

施氮量对沙地羊草叶片非结构碳氮的影响

丛百明¹, 张玉霞¹, 王显国², 朱爱民¹, 田永雷¹, 张庆昕¹

(1. 内蒙古民族大学, 内蒙古 通辽 028041; 2. 中国农业大学 动物科技学院, 北京 100083)

摘要:在人工建植的沙地羊草草地设不同水平 N 肥(0、100、200、300、400 kg/hm²)处理, 分别用 N0、N1、N2、N3、N4 表示, 研究不同 N 肥水平对沙地羊草叶片非结构碳氮的影响。结果表明: 施氮可增加羊草叶片可溶性糖含量; 随氮肥施入水平的增加, 沙地羊草上部叶片的淀粉含量呈降低的变化趋势, 第 2 茬沙地羊草下部叶片的淀粉含量呈先增加后降低的趋势; 施 N 可显著增加沙地羊草叶片的可溶性蛋白含量($P < 0.05$), 亦可增加第 1 茬羊草叶片的游离氨基酸含量; 沙地羊草叶片 C/N 均随施氮的增加呈先降低后增加的变化趋势, 上部叶片在 N1 水平下的 C/N 最小, 试验得出 N1(100 kg/hm²)水平为该地最佳施氮量。

关键词:沙地; 施氮; 羊草; 非结构碳氮; C/N

中图分类号:S543 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)03-0050-06

羊草(*Leymus chiueusis*)又称碱草, 是多年生根茎型植物, 隶属禾本科赖草属^[1], 是欧亚大陆半干旱半湿润区所特有的牧草, 也是欧亚大陆草原带东端植被建群物种^[2-3]。内蒙古草原不仅是欧亚大陆草原的主要组成部分, 其物种组成和群落结构也是我国温带草原的典型代表^[4], 羊草在东北草原和内蒙古草原经常形成大面积的单优种植被^[5-7]。在长期环境选择压力下, 羊草对不同生境表现出较强的适应能力, 具有抗寒冷、抗干旱、耐盐碱等特性^[8]。此外, 羊草具有产量高、蛋白质含量高、适口性好、再生力强、持绿期长、叶量多等特性, 是一种优质高产的牧草资源, 目前在发展人工草地、改良退化草原、发展草原畜牧业等方面占重要地位^[9-12]。

非结构碳主要包括淀粉、可溶性糖等水溶性糖类, 是植物生长代谢过程中重要的能量供应物质, 植物组

织中非结构碳的变化在很大程度上决定着植株的代谢强弱和生长状况^[13-15]。分析植物体内非结构碳的变化, 可以在一定程度上为揭示植物对某一特定因素的适应机理提供理论依据, 而氮素是同化作用器官的重要组成部分。有关施氮对植物体内非结构碳氮的研究很多, 李淑文等^[16]研究报道, 施用氮肥直接影响小麦体内的淀粉、可溶性糖等的含量, 进而影响产量和品质。路文静等^[17]研究结果表明, 适宜的施氮水平下植物体中可溶性蛋白含量较高。诸多研究结果仅对施 N 后植物体内可溶性糖、可溶性蛋白等指标独立分析, 具有局限性。

科尔沁沙地降水量少、土壤沙化瘠薄, 制约着羊草人工草地的栽培和潜在产量发挥, 有关施 N 对沙地羊草叶片非结构碳氮的影响相关报道较少。对人工建植的沙地羊草草地施不同水平 N 肥, 探究不同 N 水平对沙地羊草叶片非结构碳氮的影响, 为该地羊草草地的建植提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验区自然概况

试验地设在内蒙古自治区通辽市内蒙古民族大学农业试验站, N 122°28', E 43°63', 温带半干旱大陆性气候。试验田土壤类型为沙土, 耕层土壤为 20 cm, pH 为 8.3, 土壤有机质含量 0.64%, 全氮含量

收稿日期: 2018-11-13; 修回日期: 2019-03-25

基金项目: 内蒙古自治区科技储备项目(2018MDCB03-02); 内蒙古自治区饲料作物工程技术研究中心项目(NMK2018037)资助

作者简介: 丛百明(1996-), 男, 在读硕士。

E-mail: 1370102264@qq.com

张玉霞为通讯作者。

E-mail: yuxiazhang685@163.com

0.036%, 碱解氮含量 35.37 mg/kg, 速效钾含量 77.51 mg/kg, 速效磷含量 3.71 mg/kg。年平均气温 3℃, 10℃以上积温 3 100℃, 无霜期 145 d, 年平均降水量 375 mm, 蒸发量是降水量的 5 倍, 年平均风速 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翌年羊草, 羊草品种为吉农 1 号。

1.3 试验方法

田间羊草施 N 肥设计: 试验区采取随机区组设计, 设置了 0(CK), 100, 200, 300, 400 kg/hm² 的施氮(纯氮)量, 分别用 N0、N1、N2、N3、N4 表示, 试验中用到的氮肥为尿素(氮含量为 46%), 重过磷酸钙(磷含量为 44%)和氯化钾(钾含量为 60%), 同时每个处理均施磷肥(P₂O₅) 200 kg/hm², 钾肥(纯钾) 200 kg/hm²。小区面积为 13 m×4 m, 3 次重复, 共 15 个小区。于 2017 年的 4 月 20 日、5 月 20 日、7 月 5 日、8 月 25 日进行人工追施氮肥, 每次追施氮肥用量均为全年用氮量的 25%; 4 月 20 日和 7 月 5 日分别追施全年磷肥和钾肥施用量的 50%; 所有肥料采用撒施方式施肥, 施肥后立即进行漫灌。于 6 月 20 日进行第 1 茬刈割, 9 月 25 日进行第 2 茬刈割, 分别进行上部叶片(旗叶和倒二叶)和下部叶片(倒三叶和倒四叶)非结构碳氮含量的测定。

1.4 测定指标及方法

可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定^[18-19]; 可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定^[20]; 淀粉含量采用蒽酮比色法测定^[20]; 游离氨基酸含量采用茚三酮染色法测定^[21]; C/N=(可溶性糖含量+淀粉含量)/(游离氨基酸含量+可溶性蛋白质含量)^[22]。

1.5 数据分析

用 Microsoft Excel 2003 软件处理试验数据、作图和制作表格, SPSS 17.0 软件进行方差显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同 N 肥水平对沙地羊草叶片中非结构碳的影响

2.1.1 不同 N 肥水平对沙地羊草叶片中可溶性糖含量的影响 刈割第 1 茬的沙地羊草上部叶和下部叶片可溶性糖含量最高的均是 N3 水平, 均显著高于 N0,

N1 和 N2 水平下沙地羊草叶片可溶性糖含量($P < 0.05$)。沙地羊草下部叶片可溶性糖含量最低的是 N1 水平, 含量为 7.60 mg/g(图 1, 2)。

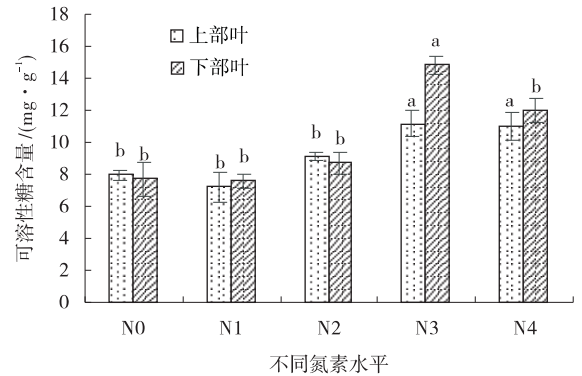


图 1 不同 N 肥水平处理下第 1 茬沙地羊草叶片的可溶性糖含量

Fig. 1 Soluble sugar contents in leaf of *Leymus chinensis* in first cut under different treatments

注: 不同小写字母表示同部位叶片不同氮肥水平间差异显著水平($P < 0.05$), 下同

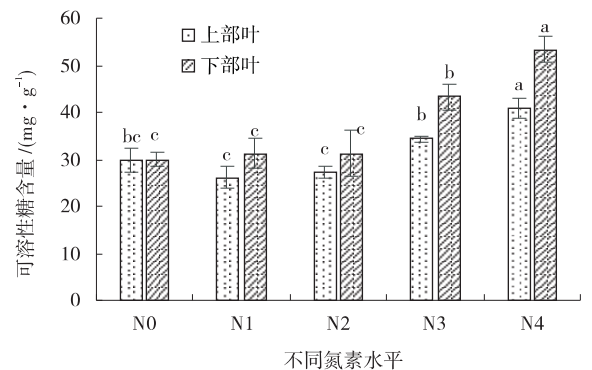


图 2 不同 N 肥水平处理下第 2 茬沙地羊草叶片的可溶性糖含量

Figure 2 Soluble sugar contents in leaf of *Leymus chinensis* in second cut under different treatments

刈割第 2 茬沙地羊草上部叶片中可溶性糖含量均低于下部叶片。沙地羊草上部叶片中可溶性糖含量随施 N 水平的增加呈先降低后增加的趋势, N1 水平下沙地羊草上部叶片中可溶性糖含量最低, 为 26.11 mg/g, 显著低于 N3 和 N4 水平($P < 0.05$)。N4 水平下沙地羊草上部叶片中可溶性糖含量最高, 达到 40.76 mg/g, 显著高于其他 N 水平($P < 0.05$)。随施 N 水平的增加, 第 2 茬沙地羊草下部叶片中可溶性糖含量呈逐渐增加趋势。未施 N 条件下, 沙地羊草下部叶片中可溶性糖含量为 30.00 mg/g, 显著低于 N3 和 N4 水平下沙地羊草叶片中的可溶性糖含量($P < 0.05$)。N4 水平下沙地羊草下部叶片中可溶性糖含量

最高,达到 53.33 mg/g。

2.1.2 不同 N 肥水平对沙地羊草叶片中淀粉含量的影响 第 1 茬沙地羊草上部叶片中淀粉含量均低于下部叶片。随施 N 水平的增加,沙地羊草上部叶片中淀粉含量呈逐渐降低的趋势,N0 水平显著高于其他 N 水平处理下沙地羊草叶片中的淀粉含量($P < 0.05$)。N1, N2 和 N3 水平下沙地羊草上部叶片中淀粉含量差异不显著($P > 0.05$)。第 1 茬沙地羊草下部叶片中淀粉含量最高的是 N0 水平,达到 25.22 mg/g,显著高于其他施 N 水平($P < 0.05$)。N1、N2、N3 和 N4 水平下沙地羊草下部叶片中淀粉含量差异不显著($P > 0.05$) (图 3)。

第 2 茬沙地羊草下部叶片中淀粉含量均高于上部叶片。沙地羊草上部叶片中淀粉含量随施氮水平的增加呈先增加后降低的趋势。N1 水平显著高于其他水平下的沙地羊草上部叶片中的淀粉含量($P < 0.05$)。N4 水平下沙地羊草上部叶片中的淀粉含量最低,为 12.08 mg/g,显著低于其他水平($P < 0.05$)。N0, N2 和 N3 水平下沙地羊草上部叶片中淀粉含量差异不显著($P > 0.05$),分别是 14.52 mg/g, 15.02 mg/g 和 13.16 mg/g。

随施氮水平的增加,第 2 茬沙地羊草下部叶片中淀粉含量呈先降低后增加的趋势,N0 水平下沙地羊草下部叶片中淀粉含量最高,达到 33.08 mg/g,显著高于其他施 N 水平下沙地羊草下部叶片中的淀粉含量($P < 0.05$)。N1、N4 水平显著大于 N3 水平下的羊草下部叶片中淀粉含量($P < 0.05$,图 4)。

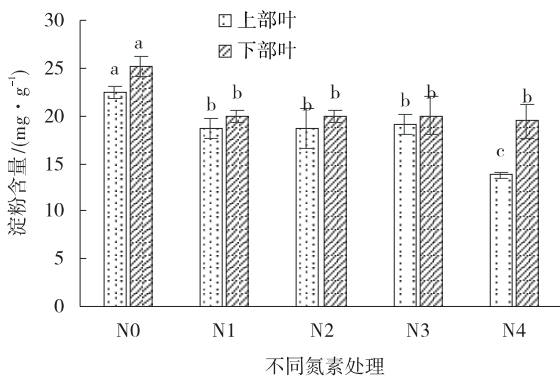


图 3 不同 N 肥水平处理下第 1 茬沙地羊草叶片的淀粉含量

Fig. 3 Starch contents in leaf of *Leymus chinensis* in first cut under different treatments

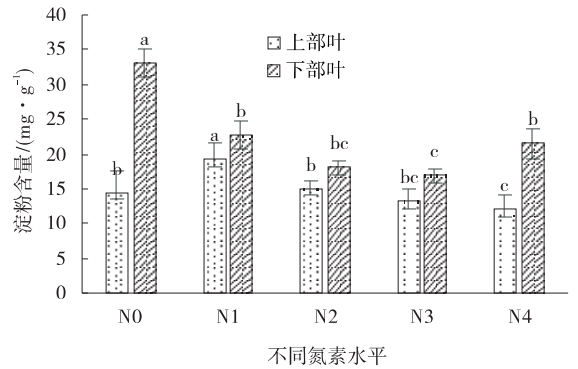


图 4 不同 N 肥水平处理下第 2 茬沙地羊草叶片的淀粉含量

Fig. 4 Starch contents in leaf of *Leymus chinensis* in second cut under different treatments

2.2 不同 N 肥水平对沙地羊草叶片中非结构氮的影响

2.2.1 不同 N 肥水平对沙地羊草叶片中可溶性蛋白含量的影响 第 1 茬沙地羊草上部叶片中可溶性蛋白含量均高于下部叶。第 1 茬 N0 水平下沙地羊草上部叶片中可溶性蛋白含量显著低于其他 N 水平($P < 0.05$)。N1 水平下沙地羊草上部叶片中的可溶性蛋白含量最高,为 17.31 mg/g。N2, N3 和 N4 水平下沙地羊草上部叶片中的可溶性蛋白含量差异不显著($P > 0.05$)。第 1 茬沙地羊草下部叶片中可溶性蛋白含量随施 N 水平的增加呈先增加后降低的变化。N2 水平下沙地羊草下部叶片中可溶性蛋白含量最高(图 5)。

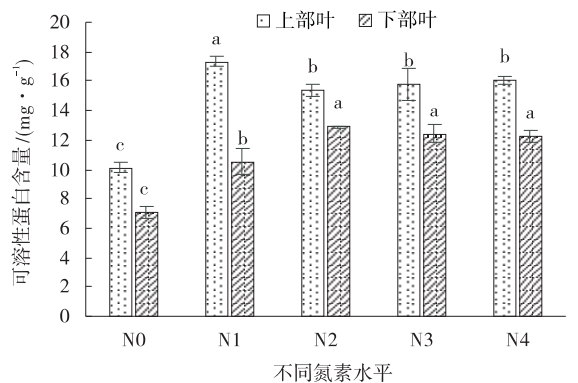


图 5 不同 N 肥水平处理下第 1 茬沙地羊草叶片的可溶性蛋白含量

Fig. 5 Soluble protein contents in leaf of *Leymus chinensis* in first cut under different treatments

第 2 茬沙地羊草上部叶片中可溶性蛋白含量高于下部叶片,随施 N 水平的增加呈先增加后降低的趋势,其中 N1 水平下沙地羊草上部叶片中可溶性蛋白含量最高,为 32.35 mg/g,显著高于其他 N 水平下沙

地羊草上部叶片中的可溶性蛋白含量($P < 0.05$)。N0水平下沙地羊草上部叶片中可溶性蛋白含量最低,为19.01 mg/g。N2、N3和N4水平下沙地羊草上部叶片中可溶性蛋白含量差异不显著($P > 0.05$)。N0和N1水平下沙地羊草下部叶片中可溶性蛋白含量较低,分别为17.52 mg/g和17.76 mg/g,均显著低于其他N水平下沙地羊草叶片中的可溶性蛋白含量($P < 0.05$)。N2、N3和N4水平下沙地羊草下部叶片中可溶性蛋白含量差异不显著($P > 0.05$,图6)。

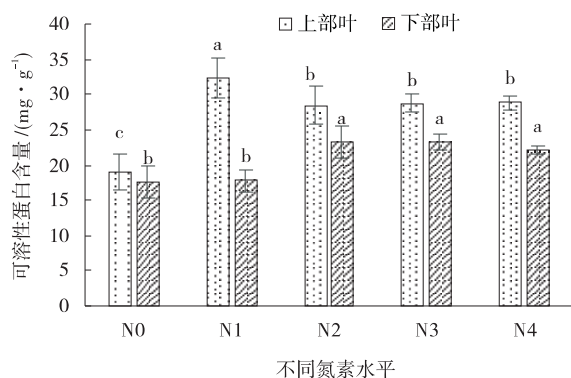


图6 不同N肥水平处理下第2茬沙地羊草叶片的可溶性蛋白含量

Fig. 6 Soluble protein contents in leaf of *Leymus chinensis* in second cut under different treatments

2.2.2 不同N肥水平对沙地羊草叶片中游离氨基酸含量的影响 除N1水平外,其他N水平下第1茬沙地羊草上部叶片中游离氨基酸含量均高于下部叶。N0和N1水平下第1茬沙地羊草上部叶片中游离氨基酸含量较低,分别为1.17和1.15 mg/g。N3和N4水平下沙地羊草上部叶片游离氨基酸含量较其他N水平差异不显著($P > 0.05$)。第1茬沙地羊草下部叶片中游离氨基酸含量最高的是N1水平,达到1.34 mg/g,显著高于N0、N3和N4水平($P < 0.05$),其次是N2水平下沙地羊草上部叶片中游离氨基酸含量较高(图7)。

除N0水平外其他N水平下第2茬沙地羊草上部叶片中游离氨基酸含量均小于下部叶。第2茬沙地羊草上部叶片中游离氨基酸含量最高的是N0水平,为0.86 mg/g,显著高于其他N水平下沙地羊草上部叶片中的游离氨基酸含量($P < 0.05$)。N1、N2、N3和N4水平下沙地羊草上部叶片中游离氨基酸含量差异不显著($P > 0.05$),分别是0.60、0.65、0.61 mg/g和

0.63 mg/g。N0水平下第2茬沙地羊草下部叶片中游离氨基酸含量最低,为0.42 mg/g,显著低于其他N水平下沙地羊草上部叶片中的游离氨基酸含量($P < 0.05$)。N1、N2和N3水平下沙地羊草下部叶片中游离氨基酸含量差异不显著($P > 0.05$),分别是0.82、0.81和0.83 mg/g。N4水平下沙地羊草下部叶片中游离氨基酸含量最高(图8)。

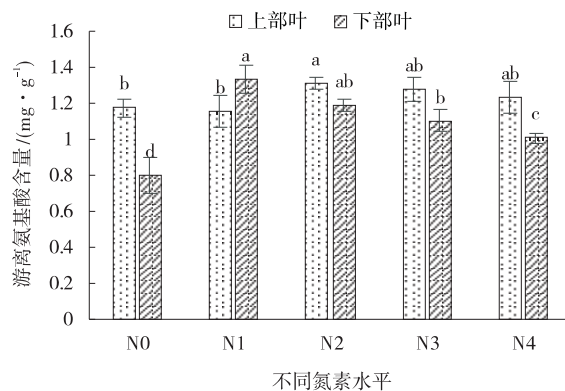


图7 不同N肥水平处理下第1茬沙地羊草叶片的中游离氨基酸含量

Fig. 7 Contents of free amino acids in leaf of *Leymus chinensis* in first cut under different treatments

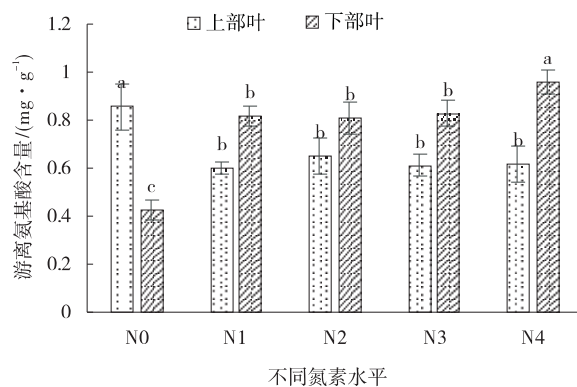


图8 不同N肥水平处理后第2茬沙地羊草叶片中游离氨基酸含量

Fig. 8 Contents of free amino acids in leaf of *Leymus chinensis* in second cut under different treatments

2.3 不同N肥水平对沙地羊草叶片中C/N的影响

随施氮水平的增加,第1茬、第2茬沙地羊草叶片C/N均呈先降低后增加的趋势,沙地羊草上部叶片中C/N最高的均是未施氮处理,显著高于其他N水平($P < 0.05$),上部叶片中N1水平下沙地羊草叶片C/N最小,分别为1.40和1.38。下部叶片C/N最高的亦是N0水平,其次是N4水平,N2水平下沙地羊草叶片C/N最低(表1)。

表 1 不同 N 肥水平处理下沙地羊草叶片的 C/N

Table 1 Changes in C/N ratio in *Leymus chinensis* leaf under different treatments

处理	第 1 茬		第 2 茬	
	上部叶	下部叶	上部叶	下部叶
N0	2.69±0.19 ^a	4.18±0.24 ^a	2.23±0.15 ^a	3.52±0.31 ^a
N1	1.40±0.11 ^c	2.33±0.17 ^b	1.38±0.07 ^c	2.90±0.18 ^b
N2	1.66±0.09 ^{bc}	2.04±0.14 ^b	1.45±0.11 ^{bc}	2.04±0.15 ^c
N3	1.77±0.14 ^b	2.10±0.17 ^b	1.61±0.15 ^b	2.49±0.11 ^{bc}
N4	1.78±0.12 ^b	2.54±0.21 ^b	1.79±0.17 ^b	3.25±0.26 ^{ab}

注:不同小写字母表示同部位叶片不同氮肥水平间差异显著水平($P < 0.05$),相同小写字母表示差异不显著($P > 0.05$)

3 讨论

碳元素和氮元素是植物体内两大重要元素,碳、氮代谢是植物体内最主要的两大代谢过程,可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白和游离氨基酸是碳氮代谢过程的重要参与物质^[23]。结果表明施氮在一定程度上增强沙地羊草叶片中的可溶性糖含量,而随施 N 水平的增加,第 1 茬沙地羊草上部叶片中淀粉含量呈降低的变化趋势,第 2 茬沙地羊草下部叶片中淀粉含量呈先降低后增加的趋势,推断淀粉含量减少主要由于施氮后羊草叶片中的淀粉向糖类物质转化的结果。许多植物衰老叶片中丧失的蛋白质主要是可溶性蛋白,因此,叶片自然衰老过程中可溶性蛋白含量的变化可以作为叶片衰老程度的指标^[24]。试验表明不同施 N 水平下第 1 茬、第 2 茬沙地羊草叶片中可溶性蛋白含量均显著高于未施 N 处理,且均在 N1 水平下沙地羊草上部叶片中含量最高,说明 N1 水平下羊草叶片中可溶性蛋白合成条件最佳,有利于羊草植株生长。试验中施氮显著增加第 1 茬羊草叶片中的游离氨基酸含量,其中 N1 和 N2 水平羊草叶片中游离氨基酸含量较大,第 2 茬羊草上部叶片中氨基酸含量减少,下部叶片中游离氨基酸含量较未施氮显著增加,游离氨基酸含量总体呈增加趋势。

使用 C/N 作为一项指标,可反映出碳、氮各自库源的相对丰缺程度及其对作物生长发育的影响,从而为更好地调控作物生育进程提供理论依据。试验表明,随施氮量的增加羊草叶片 C/N 呈先降低后升高的变化趋势,上部叶片中 N1 水平下沙地羊草叶片 C/N 最小,由于植物积累有机物的功能叶主要是上部叶,因此,推断 N1 水平是该地区建植人工羊草草地的最佳的施氮量。

4 结论

施氮可增加羊草叶片中可溶性糖含量,也显著增加了沙地羊草叶片可溶性蛋白含量,上部叶片中 N1 水平下沙地羊草叶片 C/N 最小,氮代谢水平高于碳代谢,有利于羊草叶片有机物合成,试验得出 N1(100 kg/hm²)水平为该地区最佳施氮量。

参考文献:

- [1] LI Z, LIN J, ZHANG T, *et al.* Effects of Summer Nocturnal Warming on Biomass Production of *Leymus chinensis* 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] 刘兴元, 龙瑞军, 尚占环. 草地生态系统服务功能及其价值评估方法研究[J]. 草业学报, 2011, 20(1): 167-174.
- [3] 李政海, 王伟, 刘钟龄. 退化草原围封恢复过程中草场质量动态的研究[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1995, 26(3): 334-327
- [4] 梁燕, 韩国栋, 周禾, 等. 羊草草原退化程度判定的植物群落学指标[J]. 草地学报, 2006, 14(4): 343-348.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 陈默君, 贾慎修. 中国饲料植物[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 194-198.
- [8] 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.
- [9] 郭本兆. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [10] 陈佐忠, 汪诗平. 中国典型草原生态系统[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2000.
- [11] 祝廷成. 羊草生物生态学[M]. 长春: 吉林科学技术出版

- 社,2004.
- [12] WANG Y,ZHOU G,WANG Y. Modeling responses of the meadow steppe dominated by *Leymus chinensis* to climate change[J]. *Climatic Change*,2007,82:437—452.
- [13] KÖRNER C. Carbon limitation in trees[J]. *Journal of Ecology*,2003,91(1):4—17.
- [14] LI M H,XIAO W F,WANG S G,*et al.* Mobile carbohydrates in Himalayan treeline trees I. Evidence for carbon gain limitation but not for growth limitation[J]. *Tree Physiology*,2008,28(8):1287—1296.
- [15] YIN J J,GUO D L,HE S Y,*et al.* Non-structural carbohydrates,N, and P allocation patterns of two temperate tree species in a semi-arid region of Inner Mongolia[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*,2009,45(3):519—527.
- [16] 李淑文,文宏达,薛宝民,等. 小麦高效吸收利用氮素的生理生化特性研究进展[J]. *麦类作物学报*,2003,23(4):131—135.
- [17] 路文静,张树华,郭程瑾,等. 不同氮素利用效率小麦品种的氮效率相关生理参数研究[J]. *植物营养与肥料学报*,2009,15(5):985—991.
- [18] 郝再彬,苍品,徐仲. *生理学实验*[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004.
- [19] 高俊凤. *植物生理实验技术*[M]. 广州:世界图书出版社,2000.
- [20] 邹琦. *植物生理学实验指导*[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [21] 李合生. *植物生理生化实验原理和技术*[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [22] 朱爱民,张玉霞,王显国,等. 秋末刈割处理对沙地苜蓿冬季根颈非结构碳氮的影响[J]. *草业学报*,2018,27(1):86—96.
- [23] 吕中显,赵铭钦,赵进恒,等. 烤烟打顶后不同部位烟叶碳氮代谢关键酶活性的动态变化及相关分析[J]. *江西农业大学学报*,2010,32(4):700—704.
- [24] MAKINO A,MAE T,OHIRA K. Changes in Photosynthetic capacity in rice leaves from emergence through senescence. Analysis from ribulose-1,5-bisPhosPhata carboxylase and leaf conductance[J]. *Plant and Cell Physiology*,1984,25(3):511—521.

Effect of nitrogen application on unstructured carbon and nitrogen in leaf of *Leymus chinensis* in sandy land

CONG Bai-ming¹,ZHANG Yu-xia¹,WANG Xian-guo²,ZHU Ai-min¹,
TIAN Yong-lei¹,ZHANG Qing-xin¹

(1. Inner Mongolia University for the Nationalities, Tongliao 028041, China; 2. College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Different levels of N fertilizer were applied to the sown *Leymus chinensis* pasture (0, N0; 100, N1; 200, N2; 300, N3 and 400 kg/ha, N4) to study the effect of nitrogen application on unstructured carbon and nitrogen in leaf of *Leymus chinensis* in sandy land. The result showed that the nitrogen application increased the soluble sugar content. With the increase of nitrogen application level, the starch content in the upper leaf decreased, and it increased first and then decreased in the lower leaf in the second cut. Nitrogen application significantly increased the content of soluble protein ($P < 0.05$), and the content of free amino acids in the first cut. The leaf C/N showed a trend of decreasing first and then increasing with the increase of nitrogen application level. The leaf C/N was the lowest under N1 treatment in upper leaf. It could be concluded that N1 treatment was the best.

Key words: sandy land; nitrogen application; *Leymus chinensis*; unstructured carbon and nitrogen; carbon to nitrogen ratio