

# 氮添加对科尔沁沙地羊草产量及氮肥利用效率的影响

王红静<sup>1</sup>, 马金宝<sup>1</sup>, 丛百明<sup>2</sup>, 周立业<sup>1</sup>

(1. 内蒙古民族大学农学院, 内蒙古 通辽 028000; 2. 通辽市畜牧兽医科学研究所, 内蒙古 通辽 028000)

**摘要:**为了探讨不同施氮水平对沙地羊草产量、土壤全氮变化及羊草对氮肥利用率的影响, 设置了0(CK)、100、200、300、400 kg/hm<sup>2</sup>的施氮(纯氮)量。结果表明:随着施氮水平的提高, 羊草产量呈先增加后平稳的趋势, 309.66 kg/hm<sup>2</sup>施氮量草产量最高, 羊草干草产量与施氮量的回归方程为  $y = -0.073x^2 + 45.21x + 3808$ ; 羊草植株粗蛋白含量随着施氮水平的提高呈增加趋势, 300 kg/hm<sup>2</sup>处理水平氮肥利用率最高; 羊草生育期内土壤全氮含量、氮肥贡献率、氮肥吸收利用率与其产量呈显著正相关。施氮肥会提高羊草干草粗蛋白水平, 施氮水平的高低决定土壤残留氮素的多少。施入 309.66 kg/hm<sup>2</sup>氮时羊草干草产量最高, 可以作为科尔沁沙地人工羊草草地的最佳施肥量。

**关键词:**人工羊草草地; 氮肥; 科尔沁沙地; 产量

**中图分类号:** S543.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2021)02-0047-06

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyycp.2021.02.007

禾本科赖草属羊草(*Leymus chiueusis*)为内蒙古东部和东北部天然草地上的重要牧草之一, 抗寒冷、耐瘠薄, 具有较强的适应能力<sup>[1-2]</sup>, 是我国北方草原有较好优势的植物资源, 在发展草原畜牧业和北方生态环境保护方面具有举足轻重的地位<sup>[3-5]</sup>。科尔沁沙地地处我国北方半干旱地区, 土壤沙化瘠薄、风力强劲, 这些特定的自然条件以及长期以来管理水平的低下限制了羊草的种植和开发。

氮素是植物必需的矿物质元素, 氮肥是牧草增产增效的限制因子, 施氮肥可以促进牧草生长、提高牧草品质及土壤养分含量<sup>[6-7]</sup>。董晓兵等<sup>[8]</sup>研究表明, 施氮肥可显著增加羊草粗蛋白含量, 但过量的氮肥投入会引起土壤养分失衡, 肥量残留增多, 降低羊草产量、

品质及氮肥利用效率<sup>[9-10]</sup>, 致使土壤酸化、N<sub>2</sub>O等温室气体排放等系列问题<sup>[11-12]</sup>; 施肥不足又影响植物的生长。氮肥利用率可以作为衡量氮肥施入是否合理的重要指标, 且不同土壤环境下氮肥利用效率有很大的区别<sup>[13]</sup>, 因此, 研究不同氮肥用量对植物氮素吸收与利用的影响并得出合理的施入量是科学添加氮肥的关键。大田作物玉米、水稻、麦类等氮肥利用的研究方面较多的报道<sup>[14-17]</sup>。

本试验对科尔沁典型沙化土壤上建植的羊草草地进行施氮处理, 设置不同施氮水平, 探究氮肥处理对羊草产量、土壤全氮及氮肥利用方面的影响, 确定既能保证羊草优质高产、又能确保氮素不残留的最佳氮肥量, 为科尔沁沙地人工种植羊草草地的生产提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验区概况

试验地位于内蒙古民族大学科技园区(E 122°28', N 43°63')。试验田土壤类型为沙土, 耕层土壤为20 cm。年平均气温3℃, 10℃以上积温3200℃, 无霜期145 d, 年平均降水量400 mm, 年平均风速

收稿日期: 2020-07-06; 修回日期: 2020-09-16

基金项目: 内蒙古留学人员创业创新基金(2019年立项)

作者简介: 王红静(1988-), 女, 内蒙古自治区赤峰市人, 硕士研究生。

E-mail: 786126074@qq.com

周立业为通讯作者。

E-mail: toni2002@126.com

3.7 m/s。

## 1.2 供试材料

供试材料为 2016 年人工建植的长势基本一致的羊草草地,羊草品种为吉农 1 号,采用人工条播播种方式,深度 2 cm,行距 20 cm,播种量 30 kg/hm<sup>2</sup>。每年春季返青时各小区施重过磷酸钙(磷含量为 44%)和氯化钾(钾含量为 60%)均为 200 kg/hm<sup>2</sup>,施肥后利用喷灌设施灌水。

## 1.3 试验方法

田间羊草施 N 肥试验设计:试验区采取随机区组设计,设置了 0(CK)、100、200、300、400 kg/hm<sup>2</sup> 的施氮(纯氮)量,分别用 N0、N1、N2、N3、N4 表示,试验用氮肥为尿素(氮含量为 46%)。小区面积为 12 m<sup>2</sup> (3 m × 4 m),4 次重复,共 20 个小区。于 2016—2019 年连续 4 年进行人工追施氮肥,施肥时间为 4 月 20 日和 6 月 20 日,采用撒施方式施肥,施肥后立即进行喷灌。2016 年~2018 年每年于 6 月 20 日和 9 月 20 日刈割 2 次,留茬 5 cm。本试验土样采集分别于 2019 年苗期、拔节期、抽穗期分 3 次进行,草样于 2019 年 6 月 20 日(抽穗期)进行刈割取样。

## 1.4 取样方法和测定指标

土壤全氮测定:各小区打 3 钻,取土深度为 20 cm,阴干,用四分法取其中 1 份,除去土壤中羊草根毛、石块等,过 0.25 mm 筛子备用,采用凯氏定氮仪法测定<sup>[18]</sup>。

干草产量测定:收获期在各小区随机取 2 个 1 m<sup>2</sup> 样方测定其鲜草产量,取 200 g 鲜草,称重,105℃杀青 15 min,之后 75℃烘干至恒定,称重,计算干鲜比并折

算干草产量<sup>[19]</sup>。

植株粗蛋白测定:抽穗期各小区取全株草样品 250 g 杀青,烘干,粉碎,采用凯氏定氮仪法测定氮含量<sup>[19]</sup>。

氮肥贡献率=(施氮区产量-对照区产量)/施氮区产量×100%

吸氮量=植物地上部全氮×植物地上部重量

土壤氮素依存率=对照区地上部吸氮量/施氮区地上部吸氮量×100%

氮肥农学利用率=(施氮区产量-对照区产量)/施氮量

氮肥吸收利用率=(施氮区地上部吸氮量-对照区地上部吸氮量)/施氮量×100%

氮肥生理利用率=(施氮区产量-对照区产量)/(施氮区地上部吸氮量-对照区地上部吸氮量)

氮肥偏生产力=施氮区产量/施氮量

## 1.5 数据分析

试验数据用 Microsoft Excel 2007 软件处理和制作表格,SPSS 17.0 软件进行方差显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施氮水平对土壤全氮含量的影响

羊草草地土壤苗期和拔节期各施肥处理间全氮含量无显著差异,其中拔节期和抽穗期羊草草地土壤全氮含量均随施肥量的增加呈增加趋势(表 1)。抽穗期 N4 处理土壤全氮含量显著高于 N0、N1 和 N2 处理( $P < 0.05$ )。在不施肥处理下,羊草抽穗期土壤全氮含量显著低于苗期和拔节期( $P < 0.05$ )。

表 1 不同施氮水平土壤全氮的变化

Table 1 Changes of soil total nitrogen at different nitrogen application levels

mg · g<sup>-1</sup>

施氮量	苗期	拔节期	抽穗期
N0	1.72±0.05 <sup>a/a</sup>	1.69±0.02 <sup>a/a</sup>	1.54±0.11 <sup>d/b</sup>
N1	1.76±0.05 <sup>a/a</sup>	1.78±0.13 <sup>a/a</sup>	1.68±0.03 <sup>c/a</sup>
N2	1.75±0.01 <sup>a/a</sup>	1.84±0.32 <sup>a/a</sup>	1.77±0.1 <sup>bc/a</sup>
N3	1.76±0.11 <sup>a/a</sup>	1.91±0.11 <sup>a/a</sup>	1.84±0.02 <sup>ab/a</sup>
N4	1.8±0.06 <sup>a/a</sup>	1.93±0.11 <sup>a/a</sup>	1.91±0.03 <sup>a/a</sup>

注:/前不同小写字母表示不同施肥间差异显著( $P < 0.05$ ),/后不同小写字母表示生育期间差异显著( $P < 0.05$ )

### 2.2 不同施氮水平对羊草干草产量的影响

羊草草产量随着施肥水平的增加呈先增加后降低趋势(图 1)。N1 水平下草产量显著高于 N0 水平( $P < 0.05$ ),N2 和 N4 水平间草产量无显著差异,显著低

于 N3 水平( $P < 0.05$ ),显著高于 N1 水平( $P < 0.05$ )。根据羊草干草产量与施肥量,得回归方程为: $y = -0.073x^2 + 45.21x + 3808$ ,通过方程分析施氮肥水平在 309.66 kg/hm<sup>2</sup> 草产量达到最高。

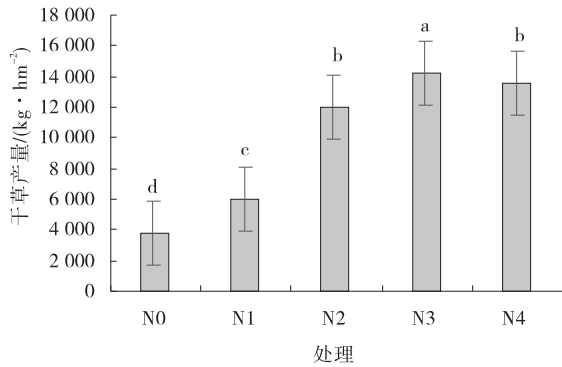


图 1 不同施氮水平羊草干草产量

Fig. 1 Yield of *Leymus chinensis* in response to different nitrogen application levels

### 2.3 不同施氮水平对羊草全株粗蛋白含量的影响

羊草全株粗蛋白含量随着施肥水平的增加呈增加趋势(图 2)。N0、N1 和 N2 水平间羊草全株粗蛋白含量无显著性差异, N4 水平下羊草全株粗蛋白含量最高, 显著高于 N0、N1 和 N2 水平( $P < 0.05$ ), 与 N3 水平下全株粗蛋白含量无显著性差异( $P > 0.05$ )。

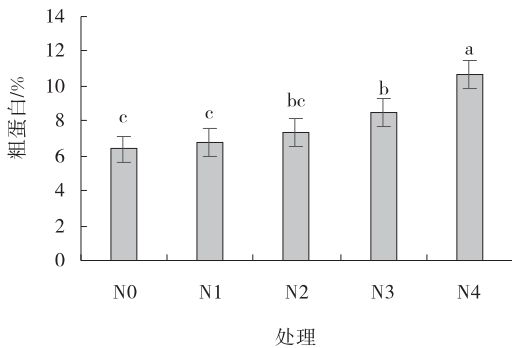


图 2 不同施氮水平羊草全株粗蛋白含量

Fig. 2 Crude protein content at the whole plant level of *Leymus chinensis* in response to different nitrogen application levels

### 2.4 不同施氮水平对氮肥贡献率与土壤氮素依存率的影响

氮肥贡献率随施氮水平的增加呈先增加再降低的趋势, 其中 N3 水平氮肥贡献率最高, 显著高于 N1 水平( $P < 0.05$ )(表 2)。土壤氮素依存率随施氮水平的增加呈下降趋势, 其中 N1 水平土壤氮素依存率显著高于其他施肥水平( $P < 0.05$ )。

表 2 不同施氮水平氮肥贡献率与土壤氮素依存率

Table 2 Contribution rate of nitrogen fertilizer and soil nitrogen dependence rate at different nitrogen application levels

施氮量	氮肥贡献率	土壤氮素依存率
N0		
N1	36.00 ± 3.87 <sup>b</sup>	62.66 ± 4.15 <sup>a</sup>
N2	67.17 ± 8.59 <sup>a</sup>	28.62 ± 4.56 <sup>b</sup>
N3	73.15 ± 3.79 <sup>a</sup>	20.33 ± 3.83 <sup>c</sup>
N4	71.90 ± 3.09 <sup>a</sup>	16.81 ± 1.70 <sup>c</sup>

### 2.5 不同施氮水平对氮肥利用率的影响

氮肥农学利用率随着施肥水平的增加呈先升高再降低的趋势, 其中 N2 水平氮肥农学利用率最高, 显著高于 N1 水平( $P < 0.05$ )。氮肥吸收利用率随着施肥水平的增加呈先升高再降低的趋势, 其中 N3 水平氮肥吸收利用率达到最大, 显著高于 N1 水平( $P < 0.05$ )。氮肥生理利用率随着施肥水平的增加呈下降趋势, 其中 N4 水平氮肥生理利用率显著低于 N2 和 N3 水平( $P < 0.05$ )。N1 水平氮肥生理利用率显著高于其他施肥水平( $P < 0.05$ ); 氮肥偏生产力随着施肥水平的增加呈下降趋势, 其中 N4 水平氮肥偏生产力显著低于其他施肥水平( $P < 0.05$ )(表 3)。

表 3 不同施氮水平氮肥利用率

Table 3 Nitrogen utilization efficiency in response to different nitrogen application levels

施氮量	氮肥农学利用率	氮肥吸收利用率	氮肥生理利用率	氮肥偏生产力
N0				
N1	22.33 ± 2.43 <sup>c</sup>	16.74 ± 5.02 <sup>b</sup>	18.04 ± 1.47 <sup>a</sup>	60.42 ± 6.57 <sup>a</sup>
N2	40.76 ± 4.95 <sup>a</sup>	31.98 ± 8.84 <sup>a</sup>	12.92 ± 1.74 <sup>b</sup>	59.8 ± 10.45 <sup>a</sup>
N3	34.66 ± 2.41 <sup>b</sup>	32.73 ± 2.9 <sup>a</sup>	10.84 ± 0.76 <sup>b</sup>	47.36 ± 0.83 <sup>b</sup>
N4	24.33 ± 0.75 <sup>c</sup>	30.22 ± 5.46 <sup>a</sup>	8.11 ± 0.39 <sup>c</sup>	33.85 ± 0.67 <sup>c</sup>

### 2.6 各指标间相关性分析

氮肥贡献率、氮肥吸收利用率与其产量呈极显著正相关, 说明氮肥吸收利用率越高, 产量越大, 氮肥贡献率越大。土壤氮素依存率、氮肥生理利用率与其产量呈极

显著负相关, 说明如果产量较低时, 不施肥总吸氮量会较大于施肥总吸氮量, 则施肥没有促进其增产增效。拔节期土壤全氮和收获期土壤全氮与其干草产量呈显著正相关, 说明生长时土壤全氮越高, 草产量越高(表 4)。

表 4 各指标间相关性分析

Table 4 Correlation Analysis of indicators

	产量	苗期土壤全氮	拔节期土壤全氮	收获期土壤全氮	氮肥贡献率	土壤氮素依存率	氮肥农学利用率	氮肥吸收利用率	氮肥生理利用率	氮肥偏生产力
产量	1									
苗期土壤全氮	0.32	1								
拔节期土壤全氮	0.92*	0.62	1							
收获期土壤全氮	0.89*	0.72	0.98**	1						
氮肥贡献率	0.99**	0.29	0.89*	0.87	1					
土壤氮素依存率	-0.99**	-0.41	-0.94*	-0.92*	-0.99**	1				
氮肥农学利用率	0.49	-0.6	0.12	0.06	0.55	-0.44	1			
氮肥吸收利用率	0.96**	0.1	0.78	0.75	0.98**	-0.95*	0.71	1		
氮肥生理利用率	-0.93*	-0.64	-0.97**	-0.99**	-0.92*	0.96**	-0.19	-0.83	1	
氮肥偏生产力	-0.66	-0.90*	-0.89*	-0.93*	-0.62	0.71	0.32	-0.45	0.87	1

### 3 讨论

羊草自身不具备固氮能力,外界提供氮素的多少决定了羊草能利用氮素量的高低。前人的研究表明,施用氮肥可以显著提高羊草产量,且可以有效提高草产品品质,但是过量施用氮肥会增加生产成本,降低增产效益<sup>[20]</sup>。因此,在人工羊草草地的建植中,追施氮肥是一项必要的举措,其中,施肥量是一个技术难点,需要综合考虑环境、成本等问题。胡冬雪等<sup>[21]</sup>研究表明氮肥不仅能够提高草产量,而且能够提高羊草氮吸收量。本试验结果表明科尔沁沙地施氮量为 309.66 kg/hm<sup>2</sup>时羊草草产量最高,植株粗蛋白含量随着施氮水平的增加而增加,说明施肥可以显著改善羊草营养结构且可以提高羊草产量。

明确人工羊草草地氮肥吸收利用情况是合理施肥的重要条件之一。氮肥施入后会受环境等各方面的影响而有不同程度的挥发、流失等。土壤全氮含量在一定程度上反映着土壤的营养水平。本研究中,各水平施肥处理下羊草苗期至抽穗期土壤全氮含量的变化差异不显著,说明各施肥水平下干草产量的增加也随之带走同比例的氮素,致使各施肥水平下羊草草地土壤全氮含量在羊草收获后差异不显著。前人研究表明,作物地上部分的生物量与肥料施入量之间并不是简单的线性关系,而是存在着一定的阈值。孙志广等<sup>[22]</sup>在饲用燕麦氮肥研究中发现氮肥的增加可以提高植物的氮肥利用率,并得出合理的施氮量。本试验中,氮肥对羊草的贡献率随着施氮量的增加呈现逐渐增加的趋势,并在 N4 水平下达到最大,而氮肥利用率

则呈现先增加后降低的趋势,并且在 N2 水平下达到最大,以上试验结果表明氮肥利用率、氮肥农学利用和氮肥吸收利用率都在 N3 处理下达到最大,且相关分析表明,氮肥利用率与其草产量呈显著正相关,表明 N3 施肥水平是科尔沁沙地最适宜的施肥量。

### 4 结论

N3 水平处理下氮肥吸收利用率和氮肥贡献率最大,且氮肥农学利用率较高。通过回归方程分析表明施肥量为 309.66 kg/hm<sup>2</sup>时羊草干草产量最优,此时收获羊草干草粗蛋白含量较高,且土壤残留氮素较低,能够最大限度的利用氮素而不造成环境污染,可以作为科尔沁沙地人工羊草草地的最佳施肥量。

#### 参考文献:

- [1] LI Z, LIN J, ZHANG T, *et al.* Effects of Summer Nocturnal Warming on Biomass Production of *Leymus chiuensis* in the Songnen Grassland of China: From Bud Bank and Photosynthetic Compensation [J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2014, 200(1): 66-76.
- [2] 王仁忠. 放牧影响下羊草草地主要植物种群生态位宽度与生态位重叠的研究[J]. *植物生态学报*, 1997, 21(4): 304-311.
- [3] 王玉辉, 何兴元, 周广胜. 放牧强度对羊草草原的影响[J]. *草地学报*, 2002, 10(1): 45-49.
- [4] 丛百明, 张玉霞, 王显国, 等. 施氮量对沙地羊草叶片非结构碳氮的影响[J]. *草原与草坪*, 2019, 39(3): 50-55.
- [5] 李建东. 我国的羊草草原[J]. *吉林师范大学学报(自然科学版)*, 1979(3): 145-151.
- [6] 姚骅, 陆建华, 蔡立群, 等. 玛曲退化草地主要植被特征对

- 不同施肥处理的响应[J]. 甘肃农业大学学报, 2009, 44(1): 127-131.
- [7] 杨娟. 施肥对两种轮作牧草的产量和品质效果及其机理研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [8] 董晓兵, 郝明德, 郭胜安, 等. 施肥对羊草产量和品质的影响[J]. 草业科学, 2014(10): 1935-1942.
- [9] 李本银, 汪金舫, 赵世杰, 等. 施肥对退化草地土壤肥力、牧草群落结构及生物量的影响[J]. 中国草地, 2004, 26(1): 15-18+34.
- [10] 胡冬雪, 王建丽, 潘多锋, 等. 施氮肥对羊草栽培草地生产性能及品质的影响[J]. 中国草地学报, 2017, 39(1): 35-41.
- [11] Grant R F, Pattey E, Goddard T W, *et al.* Modeling the effects of fertilizer application rate on nitrous oxide emissions[J]. Soil Science Society of America Journal, 2006, 70(1): 235-248.
- [12] 苏成国, 尹斌, 朱兆良, 等. 稻田氮肥的氨挥发损失与稻季大气氮的湿沉降[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1884-1888.
- [13] 德科加, 周青平, 刘文辉, 等. 施氮量对青藏高原燕麦产量和品质的影响[J]. 中国草地学报, 2007, 29(5): 43-48.
- [14] 江生泉, 李德荣, 韩建国, 等. 春季分施氮肥对新麦草种子产量及氮肥利用率的影响[J]. 草地学报, 2008, 30(5): 512-517.
- [15] 刘爱云, 高建国, 杨正华. 机械侧深施肥对水稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 上海农业科技, 2020(3): 86-87.
- [16] 赵准, 李剑, 宋瑞娇, 等. 施氮量对青贮大麦生产性能、氮肥利用率和品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(5): 910-917.
- [17] 张玉芹, 高聚林, 杨恒山, 等. 高产栽培下施氮水平对春玉米氮素吸收与利用的影响[J]. 玉米科学, 2011, 19(3): 121-125.
- [18] 蔺芳, 刘晓静, 张家洋. 紫花苜蓿与多年生黑麦草不同种植模式下沙化土壤碳、氮含量和酶活性研究[J]. 草原与草坪, 2019, 39(3): 43-49.
- [19] 田永雷, 张玉霞, 朱爱民, 等. 施氮对科尔沁沙地饲用燕麦产量及氮肥利用率的影响[J]. 草原与草坪, 2018, 38(5): 54-58.
- [20] 苏富源, 郝明德, 郭慧慧, 等. 施用氮肥对人工羊草草地产量及养分吸收的影响[J]. 草地学报, 2015, 23(4): 893-896.
- [21] 胡冬雪, 王建丽, 潘多锋, 等. 施氮肥对羊草栽培草地生产性能及品质的影响[J]. 中国草地学报, 2017, 39(1): 35-41.
- [22] 韩宝吉, 曾祥明, 卓光毅, 等. 氮肥施用措施对湖北中稻产量、品质和氮肥利用率的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(4): 842-850.
- [23] 孙志广, 王宝祥, 杨波, 等. 施氮量对不同水稻品种氮肥利用率和农艺性状的影响[J]. 江西农业学报, 2019, 31(12): 23-28.

## Effects of nitrogen application on yield and nitrogen use efficiency of *Leymus chinensis* in Horqin sandy land

WANG Hong-jing<sup>1</sup>, MA Jin-bao<sup>1</sup>, CONG Bai-ming<sup>2</sup>, ZHOU Li-ye

(1. College of Agriculture, Inner Mongolia University for nationalities, 2. Tongliao Animal Husbandry and Veterinary Science Institute Inner Mongolia Tongliao 028000)

**Abstract:** This study aimed to explore the effects of different nitrogen levels on the yield and nitrogen use efficiency of *Leymus chinensis* (Trin.) grown in artificial sandy grassland, together with the change in soil total nitrogen. Four different N levels (100, 200, 300 and 400 kg/hm<sup>2</sup>) were applied with nil-N as the control (CK). The result showed that along with the increased nitrogen levels, the yield of *Leymus chinensis* (Trin.) initially

increased then became steady, with the highest yield observed at a nitrogen rate of 309.66 kg/hm<sup>2</sup>. The regression equation of hay yield against nitrogen application was  $y = -0.073x^2 + 45.21x + 3808$ . The crude protein content of *Leymus chinensis* (Trin.) plants increased along with the increased nitrogen levels. The highest nitrogen use efficiency was found at N3. Total soil nitrogen content, the contribution rate of nitrogen, nitrogen absorption rate were significantly positively correlated with the yield of *Leymus chinensis* (Trin.). Nitrogen application could improve the crude protein level of *Leymus chinensis* hay, and the level of nitrogen application affected the amount of residual nitrogen in soil. In this experiment, the optimum yield of *Leymus chinensis* hay was observed at 309.66 kg/hm<sup>2</sup>, which can be used as the best fertilization amount for artificial *Leymus chinensis* grassland in Horqin sandy land.

**Key words:** *Leymus chinensis* grassland; nitrogen use efficiency; Horqin sandy land

(上接 46 页)

## Optimization of extraction for extracellular polysaccharides produced by rhizobium through boron treatment

CHEN Yong-gang, SHI Shang-li, ZHANG Gao-ning, ZANG cong-yu,  
MA Hui-jin, LI Zi-li, ZHANG Hui-hui, LI Xing-long, ZHOU Tong,  
CHEN Jian-gang

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Education Ministry/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Extracellular polysaccharides secreted by alfalfa rhizobium can, at the time of infection, weaken the defense responses of host plants. This would promote the colonization of rhizobia and endogenously grow in seeds by forming a symbiosis between seeds and rhizobia, leading to the enhanced nodulation and nitrogen fixation of alfalfa seedlings germinated from those seeds. To study the effects of boron treatments on the extraction for extracellular polysaccharides produced by rhizobia 12531f, an appropriate boron concentration was determined. Under the optimum boron concentration, the volume fraction of trichloroacetic acid, time of alcohol precipitation, and volume of alcohol for precipitation. Our results showed that the production of extracellular polysaccharides by strain 12531f was significantly increased under 1 mg L<sup>-1</sup> boron. Through the L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) orthogonal test, the extracellular polysaccharide excreted by rhizobium 12531f increased by 57% (to a value of 33.23 μg/mL) compared with before optimization, when the volume of alcohol for precipitation was increased from two times to three times, under 10% trichloroacetic acid with an alcohol precipitation time of 24 h. The purification of extracellular polysaccharides provides important foundation for the identification and analysis of its structural in future.

**Key words:** boron; rhizobia; extracellular polysaccharides; orthogonal design