

北方农牧交错带草地生物多样性与草地生产力和土壤状况的关系*

白可喻^{1,2**} 戎郁萍³ 杨云卉¹ 林长存³

(¹中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; ²国际生物多样性中心东亚办事处, 北京 100081; ³中国农业大学动物科技学院, 北京 100193)

摘要 于2010年选择内蒙古多伦和河北的围场、沽源3个旗县10个样地的草甸草原和典型草原,探讨了北方农牧交错带草地生物多样性与草地生产力和土壤状况的关系。结果表明:3个地区的草地均匀度指数与物种丰富度指数呈显著正相关($P < 0.05$),且草地生物多样性指数(H)和均匀度指数与草地生产力之间呈极显著正相关($P < 0.01$),而与土壤含水量(0~30 cm)的相关性不显著($P > 0.05$);草地生物多样性指数和均匀度指数与土壤全氮呈负相关($P < 0.05$),且与中上层土壤全氮(10~20 cm)呈极显著负相关($P < 0.01$),而与土壤有机质之间的相关性不显著($P > 0.05$)。表明提高草地多样性可以增加草地生态系统的生产力和稳定性。

关键词 草地生物多样性; 初级生产力; 土壤因子; 农牧交错带

中图分类号 Q948 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2013)1-0022-05

Relationships between grassland biodiversity and primary productivity and soil condition in farming-pastoral regions of northern China. BAI Ke-yu^{1,2**}, RONG Yu-ping³, YANG Yun-hui¹, LIN Chang-cun³ (¹*Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*; ²*Biodiversity International East Asia office, Beijing 100081, China*; ³*College of Animal Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(1): 22-26.

Abstract: In 2010, ten sampling sites were installed on the meadow steppe and typical steppes in the Guyuan County and Weichang County of Hebei Province and the Duolun County of Inner Mongolia, aimed to approach the relationships between the grassland biodiversity and the primary productivity and soil condition in the farming and pastoral regions of northern China. In the study areas, the Shannon-Wiener diversity index (H) and Pielou evenness index of the grasslands were significantly positively correlated ($P < 0.05$), and the H and Pielou evenness index had significant positive correlations with the primary productivity ($P < 0.01$). However, there was no significant correlation between the H and soil water content ($P > 0.05$). The H and Pielou evenness index had significant negative correlations with the total nitrogen in 0-30 cm soil layer ($P < 0.05$), and the H had a significant negative correlation with the total nitrogen ($P < 0.01$) but less correlation with the organic matter in 10-20 cm soil layer ($P > 0.05$). The results further proved that improving grassland biodiversity could increase the productivity and stability of grassland ecosystem.

Key words: grassland biodiversity; primary productivity; soil factor; farming-pastoral region.

* 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2010-29)资助。

** 通讯作者 E-mail: k. bai@cgiar.org

收稿日期: 2012-06-28 接受日期: 2012-10-19

草地生物多样性是评价草地生态系统稳定性的重要特征,生物多样性对于草地生态系统应对各种人为和自然干扰发挥了重要的作用。物种多样性代表着物种演化的空间范围和对特定环境的生态适应性,是生物有机体本身多样性的体现和进化机制的最主要产物,所以物种被认为是最直接、最易观察和最适合研究生物多样性的生命层次(王发刚等,2008)。物种多样性的研究既是遗传多样性研究的基础,又是生态系统多样性研究的重要方面。大部分研究都是通过物种丰富度、均匀度、生态优势度和多样性等指数共同说明群落物种多样性。物种多样性的恢复是群落和生态系统恢复过程最重要的特征之一,也是研究植被演替的重要手段之一(Halpern & Spies, 1995)。大量与群落恢复相关的多样性研究旨在了解群落恢复过程与机理,探求恢复和重建的有效途径(Halpern & Spies, 1995; Leak & Smith, 1997)。土壤是植物生长的重要物质基础,土壤物理、化学性质的不同,土壤母质的不同,都可能影响生长于其中的植物,从而影响到物种多样性。许多研究已经肯定了生物多样性和生态系统功能的关系,诸多因素如土壤肥力、扰动、生态环境的大小和气候都可以确定生物多样性和生态功能的关系(Wardle *et al.*, 1997)。探讨草地生物多样性和生态系统功能的关系,对于认识群落生态过程,揭示群落生态规律和加速退化生态系统的重建与恢复具有十分重要意义(王永健等,2006)。本文通过对北方农牧交错带典型地段不同草地类型生物多样性和生态系统主要功能即生产力和土壤状况的研究,探究草地生物多样性在维持草地生态系统稳定性方面的贡献力,为制定合理的草地可持续利用和保护战略,促进草地恢复和生物多样性的保护提供一定的理论指导。

表1 试验样地的基本情况和利用方式

Table 1 Experiment site condition and utilization ways

样地编号	样地名称	草地类型	利用方式	经度(°E)	纬度(°N)	海拔(m)
GY1	杂类草草甸禁牧第1年	草甸草原	禁牧	115.6727	41.7456	1379
GY2	沽源驻地西侧草地植被禁牧第1年	典型草原	禁牧	115.6763	41.7689	1387
GY3	沽源野外站驻地附近围栏内羊草割草地	典型草原	打草场	115.6781	41.7684	1386
DL1	滦河村	草甸草原	打草场	116.6941	42.0164	1160
DL2	红花山南路西口	典型草原	禁牧	116.7561	42.1878	1349
DL3	滦源殿	典型草原	禁牧	116.6351	42.2018	1212
DL4	贮草站	典型草原	打草场	116.6687	42.4519	1375
WC1	御道口	草甸草原	放牧	116.9839	42.1542	1237
WC2	复兴地村	草甸草原	打草场、禁牧	116.9981	42.1786	1264
WC3	御道口牧场	草甸草原	打草场、禁牧	117.0335	42.2308	1293

GY,沽源;DL,多伦;WC,围场。数字表示样地序号。下同。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域概况

在北方农牧交错带中部和北部的典型地区内蒙古多伦和河北的围场、沽源3个旗县的不同草地类型选择10个样地进行草地生物多样性、草地初级生产力和土壤理化性状的试验研究(表1)。

1.2 植被调查和土壤取样方法

每个县设置3~4个典型试验样地,共计10个试验样地,于2010年8月植物生长盛期对各样地进行草地植被调查和土壤取样,在每个样地设3个样带,每样带相隔20~30m设置1m×1m样方,每个样带3~5个样方。记录每个样方的植物种类、株数、盖度,测定样方每种植物的地上生物量,并用采用TZS-W土壤水分温度测量仪对1m×1m土壤剖面按0~10、10~20和20~30cm进行分层测定土壤温度和湿度。土壤样品采用S形取样,用土钻按0~10、10~20和20~30cm在土壤中分层取样,用四分法取足样品。将部分土壤样品风干后过1mm筛装入自封袋,用于实验室指标测定。

1.3 测定方法和测定指标

1.3.1 草地生物多样性计算 草地生物多样性用物种丰富度、香农-威尔多样性指数(Shannon-Wiener)和Pielou均匀度指数表示,物种丰富度指数为每一个样方中的物种总数。

Shannon-Wiener多样性指数:

$$H = - \sum P_i \log_2 P_i \quad P_i = N_i / N$$

Pielou均匀度指数:

$$E = H / \ln S$$

式中, H 为多样性指数, P_i 为样区内第*i*类群的个体

数(N_i)与群落中总个体数量(N)的比值;

S 为群落中物种数目, N 为群落中所有植株个体总数。

1.3.2 土壤养分测定 土壤养分状况用土壤有机质和全氮等指数表示。

土壤有机质采用重铬酸钾法(鲍士旦,2008),土壤全氮测定:采用凯氏定氮法(FOSS Kjeltac 2300)测定。

1.4 数据分析

运用SPSS 16.0和Excel 2003进行了数据的统计分析,利用Pearson和Spearman进行相关性分析并通过双尾 T 检验进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 草地生物多样性

3个地区中多伦县植被的物种多样性指数和均匀度指数最高,其次是围场县,沽源县物种多样性指数较低(表2),这主要是源于多伦县草原近年来严格执行禁牧等措施,这使得各样地植被覆盖率(63%)高于沽源(32%)和围场(51%),其中多伦县

表2 样地植被的生产力及多样性

Table 2 Productivity and biodiversity of experiment sites

样地编号	多样性指数	均匀度指数	物种丰富度	群落总盖度 (%)	初级生产力 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
GY1	0.155	0.060	4±0.3 f	41.33±6.01 d	232.27±53.49 c
GY2	0.677	0.216	7±1.1 cde	27.33±0.33 e	557.33±40.48 c
GY3	0.213	0.073	5±0.3 ef	35.33±2.97 de	485.67±81.78 c
DL1	2.406	0.767	17±1.3 a	95.00±2.52 a	2409.67±355.03 a
DL2	1.381	1.538	9±1.2 bed	41.00±3.10 d	580.00±120.11 c
DL3	2.334	0.766	10±0.8 b	32.67±1.45 de	574.67±53.59 c
DL4	2.246	0.792	8±0.5 bed	78.67±6.33 b	673.67±225.23 bc
WC1	0.431	0.207	4±0.6 ef	35.00±2.89 de	229.27±60.11 c
WC2	1.617	0.630	6±1.6 def	39.33±0.67 de	607.63±161.02 bc
WC3	2.049	0.663	9±0.4 bc	64.00±2.45 c	1101.84±139.79 b

字母表示各样地间的比较(列),不同字母表示差异显著($P<0.05$),数值为平均值±标准误。

表3 草地生物多样性与生产力及土壤含水量的斯皮尔曼(Spearman)相关性

Table 3 Spearman correlation coefficients of diversity, primary productivity and soil moisture

	多样性指数	均匀度指数	初级生产力	土壤含水量		
				0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm
多样性指数	1					
均匀度指数	0.782**	1				
初级生产力	0.830**	0.733*	1			
土壤含水量	0~10 cm	-0.115	-0.261	-0.103	1	
	10~20 cm	-0.03	-0.139	-0.006	0.964**	1
	20~30 cm	-0.018	-0.164	0.055	0.964**	0.964**

* $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

的滦河村样地处于草甸草原,土壤基质条件较好,水分含量较高,表层土壤含水量达到45.7%,因此其多样性指数和均匀度指数都相对较高。同时,均匀度指数和物种丰富度指数呈正相关关系($P<0.05$)(表4),在物种种类丰富的多伦县草甸草原和典型草原样地,其植被分布均匀度也相对较高。而从围场的3个样地情况看,样地1御道口由于超载放牧,物种相对较少,其多样性指数也明显低于其他2个禁牧的样地。而沽源县的杂类草草甸(样地1)由于是禁牧恢复第一年植被的恢复状况仍然不明显,其多样性相对较低,且物种分布的均匀度较差。

2.2 草地生物多样性与草地生产力和土壤水分之间的关系

调查样地草地的生产力状况仍然处于较低的水平(表2),大多数草地属于6、7级草地,即生产力水平在 $1000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以下,多伦县的滦河村平原草甸草原的初级生产力较高,达到 $2000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上,属于3级草地,而围场的御道口牧场草甸草原的生产力达到 $1102 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,草场质量较好属于5级草地。

草地生产力和生物多样性的关系如何,一直是科学家在不断探索的问题。从调查样地情况可以看出,草地生物多样性指数、均匀度指数与草地生产力之间呈极显著的正相关关系($P<0.01$)(表3),即生物多样性高的地方其生产力也较高。而草地生物多样性与土壤含水量(0~30 cm)的相关性不显著(表3)。

2.3 草地生物多样性和土壤养分之间的关系

草地生物多样性与土壤有机质之间的相关性不显著,而与土壤全氮呈负相关关系,且与中上层土壤全氮(10~20 cm)的相关性为极显著负相关($P<0.01$,表4),该结果说明,随着草地生物多样性的增加,草地的生产力相应提高,牧草生长逐步消耗了土壤养分,因此使土壤的全氮含量下降。

表 4 草地生物多样性与土壤养分的皮尔森(Pearson)相关性分析
Table 4 Pearson correlation coefficients of diversity and soil nutrient

	多样性指数	均匀度指数	有机质			全氮		
			0~10 cm	10~20 cm	20~30cm	0~10 cm	10~20 cm	20~30cm
多样性指数	1							
均匀度指数	0.663*	1						
有机质	0~10 cm	-0.421	-0.093	1				
	10~20 cm	-0.429	0.051	0.668*	1			
	20~30 cm	-0.176	0.333	0.5	0.926**	1		
全氮	0~10 cm	-0.834**	-0.634*	0.567	0.343	0.095	1	
	10~20 cm	-0.846**	-0.621	0.286	0.384	0.201	0.902**	1
	20~30 cm	-0.740*	-0.423	0.363	0.523	0.427	0.826**	0.945**

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

3 讨论

生物多样性与生态系统功能的关系受到生态学研究的广泛关注,草地生物多样性的变化始终与生态系统功能的重要表现形式——草地生产力密切相关。目前关于草地生产力与多样性之间关系有两个假说,一是认为生产力与多样性之间的关系是线性关系,即生产力增加时多样性也增加;另一种假说认为生产力和多样性呈钟形曲线关系,即多样性在低水平时随生产力增加而增加,但最终在达到足够高生产力时反而下降(黄建辉等,2001)。本研究表明,在围场、沽源和多伦的草甸草原和典型草原,生物多样性和草地的初级生产力呈正相关的关系,这一结论也印证了第1种假说和世界各地科学家的一些研究结果,如白永飞等(2000)和Schmid等(2002)研究发现,物种丰富度和植物生物量累积呈正相关。Bullock等(2001)在英国南部的7个地点进行了割草场恢复试验,结果表明,提高物种丰富度可以增加60%的产量。但生物多样性和生产力关系同时也与许多其他影响生产力的因素如气候、土壤以及一些非生物因素相关,有关研究结论还有待于验证。植物多样性增加了生态系统生产力和稳定性(Tilman *et al.*, 1996, 2001; Loreau, 2001),李昂等(2012)研究也表明,在施肥情况下,物种丰富群落有较高的补偿效应,其生产力水平较高。多伦县4个样地的平均多样性指数和均匀度指数分别为2.09和0.97,高于围场(1.36、0.5)和沽源县(0.34、0.11)的多样性水平(表2),总的生产力水平也相对较高。因此,就生产实践而言,总的建议是在物种贫乏的草地恢复草地物种丰富度,对于草生产可产生积极的影响,在恢复草地补播时,可通过最大化生物多样性获得最高质量饲草产量,并减少野生

植物入侵。

土壤作为植物生存的重要环境条件之一,对植物群落结构和功能产生重要影响,土壤环境的差异会导致群落演替过程中物种多样性的变化(Tilman *et al.*, 1997; 宋创业等, 2008),围场、沽源和多伦3个县研究结果表明,草地生物多样性和土壤全氮呈显著的负相关关系,即随着生物多样性的增加消耗了土壤的养分,全氮的含量下降。研究表明,由于土壤对多样性的影响较复杂,研究结果缺乏一致的规律性(Naeem *et al.*, 1994; Silvertown *et al.*, 1994; Kassen *et al.*, 2000; 周萍等, 2008)。本研究也表明,草地生物多样性和土壤理化状况并非呈简单的线性关系,当生物多样性在较低水平时,为了维持其应有的生态功能,即消耗一定的养分,同时由于植被覆盖度低其土壤表层的温度相对较高而湿度相对较低;当生物多样性水平较高时,即可以对土壤养分起到的改善作用。

参考文献

- 白永飞,李凌浩,黄建辉,等. 2001. 内蒙古高原针茅草原植物多样性与植物功能群组成对群落初级生产力稳定性的影响. 植物学报, **43**(3): 280-287.
- 鲍士旦. 2008. 土壤酸化分析. 北京: 中国农业出版社.
- 黄建辉,白永飞,韩兴国. 2001. 物种多样性与生态系统功能: 影响机制及有关假说. 生物多样性, **9**(1): 1-7.
- 李昂,张鸣,杜国祯. 2012. 物种组成、丰富度、播种密度和土壤养分对群落补偿效应的影响. 生态学杂志, **31**(10): 2443-2448.
- 宋创业,郭柯,刘高焕. 2008. 浑善达克沙地植物群落物种多样性与土壤因子的关系. 生态学杂志, **27**(1): 8-13.
- 王发刚,王启基,王文颖,等. 2008. 土壤有机碳研究进展. 草业科学, **25**(2): 48-54.
- 王永健,陶建平,彭月. 2006. 陆地植物群落物种多样性研究进展. 广西植物, **26**(4): 406-411.
- 周萍,刘国彬,侯喜禄. 2008. 黄土丘陵区铁杆蒿群落植

- 被特性及土壤养分特征研究. 草业学报, **17**(2): 9-18.
- Bullock JM, Pywell RF, Burke MJW, *et al.* 2001. Restoration of biodiversity enhances agricultural production. *Ecology Letters*, **4**: 185-189.
- Halpern CB, Spies TA. 1995. Plant species diversity in natural and managed forests of the Pacific Northwest. *Ecological Applications*, **5**: 913-934.
- Kassen R, Angus B, Graham B, *et al.* 2000. Diversity peaks at intermediate productivity in a laboratory microcosm. *Nature*, **406**: 508-512.
- Leak WB, Smith ML. 1997. Long-term species and structural changes after cleaning young even-aged northern hardwoods in New Hampshire, USA. *Forest Ecology and Management*, **95**: 11-20.
- Loreau M, Hector A. 2001. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, **412**: 72-76.
- Naeem S, Thompson LJ, Lawler SP, *et al.* 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature*, **368**: 734-737.
- Schmid B, Joshi J, Schlapfer F. 2002. Empirical evidence for biodiversity ecosystem functioning relationships. Functional consequences of biodiversity: Experimental progress and theoretical extensions. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Silvertown J, Dodd ME, McConway K, *et al.* 1994. Rainfall, biomass variation, and community composition in the Park Grass Experiment. *Ecology*, **75**: 2430-2437.
- Tilman D, Knops J, Wedlin D, *et al.* 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, **277**: 1300-1302.
- Tilman D, Reich PB, Knops JM, *et al.* 2001. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science*, **294**: 843-845.
- Tilman D, Wedin D, Knops J. 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*, **379**: 718-720.
- Wardle DA, Zackrisson O, Hornberg G, *et al.* 1997. The influence of island area on ecosystem properties. *Science*, **277**: 1296-1299.
-
- 作者简介 白可喻,女,1971年2月,博士,副研究员,主要从事草地资源保护和利用方面的研究。E-mail: k.bai@cgiar.org
- 责任编辑 王伟
-