

# 氮素添加对退化草原优势种生态位与种间关联度的影响

王晶<sup>1,2</sup>, 朱华功<sup>3</sup> (1. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093; 2. 中国科学院大学生命科学学院, 北京 100049; 3. 吉林省白山市三岔子林业局, 吉林江源 134700)

**摘要** [目的]明确氮素添加对退化草原、优势种生态位与种间关联度的影响,为退化草原的管理与恢复提供理论依据。[方法]以退化草原优势种为研究对象,分析群落物种间关联性、物种生态位及生态位重叠,研究不同浓度的氮素添加对退化草原种间关系的影响。[结果]低、中水平氮素添加群落中羊草与多根葱呈显著负相关;随着氮素浓度的增加,羊草、针茅生态位宽度逐渐变大,多根葱生态位宽度逐渐减小。[结论]在群落的恢复过程中,氮素添加提高了羊草竞争能力。

**关键词** 退化草原;氮添加;生态位宽度;种间联结性

**中图分类号** S812.29 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)15-028-03

## Effects of Nitrogen Addition on Niche and Species Association of Dominant Species in Degraded Grassland

WANG Jing<sup>1,2</sup>, ZHU Hua-gong<sup>3</sup> (1. State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093; 2. College of Life Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3. Sanchazi Forestry Bureau in Baishan City, Jilin Province, Jianguyan, Jilin 134700)

**Abstract** [Objective] The aim was to study effects of nitrogen addition on dominant species niche and species association in degraded grassland, to provide theoretical basis for management and restoration of degraded grassland. [Method] Species associations, niche and niche overlaps of dominant species were analyzed to indicate relationships among species in degraded grassland under different concentrations of nitrogen addition. [Result] The results showed that negative significant association was observed between *Leymus chinensis* and *Allium polyrhizum* when low and medium level nitrogen was added into community; Increasing nitrogen could expand the niche breadth of *Leymus chinensis* and *Stipa grandis*, at the same time, narrow the niche breadth of *Allium polyrhizum*. [Conclusion] During the recovery of degraded community, nitrogen addition can improve the competitive ability of *Leymus chinensis*.

**Key words** Degraded grassland; Nitrogen addition; Niche breadth; Species association

由于人类活动及气候变化的影响,我国天然草原出现不同程度的退化,表现为生产力降低、生物多样性减少、生态系统服务功能减弱等严重问题<sup>[1]</sup>。氮素添加作为退化草原的管理方式,能够在短期内补给退化草原的土养分损失,促进生产力的恢复<sup>[2-3]</sup>。生态位理论是现代生态学重要理论之一,在理解群落结构和功能<sup>[4]</sup>、种间关系<sup>[5-8]</sup>、物种多样性<sup>[9]</sup>、群落动态理论以及种群进化等方面均具有重要理论指导作用<sup>[10]</sup>。生态位理论认为生理生态特性反映了物种对物理与环境的进化适应性<sup>[11-12]</sup>。

有关退化草地生态位与种间关联度的研究表明,氮素添加提高优势种的生态位宽度,使得群落演替向着有利于禾本科生长的方向进行<sup>[13]</sup>;也有研究表明氮素添加有利于亚优势种的生态位的扩大,群落演替向着有利于杂草生长的方向进行<sup>[14]</sup>。因此,在氮素添加对退化草原群落结构的影响结论存在不一致性。May<sup>[15]</sup>认为生态位宽度指数是用来表征某个种在群落中利用资源的能力,种间关联性是物种间相互关系的一种尺度,探讨氮素添加对退化群落中优势种生态位宽度与种间连接性能力为植被的利用与管理、保护与恢复提供理论依据。笔者选取退化草原作为研究对象,探讨了氮素添加对退化草原群落结构与种间关联度的影响,以期对退化草原的恢复与管理提供理论依据。

## 1 材料与方法

**1.1 研究地概况** 试验在中国科学院植物研究所东乌珠穆沁草原生态系统管理研究站进行,研究样地位于内蒙古锡林

郭勒盟东乌珠穆沁旗乌里雅斯太镇(45°29'45" N、116°58'14" E,海拔867 m)。该地区属于北温带大陆性气候,年均温1.4℃,2013年(处理前)降水量为194 mm,2014年(处理开始)为199 mm,2015年为213 mm。降雨集中分布在6~8月,约占全年降水量的70%。该区主要土壤类型为栗钙土。研究地的主要物种有大针茅(*Stipa grandis*)、羊草(*Leymus chinensis*)、黄囊苔草(*Carex korshinskii*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)等。由于长期过度放牧,导致该地区草原普遍处于不同程度的退化状态,生产力显著降低,严重影响当地畜牧业生产<sup>[16]</sup>。

## 1.2 方法

**1.2.1 试验设计。**采用完全随机区组试验设计,氮素添加3个水平分别为0.5 g N/(m<sup>2</sup>·a)(低水平)、10 g N/(m<sup>2</sup>·a)(中水平),于2014~2015年5月末一次性均匀撒入样地。施肥通常选取雨前一天或者是阴天的傍晚,以保证肥效最大化。其中2013年为本底年份,该样地未经氮素添加处理。

**1.2.2 植被调查。**于2013~2015年每年8月中旬在每个处理小区内随机放置面积为1 m×1 m的样方,进行群落调查,按物种测定株高、密度(株丛数)、地上生物量。将样方内物种齐地面刈割,带回实验室于70℃烘干至恒重,分种称取生物量(精度为0.01 g),通过对每个小样方内各个种的干物质重量累加计算样方总地上生物量(g/m<sup>2</sup>)。

**1.2.3 指标计算方法。**

(1)物种重要值:

$$IV = (Y + C + A) / 3$$

式中,IV为物种重要值;Y为相对产量;C为相对盖度;A为相

对多度。

(2)Levins(1968)生态位宽度指数:

$$BL_i = 1 / (r \sum_{j=1}^N P_{ij}^2), j = 1, \dots, r$$

式中, $BL_i$  为种  $i$  的生态位宽度; $P_{ij} = n_{ij} / N_i^+$ , 它代表种  $i$  在第  $j$  个资源状态下的个体数占该种所有个体数的比例。该生态位宽度指数经 Herbert 修正后为  $Ba = BL_i - 1 / r - 1$ ;  $Ba$  为修正后的生态位宽度,其值域为  $[0, \lg r]$ ,  $r$  为样方数。

(3)Pearson 相关系数:

$$r_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \sum_{j=1}^N (x_{kj} - \bar{x}_k)^2}}$$

式中, $r_{ik}$  代表种  $i$  和  $k$  之间的相关系数, $N$  为样方数目; $x_{ij}$  和  $x_{kj}$  分别是种  $i$  和  $k$  在样方  $j$  中的多度值;它们分别组成 2 个向量  $x_i$  和  $x_k$ ;  $r_{ik}$  可以是 +1 和 -1 之间的任何值,正值表示正相关,负值表示负相关。所求出的相关系数根据显著水平为 0.05 进行统计性检验。

表 1 氮素添加群落中主要物种生态位宽度指数

Table 1 Dominant species niche width in community with nitrogen addition

处理 Treatment	年份 Year	羊草 <i>Leymus chinensis</i>	针茅 <i>Stipa grandis</i>	糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	黄囊苔草 <i>Carex korshinskii</i>	银灰旋花 <i>Convolvulus ammannii</i>	多根葱 <i>Allium polyrhizum</i>
未添加氮素 Without nitrogen	2013	0.48	0.54	0.62	0.68	0.58	0.61
	2014	0.60	0.84	0.59	0.85	0.09	0.63
	2015	0.66	0.73	0.62	0.83	0.11	0.64
低水平氮素 Low level nitrogen	2013	0.39	0.54	0.85	0.78	0.57	0.75
	2014	0.43	0.85	0.82	0.96	0.24	0.73
	2015	0.61	0.75	0.62	0.87	0.14	0.83
中水平氮素 Medium level nitrogen	2013	0.48	0.76	0.64	0.63	0.48	0.64
	2014	0.45	0.73	0.65	0.94	0.26	0.85
	2015	0.72	0.69	0.55	0.88	0.27	0.68

**2.2 氮素添加对种间关联度的影响** 种间联结性指不同物种在空间分布上的相互关联性,通常是由于群落生境的差异影响了物种分布所引起的。种间联结性通常表现为正联结、负联结、不联结 3 种形式。退化群落中主要物种多根葱 (*Allium polyrhizum*)、苔草 (*Carex korshinskii*)、羊草、银灰旋花 (*Convolvulus ammannii*)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*)、大针茅 (*Stipa grandis*)。分析 2014~2015 年 3 种氮素添加水平下群落中优势种的联结性,结果表明在未添加氮素的群落中,羊草与针茅呈显著负关联,与其他物种关联不显著;在低水平氮素添加群落中,羊草与针茅、多根葱显著负关联;在中水平氮素添加群落中,羊草与多根葱呈显著负关联,羊草与针茅关联性减弱(图 1~3)。

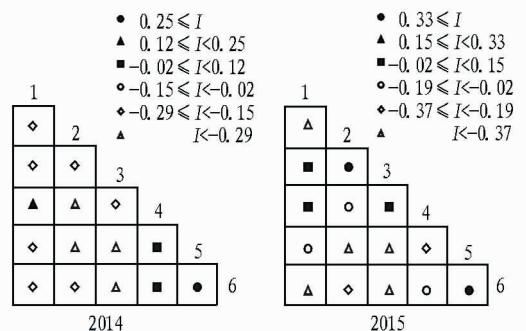
### 3 结论与讨论

该研究通过退化群落氮素添加对主要物种生态位与种间关联度的分析表明:低水平、中水平氮素添加群落中羊草生态位宽度扩大,多根葱生态位宽度减小,说明氮素添加促进退化群落中羊草与多根葱种间竞争比其他种更为激烈。种间联结度分析表明羊草与多根葱种间联结度呈显著负相关关系,说明该 2 个物种种间竞争随氮浓度的增加日益加剧,进而表明氮素添加提高了群落中羊草的竞争力。

**1.2.4 数据处理。**数据分析采用 R 语言 3.3.2 版本,R 语言中 SPAA 程序包为生态位宽度指数、生态位重叠指数、种间关联系数等指数的计算提供程序支持。

## 2 结果与分析

**2.1 氮素添加对生态位宽度的影响** 由表 1 可知,2013 年为本底年份,2014~2015 为试验处理年份,未添加氮素的退化群落中,羊草、针茅、苔草生态位逐年变宽,糙隐子草、多根葱生态位几乎不变;银灰旋花生态位宽度呈缩小趋势。低水平氮素添加的群落中,羊草、针茅、苔草、多根葱的生态位宽度呈扩大趋势,其中羊草的生态位宽度增长幅度最大,与本底年份相比增加了 42.8%;糙隐子草、银灰旋花生态位宽度呈缩小趋势。中水平氮素添加的群落中,羊草生态位宽度增加,与本底年份相比增加了 56.4%;银灰旋花生态位宽度变窄,针茅、糙隐子草、苔草、多根葱生态位宽度先增加后减小。随氮素浓度的增加,只有羊草生态位宽度持续性增加,其他物种生态位宽度处于波动中。



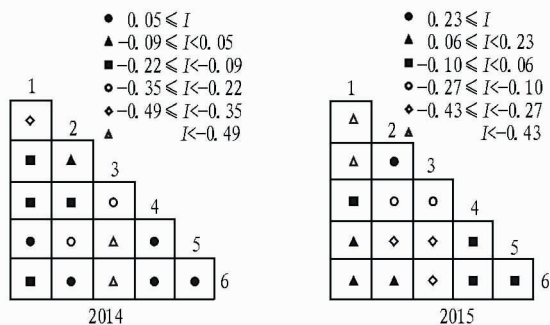
注:显著性关联  $P < 0.05$ 。

Note: Significant correlation  $P < 0.05$ .

图 1 无氮素添加优势物种间种间关联度半矩阵

Fig. 1 Half-matrix diagram of interspecific association among dominant species with no nitrogen addition

生态位反映物种对资源的利用状况,一般认为生态位越宽,物种对环境的适应能力越强,该物种也常伴随着较高的生态位重叠,反之,生态位宽度较小的物种对资源利用能力较弱。在退化草地的研究中,施肥促进了禾草的生长,降低了杂草类的优势地位<sup>[17]</sup>。林雨等<sup>[18]</sup>对退化草地功能群生态位分化的研究表明,禾草类功能群的生态位宽度在生长季前

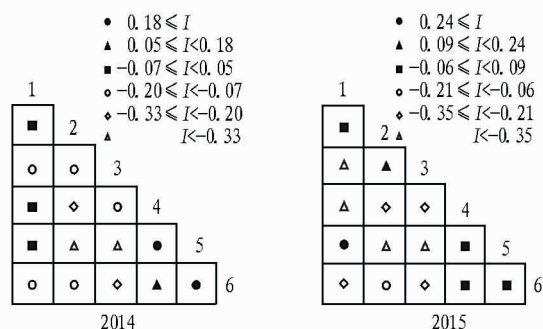


注:显著性关联  $P < 0.05$ 。

Note: Significant correlation  $P < 0.05$ .

图2 低水平氮素添加优势物种间种间关联度半矩阵

Fig. 2 Half-matrix diagram of interspecific association among dominant species with a low level nitrogen addition



注:显著性关联  $P < 0.05$ 。

Note: Significant correlation  $P < 0.05$ .

图3 中水平氮素添加优势物种间种间关联度半矩阵

Fig. 3 Half-matrix diagram of interspecific association among dominant species with a moderate nitrogen addition

期处于增加趋势,但生态位宽度低于杂类草;至7月中旬生态位宽度大于杂类草,并继续增加。杂类草生态位宽度的季节动态呈不断缩小的趋势。造成上述现象的原因是禾草类返青较早易被啃食,这为返青较迟的杂类草提供了较大的资源空间,使得杂类草在植被空隙中得到更好地生长。该研究表明,禾草类生态位变宽,并未出现生态位先增加后降低的趋势,导致上述原因的不同可能是不同群落中土壤养分差异所致。王仁忠<sup>[19]</sup>将土壤水分、有机质含量、土壤含盐量作为

3个资源维度计算放牧条件下羊草草原主要植物种群的生态位宽度与生态位重叠指数,结果发现羊草在上述资源上生态位宽度最大。这与该研究结果一致,表明羊草对资源环境的利用能力最强,体现了退化群落中羊草对氮的利用效率较高。

## 参考文献

- [1] KANG L, HAN X G, ZHANG Z B, et al. Grassland ecosystems in china: Review of current knowledge and research advancement [J]. Philosophical transactions of the royal society B-Biological sciences, 2007, 362: 997-1008.
- [2] 王德利, 杨利民. 草地生态与管理利用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 279-299.
- [3] 刘钟龄, 王炜, 郝敦元, 等. 内蒙古草原退化与恢复演替机理的探讨 [J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(1): 84-91.
- [4] TILMAN D. Niche tradeoffs, neutrality, and community structure: A stochastic theory of resource competition, invasion, and community assembly [J]. Pro Natl Acad Sci USA, 2004, 101(30): 10845-10861.
- [5] KERBS C J. Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance [M]. New York: Fair Field Graphics, 1978: 225-228.
- [6] SYLVAIN D, DANIEL C, CLEMENTINE G C. Niche separation in community analysis: A new method [J]. Ecology, 2000, 81(10): 2914-2917.
- [7] BERENDS F. Inter-specific competition and niche differentiation between *Plantago lanceolata* and *Anthoxanthum odoratum* in a natural hay field [J]. Ecology, 1983, 71: 379-390.
- [8] ODUM E P. Basic ecology [M]. New York: CBS College Publishing, 1982: 401-407.
- [9] AUSTIN M P, MEYERS J A. Current approaches to modelling the environmental niche of eucalypts: Implication for management of forest biodiversity [J]. Forest ecology and management, 1996, 85(1/2/3): 95-106.
- [10] WHITTAKER R H. Evolution and measurement of species diversity [J]. Taxon, 1972, 21: 213-251.
- [11] 张金屯. 植被数量生态学方法 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 79-87.
- [12] 戈峰. 现代生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 329-332.
- [13] 肖玉, 贾婷婷, 赵旭, 等. 青藏高原腹地退化苔草草原植物生态位的特征 [J]. 中国草地学报, 2015(1): 30-37.
- [14] 王鹤龄, 牛俊义, 郑华平, 等. 玛曲高寒沙化草地生态位特征及其施肥改良研究 [J]. 草地学报, 2008, 17(6): 18-24.
- [15] MAY R M. Theoretical ecology [M]. Oxford: Blackwell Science Publication, 1980.
- [16] LI A, WU J G, HUANG J H. Distinguishing between human-induced and climate-driven vegetation changes: A critical application of RESTREND in inner Mongolia [J]. Landscape ecology, 2012, 27: 969-982.
- [17] 陈子莹, 田福平, 郑阳. 施肥对玛曲高寒沙化草地主要植物种生态位的影响 [J]. 草地学报, 2011, 19(5): 884-888.
- [18] 林丽, 赵成章, 龙瑞军, 等. 石羊河上游退化草地植物功能群生态位分异特征以阿尔泰狗哇花型草地为例 [J]. 草业科学, 2009, 26(5): 50-55.
- [19] 王仁忠. 放牧影响下羊草草地主要植物种群生态位宽度和生态位重叠的研究 [J]. 植物生态学报, 1997, 21(4): 304-311.

(上接第27页)

- [9] DEBEIRE P, KHOUNE P, JELTSCH J, et al. Product patterns of a feruloyl esterase from *Aspergillus nidulans* on large feruloyl-arabino-xylo-oligosaccharides from wheat bran [J]. Bioresource technology, 2012, 119: 425-428.
- [10] 龚燕燕, 殷欣, 邹敏辰, 等. 宇佐美曲霉阿魏酸酯酶A基因的克隆表达及酶学性质研究 [J]. 食品与生物技术学报, 2013(7): 706-712.

- [11] 李夏兰, 范淑敏, 方柏山. 来自桔青霉的阿魏酸酯酶的分离纯化、理化性质 [J]. 微生物学报, 2010(8): 1058-1064.
- [12] 陈锦, 胡茂丰, 吴章华, 等. 高产阿魏酸酯酶菌株的筛选及其产酶条件优化 [J]. 食品工业科技, 2015(8): 218-221.
- [13] LAEMMLI U K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4 [J]. Nature, 1970, 227: 68012-68015.