只有高位芽植物和 1 年生植物出现,且两者比例相当,各占总数的 50%;在严重衰退阶段,白刺群落中 1 年生植物占有绝对的优势,占总数的 80%,而高位芽植物和地面芽植物各占 10%。

显然,在该区域白刺灌丛沙堆的演替过程中,1 年生植物所占比例逐渐升高,高位芽植物在白刺群落演替前 3 个阶段逐渐升高,而至严重衰退阶段时又开始下降,地上芽植物在初期发育阶段数量较多,而在稳定阶段后比例开始下降,灌丛演替至衰退阶段后未见地上芽植物;地面芽植物在初期发育阶段占有优势,而在稳定阶段后比例开始下降,在演替至衰退阶段后未见地面芽植物,而至严重衰退阶段后也只有 1 种地面芽植物出现,整个演替过程中未见隐芽植物。

表 3 白刺灌丛不同演替阶段群落生活型谱

Table 3 The life form of composition of scrubs community at different succession stage of *Nitraria Tangutorum*

演替阶段 Succession stages		生活型 Life form				
		高位芽植物 Phanerophyte	地上芽植物 Chamaephytes	地面芽植物 Hemicryptophyte	隐芽植物 Cryptophytes	1 年生植物 Annual
初期发育阶段	种类数 Species	3	4	7	0	5
Early development stage	百分数 Percentage/%	15.79	21.05	36.84	0	26.32
稳定阶段 Stable stage	种类数 Species	2	1	1	0	3
	百分数 Percentage/%	28.57	14.29	14.29	0	42.86
衰退阶段	种类数 Species	4	0	0	0	4
Recession stage	百分数 Percentage/%	50.00	0	0	0	50.00
严重衰退阶段	种类数 Species	1	0	1	0	8
Serious recession stage	百分数 Percentage/%	10.00	0	10.00	0	80.00

3.3 白刺群落盖度的季节变化

图 1 是 4 个不同的沙堆演替阶段白刺群落盖度取 5 月、6 月、7 月、8 月、9 月、10 月的年平均值作图,由图表明白刺群落盖度年平均值表现为稳定阶段>初期发育阶段>衰败阶段>严重衰败阶段,且各演替阶段白刺群落盖度的年均值总体差异显著,且除了初期发育阶段和衰败阶段以及衰败阶段和严重退化阶段之间差异不显著外,其它各阶段间的差异性达到显著水平($P<0.05$),稳定阶段 5—10 月群落盖度的平均值分别是发育阶段、衰退阶段、严重衰退阶段盖度平均值的 1.7、2.0 和 2.8 倍。图 2 是不同发育阶段白刺群落盖度 5—10 月的变化曲线图。可以看到 4 个阶段的白刺群落盖度的季节变化趋势各不相同,红土井初期发育阶段白刺群落的盖度 5—9 月呈直线上升趋势,10 月开始下降,盖度最大的 9 月比盖度最低的 5 月增加了 31.78%;稳定阶段的群落盖度季节变化幅度较小,盖度最大的 7 月比盖度最小的 5 月只增加了 9.16%;衰退阶段和严重衰退阶段群落盖度的季节变化趋势较为接近,都表现为从 5 月开始至 8 月份盖度逐渐上升,而 9 月、10 月盖度逐渐减小,且在 8 月份盖度最大时衰败阶段达到 36.25%,而严重衰败阶段只有 28.5%,衰败阶段群落盖度最小值出现在 5 月份,而严重衰败阶段的白刺群落最小值出现在 10 月份。

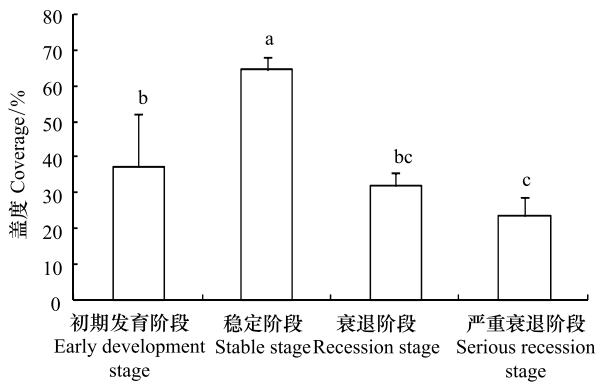


图1 白刺沙堆不同演替阶段群落年平均盖度

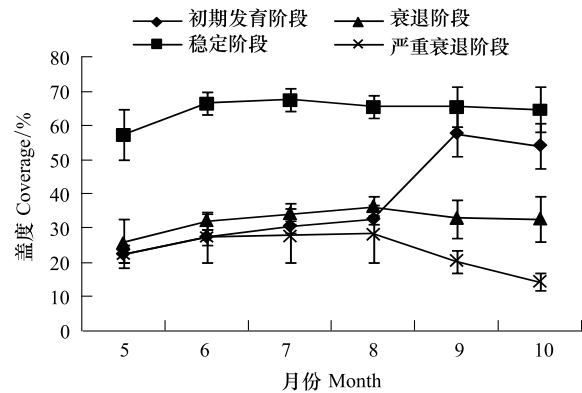
Fig. 1 Average of community coverage at different succession stage of *N. Tangutorum*

图2 白刺沙堆不同演替阶段群落盖度年变化

Fig. 2 Annual variations of community coverage at different succession stage of *N. Tangutorum*

3.4 群落多样性的年变化

群落的物种多样性指数可直接反应出群落的结构特征。通过对白刺沙堆各演替阶段群落植被所调查的各个样地中5—10月统计的物种多样性指数(以重要值为计算依据)特征如图3所示。不同演替阶段白刺群落的物种多样性变化规律明显不同,但均呈现一定的波动性变化。其中,初期发育阶段的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数以及 Pielou 均匀度指数从5月开始逐渐降低,7月降到最低后从8月开始增加并达到全年最高值,9月和10月又逐渐降低,该阶段多样性指数在6—8月波动变化幅度较大;稳定阶段的多样性 Simpson、Shannon-Wiener 指数以及 Pielou 均匀度指数在5月份是最低的,6月份缓慢上升,但7月份略有下降,8月增加幅度较大,而后缓慢增加,至10月份达到最大值;衰退阶段的多样性 Simpson、Shannon-Wiener 指数以及 Pielou 均匀度指数年变化特征与初期发育阶段类似,但是其波动变化程度强于初期发育阶段,受降水的影响也比较明显;严重衰退阶段的多样性 Simpson、Shannon-Wiener 指数以及 Pielou 均匀度指数在5月份最

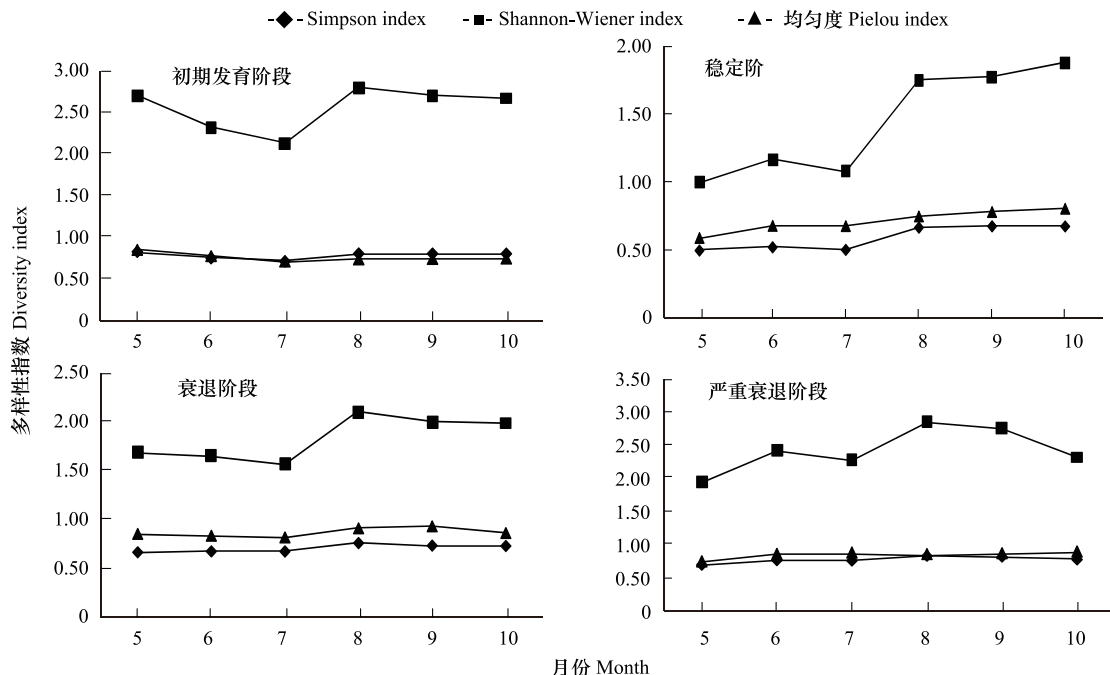


图3 不同演替阶段白刺群落多样性年变化

Fig. 3 Annual variations of diversity index of community coverage at different succession stage of *N. Tangutorum*

低,6 月份缓慢上升,7 月份又有所下降,8 月份上升至最高值后又逐渐开始下降,该演替阶段的波动变化在各阶段中最为频繁,受降水的影响十分明显。

图 4 是白刺沙堆各演替阶段群落的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数及均匀度各月的平均值作图,比较各个演替阶段的差异性。从图可以看出 Simpson 指数大小顺序为初期发育阶段>严重衰退阶段>衰退阶段>稳定阶段,且初期发育阶段、严重衰退阶段以及衰退阶段之间差异不显著,而与稳定阶段之间的差异达到显著水平($P<0.5$)。Shannon-Wiener 指数的大小顺序与 Simpson 指数一致,但是各演替阶段的差异性特征有所不同,具体表现为各演替阶段总体差异显著,且除了衰退阶段与稳定阶段、衰退阶段与严重衰退阶段、初期发育阶段与严重衰退阶段之间的差异不显著外,其他各阶段差异均达到显著水平($P<0.5$)。各演替阶段均匀度

Pielou 指数的大小顺序为衰退阶段>严重衰退阶段>稳定阶段>初期发育阶段,而各演替阶段差异未达到显著水平($P>0.5$)。

3.5 不同演替阶段白刺群落相似性

为了解白刺沙堆各演替阶段群落的相似性,对所调查的各演替阶段群落进行群落相似性分析,其 Jaccard 相似性系数见表 4。从表 4 也可以看出,初期发育阶段与稳定阶段的 Jaccard 群落相似性系数最高,但也只达到 0.2381,与衰退阶段次之,相似性系数为 0.1739,而与严重衰退阶段最小,仅为 0.1600。稳定阶段与衰退阶段的 Jaccard 群落相似性系数为 0.2143,而与严重衰退阶段为 0.1538;衰退阶段与严重衰退阶段的群落相似性系数达到 0.3077。总体而言各演替阶段的群落间的相似性系数均比较低,只有衰退阶段与严重衰退阶段的群落相似性系数达到轻度相似水平,而其他各个群落间只达到极不相似水平。

表 4 不同演替阶段白刺群落相似性系数

Table 4 Similarity coefficient of community at different succession stage of *Nitraria Tangutorum*

演替序列 Succession stage	初期发育阶段 Early development stage	稳定阶段 Stable stage	衰退阶段 Recession stage	严重衰退阶段 Serious recession stage
初期发育阶段 Early development stage	1			
稳定阶段 Stable stage	0.2381	1		
衰退阶段 Recession stage	0.1739	0.2143	1	
严重衰退阶段 Serious recession stage	0.1600	0.1538	0.3077	1

4 结论

在石羊河下游白刺沙堆从初期发育阶段到稳定阶段的群落物种组成明显减少,但从稳定阶段至衰退阶段再到严重衰退阶段的演替过程中群落物种组成是逐渐增加的,而在整个演替过程中,1 年生植物所占比例从初期发育阶段的 26.32% 逐渐增加至严重衰退阶段的 80.00%。

不同演替阶段群落盖度的年变化没有统一的趋势,且最高、最低值出现的月份也不相同,各演替阶段 5—10 月群落盖度的平均值表现为稳定阶段>初期发育阶段>衰败阶段>严重衰败阶段。

各演替阶段多样性 Simpson、Shannon-Wiener 指数以及 Pielou 均匀度指数 5—10 月均呈现波动变化特征,其中 Simpson 和 Shannon-Wiener 指数的大小顺序均表现为初期发育阶段>严重衰退阶段>衰退阶段>稳定阶段,而均匀度 Pielou 指数则为衰退阶段>严重衰退阶段>稳定阶段>初期发育阶段。各演替阶段群落之间的相似性均较低,衰退阶段与严重衰退阶段群落之间达到轻度相似水平,而其他各群落之间只达到极不相似水平。

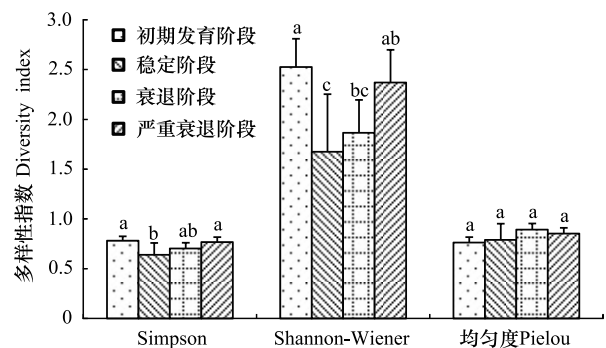


图 4 不同演替阶段白刺群落多样性指数

Fig. 4 Diversity index of community coverage at different succession stage of *N. Tangutorum*

5 讨论

由于人为过度利用水资源而使得地下水位下降,造成石羊河下游白刺群落逐渐衰败、退化,并引起白刺灌丛沙堆活化、解体,群落出现衰退演替^[17],威胁石羊河下游地区的生态安全。鉴于时间和条件限制,对处于不同演替阶段的植物群落研究往往采用时空替代的方法,在空间上大量调查处于不同演变阶段的植被,将其转换为植被演变的时间序列^[18],从而确定其恢复演变的过程和规律,本文亦采取这种方法对白刺灌丛处于初期发育、稳定、衰退、严重衰退这4个阶段的群落结构和数量特征进行了分析。

在白刺沙堆从初期发育阶段到稳定阶段过程中,群落物种组成数、群落多样性 Simpson 和 Shannon-Wiener 指数均明显减小,以往研究指出处于稳定阶段的白刺灌丛土壤呼吸速率最大、生长最为旺盛,处于稳定阶段的白刺灌丛也具有最大的生物量和生产力^[7],所以处于白刺灌丛在群落处于稳定阶段时,具有很强的养分和水分竞争能力,也在很大程度上降低了其他物种的生存机会^[19],而植物群落在演替过程中种内、种间竞争越激烈,会使其物种多样性越低^[20]。另外白刺灌丛从初期发育阶段至演替至稳定阶段时其迎风坡和背风坡均有大量生物结皮形成,而生物结皮本身与也会与植物相互竞争,互相抑制,结皮与植被之间也存在营养及水分的竞争^[21],而且表层结皮对降水产生了一定的阻隔效应,影响水分入渗,沙堆对降水的吸收减弱^[22],沙堆土壤含水率下降后许多物种也退出了该阶段,这也可能成为该演替阶段物种多样性降低的原因之一。陈荣毅等人^[23]的研究指出结皮存在确实会对干旱区植物的种子萌发产生不利影响,降低了群落的多样性。当结皮存在的时间较长时,白刺灌丛又会因为水分条件失衡,出现不同程度的衰退现象^[6],白刺固定沙丘又重新活化,结皮开始出现破损,而结皮破损后却又增加了水分入渗,提高土壤含水率^[24],沙米、沙芥等植物在结皮破损的后的衰退阶段和严重衰退阶段群落中开始出现,使得群落物种数以及多样性指数在稳定阶段向衰退阶段、严重衰退阶段演替过程中逐渐增加。方精云等人^[25]指出,群落的物种组成和多样性特征不仅与所在地的环境条件和生态过程(种内、种间)有关,也受其潜在的物种库即区域种库所左右,所以不同演替阶段白刺群落的多样性变化特征也应该综合考虑环境条件、种间和种内关系以及区域过程的共同影响。总体看,白刺灌丛在整个演替发育过程中,其群落的物种多样性比较低,群落结构简单,物种相对组成稀少,也符合大多数学者在荒漠区研究的结论^[26-27],这与荒漠恶劣的生境条件相关,在环境压力大的恶劣生境当中,多样性较低本身也是一种维持生态系统相对平衡的生态策略^[28]。

植物群落的生活型可以提供群落对特定环境因子的反应、空间利用和种间竞争关系等方面的信息^[29]。白刺灌丛各演替阶段的群落中1年生植物所占的比重均比较大,拥有丰富的1年生植物本身是全球荒漠地区常见的一个特点^[30],这也与该区域干旱的气候特征相吻合^[31]。白刺灌丛的退化演替过程中1年生植物所占比重逐渐增加而其他类型的植被相应减少,这与赵丽娅等人^[32]在科尔沁沙地植被退化后的恢复演替过程中1年生植物类型逐渐减少而多年生和灌木的比例逐渐增加的研究结论相对应,由此可见荒漠区植物群落退化演替应该是1年生植物种数逐渐增加的过程,而植被恢复演替过程则恰恰相反。1年生植物的生长极易受到环境的影响(尤其是降水),表现出了极大的不稳定性,遇到适宜的水分条件时生长迅速,在空间分布上尽可能地去填充占据群落中的裸斑地面,使得地面植被覆盖度增加,所以白刺群落盖度的季节性变化主要也是由1年生草本植物的生长或者衰败而引起的。另外,由于沙漠地区具有降水稀少而集中、季节温差大、风蚀沙埋严重的恶劣环境^[33],因而该区域植被较其它区域表现出更明显的时间节律,本研究也表明,在7—8月各演替阶段的群落多样性指数均有一个明显的增加过程,这也是由于研究区降水集中在7月、8月,而固沙植物对降水的敏感性和依赖性很高,依靠降水大量萌发生长^[34],从而使得各演替阶段群落的多样性指数在8月份均有所上升。

群落的相似性系数大小表征了群落间物种的共有程度,可以反映出群落中物种的替代程度^[35]。本研究中,白刺灌丛处于不同的演替阶段时群落的物种组成本身有较大的差异,所以也就造成了各演替阶段群落的相似性系数整体很低。群落间的相似性大小是时间和空间共同作用的结果,首先随着空间位置的远离,不同群落间的相似性系数应该呈减小的趋势^[36],而对于同种群落的演替序列而言,种间替代是逐渐完成的,所以

反应在时间尺度上则表现为每一群落总是演替相邻的群落具有较高的相似度^[37],演替系列是连续的,本文的研究中也表现为演替序列越相近,相似性系数越高,反映出白刺灌丛演替过程中群落物种成分发生“渐变式”更替。

本文只研究了石羊河下游白刺灌丛从初期发育、稳定、衰退、严重衰退各演替过程中群落的物质组成、生活型谱、群落盖度、多样性以及相似性等群落结构和数据特征,而至于具体的环境因子(土壤理化性质、坡度、坡向等)与对白刺灌丛不同演替阶段的群落产生的影响还需深入研究。

References:

- [1] Chang Z F, Qiu G Y, Zhao M, Yang Z H, Han F G, Zhong S N, Li A D, Liu S J. Responses of plant phenology to climate warming in Minqin desert area. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5195-5206.
- [2] Zhang K B, Zou S Y. Principle and Technology of Sand Control. Beijing: China Forestry Press, 1990:8-12.
- [3] Du J H, Yan P, Ding L G, E Y H, Zhu M J. Soil physical and chemical properties of *Nitraria tangutorum* nebkhas surface at different development stages in Minqin oasis. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(2): 248-253.
- [4] Li J J, Ma C S, Zhang Y J, Yan H Y, Li F H, Zhao D M. Influencing factors on growth and development of *Nitraria* in Minqin liangucheng nature reserve. *Journal of Northeast Forestry University*, 2010, 38(10): 41-43.
- [5] Liu J Q. Ecological characteristics of *Nitraria tangutorum* community in Xishawo, Minqin of Gansu province. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2002, 11(3): 36-40.
- [6] Du J H, Yan P, Zhan X L, E Y H. Surface erosion-resistance of *Nitraria tangutorum* nebkhas at different succession stages in Minqin oasis and related affecting factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(4): 763-768.
- [7] Jin H J, Ma Q L, Zhang Y J, Zeng Y X. Soil respiration of *Nitraria tangutorum* nebkhas at different evolvement stages in lower reaches of Shiyang river and its influencing factors. *Journal of Desert Research*, 2012, 32(1): 140-147.
- [8] Liu Y X. Flora in desertis reipublicae populorum sinarum(tomus 2). Beijing: Science Press, 1987:303-306.
- [9] Greig-Smith, P. Quantitative Plant Ecology. Oxford, London: Blackwell Scientific Publications, 1983: 105-112.
- [10] Raunkiaer C. The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography. New York: Oxford University Press, 1932: 2-104.
- [11] Magurran A E. Ecological Diversity and Its Measurement. New Jersey: Princeton University Press, 1988:26-31.
- [12] Ma K P. Measurement of biological community diversity I. Measurement of α diversity. *Chinese Biodiversity*, 1994, 2(3): 162-168.
- [13] Qian Y Q. Some issues in biodiversity. *Chinese Bulletin of Botany*, 1998, 15(5): 1-15.
- [14] Yu S L, Chen L Z, Zhang C J. The Research on the similarity of *Quercus mongolica* community in different sites. *Chinese Bulletin of Botany*, 2000, 17(6): 554-558.
- [15] Yang W K, Zhang D Y, Yin K L, Zhang L Y. Distribution and cluster analysis on the similarity of the *Tamarix* communities in Xinjiang. *Arid Zone Research*, 2002, 19(3): 6-11.
- [16] Zhang W, Zhang J L, Zhou Y F, An M T, Wu J H, Yang R. The plant community structure and similarity trait of the Karst mountain grassland. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(5): 843-848.
- [17] Wang X, Wang T, Dong Z, Liu X, Qian G. Nebkha development and its significance to wind erosion and land degradation in semiarid northern China. *Journal of Arid Environments*, 2006, 65: 129-141.
- [18] Zhao H L, Zhao X Y, Zhang T H, Zhou R L. Bioprocess of desertification and restoration mechanism of degraded vegetation. Beijing: Science Press, 2007:270-282.
- [19] Wang Y J, Zhong Z C, Tao J P. Patterns of ramet population of *Iris japonica* Thumb. and their effects on herb diversity in different micro-habitats on Jinyun Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3082-3091.
- [20] Pärtel M, Laanisto L, Zobel M. Contrasting plant productivity-diversity relationships across latitude: the role of evolutionary history. *Ecology*, 2007, 88(5): 1091-1097.
- [21] Yang X L, Zhang K B, Cao Y X. Effects of biological soil crusts on water infiltration and plant diversity in fenced grassland soil. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(4): 853-856.
- [22] Zhang B C, Zhang Y M, Zhao J C, Chen R Y, Deng Y P. Variation in algal composition among different developmental stages of biological soil crusts in Gurbantunggut Desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 9-17.
- [23] Chen R Y, Wei W S, Zhang Y M, Wu N, Zhang J. Effect of biological soil crust on plant diversity in arid area. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(5): 868-873.

- [24] Wang F L, Zhang J C, Ji Y F, Chen F, Ding F, Liu Y J, Wang J J. Effects of soil crust breaking on soil moisture and growth of degraded *Haloxylon ammodendron* community. *Grassland and Turf*, 2011, 31(4): 56-59.
- [25] Fang J Y, Wang X P, Tang Z Y. Local and regional processes control species richness of plant communities: the species pool hypothesis. *Biodiversity Science*, 2009, 17(6): 605-612.
- [26] Gu X F, Zhang Y D, Pan X L, Chu Y, Zhang L J. Correlation between soil saltilisation and community diversity: the case of Fukang oasis. *Resources Science*, 2002, 24(3): 42-47.
- [27] Zhang J C, Wang J H, Zhao M, Liu H J, Liao K T, Xu X Y. Plant community and species diversity in the south fringe of Kumtag desert. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(3): 375-382.
- [28] Alhamad M N. Ecological and species diversity of arid Mediterranean grazing land vegetation. *Journal of Arid Environments*, 2006, 66(4): 698-715.
- [29] Guo Q S, Jiang H, Wang B, Yan H. The quantitive classification and spatial distribution patttern of life form spectra of the plants in major Chinese forest communities. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(4): 573-577.
- [30] Li X H, Li X L, Jiang D M, Liu Z M, Yu Q H. Annual plant species in arid and semi-arid desert regions: a review. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(7): 851-856.
- [31] Dray S, Legendre P, Peres-Neto PR. Spatial modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbour matrices (PCNM). *Ecological Modelling*, 2006, 196(3/4): 483-493.
- [32] Zhao L Y, Li Z H, Li F R, Zhao H L. Soil seed bank of plant communities along restoring succession gradients in Horqin Sandy Land. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3204-3211.
- [33] Wang T. Desert and desertification in China. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Press, 2003: 43-49.
- [34] Yang L, Wang Y R, Yu J D. Review of research on seed banks of desert regions. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(2): 227-234.
- [35] Yang S G, Li X Y, Lei J Q, Zhu J T. Investigation of vegetation on shallow mountain area of northern slope in middle section of Kunlun Mountain. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2009, 29(4): 809-817.
- [36] Guo L J, Zhang W H, Liu G B. Species diversity and interspecific association in development sequence of *Hippophae rhamnoides* plantations in loess hilly region. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(1): 9-15.
- [37] Xin F, Lü X G, Ni H W, Gao Y H, Xu K, Yu L L, Zhang L. β diversity of successional series in mash communities of Sanjiang Plain, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(11): 2455-2459.

参考文献:

- [1] 常兆丰, 邱国玉, 赵明, 杨自辉, 韩富贵, 仲生年, 李爱德, 刘淑娟. 民勤荒漠区植物物候对气候变暖的响应. *生态学报*, 2009, 29(10): 5195-5206.
- [2] 张奎壁, 邹受益. 治沙原理与技术. 北京: 中国林业出版社, 1990: 8-12.
- [3] 杜建会, 严平, 丁连刚, 俄有浩, 朱孟郡. 民勤绿洲不同演化阶段白刺灌丛沙堆表面土壤理化性质研究. *中国沙漠*, 2009, 29(2): 248-253.
- [4] 李进军, 马存世, 张有佳, 闫好原, 李发鸿, 赵多明. 民勤连古城自然保护区白刺生长发育影响因素. *东北林业大学学报*, 2010, 38(10): 41-43.
- [5] 刘建泉. 甘肃民勤西沙窝唐古特白刺群落的生态特性. *植物资源与环境学报*, 2002, 11(3): 36-40.
- [6] 杜建会, 严平, 展秀丽, 俄有浩. 民勤绿洲白刺灌丛沙堆不同演化阶段表面抗蚀性及其影响因素. *应用生态学报*, 2008, 19(4): 763-768.
- [7] 靳虎甲, 马全林, 张有佳, 曾新德. 石羊河下游白刺灌丛演替发育过程的土壤呼吸及其影响因素分析. *中国沙漠*, 2012, 32(1): 140-147.
- [8] 刘瑛心. 中国沙漠植物志(第二卷). 北京: 科学出版社, 1987: 303-306.
- [12] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I. α 多样性的测度方法(上). *生物多样性*, 1994, 2(3): 162-168.
- [13] 钱迎倩. 生物多样性的几个问题. *植物学通报*, 1998, 15(5): 1-15.
- [14] 于顺利, 陈灵芝, 张承军. 不同地点蒙古栎群落相似性的研究. *植物学通报*, 2000, 17(6): 554-558.
- [15] 杨维康, 张道远, 尹林克, 张立运. 新疆怪柳属植物(*Tamarix* L.)的分布与群落相似性聚类分析. *干旱区研究*, 2002, 19(3): 6-11.
- [16] 张文, 张建利, 周玉锋, 安明志, 吴佳海, 杨瑞. 喀斯特山地草地植物群落结构与相似性特征. *生态环境学报*, 2011, 20(5): 843-848.
- [18] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 周瑞莲. 沙漠化的生物过程及退化植被的恢复机理. 北京: 科学出版社, 2007: 270-282.
- [19] 王永健, 钟章成, 陶建平. 缙云山不同生境蝴蝶花(*Iris japonica* Thumb.)分株种群格局及对草本多样性的影响. *生态学报*, 2008, 28(7): 3082-3091.

- [21] 杨秀莲, 张克斌, 曹永翔. 封育草地土壤生物结皮对水分入渗与植物多样性的影响. 生态环境学报, 2010, 19(4): 853-856.
- [22] 张丙昌, 张元明, 赵建成, 陈荣毅, 郑云普. 古尔班通古特沙漠生物结皮不同发育阶段中藻类的变化. 生态学报, 2009, 29(1): 9-17.
- [23] 陈荣毅, 魏文寿, 张元明, 吴楠, 张静. 干旱区生物土壤结皮对种子植物多样性的影响. 中国沙漠, 2008, 28(5): 868-873.
- [24] 王方琳, 张锦春, 纪永福, 刘虎俊, 廖空太, 徐先英. 不同结皮破坏对退化梭梭林地土壤水分及梭梭生长的影响. 草原与草坪, 2011, 31(4): 56-59.
- [25] 方精云, 王襄平, 唐志尧. 局域和区域过程共同控制着群落的物种多样性: 种库假说. 生物多样性, 2009, 17(6): 605-612.
- [26] 顾峰雪, 张远东, 潘晓玲, 初雨, 张林静. 阜康绿洲土壤盐渍化与植物群落多样性的相关性分析. 资源科学, 2002, 24(3): 42-47.
- [27] 张锦春, 王继和, 赵明, 刘虎俊, 廖空太, 徐先英. 库姆塔格沙漠南缘荒漠植物群落多样性分析. 植物生态学报, 2006, 30(3): 375-382.
- [29] 郭泉水, 江洪, 王兵, 阎洪. 中国主要森林群落植物生活型谱的数量分类及空间分布格局的研究. 生态学报, 1999, 19(4): 573-577.
- [30] 李雪华, 李晓兰, 蒋德明, 刘志民, 于庆和. 干旱半干旱荒漠地区一年生植物研究综述. 生态学杂志, 2006, 25(7): 851-856.
- [32] 赵丽娅, 李兆华, 李锋瑞, 赵哈林. 科尔沁沙地植被恢复演替进程中群落土壤种子库研究. 生态学报, 2005, 25(12): 3204-3211.
- [33] 王涛. 中国沙漠与沙漠化. 石家庄: 河北科学技术出版, 2003: 43-49.
- [34] 杨磊, 王彦荣, 余进德. 干旱荒漠区土壤种子库研究进展. 草业学报, 2010, 19(2): 227-234.
- [35] 杨尚功, 李向义, 雷加强, 朱军涛. 昆仑山前山带植物群落调查及相似性初步研究. 西北植物学报, 2009, 29(4): 809-817.
- [36] 郭连金, 张文辉, 刘国彬. 黄土丘陵区沙棘人工林发育过程中物种多样性及种间关联变化. 应用生态学报, 2007, 18(1): 9-15.
- [37] 邢福, 吕宪国, 倪红伟, 高玉慧, 许坤, 于丽丽, 张亮. 三江平原沼泽湿地群落演替系列 β 多样性. 应用生态学报, 2008, 19(11): 2455-2459.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 7 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research progress on chemical communication of development and host-finding of nematodes ZHANG Bin, HU Chunxiang, SHI Jin, et al (2003)
- Principles, indicators and sampling methods for species monitoring XU Haigen, DING Hui, WU Jun, et al (2013)

Autecology & Fundamentals

- Spatial distribution pattern of human-caused fires in Hulunbeir grassland ZHANG Zhengxiang, ZHANG Hongyan, LI Dongxue, et al (2023)
- Belowground biomass in Tibetan grasslands and its environmental control factors YANG Xiuqing, HUANG Mei, WANG Junbang, et al (2032)
- Analysis on variation characteristics of air temperature and ground temperature in Guilin from 1961 to 2010 CHEN Chao, ZHOU Guangsheng (2043)
- Winter bed-site selection by roe deer (*Capreolus capreolus*) in Huangnihe Nature Reserve ZHU Hongqiang, GE Zhiyong, LIU Geng, et al (2054)
- Leaf anatomical characteristics of the plants of grasslands in the Tibetan Plateau LI Quanfa, WANG Baojuan, AN Lihua, et al (2062)
- A research on summer vegetation characteristics & short-time responses to experimental warming of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (2071)
- Cytological study on microsporogenesis of *Solanum lycopersicum* var. Micro-Tom under high temperature stress PENG Zhen, CHENG Lin, HE Yanjun, et al (2084)
- A new plant height growth process model of *Caragana* forest in semi-arid loess hilly region ZHAO Long, WANG Zhenfeng, GUO Zhongsheng, et al (2093)
- Germination inhibitory substances extracted from the seed of seven species of *Quercus* LI Qingmei, LIU Yan, LIU Guangquan, et al (2104)
- Effects of water stress and fungicide on the growth and drought resistance of *Flaveria bidentis* CHEN Dongqing, HUANGFU Chaohe, LIU Hongmei, et al (2113)
- Characters of soil seed bank in copper tailings and its adjacent habitat ... SHEN Zhangjun, OU Zulan, TIAN Shengni, et al (2121)
- Changes of soil chemical properties after different burning years in typical steppe of Yunwun Mountains LI Yuan, CHENG Jimin, WEI Lin, et al (2131)
- Effects of water and fertilizers on nitrate content in tomato fruits under alternate partial root-zone irrigation ZHOU Zhenjiang, NIU Xiaoli, LI Rui, et al (2139)
- Effect of land use on the characteristics of organic carbon and labile organic carbon in soil aggregates in Karst mountain areas LI Juan, LIAO Hongkai, LONG Jian, et al (2147)
- Mobilization of inorganic phosphorus from soils by five azotobacters ZHANG Liang, YANG Yuhong, LI Qian, et al (2157)
- Physiological-ecological responses of *Iris germanica* L. to Cd stress and its accumulation of Cd ZHANG Chengxiang, CHEN Weifeng (2165)
- The available forms and bioavailability of heavy metals in soil amended with sewage sludge TIE Mei, SONG Linlin, HUI Xiujuan, et al (2173)
- LAI-based photosynthetic light response model and its application in a rainfed maize ecosystem SUN Jingsong, ZHOU Guangsheng (2182)
- The dominant species of predatory natural enemies of three kinds of planthoppers and impact of pesticides on natural enemies in paddy field LIN Yuan, ZHOU Xiazhi, BI Shoudong, et al (2189)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial and temporal variation of picophytoplankton in the Pearl River Estuary ZHANG Xia, HUANG Xiaoping, SHI Zhen, et al (2200)

Analysis of the relationship between species diversity and hydrologic factors during an interval of intermittent water delivery at the Lower Reaches of Tarim River, China	CHEN Yongjin, LIU Jiazhen, CHEN Yaning, et al (2212)
Fish species composition and community pattern in the continental shelf of northwestern South China Sea	WANG Xuehui, LIN Zhaojin, DU Feiyan, et al (2225)
Distribution and succession of plant communities in Lake Bita coastal swamp on the plateau region, northwestern Yunnan	HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang (2236)
Analysis on community structure and quantitative characteristics of <i>Nitraria tangutorum</i> nebkhas at different succession stage in lower reaches of Shiyang River	JIN Hujia, MA Quanlin, HE Mingzhu, et al (2248)
Resource and Industrial Ecology	
Effects of subsoiling and supplemental irrigation on dry matter production and water use efficiency in wheat	ZHENG Chengyan, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (2260)
Effects of two years' incorporation of leguminous green manure on soil properties of a wheat field in dryland conditions	ZHANG Dabin, YAO Pengwei, LI Jing, et al (2272)
Effects of planting with ridge and furrow mulching on maize growth, yield and water use efficiency in dryland farming	LI Rong, HOU Xianqing, JIA Zhikuan, et al (2282)
Urban, Rural and Social Ecology	
Effects of riparian buffers of North Mort of Beijing on air temperature and relative humidity	WU Fangfang, ZHANG Na, CHEN Xiaoyan (2292)
Characteristics of spatial and temporal variations of global solar radiation in Xi'an and relevant response in urban development	ZHANG Hongli, ZHANG Naweirui, LIU Minru, et al (2304)
Research Notes	
A analysis of macrofungal flora diversity in Langyashan Nature Reserve, Anhui Province, China	CHAI Xinyi, XU Xuefeng, WANG Meiyang, et al (2314)

《生态学报》2013 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,探索自然奥秘,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,300 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 陈利顶

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 7 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 7 (April, 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

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元