

# 施肥对科尔沁沙质草地群落物种组成和多样性的影响

李禄军<sup>1,2</sup>, 于占源<sup>1</sup>, 曾德慧<sup>1\*</sup>, 艾桂艳<sup>1</sup>, 李晶石<sup>1</sup>

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所大青沟沙地生态实验站, 辽宁 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:**以科尔沁沙质草地为对象,研究了施肥对科尔沁沙质草地群落物种组成、群落结构和多样性的影响。结果表明,1) 施氮肥和氮磷肥混施均改变了群落物种组成、群落中的优势种以及植物的科属结构,显著增加了群落植被高度和盖度,其中施氮肥和氮磷肥混施比对照的植被高度均提高了64.5和66.8 cm,植被盖度分别提高17.1%和18.1%。2) 施磷肥对群落物种组成和群落结构影响不显著。3) 施氮肥和氮磷肥混施均显著减小了沙质草地群落的Shannon-Wiener指数、Simpson指数、Pielou均匀度指数和物种丰富度,其中施氮肥和氮磷肥混施分别减少物种数49.5%和51.5%。4) 施磷肥对群落物种数和各物种多样性指数均无显著影响。表明除了生产力,合理的物种组成和群落结构也是受损草地生态系统恢复和经营需要考虑的因素。

**关键词:**群落结构;优势度;科尔沁沙地;生产力

**中图分类号:**Q948.15<sup>+</sup>8 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2010)02-0109-07

\* 近年来,人类活动以及气候变化等因素已导致草地生态系统严重退化,其结构和功能显著受损。草地生态系统的退化机理以及退化草地恢复途径的研究已成为草地生态学关注的热点之一<sup>[1-3]</sup>。国外的研究表明,草地施肥是一种维持草原生态系统养分平衡的重要管理措施,草地施肥能够补充土壤营养物质,有助于草地生产力的恢复和提高<sup>[4]</sup>,但也会减少群落物种数量,降低物种多样性<sup>[5-7]</sup>。然而,草地生态系统的可持续性以及生产力的维持在很大程度上依赖于草地植物群落的生物多样性<sup>[8,9]</sup>,因而,如何合理的开展受损草地的人工施肥是一个尚待深入研究的问题。当前我国草地施肥尚没有大面积的应用,还仅仅处在试验阶段<sup>[10]</sup>。因此,了解施肥对草地植物群落的影响规律,对于恢复已退化的草地生态系统以及科学地管理草地生态系统具有重要的意义。

国外关于施肥对草地物种组成和多样性影响的研究已有很多报道。Wedin和Tilman<sup>[11]</sup>草地氮素添加试验表明,氮素添加改变了物种组成,降低了物种多样性。Foster和Gross<sup>[12]</sup>在一个演替草地上开展的野外实验,研究了添加氮和凋落物对物种丰富度和草本植物种的短期影响,结果表明,氮素添加降低了草本植物的丰富度。Stevens等<sup>[13]</sup>研究表明,长期的氮沉降显著降低了物种丰富度,物种丰富度随着无机氮的沉降呈线性关系减少,在0.25 g N/(m<sup>2</sup>·a)的氮沉降条件下,4 m<sup>2</sup>的样方内将减少一种植物。但也有一些研究表明,氮素添加对物种多样性无显著影响<sup>[14,15]</sup>。国内草地施肥更多地集中在对草地生产力的影响研究上<sup>[16]</sup>,对于物种组成和多样性方面的研究则相对较少<sup>[17]</sup>,特别是有关科尔沁沙质草地的相关研究更是鲜见报到<sup>[18]</sup>。

科尔沁沙地处于我国北方半干旱农牧交错区生态脆弱带,由于人为过度的放牧、开垦、樵柴等人为活动以及持续的干旱等自然因素,致使科尔沁沙地植被和土地退化严重。为了更好地了解科尔沁沙地退化草地在施肥条件下植物群落的变化特征,本研究以科尔沁沙质草地为对象,研究物种组成、群落结构以及物种多样性对施肥的响应,旨在揭示沙质草地群落对草地施肥的响应机制,为退化草地的恢复和管理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

实验地位于中国科学院沈阳应用生态研究所大青沟沙地生态实验站(42°58' N, 122°21' E),该站位于科尔沁

\* 收稿日期:2009-03-30;改回日期:2009-04-15

基金项目:国家科技支撑计划项目(2006BAD26B0201-1, 2006BAC01A12)和国家重点基础研究发展计划项目(2007CB106803)资助。

作者简介:李禄军(1982-),男,甘肃通渭人,在读博士。E-mail: lilj\_86@163.com

\* 通讯作者。E-mail: zengdh@iae.ac.cn

沙地东南部,海拔 260 m,属干燥亚湿润区气候类型。年均降水量 450 mm 左右,年蒸发量 1 780 mm,相对空气湿度 59%,年均气温 6℃,极端最低气温 -30℃,无霜期 154 d。

实验地从 1997 年开始耕作,连续耕作 3 年,2000 年退耕撂荒,之后草本植物恢复迅速,盖度达 80%左右,已出现植物 20 余种,样地植被组成主要有白草(*Pennisetum flaccidum*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、绿珠藜(*Chenopodium acuminatum*)、隐子草(*Cleistogenes chinensis*)和芦苇(*Phragmites communis*)等。土壤类型为风沙土,土质疏松,土壤 pH 值约为 6.61,容重约为 1.47 g/cm<sup>3</sup>,土壤有机碳、全氮和全磷含量非常低,其含量分别为 4.79,0.36 和 0.11 g/kg,C/N 和 N/P 分别为 13.3/1 和 3.3/1。

## 1.2 试验设计

于 2003 年,选择地势比较平坦、植被分布均匀的沙质草地进行围栏。在围栏样地中共设置 24 个 4 m×4 m 的样方,样方之间留有 2 m 缓冲带。共设置 4 个施肥处理,分别为对照(CK)、氮肥(N)、磷肥(P)、氮肥+磷肥(N+P),每个处理 6 次重复,随机分配在 24 个样方中。2004 年开始养分添加处理,到 2008 年已连续处理 5 年。氮肥选择硝酸铵,磷肥选择磷酸二氢钠,N 素水平是 20 g/(m<sup>2</sup>·a),磷素(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)水平是 10 g/(m<sup>2</sup>·a),分 2 次分别在返青期(5 月上旬)和拔节期(6 月中旬)喷施。按照氮(磷)素水平换算成样方施肥用量,水溶后均匀喷施到样方内,CK 样方同时喷洒等量的水。

## 1.3 野外调查

于 2008 年 8 月中旬,当植物地上生物量达到高峰期时,采用收割法进行生物量调查。调查小样方面积为 0.1 m<sup>2</sup>(20 cm×50 cm),每个样方调查 3 个小样方。剪取小样方内植物地上部分,同时收集凋落物,装袋带回实验室在 70℃下烘 24 h 后称干重。每个样方中随机选取 4 个 1 m×1 m 小样方进行多样性调查,调查项目包括植物种、盖度、多度和高度。

## 1.4 物种多样性测度

相对重要值=(相对密度+相对盖度+相对频度)/3。式中:相对密度为某一物种的密度占全部物种密度之和的百分比;相对盖度为某一物种的分盖度占有所有分盖度之和的百分比;相对频度为某一物种的频度占全部物种频度之和的百分比<sup>[19]</sup>。

本研究中,物种丰富度指数用 1 m<sup>2</sup> 样方内出现的物种数(S)表示。

物种多样性选用 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数进行多样性的测度<sup>[20-22]</sup>,其计算公式如下:

$$\text{Shannon-Wiener 指数 } H = -\sum P_i \ln P_i$$

$$\text{Simpson 指数 } D = 1 - \sum P_i^2$$

$$\text{Pielou 均匀度指数 } J = H / \ln S$$

式中: $P_i$  为样方中种  $i$  的相对重要值, $P_i = N_i / N$ ;  $N_i$  为种  $i$  的绝对重要值, $N$  为种  $i$  所在样方的各个种的绝对重要值之和, $S$  为物种数目。

## 1.5 统计分析

采用 Microsoft Excel 软件进行数据处理,并使用 SPSS 软件(SPSS 13.0 for Windows)进行数据分析。利用一元方差分析(one-way ANOVA)对植被高度、盖度和多样性指数进行分析,先用 Levene 进行方差齐性检验,如数据满足齐性检验,则利用 LSD 多重比较法进行显著性检验;否则利用 Tamhane 分析,所有检验的显著性水平都为  $P=0.05$ 。文中数据均为平均值±标准误。采用 Origin (version 7.5)进行制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 施肥对群落物种组成的影响

不同施肥处理对群落物种组成有显著的影响(表 1)。在 CK 中,重要值占前 3 位的物种是白草、绿珠藜和隐子草,其重要值分别为 20.3,9.9 和 9.3,它们的优势度总和占群落总优势度的 39.5%;施磷素对群落中优势种组成没有显著影响,重要值在前 3 位的物种依然是白草、绿珠藜和隐子草,其重要值分别为 17.1,14.1 和 10.7,它们的优势度总和占群落总优势度的 41.9%;施氮肥改变了群落的物种组成及其重要值,在氮肥处理的样方中,优

势种变为大麻(*Cannabis sativa*)、芦苇和绿珠藜,其重要值分别为 32.3,17.5 和 16.8,其优势度之和占群落总优势度的 66.6%;氮磷肥混施后群落的优势种组成和施氮肥样方一样,大麻、绿珠藜和芦苇的重要值分别为 37.7,19.0 和 15.0,其优势度总和占群落总优势度的 71.7%。

不同施肥处理(N、P、N+P)均增加了群落中优势种的优势度总和占群落总优势度的比例,从 CK、N、P 到 N+P,其比值分别为 39.5%,66.6%,41.9% 和 71.7%,含有氮肥的处理(N、N+P)对群落的物种组成以及优势种的优势度之和占群落总优势度的比例影响更大;N、N+P 处理显著降低了群落中白草、隐子草、兴安胡枝子(*Lespedeza daurica*)、尖叶胡枝子(*Lespedeza hedysaroides*)等植物的重要值,显著增加了大麻和芦苇的重要值,草木樨状黄芪(*Astragalus melilotoides*)、沙打旺(*Astragalus adsurgens*)、鸡眼草(*Kummerowia striata*)和紫花苜蓿(*Medicago sativa*)在 N、N+P 处理群落中消失。绿珠藜在所有处理中均为优势种。

## 2.2 施肥对群落科属结构的影响

不同的施肥处理下,群落的优势科也发生了显著变化( $P < 0.05$ )。CK 中,禾本科、豆科和藜科在群落中占优势地位,同时还有菊科、桑科等多科的植物存在(表 2)。N、N+P 处理后,群落中的优势科发生了变化,禾本科、豆科、菊科等的优势地位均显著降低,桑科(仅大麻一个种)的优势度显著增加,在群落中占主体优势。P 处理对群落中科属结构的影响不显著,各种施肥处理对藜科植物优势度的影响都不显著。

## 2.3 施肥对草地群落结构的影响

植被高度是草地群落结构的重要参数。施肥改变了群落的外貌特征(图 1)。N、N+P 处理显著增加了群落植被高度(图 1A,  $P < 0.05$ ),N、N+P 处理下植被高度分别高达(98.3±4.7)和(100.6±8.2)cm,而 CK 仅为(33.8±2.1)cm。P 处理对植被高度影响不显著。N、N+P 处理显著增加了群落植被盖度(图 1B,  $P < 0.05$ ),分别增加了 17.1% 和 18.1%。P 处理对植被盖度影响不显著。

## 2.4 施肥对物种多样性的影响

物种多样性指数也是植物群落结构的重要参数,它能客观的反映群落内物种组成的变化<sup>[23]</sup>。施氮肥显著降低了( $P < 0.05$ )群落中物种的 Shannon—Wiener 多样性指数, Simpson 多样性指数, Pielou 均匀度指数以及物种丰富度(表 3);氮磷肥处理下群落多样性的变化与氮肥处理的变化基本一致;磷肥处理对物种的 Shannon—Wiener 多样性指数, Simpson 多样性

表 1 不同施肥处理对群落物种组成及其重要值的影响

Table 1 Effects of different fertilizer treatments on species composition and importance values

物种 Species	重要值 Importance value			
	对照 CK	氮肥 N	磷肥 P	氮+磷 N+P
白草 <i>Pennisetum flaccidum</i>	20.3	1.4	17.1	0.7
绿珠藜 <i>Chenopodium acuminatum</i>	9.9	16.8	14.1	19.0
隐子草 <i>Cleistogenes chinensis</i>	9.3	0.9	10.7	2.2
芦苇 <i>Phragmites communis</i>	8.0	17.5	6.2	15.0
猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	8.0	4.3	8.1	1.8
兴安胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i>	7.4	1.1	8.7	3.9
虫实 <i>Corispermum flexuosum</i>	6.4	0.7	3.8	2.9
大麻 <i>Cannabis sativa</i>	6.4	32.3	5.6	37.7
牻牛儿苗 <i>Erodium stephanianum</i>	5.9	3.7	6.8	1.1
尖叶胡枝子 <i>Lespedeza hedysaroides</i>	5.1	0.0	4.3	0.3
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	3.9	8.6	2.6	7.0
鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i>	2.4	0.5	5.5	0.0
草木樨状黄芪 <i>Astragalus melilotoides</i>	2.2	0.0	1.2	0.0
节节草 <i>Equisetum ramosissimum</i>	1.3	0.5	0.8	1.0
沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i>	0.8	0.0	0.8	0.0
防风 <i>Saposhnikovia divaricata</i>	0.6	0.0	0.0	0.0
白前 <i>Cynanchum glaucescens</i>	0.5	2.3	1.4	3.0
柳穿鱼 <i>Linaria vulgaris</i>	0.5	0.0	0.0	0.0
山葱 <i>Allium senescens</i>	0.3	0.0	0.0	0.0
麦瓶草 <i>Silene conoidea</i>	0.2	0.0	0.0	0.0
紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	0.2	0.0	0.5	0.0
大丁草 <i>Gerbera anandria</i>	0.2	0.0	0.0	0.0
野大豆 <i>Glycine soja</i>	0.2	0.5	1.3	0.0
中国旋花 <i>Convolvulus chinensis</i>	0.0	3.2	0.0	0.7
委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>	0.0	0.0	0.0	0.3
苦菜 <i>Chenopodium album</i>	0.0	0.0	0.3	0.0
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	0.0	1.5	0.0	3.2
苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	0.0	0.0	0.2	0.0
大籽蒿 <i>Artemisia sieversiana</i>	0.0	1.7	0.0	0.0
白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	0.0	0.8	0.0	0.0
大油芒 <i>Spodiopogon sibiricus</i>	0.0	0.8	0.0	0.0
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	0.0	0.4	0.0	0.0
细叶益母草 <i>Leonurus sibiricus</i>	0.0	0.3	0.0	0.0
列当 <i>Orobancha coerulea</i>	0.0	0.3	0.0	0.0

表 2 不同施肥处理对沙地群落植物科属优势度的影响

Table 2 Effects of different fertilizer treatments on family dominance of the species of grassland communities %

处理 Treatment	禾本科 Gramineae	豆科 Leguminosae	藜科 Chenopodiaceae	桑科 Moraceae	菊科 Compositae	其他科 Other families
对照 CK	41.6 (2.9) a	18.3 (3.0) a	16.3 (1.7) a	6.4 (0.7) b	8.2 (1.8) a	9.2 (1.7) a
氮肥 N	30.4 (3.1) bc	2.1 (1.0) b	19.0 (4.8) a	32.3 (5.8) a	6.0 (1.9) ab	10.3 (2.7) a
磷肥 P	36.6 (2.7) ab	22.3 (3.0) a	17.9 (1.1) a	5.6 (1.9) b	8.6 (0.7) a	9.0 (1.1) a
氮+磷 N+P	25.0 (1.3) c	4.2 (1.7) b	25.2 (6.9) a	37.7 (7.0) a	1.8 (0.9) b	6.1 (2.1) a

注:括号中数据为标准误(n=6),同一列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Values in parentheses are SE (n=6). Different letters within a column indicate the significant difference of mean values ( $P<0.05$ ). The same below.

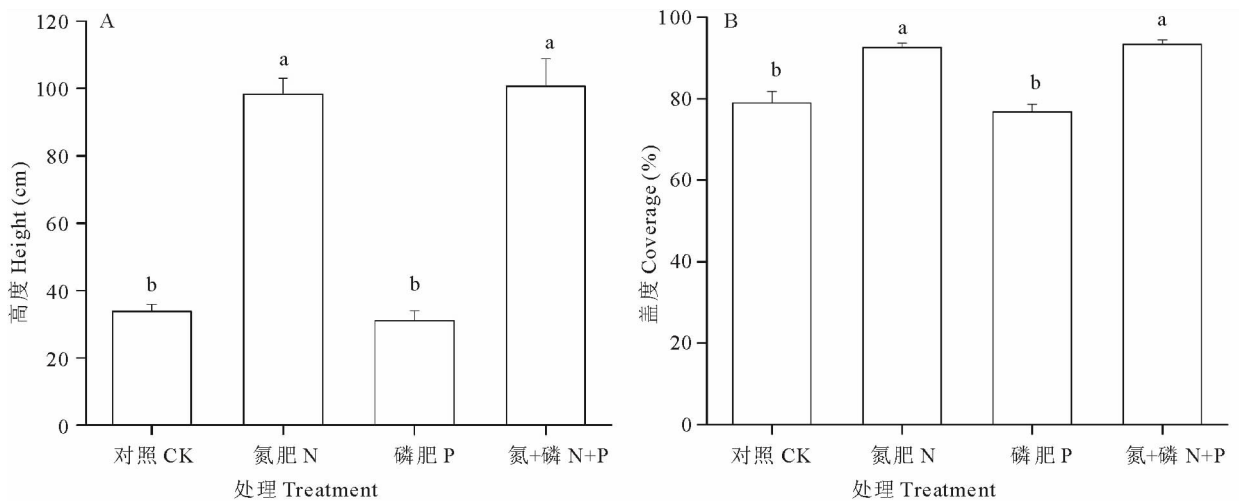


图 1 不同施肥处理对群落植被的高度(A)和盖度(B)的影响

Fig. 1 Effects of different fertilizer treatments on plant height (A) and coverage (B)

不同小写字母代表不同处理间差异显著( $P<0.05$ ) Different small letters represented significant difference between treatments at 0.05 level

表 3 不同施肥处理对群落物种 Shannon—Wiener 指数(H)、Simpson 指数(D)、Pielou 均匀度指数(J)和物种丰富度(S)的影响

Table 3 Effects of different fertilizer treatments on Shannon—Wiener index, Simpson index, Pielou evenness, and species richness of grassland communities

处理 Treatment	Shannon—Wiener 指数(H) Shannon—Wiener index	Simpson 指数(D) Simpson index	Pielou 均匀度指数(J) Pielou index	物种丰富度(S) Species richness
对照 CK	2.22 (0.04) a	0.88 (0.01) a	0.95 (0.00) a	10.3 (0.4) a
氮肥 N	1.47 (0.17) b	0.73 (0.04) b	0.93 (0.01) b	5.2 (0.8) b
磷肥 P	2.22 (0.03) a	0.88 (0.00) a	0.96 (0.00) a	10.3 (0.3) a
氮+磷 N+P	1.39 (0.15) b	0.70 (0.04) b	0.91 (0.01) c	5.0 (0.7) b

指数, Pielou 均匀度指数以及物种丰富度均没有显著影响。

### 3 讨论

科尔沁沙质草地不同植物类群和植物种的重要值对施肥处理的反应各异(表 1, 2)。N、N+P 处理群落中占绝对优势地位的植物为大麻。N、N+P 处理显著增加了群落中大麻、芦苇的优势度,其原因可能是,大麻、芦苇在养分充足的条件下对养分的利用效率高、生长旺盛,但在养分受限制或者缺乏的条件下,对养分的竞争和适应能力较弱,养分停止增加或其他因素导致土壤养分不足时,其生长可能会受到抑制。N、N+P 处理下,绿珠藜优势

度有所增加,但幅度不大,说明绿珠藜对养分添加的反应不敏感,使得其在养分较好的条件下优势度相对稳定,当施肥停止或者其他干扰导致养分资源受到限制时,绿珠藜这种需求养分低的特性就会表现出来,这可能也是为什么绿珠藜在对照中也是群落优势种的原因之一。

N、N+P 处理显著降低了豆科、禾本科、菊科植物在群落中的优势度( $P < 0.05$ , 表 2),说明 N、N+P 处理在促进大麻、芦苇生长的同时,在一定程度上抑制了豆科、禾本科、菊科植物的生长,可能是由于施肥增加了大麻、芦苇等植物可利用养分的水平,消除了系统对养分的限制,养分利用率高的植物迅速生长,改变了植物的竞争格局,物种间的竞争从地下养分竞争转向地上光竞争,导致植被高度和盖度增加(图 1),郁闭度的增加造成豆科、禾本科、菊科等光竞争能力较弱的植物对光资源利用的困难,导致其在群落中数量的减少甚至消失。N 处理与 N+P 处理对物种组成、群落结构及物种多样性的影响相似,且 P 处理对群落物种组成、科属结构、植被高度、植被盖度和物种多样性(多样性指数、均匀度、丰富度)都没有显著影响,这种现象是植物长期适应低磷环境的一种反应还是科尔沁沙质草地生态系统不受磷素的限制还有待进一步研究。

因此,光竞争能力的强弱是决定该系统物种组成和群落结构改变的主要原因。此外,物种对施肥的响应与物种的其他一些功能特性也有着密切的关系<sup>[24,25]</sup>,特别是与植物的物候期也有一定的关系<sup>[26]</sup>,如绿珠藜返青早,在生长初期以较快的速度生长,比其他植物能提前利用土壤养分。

关于施肥对植物群落组成的影响机理,相关研究已经开展了很多<sup>[27]</sup>,多数研究认为施氮肥会导致物种丰富度减少,多样性下降<sup>[5,6,28]</sup>,也有一些研究表明施氮肥对物种多样性无显著影响<sup>[14,15]</sup>。本研究中,N、N+P 处理都显著减少了物种丰富度,降低了物种多样性,与前一种观点的结论一致,其可能的原因是物种间的光资源竞争以及植物凋落物的积累减小了物种多样性<sup>[5,29]</sup>。施肥处理增加了群落中可利用养分水平,消除了生态系统对养分特别是氮素的限制,氮素利用率高的植物会在地下的资源竞争中取得优势,生长迅速,物种间的竞争从地下转向地上,具有较高的光竞争能力的物种在地上光竞争中取得优势,高度迅速增加(图 1A),植被盖度也相应增大(图 1B)。这些变化减少了群落的光有效性,使得一些矮小或者不耐荫物种的数量逐渐减少甚至消失,导致物种多样性下降;另外,施氮肥导致群落中的凋落物增加<sup>[12]</sup>,凋落物的阻隔作用和遮光作用都将抑制部分物种的萌发以及幼苗的存活<sup>[30,31]</sup>,导致物种数量的减少,多样性降低。

尽管草地施肥可增加地上生物量,提高生态系统生产力<sup>[18,32]</sup>,但施肥导致草地植物群落结构趋于简单,物种数减少,物种多样性降低,因此,在寻求草地恢复的不同途径时,不能简单地仅追求较高的生产力,群落结构的合理性以及群落的稳定性都将是草地可持续经营中需要注意的问题。

**致谢:**野外调查得到了杨丹的大力支持,谨此致谢!

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 单贵莲,徐柱,宁发,等. 围封年限对典型草原群落结构及物种多样性的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(6): 1-8.
- [3] 赵哈林,大黑俊哉,李玉霖,等. 人类放牧活动与气候变化对科尔沁沙质草地植物多样性的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(5): 1-8.
- [4] 程积民,贾恒义,彭祥林. 施肥草地群落生物量结构的研究[J]. 草业学报, 1997, 6(2): 22-27.
- [5] Rajaniemi T K. Why does fertilization reduce plant species diversity? Testing three competition-based hypotheses[J]. Journal of Ecology, 2002, 90: 316-324.
- [6] Gough L, Osenberg C W, Gross K L, et al. Fertilization effects on species density and primary productivity in herbaceous plant communities[J]. Oikos, 2000, 89: 428-439.
- [7] Fridley J D. Resource availability dominates and alters the relationship between species diversity and ecosystem productivity in experimental plant communities[J]. Oecologia, 2002, 132: 271-277.
- [8] Tilman D, Downing J A. Biodiversity and stability in grasslands[J]. Nature, 1994, 367: 363-365.
- [9] Tilman D, Wedin D, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems[J]. Nature,

- 1996, 379: 718-720.
- [10] 潘庆民, 白永飞, 韩兴国, 等. 氮素对内蒙古典型草原羊草种群的影响[J]. 植物生态学报, 2005, 29(2): 311-317.
- [11] Wedin D A, Tilman D. Influence of nitrogen loading and species composition on the carbon balance of grasslands[J]. Science, 1996, 274: 1720-1723.
- [12] Foster B L, Gross K L. Species richness in successional grassland: Effects of nitrogen enrichment and plant litter[J]. Ecology, 1998, 79: 2593-2602.
- [13] Stevens C J, Dise N B, Mountford J O, *et al.* Impact of nitrogen deposition on the species richness of grasslands[J]. Science, 2004, 303: 1876-1879.
- [14] Goldberg D E, Miller T E. Effects of different resource additions of species diversity in an annual plant community[J]. Ecology, 1990, 71: 213-225.
- [15] Huberty L E, Gross K L, Miller C J. Effects of nitrogen addition on successional dynamics and species diversity in Michigan old-fields[J]. Journal of Ecology, 1998, 86: 794-803.
- [16] Xia J Y, Niu S L, Wan S Q. Response of ecosystem carbon exchange to warming and nitrogen addition during two hydrologically contrasting growing seasons in a temperate steppe[J]. Global Change Biology, 2009, 15: 1544-1556.
- [17] 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]. 草业学报, 2008, 17(6): 18-24.
- [18] 张铜会, 赵哈林, 李玉霖, 等. 科尔沁沙地灌溉与施肥对退化草地生产力的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(1): 36-42.
- [19] 何兴东, 高玉葆, 刘惠芬. 重要值的改进及其在羊草群落分类中的应用[J]. 植物研究, 2004, 24(4): 466-472.
- [20] 后源, 郭正刚, 龙瑞军. 黄河首曲湿地退化过程中植物群落组分及物种多样性的变化[J]. 应用生态学报, 2009, 20(1): 27-32.
- [21] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II. 丰富度, 均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, 15(3): 268-277.
- [22] 文海燕, 傅华, 赵哈林. 退化沙质草地植物群落物种多样性与土壤肥力的关系[J]. 草业科学, 2008, 25(10): 6-9.
- [23] 王国宏, 任继周, 张自和. 河西山地绿洲荒漠植物群落多样性研究 II. 放牧振动下草地多样性的变化特征[J]. 草业学报, 2002, 11(1): 31-37.
- [24] 万宏伟, 杨阳, 白世勤, 等. 羊草草原群落 6 种植物叶片功能特性对氮素添加的响应[J]. 植物生态学报, 2008, 32(3): 611-621.
- [25] Bowman W D, Conant R T. Shoot growth dynamics and photosynthetic response to increased nitrogen availability in the alpine willow *Salix glauca*[J]. Oecologia, 1994, 97: 93-99.
- [26] 沈振西, 陈佐忠. 高施氮量对高寒矮嵩草甸主要类群和多样性及质量的影响[J]. 草地学报, 2002, 10(1): 7-17.
- [27] Tilman D. Secondary succession and the pattern of plant dominance along experimental nitrogen gradients[J]. Ecological Monographs, 1987, 57: 189-214.
- [28] DiTommaso A, Aarssen L W. Resource manipulations in natural vegetation: A review[J]. Vegetatio, 1989, 84: 9-29.
- [29] Xiong S, Nilsson C. Dynamics of leaf litter accumulation and its effects on riparian vegetation: A review[J]. The Botanical Review, 1997, 63: 240-264.
- [30] Juttila H M, Grace J B. Effects of disturbance on germination and seedling establishment in a coastal prairie grassland: A test of the competitive release hypothesis[J]. Journal of Ecology, 2002, 90: 291-302.
- [31] Tilman D. Species richness of experimental productivity gradients: How important is colonization limitation? [J]. Ecology, 1993, 74: 2179-2191.
- [32] 郑华平, 陈子萱, 王生荣, 等. 施肥对玛曲高寒沙化草地植物多样性和生产力的影响[J]. 草业学报, 2007, 16(5): 34-39.

## Effects of fertilizations on species composition and diversity of grassland in Keerqin Sandy Lands

LI Lu-jun<sup>1,2</sup>, YU Zhan-yuan<sup>1</sup>, ZENG De-hui<sup>1</sup>, AI Gui-yan<sup>1</sup>, LI Jing-shi<sup>1</sup>

(1. Daqinggou Ecological Station, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Effects of different fertilization on species composition, community structure and species diversity of grassland were studied in Keerqin Sandy Lands. 1) Species composition, dominant species and family structure of the species of grassland communities were changed both by nitrogen fertilizer (N) alone and by nitrogen plus phosphorus fertilizers (N+P). Nitrogen and N+P significantly ( $P < 0.05$ ) increased vegetation height and coverage by 64.5 and 66.8 cm, and by 17.1% and 18.1%, respectively. 2) Phosphorus fertilizer alone (P) did not significantly change species composition or community structure. 3) Species richness, Shannon—Wiener index, Simpson index and Pielou evenness index were also significantly ( $P < 0.05$ ) improved by N and N+P. Nitrogen and N+P markedly reduced species richness by 49.5% and 51.5%. 4) P did not significantly change species number and diversity of sandy grassland. The results suggest that, in addition to productivity, reasonable species composition and community structure are considerations for the process of restoring and managing degenerated grassland ecosystems.

**Key words:** community structure; dominance; Keerqin Sandy Lands; productivity