沙坡头地区草本植物层片对施加氮素的响应*

苏洁琼[1,2**] 李新荣[1] 贺郝钰[1,2] 贾荣亮[1,2] 高艳红[1,2]

([1]中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙坡头沙漠试验研究站,兰州 730000;[2]中国科学院研究生院,北京 100049)

摘 要 以沙坡头人工固沙区草本层片植物为研究对象,分析不同氮肥处理下,物种丰富度、多度、盖度、高生长以及地上部生物量等群落学特征对不同氮肥水平的响应。人工施加氮肥1年的试验结果表明:除50 g·m^{-2}的施肥水平外,其他各施肥水平下群落物种丰富度均高于对照;多度随施肥梯度的增加整体上呈下降趋势,施肥梯度越高,下降越明显,其中在50 g·m^{-2}的施肥水平下,多度相比于对照下降了86.7%;盖度随施肥水平梯度的增大呈先上升后下降的趋势,在20 g·m^{-2}的施肥水平下盖度达到最大值,其与对照间的差异达到了显著性水平($P<0.05$);植物高生长对氮肥水平的响应存在种间差异;地上部生物量则在低肥水平下高于对照,而高肥水平下低于对照。总体而言,氮肥水平对荒漠生态系统群落物种多样性和生产力的影响呈低肥促进、高肥抑制的效应。

关键词 沙坡头;草本层片;氮肥;植被多度;地上部生物量

中图分类号 S143.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)2-0309-05

Responses of herbaceous layer vegetation to nitrogen fertilization in Shapotou Area. SU Jie-qiong[1,2], LI Xin-rong[1], HE Hao-yu[1,2], JIA Rong-liang[1,2], GAO Yan-hong[1,2] ([1]*Shapotou Desert Experimental Research Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou* 730000, *China*; [2]*Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, **29**(2): 309-313.

Abstract: Taking the herbaceous layer vegetation in Shapotou area as test object, this paper studied its species richness, abundance, coverage, height growth, and aboveground biomass under effects of different nitrogen (N) fertilization levels. One-year observation showed that comparing with the control, all N fertilization treatments except 50 g N·m^{-2} had positive effects on the species richness. With increasing N fertilization level, the species abundance decreased, with a decrement of 86.7% in treatment 50 g N·m^{-2}, and the species coverage decreased after an initial increase, with the maximum in treatment 20 g N·m^{-2} and having a significant difference ($P<0.05$) with the control. The responses of height growth to N fertilization levels varied with plant species. Aboveground biomass was higher at low N fertilization level but lower at high fertilization level. In a word, low N fertilization level benefited the community biodiversity and productivity, while high N fertilization level had restriction effects.

Key words: Shapotou; herbaceous layer; nitrogen fertilizer; vegetation abundance; aboveground biomass.

水分是荒漠生态系统诸多生态过程最重要的驱动因子,在降水不足200 mm的干旱地区,其直接影响植被的正常生长。氮通常被认为是陆地生态系统中主要的养分限制因子(Vitousek & Howarth, 1991),当外界环境改变,降水充足时,氮的限制作用日益明显。且伴随着全球氮降尘的增加(Austin *et al.*, 2004),植被生长受到了一定程度的影响。有研究表明,人工氮肥的施加将降低植被的物种丰富度,改变植被群落结构和生态系统功能(Krupa,

*国家自然科学基金资助项目(40825001和40701002)。
**通讯作者 E-mail:sujieqionggs@163.com
收稿日期:2009-06-05 接受日期:2009-10-16

2003；Zavaleta *et al.*，2003；Schwinning & Sala，2004）。同样，大气氮沉降也有可能产生不良结果（Stevens *et al.*，2004）。目前，此类研究或假说均来自于湿润地区的典型草地或森林植被系统（Hejcman *et al.*，2007），国内的施肥试验也多集中在高寒草原草甸地区（纪亚君，2002；邱波等，2004；郑华平等，2007），而在我国沙漠地区，关于施肥对生态系统过程影响的研究报道较少。

沙生植被作为荒漠陆地生态系统的重要部分，对于氮沉降的响应还有待于进一步的研究。在人工固沙区，由于成土环境的改变，微生物的作用和有机残体的积累，随着时间的延续使流沙地的生态条件产生了一系列的变化，从本质上加速了土壤的演替（贾晓红等，2003）。草方格的埋设以及人工植被的建立为生物结皮的发育提供了相对稳定的环境条件，而生物结皮的发育又进一步稳定了环境。降尘沉积为生物结皮的发育提供了重要的土壤基质（李守中等，2008），由流沙地变成由地衣苔藓等附着的生物环境，并在此基础上使草本和半灌木等演替生长。在荒漠地区，水分和氮的缺乏使草地植被稀疏，生产力和覆盖度较低（Xie & Steinberger，2001），草本层片植物生长所需养分仅由表层约 2 cm 的生物土壤结皮通过产生大量水稳性土壤团聚体增加有机质来实现的（Johansen，1993），因而限制了养分的供给。本文以腾格里沙漠东南缘的典型沙生植被为研究对象，通过一年人工控制的氮肥梯度实验，研究沙坡头地区草本层片植物多度、物种丰富度、盖度、地上部生物量及高生长等群落特征对不同氮肥梯度的响应，旨在进一步探讨大气中的氮素沉降对干旱荒漠生态系统的影响机制，阐明土壤氮素增加后对沙生植被生物多样性、生产力的影响，此研究不仅具有重要的理论价值，也为干旱荒漠生态系统的管理和植被恢复提供了理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

试验地设在宁夏中卫县中国科学院沙坡头沙漠试验研究站（37°32′N，105°02′E；简称沙坡头站）路北进行。该区位于腾格里沙漠东南缘，海拔 1339 m，属草原化荒漠地带，也是沙漠与绿洲的过渡区（李新荣等，1998），天然植被以花棒（*Hedysarum scoparium*）和沙米（*Agriophyllum squarrosum*）等为主，盖度 1% 左右（李新荣等，2001）。本区总体上以高大、密集的格状新月形沙丘链连绵分布而著称；土壤基质为疏松、贫瘠的流沙，沙层稳定含水量仅 2% ~ 3%。年均气温 10.4 ℃，极端最高气温 38.1 ℃，极端最低气温 −25.1 ℃。冬夏昼夜温差大；年均降水量 193.7 mm，主要集中在 7—9 月；空气平均相对湿度为 40%。该地区的年均风速 2.8 m·s^{-1}，最大风速 19 m·s^{-1}，>5 m·s^{-1}的起沙风每年有 200 d 左右。为了确保包兰铁路沙漠地段的畅通无阻，自 1956 年中国科学院和有关单位建立了“以固为主，固阻结合”的植被固沙防护体系（赵兴梁，1988），即在流沙上扎设 1 m×1 m 的麦草方格作为固沙屏障，将沙面稳定后再栽植以旱生灌木柠条（*Caragana korshinskii*）、油蒿（*Artemisia ordosica*）、花棒等为主的植物。经过 50 余年的演变，使该区的生态环境得到了改善，沙面的固定为许多动植物繁衍创造了条件，由于大量物种的繁殖定居，使原有的流沙演变成了一个复杂的人工-天然的荒漠植被景观（石庆辉，1993；李新荣等，1998）。地带性植被包括木本植物层片和草本植物层片，主要有油蒿、狭叶锦鸡儿（*Caragana stenophylla*）、柠条、小画眉草（*Eragrostis poaeoides*）、虎尾草（*Chloris virgata*）、雾冰藜（*Bassia dasyphylla*）、沙蓝刺头（*Echinops gmelinii*）和虫实（*Corispermum declinatum*）等。

1.2 试验设计

采用单因素随机区组设计，供试氮肥为尿素（含氮量为 46%），共设 8 个施肥水平，分别为 0、5、10、20、25、30、40 和 50 g·m^{-2}，每个处理 4 次重复，共 32 个样方。样方面积 1 m×1 m，8 个样方为一组，各样方的四角用木桩标记。于 2007 年 5 月底将尿素以溶液形式均匀喷洒在样方中，保证肥料被土壤吸收，同一区组样方随机接受不同氮肥处理。样方中原始植被主要以灌木油蒿，草本植物小画眉草、雾冰藜和虎尾草等为主。供试土壤基本理化性质见表 1。

试验于 2007 年 5—10 月逐月调查各样方内植物高度、多度、物种丰富度、盖度，并在生长季节结束后采用收割法收获各样方地上部生物量，然后将收割的各样方植物地上部分分别装在袋中带回实验室，在 75 ℃条件下烘 48 h 后称其干质量。

1.3 数据处理

数据处理用 SPSS 16.0 和 Microsoft Excel 进行，在不同氮肥水平下，分别对物种丰富度、盖度、多度、

表 1 试验地土壤基本性质
Tab. 1 Basic soil characteristics of experimental field

深度 (cm)	粒级(%)			质地	全氮 (g·kg^{-1})	pH	体积含水量 (%)
	1~0.05 mm	0.05~0.02 mm	<0.02 mm				
0~5	81.36±4.84	18.64±5.73	0	沙粘土	0.38	7.43	4.56
5~15	96.77±1.49	3.23±1.57	0	沙土	0.12	7.73	1.37

密度和地上部生物量进行单因素随机区组设计一元定量资料方差分析,对不同的施肥梯度采用 Duncan 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 植被群落丰富度、多度和盖度对氮素的响应

丰富度是指单位面积中的物种数,多度是样方中所有物种的株数与样方面积的比值,盖度用植物地上部分垂直投影面积占样地面积的百分比来表征,三者均是衡量群落种类组成数量特征的重要指标。施肥 1 年后丰富度、多度和盖度的试验结果由表 2 可见,除 50 g·m^{-2}施肥水平外,其他各施肥水平植被丰富度均较对照高,但差异并不显著($P>0.05$),50 与 5 g·m^{-2}施肥水平相比丰富度差异显著($P<0.05$)。整体上,随着施肥梯度的增大,多度下降明显,其中以 50 g·m^{-2}的施肥水平下降最明显,其多度比对照降低 86.7%。植被盖度随施肥梯度的增大呈现先增加后降低的趋势,20 g·m^{-2}的施肥水平下盖度达到最大值,其与对照间的差异达到了显著性水平($P<0.05$),高于 20 g·m^{-2}的施肥水平植被盖度逐渐减小,40、50 g·m^{-2}的施肥水平对盖度的抑制作用最明显,分别降到对照的 60.9% 和 39.1%。

2.2 植被地上部生物量对氮素的响应

在 5、10、20、30 g·m^{-2}的施肥水平下,植被地上部生物量较对照增加(图 1)。其中,以 5 和 10 g·m^{-2}的处理增幅最大,其与对照相比差异显著($P<0.05$),其余各施肥水平对生物量的影响不显著($P>0.05$)。50 g·m^{-2}的施肥处理出现明显抑制效应,地上部生物量降到不足对照的 1/2。

表 2 不同施肥量下草本植物的丰富度、多度和盖度的变化
Tab. 2 Variations of species richness, abundance and coverage under different fertilization levels

施肥量 (g·m^{-2})	丰富度	多度	盖度(%)
0	3.66±0.70ab	146.0±31.7a	7.67±1.20b
5	5.33±0.88a	116.7±9.4ab	23.67±7.80ab
10	4.00±0.58ab	138.0±10.8ab	26.00±9.54ab
20	4.33±0.33ab	94.3±18.9b	31.67±6.10a
25	4.67±0.33ab	43.3±12.1c	12.00±5.69b
30	4.67±0.33ab	70.7±6.1bc	8.33±2.73b
40	4.33±0.88ab	39.0±6.7c	4.67±1.20b
50	2.67±0.67b	19.3±0.9c	3.00±0.58b

数据为平均值±标准差($n=4$),同列不同字母代表差异显著($P<0.05$)。

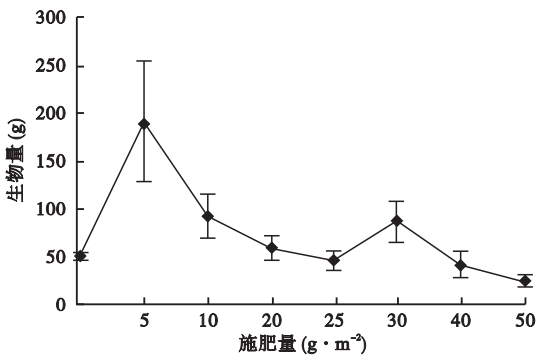


图 1 地上部生物量在不同施肥处理下的变化
Fig. 1 Changes of aboveground biomass under different fertilization levels

2.3 草本优势种高度对氮素的响应

由图 2 可见,施肥当年,常见种雾冰藜、小画眉和虎尾草在施肥后株高较对照均有不同程度的增加,且 3 种植物株高对氮肥水平的最大响应各异。在 10 g·m^{-2}的施肥水平下,雾冰藜株高达到最大值 25.13 cm,其与对照间差异显著($P<0.05$),而小画眉和虎尾草分别在 40 和 30 g·m^{-2}的施肥水平下株高分别达到最大值 11.6 和 22.93 cm,其与对照间的差异也均达到了显著性水平($P<0.05$)。说明不同植物高生长对氮肥的响应机制不同,相比于雾冰藜对低肥水平的需求,小画眉和虎尾草则对氮肥水平的需求较高。

3 讨 论

沙坡头地区年均降水量低,季节性降水分布与土壤有效水分含量之间具有极高变异性(王新平等,2001),在含氮量很低的沙区土壤,植被对养分的需求受到了限制。在植被开始萌发的 5 月将氮素施入,保证养分能够被植被充分有效的利用。人工施加氮肥1年的试验结果表明:氮肥降低了草本层

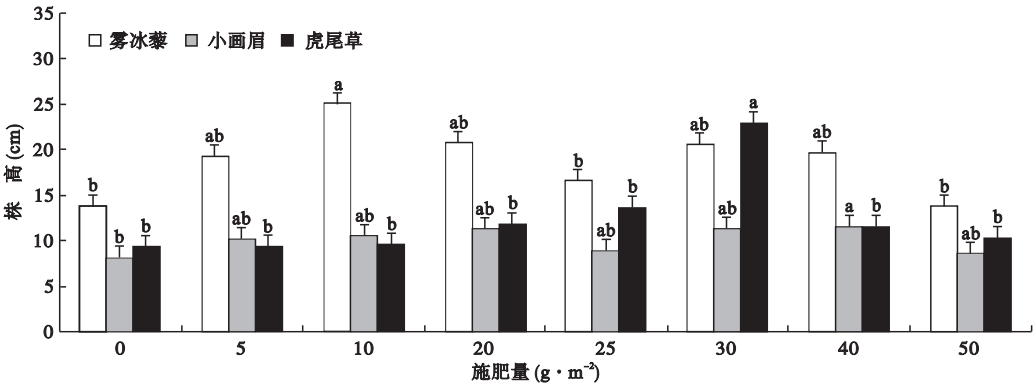


图2 不同施肥水平下常见种高度的变化

Fig. 2 Height changes of frequent species under different fertilization levels

图柱上方不同字母代表同一物种株高在不同氮肥水平下差异显著。

片植物的多度,且随着施肥量的增加多度呈逐渐减小的趋势,说明氮肥对沙生植被的数量繁殖有一定的抑制作用。而物种丰富度和盖度对氮肥梯度的响应与多度不同,低肥水平使草本层片物种丰富度和盖度较对照有所增加,而高肥水平则出现了抑制作用。物种丰富度在50 g·m^{-2}的氮肥水平下低于对照,40 g·m^{-2}的氮肥水平下盖度也开始出现抑制效应,在40、50 g·m^{-2}的氮肥水平下,盖度分别降至对照的60.9%和39.1%。这种高施肥量对群落物种丰富度、盖度的抑制效应与高寒典型草地的施肥试验结果一致(陈亚明等,2004;邱波等,2004)。一方面,人工固沙植被区,植被的物种丰富度明显低于森林、草地等生态系统(赵忠等,2002),植被群落间物种竞争引起的负效应要远低于施肥对物种丰富度和盖度的驱动(郑华平等,2007)。另一方面,植被生长的生境条件差别很大,限制植物生长的因子各不相同。人工固沙区土壤贫瘠,土壤氮含量成为植物生长的限制性因子,而施氮后,当氮的供应量满足植物的生长所需时,其不再是植物生长的限制性因子,植物对氮肥施入响应的敏感度也会降低(李博,1990)。适度的氮肥有利于植物的吸收,增产效果明显,而当氮含量超过了一定的阈值,抑制作用将会显现,反而不利于植物的生长。

群落草本层片植物种地上部生物量对氮肥水平的响应呈2种不同的趋势。当施肥水平低于30 g·m^{-2}时(25 g·m^{-2}的施肥水平除外),植物种地上部生物量高于对照,而当施肥水平高于30 g·m^{-2}时,生物量反而低于对照。这与丰富度和盖度对氮肥水平的响应一致,即低肥促进,高肥抑制,生物量与丰富度的这种协同关系与臧岳铭等(2009)的研究结果相似。其中以5和10 g·m^{-2}的氮肥处理对地上部生物量增加的促进作用明显,其和对照间的差异均达到了显著性水平($P<0.05$)。水肥耦合更有利于干旱区生态系统生物生产力地提高,在水分充足的情况下,适量的氮肥即可促进植物生产力地提高(寇明科等,2003;周青平等,2005;马涛等,2007)。通常,水分是决定干旱区植被生长的第一非生物因子(李新荣等,2001;Austin *et al.*,2004),当水分充足时,氮肥对植物的生长表现出明显的促进作用,但过量的氮肥会造成烧苗,使生物量下降,施肥量越高,对植物生长的抑制作用也越明显(戎郁萍等,1999)。

合理施肥不但可以丰富物种组成,而且可以增加植被高度,提高生产力。氮肥对荒漠生态系统草本层片优势种植物高生长的影响表现出促进作用,在不同的氮肥水平下,优势种植物株高均较对照提高,但株高峰值对氮肥水平的响应不尽相同。雾冰藜、虎尾草、小画眉株高达到最大值的氮肥水平分别为10、30、40 g·m^{-2},说明氮肥对植被高生长的促进作用存在种间差异,相比于雾冰藜对低肥水平的需求,小画眉和虎尾草则对氮肥水平的需求较高。

参考文献

陈亚明, 李自珍, 杜国祯. 2004. 施肥对高寒草甸植物多样性和经济类群的影响. 西北植物学报, **24**(3): 424–429.

纪亚君. 2002. 青海高寒草地施肥的研究概况. 草业科学, **19**(5): 14–18.

贾晓红, 李新荣, 王新平, 等. 2003. 流沙固定过程中土壤性质变异初步研究. 水土保持学报, **17**(4): 46–50.

寇明科, 王安碌, 张生璨, 等. 2003. 不同施肥处理对提高高寒人工混播草地产草量的试验研究. 草业科学, **20**

(4):14-15.
李 博. 1990. 普通生态学. 呼和浩特:内蒙古大学出版社.
李守中,郑怀舟,李守丽,等. 2008. 沙坡头植被固沙区生物结皮的发育特征. 生态学杂志,27(10):1675-1679.
李新荣,马凤云,龙利群,等. 2001. 沙坡头地区固沙植被土壤水分动态研究. 中国沙漠,21(3):217-222.
李新荣,石庆辉,张景光,等. 1998. 沙坡头地区人工植被演变过程中植物多样性变化的研究. 中国沙漠,18(增):23-29.
马 涛,武高林,何彦龙,等. 2001. 青藏高原东部高寒群落生物量和补偿能力对施肥和刈割的响应. 生态学报,27(6):2288-2293.
邱 波,罗燕江,杜国祯. 2004. 施肥梯度对甘南高寒草甸植被特征的影响. 草业学报,13(6):65-68.
戎郁萍,韩建国,王 培,等. 1999. 施氮与株丛切割对退化新麦草草地的改良效果. 草地学报,7(2):157-164.
石庆辉. 1993. 腾格里沙漠东南缘沙坡头地段铁路北侧人工植被演替动态. 中国科学院沙坡头沙漠试验研究站年报. 甘肃 科学技术出版社:89-107.
王新平,张景光,李新荣. 等. 2001. 沙坡头地区多年降水分布特征、趋势及其变率. 中国沙漠,21(3):260-261.
臧岳铭,朱志红,李英年,等. 2009. 高寒矮嵩草草甸物种多样性与功能多样性对初级生产力的影响. 生态学杂志,28(6):999-1005.
赵 忠,王安禄,马海生,等. 2002. 青藏高原东缘草地生态系统动态定位监测与可持续发展要素研究. Ⅱ. 高寒草甸草地生态系统植物群落结构特征及物种多样性分析. 草业科学,19(6):9-13.
赵兴梁. 1988. 腾格里沙漠沙坡头地区流沙治理研究. 银川:宁夏人民出版社.
郑华平,陈子萱,王生荣,等. 2007. 施肥对玛曲高寒沙化草地植物多样性和生产力的影响. 草业学报,16(5):34-39.
周青平,金继运,德科加,等. 2005. 不同施氮水平对高寒草地牧草增产效益的研究. 土壤肥料,(3):92-94.
Austin AT, Yahdjian L, Stark JM, *et al*. 2004. Water pulses and biochemical cycle in arid and semiarid ecosystems. *Oecologia*, **141**:221-245.
Hejcman M, Klaudisova M, Schellberg J, *et al*. 2007. The Rengen grassland experiment: Plant species composition after 64 years of fertilizer application. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **122**:259-266.
Johansen JR. 1993. Cryptogamic crusts of semiarid and arid lands of North America. *Journal of Phycology*, **29**:140-147.
Krupa SV. 2003. Effects of atmospheric ammonia (NH_3) on terrestrial vegetation: A review. *Environmental Pollution*, **124**:179-221.
Schwinning S, Sala OE. 2004. Hierarch of responses to resource pulses in arid and semi-arid ecosystems. *Oecologia*, **141**:211-220.
Stevens CJ, Dise NB, Mountford JO, *et al*. 2004. Impact of nitrogen deposition on the species richness of grasslands. *Science*, **303**:1876-1879.
Vitousek PM, Howarth RW. 1991. Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur? *Biogeochemistry*, **13**:87-115.
Xie G, Steinberger Y. 2001. Temporal patterns of C and N under shrub canopy in a loessial soil desert ecosystem. *Soil Biology & Biochemistry*, **33**:1371-1379.
Zavaleta ES, Shaw MR, Chiariello NR, *et al*. 2003. Additive effects of simulated climate changes, elevated CO_2, and nitrogen deposition on grassland diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **100**:7650-7654.

作者简介 苏洁琼,女,1983 年,硕士研究生。主要从事干旱区恢复生态学研究。E-mail:sujieqionggs@163.com
责任编辑 刘丽娟