

高寒人工草地垂穗披碱草营养品质及其地上、地下生物量对氮素添加的响应

陈鑫, 焦婷*, 马淑敏, 张霞, 牧仁

(甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要:【目的】研究不同氮素添加水平对高寒人工草地垂穗披碱草(*Elymus nutans*)营养品质及生物量的影响。【方法】以垂穗披碱草为研究对象,通过施加不同水平氮:对照N0(不施氮)、N1[12 kg/(hm²·a)]、N2[24 kg/(hm²·a)]、N3[48 kg/(hm²·a)]及N4[96 kg/(hm²·a)],探讨施氮对建植两年的垂穗披碱草营养品质、地上以及地下生物量的影响。【结果】随着施氮水平的增加,2020年垂穗披碱草粗蛋白(CP)含量呈先增加后下降的趋势,但地下生物量、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)、粗灰分(Ash)及钙磷含量不同施氮水平下差异不显著($P>0.05$)。而建植第2年48 kg/(hm²·a)处理下垂穗披碱草地上地下生物量均显著高于其他处理,两年相比2021年地上生物量大幅度提高;垂穗披碱草的粗蛋白含量同样在N3时达到最大值12.51%,与N0相比较增加了21.10%,而不同处理下酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维及粗灰分含量差异不显著,但在N3处理下均显示最低值52.18%和27.61%;与N0相比,N3处理钙含量增加了42.53%;与N0相比较,N3、N4处理下垂穗披碱草相对饲喂价值明显增加。综合分析可知,N3处理下建植第2年的垂穗披碱草无论在产量还是品质方面均表现最佳,各处理综合评价结果为:N3>N4>N2>N1>N0。【结论】48 kg/(hm²·a)的施氮量可保证高寒人工草地垂穗披碱草产量及品质,所得结果可为天祝高寒垂穗披碱草人工草地的合理利用及有效施肥提供理论依据。

关键词:垂穗披碱草;施氮水平;营养品质;生物量

中图分类号:S543⁺.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)04-0020-07

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2023.04.003



垂穗披碱草(*Elymus nutans*)隶属于禾本科披碱草属,又称之为钩头草^[1],是一种多年生牧草,也是青藏高原高寒地区人工草地的主要种植牧草以及高寒草地的优势植物种群之一。垂穗披碱草营养品质丰富、适口性较好、抗逆性强,在饲草补给、修复草地、维持生态平衡等方面发挥着重要作用^[2-3]。而在建植垂穗披碱草人工草地的过程中,因气温以及降水等原因,

垂穗披碱草的生长会受到影响。

施肥是管理草地的一种重要措施,适量的添加肥料有利于提高牧草营养品质以及产量。其中,添加氮素是生产优质高产牧草的重要因子之一。添加氮素可以促进牧草生长、提高牧草品质及土壤养分含量^[4-5]。氮添加增加植物地上生物量,对生态系统的生产力也具有重要作用^[6-7],氮素作为草原生态系统的重要养分之一,在植物生长中发挥的作用不可替代。宋建超等^[8]研究表明施氮处理能显著提高垂穗披碱草的粗蛋白含量以及生产性能,但过量的施加氮肥也会导致土壤中的残留过多,从而流失到水体以及空气中,污染环境^[9-10]。因此,合理的施加氮肥对植物的生长、环境保护等都是有利的。

研究不同氮素添加量对植物的影响并得出合理

收稿日期:2021-12-02;**修回日期:**2021-12-13

基金项目:现代农业产业技术体系(CARS-40-09B);甘肃省科技计划项目(20JR10RA564)

作者简介:陈鑫(1996-),女(裕固族),甘肃肃南人,硕士研究生。E-mail:526796119@qq.com

*为通信作者。E-mail:jiaot@gsau.edu.cn

的添加量是科学添加氮肥的关键。许多研究者在水稻^[11]、冬小麦^[12]、棉花^[13]等方面都有关于最佳施氮量的相关研究。研究表明,通过添加氮素,可促进垂穗披碱草侧根的单株分蘖数、地上生物量^[14]。在对小黑麦的研究中也发现,通过氮素添加,可提高小黑麦的营养品质以及产量^[15]。张仁懿等^[16]通过野外试验的研究表明,当氮素添加 15 g/m^2 时能显著提高群落生物量、植株高度、盖度,且禾本科植物的平均植株高度均高于其他功能群植物。氮素添加后植物生物量分配也会发生变化,从而改变植物的生长^[17-18]。由此可见,施氮能够促进植株的生长,提高其生物量,而由于生境条件的不同,最适施肥量也会产生差异。因此,本研究以天祝高寒地区垂穗披碱草人工草地为研究对象,探讨建植第2年的垂穗披碱草在不同施肥梯度下营养品质以及地上、地下生物量的变化,旨在确定垂穗披碱草营养品质最优时的施氮量,从而提高饲用垂穗披碱草的产量和营养价值。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验于2020年在青藏高原东部的天祝县金强河甘肃农业大学高山草原试验站(N $37^{\circ}40'$ 、E $102^{\circ}32'$)开展。海拔2960 m,年均气温 -2°C ,年平均降水量560 mm(多集中于7-9月)。7月均温 12.7°C ,1月均温 -18.3°C 。无绝对无霜期,生长期120~140 d,土壤类型为高寒草甸土。

1.2 试验设计

于2020年在天祝高山草原试验站选择试验地(29 m \times 19 m),试验前把地块划分为20个小区,每个小区的面积为4 m \times 5 m,每个小区间设置1 m的隔离缓冲带,以避免不同处理间的干扰。20个小区按照完全随机区组设计,设置5个施肥水平,每个水平4个重复。于2020年5月下旬种植,条播,行距40 cm,播深2~3 cm,垂穗披碱草的播种量为 22.5 kg/hm^2 。参照中国氮沉降格局研究中甘肃干湿润氮沉降率为 $8.16\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,将氮添加设置为:对照N0(不施氮)、N1[$12\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$]、N2[$24\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$]、N3[$48\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$]、N4[$96\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$] ,分别模拟自然氮沉降量1.5、3、6和12倍的情景,2020年、2021年6月中下旬以及7月中旬进行施肥,两次施肥量各占总

施肥量的50%。生长期适时进行除草。

氮素添加主要为尿素。施用尿素时,先将尿素充分溶解于2 L水中,在没有风的情况下,利用喷壶在试验小区来回均匀喷洒。N0小区即空白对照不施肥,但是要喷施等量的水,以减少水分对草地植物生长的影响。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 地上、地下生物量的测定 于2020年8月26日、2021年8月20日进行采样(2020年采样时处于拔节期,2021年采样时处于开花期),在每个小区随机选择30 cm长的样段,每个小区进行3次重复,齐地面刈割其植株,刈割后混合立即称鲜重,将鲜样带回实验室,在烘箱中 105°C 下杀青15 min,再置于 $65\sim 75^{\circ}\text{C}$ 下烘干至样品恒重,称干重,得到地上生物量。将刈割后的植株周围挖沟,去除土壤,露出整个根系,将其带回实验室用尼龙网袋冲洗,将冲洗后的根置于 $65\sim 75^{\circ}\text{C}$ 下烘干至样品恒重,除杂称重,获得地下生物量^[19]。

1.3.2 营养成分测定 测产后的样品用微型植物粉碎机将垂穗披碱草干样进行粉碎后过40目筛,保存于密封袋中用于品质指标的测定。粗蛋白质含量测定采用凯氏定氮法^[20]测定;粗灰分含量测定采用高温灼烧法测定^[21];中性洗涤纤维以及酸性洗涤纤维含量测定采用范式纤维洗涤法;磷含量测定采用钼蓝-亚硫酸钠法^[22]测定;钙含量测定采用EDTA- Na_2 络合滴定法^[23]进行测定。

1.3.3 相对饲喂价值计算 根据公式换算相对饲喂价值(RFV)^[24]。

相对饲喂价值(RFV)=干物质采食量(DMI) \times 可消化的干物质(DDM)/1.29

干物质采食量(DMI)与可消化的干物质(DDM)的预测模型分别为:

干物质采食量(DMI)= $120/\text{中性洗涤纤维(NDF)}$

可消化的干物质(DDM)= $88.9-0.779\text{酸性洗涤纤维(ADF)}$

1.4 数据统计分析

采用Microsoft Excel 2019进行数据前期整理,SPSS 26.0进行单因素方差分析和Duncan氏多重比较方差统计分析, $P<0.05$ 为差异显著。并进行灰色

关联分析法评价模型对垂穗披碱草指标进行综合评价。运用灰色关联度分析方法^[25]对各处理的垂穗披碱草粗蛋白、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、粗灰分及地上生物量进行综合分析。

2 结果与分析

2.1 施氮对垂穗披碱草地上生物量的影响

随着施氮水平的上升,2020年垂穗披碱草的地上生物量各处理之间差异不显著(图1)。2021年垂穗披碱草的地上生物量随着施氮水平的增加有先上升后下降的趋势,在N3处理下地上生物量最高149.32 g/m²,与空白对照相比较差异显著($P<0.05$);施氮水平为N2、N3、N4时,垂穗披碱草的地上生物量比对应的不施氮处理下垂穗披碱草的地上生物量分别增长了79.88%、144.07%和64.56%($P<0.05$);年份变化对垂穗披碱草产量有较大的影响,虽两年的地上生物量随着施氮量的增加都呈先上升后下降的趋势,但2021年地上生物量与2020年相比较有大幅度提高。总体来说,在施氮处理下垂穗披碱草的地上生物量都明显增加,在N3处理效果下最佳。

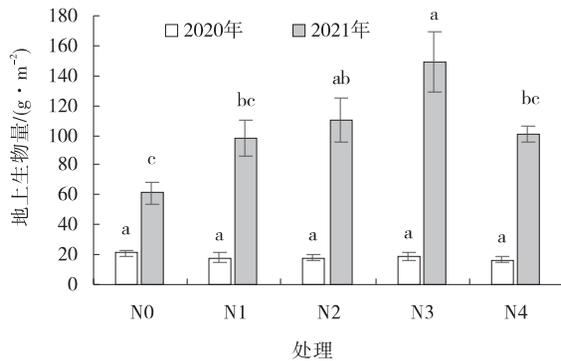


图1 不同施氮水平下垂穗披碱草地上生物量

Fig. 1 Effects of different nitrogen levels on aboveground biomass of *Elymus nutans*

注:不同小写字母表示不同氮水平之间差异显著($P<0.05$),下同

2.2 施氮对垂穗披碱草地下生物量的影响

随着施氮量的增加,垂穗披碱草地下生物量先增加后减少(图2)。2021年垂穗披碱草地下生物量与2020年相比较,大幅度增加;2020年垂穗披碱草地下生物量在不同施氮水平下差异不显著;2021年垂穗披碱草地下生物量在N3处理下达到最高,为38.36 g/m²,

2.4 灰色关联度分析

为进一步明确不同施氮水平对垂穗披碱草营养

比不施氮的条件下增加了62.68%($P<0.05$)。

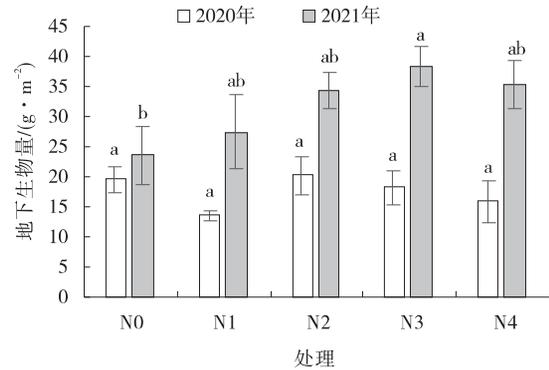


图2 不同施氮水平下垂穗披碱草地下生物量

Fig. 2 Effects of different nitrogen levels on undergrowth biomass of *Elymus nutans*

2.3 施氮对垂穗披碱草营养品质以及相对饲喂价值的影响

2.3.1 施氮对垂穗披碱草粗蛋白含量的影响 随氮素增加,2020年垂穗披碱草的粗蛋白的含量随着施氮量的增加先上升后下降,N3时达到最大值14.65%,与空白对照N0相比较增加了12.01%(图3-A);在2021年垂穗披碱草粗蛋白的含量随着施氮量的增加逐渐上升,与第1年的趋势相同,N3时达到最大值12.51%,与空白对照N0相比较增加了21.10%($P<0.05$);N3处理下与N1、N2相比较差异显著($P<0.05$),分别增加了14.25%、10.22%(图3-B)。因此,随着氮浓度的升高,垂穗披碱草的粗蛋白含量在N3水平下达到最高。

2.3.2 施氮对垂穗披碱草营养品质以及相对饲喂价值的影响 2020年垂穗披碱草的干物质、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、粗灰分、磷含量、钙含量各处理之间差异不显著(表1)。2020年刚种植的垂穗披碱草在N2处理下各营养成分有所提高。建植第2年垂穗披碱草的中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维在N3处理下最低,为52.18%、27.61%,且所有对照组之间相比较差异不显著。随着施氮水平的升高,垂穗披碱草的粗灰分含量呈先降低后上升的趋势,各处理之间无显著性差异;钙含量在N3处理下与空白对照N0相比较增加了42.53%;通过计算后所得的相对饲喂价值各处理之间差异不显著。

品质的影响,本研究对天祝高寒草地种植的垂穗披碱草测定的指标进行灰色关联度综合分析。2021年垂

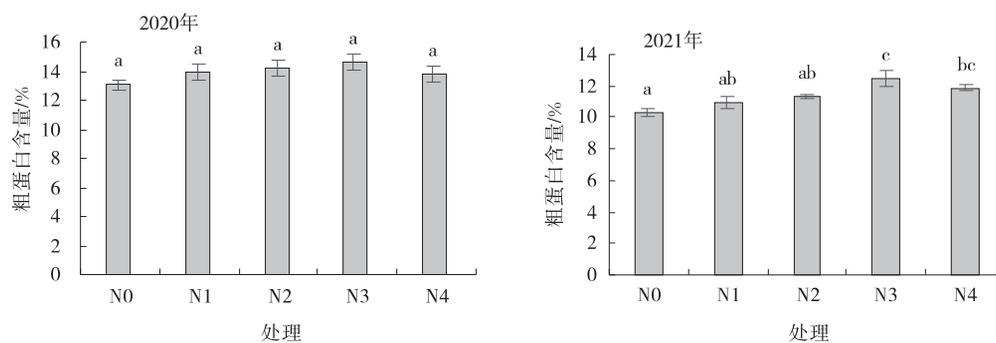


图 3 不同施氮水平下垂穗披碱草粗蛋白含量的影响

Fig. 3 Effects of different nitrogen levels on crude protein content of *Elymus nutans*

表 1 不同施氮水平下垂穗披碱草营养品质及相对饲喂价值

Table 1 Effects of different nitrogen levels on the nutritional quality and relative feeding value of *Elymus nutans*

时间/年	处理	干物质/%	中性洗涤纤维/%	酸性洗涤纤维/%	粗灰分/%	钙含量/%	磷含量/%	相对饲喂价值/%
2020年	N0	95.80±0.09 ^a	41.73±0.51 ^a	16.47±0.28 ^a	8.97±0.39 ^a	0.66±0.06 ^b	0.15±0.004 ^a	169.87±2.37 ^a
	N1	95.84±0.14 ^a	40.77±0.88 ^a	15.92±0.47 ^a	9.58±0.42 ^a	0.77±0.06 ^{ab}	0.15±0.008 ^a	175.59±4.41 ^a
	N2	95.94±0.06 ^a	40.83±0.65 ^a	16.58±0.38 ^a	9.45±0.23 ^a	0.78±0.06 ^{ab}	0.16±0.006 ^a	173.67±3.27 ^a
	N3	95.92±0.12 ^a	42.59±0.54 ^a	16.83±0.50 ^a	9.21±0.44 ^a	0.83±0.01 ^b	0.16±0.008 ^a	165.93±2.68 ^a
	N4	96.08±0.09 ^a	42.55±1.32 ^a	16.80±0.71 ^a	9.61±0.23 ^a	0.71±0.03 ^{ab}	0.16±0.005 ^a	164.21±5.98 ^a
2021年	N0	96.42±0.03 ^a	52.94±0.80 ^a	28.30±0.60 ^a	7.33±0.11 ^a	0.50±0.03 ^{bc}	0.14±0.002 ^a	117.79±2.67 ^a
	N1	96.42±0.05 ^a	54.57±0.87 ^a	29.38±0.53 ^a	6.86±0.41 ^a	0.42±0.04 ^b	0.15±0.012 ^a	112.95±2.3 ^a
	N2	96.50±0.03 ^a	53.38±0.56 ^a	29.14±0.53 ^a	6.92±0.14 ^a	0.83±0.19 ^{ab}	0.15±0.009 ^a	115.51±1.87 ^a
	N3	96.68±0.22 ^a	52.81±1.15 ^a	27.61±0.77 ^a	6.73±0.09 ^a	0.87±0.17 ^{ab}	0.15±0.007 ^a	119.48±3.56 ^a
	N4	96.47±0.07 ^a	53.38±2.72 ^a	28.80±0.69 ^a	7.31±0.21 ^a	0.56±0.06 ^{abc}	0.13±0.008 ^a	119.33±6.57 ^a

注:不同小写字母表示不同氮水平之间差异显著($P<0.05$)

穗披碱草在 N3 处理下效果最佳,且各指标综合评价结果最佳;其次是 N4 处理下效果明显。各处理综合评价结果为:N3>N2>N4>N1>N0(表 3)。

表 2 灰色关联度综合分析

Table 2 Comprehensive analysis of grey correlation degree

处理	酸性洗涤纤维	酸性洗涤纤维	粗灰分	地上生物量	粗蛋白	加权关联值	排序
N0	0.927 5	0.992 0	0.791 6	0.345 0	0.640 8	0.623 1	5
N1	0.838 1	0.906 1	0.942 6	0.475 2	0.713 8	0.653 2	4
N2	0.855 4	0.966 8	0.918 9	0.541 8	0.770 3	0.683 1	2
N3	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.842 7	1
N4	0.882 9	0.966 6	0.796 7	0.488 4	0.860 6	0.673 3	3

3 讨论

垂穗披碱草属于禾本科,本身不具有固氮能力,外源添加氮素的量决定了垂穗披碱草能有效利用氮素的水平。因此,得出适宜的氮素添加量对促进垂穗披碱草的生长和提高其营养品质具有积极作用。通

过对藏北高原人工种植垂穗披碱草的研究得出,适宜的施氮量可增加牧草产量、促进植株个体的生长^[26],但过量的氮素也会导致环境等的破坏。针对高寒草地的施肥研究表明,施肥可以有效缓解青藏高原植物生长的营养限制^[27]、改变高寒草原植物群落功能群和物种组成^[28]、有效提高牧草的生物量^[29]。因此,在高

寒地区垂穗披碱草人工草地的建植过程中,添加氮素是一种十分必要的措施。

地上生物量是评价牧草营养品质的一种关键指标,也是决定施肥效果的重要经济指标^[30-31]。本研究表明,氮素添加对垂穗披碱草的地上生物量具有显著的促进作用。由于2020年是建植第1年,与2021年垂穗披碱草地上生物量相比较,2021年地上生物量大幅度增加。建植第2年地上生物量随着施氮水平的增加有先上升后下降的趋势。总体来说,在施氮处理下垂穗披碱草的地上生物量都明显增加,在N3处理下,地上生物量显著增加且效果最佳。文雅^[32]、段媛媛^[14]通过对垂穗披碱草的研究表明,随着氮素添加量增加垂穗披碱草地上生物量呈现为先增加后降低的趋势,这与本研究的结果相同。在本研究中,不同水平施肥处理下垂穗披碱草的地上生物量变化差异显著,说明各施肥水平下地上生物量的增加也随之带走同比例的氮素从而使得地上生物量增加。植株地下根系是具有贮藏营养物质、保持水分等重要功能,对地上生物量的形成和植株的生长起着重要作用。本研究中垂穗披碱草地下生物量在不同施氮处理下,随施氮的变化而变化,随着施氮量的增加,垂穗披碱草地下生物量先增加后减少,与地上生物量的趋势相同。说明垂穗披碱草人工草地的地上生物量越大,地下生物量也随之增加,这一研究与吕富成等^[33]研究相一致,地上生物量与地下生物量有显著的线性正相关。由于土壤、海拔、地区等条件的不同,牧草的营养品质和相对饲喂价值也具有差异。在牧草的营养成分中,粗蛋白、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、粗灰分、相对饲喂价值都是影响牧草营养价值的重要指标。董晓兵^[34]研究表明,施肥可显著增加牧草粗蛋白含量、降低粗纤维含量、提高牧草的营养品质。而对于相对饲喂价值是衡量牧草采食量和能量价值的指标。当其值越大则说明牧草品质越好^[35]。本研究表明,随着施氮水平的升高,垂穗披碱草的酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维、粗灰分的含量基本呈先降低后上升的趋势,粗蛋白则呈先增加后降低的趋势。粗蛋白含量在N3时达到最大值12.51%,与空白对照N0相比较增加了21.10%。韩世洁等^[36]研究表明,在随着施氮水平的增加,酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维含量呈先减后

增加的趋势,这一研究结果也与本试验一致。说明过量的氮会抑制垂穗披碱草的生长。因此,要适当的进行施肥,这样的一种措施不仅能对氮素资源可以有效利用,也可以保证垂穗披碱草的正常生长发育。

明确垂穗披碱草人工草地对氮肥吸收利用情况是合理施肥的重要条件之一,对于评价垂穗披碱草营养品质以及地上生物量不能局限于某个指标而进行,而是要全面地对其做出综合性评价。本研究利用灰色系统关联度理论,综合了不同施氮水平下垂穗披碱草营养品质因素以及地上生物量进行了整体分析。综合分析得出,在建植第2年的垂穗披碱草在N3处理下效果最佳。但本研究只是从不同施氮水平对垂穗披碱草营养品质以及地上生物量进行了研究,其他因素的影响还需进一步探讨研究。

4 结论

添加氮素是提高牧草的生产力、改善牧草品质、保持草地的有效措施。本研究从垂穗披碱草人工草地早期管理角度探讨不同施氮处理对垂穗披碱草地上、地下生物量以及营养品质的影响。结果表明,建植第2年的垂穗披碱草在不同施氮处理下都能够提高地上生物量、粗蛋白含量、相对饲喂价值,以N3处理下效果最佳。表明N3施肥水平是最适宜的施肥量。可在高寒人工草地建植早期采用N3[48 kg/(hm²·a)]进行施氮。

参考文献:

- [1] 宗宁,石培礼,蒋婧,等. 短期氮素添加和模拟放牧对青藏高原高寒草甸生态系统呼吸的影响[J]. 生态学报,2013,33(19):6191-6201.
- [2] 刘琴,韩燕. 垂穗披碱草栽培技术[J]. 新疆畜牧业,2012(S1):63-64.
- [3] 王启基,张松林. 天然垂穗披碱草种群生长节律及生态适应性的研究[J]. 中国草地,1990(1):18-25.
- [4] 王红静,马金宝,丛百明,等. 氮添加对科尔沁沙地羊草产量及氮肥利用效率的影响[J]. 草原与草坪,2021,41(2):47-52.
- [5] 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.
- [6] 李梓萌,刘鞠善,吴金凤,等. 氮沉降对草地植物生殖策略的影响[J]. 中国草地学报,2021,43(7):106-114.
- [7] 蒯晓妍,邢鹏飞,张晓琳,等. 短期不同水平氮添加对农牧

- 交错带草地植物群落多样性和生产力的影响[J]. 中国草地学报, 2019, 41(5): 104—110.
- [8] 宋建超, 鱼小军, 魏孔涛, 等. 施氮对高寒区垂穗披碱草饲草生产性能及营养品质的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(7): 1555—1564.
- [9] 周伟, 吕腾飞, 杨志平, 等. 氮肥种类及运筹技术调控土壤氮素损失的研究进展[J]. 应用生态学报, 2016, 27(9): 3051—3058.
- [10] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 783—795.
- [11] 侯云鹏, 韩立国, 孔丽丽, 等. 不同施氮水平下水稻的养分吸收、转运及土壤氮素平衡[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4): 836—845.
- [12] 刘新宇, 巨晓棠, 张丽娟, 等. 不同施氮水平对冬小麦季化肥氮去向及土壤氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 296—303.
- [13] 李鹏程, 董合林, 刘爱忠, 等. 施氮量对棉花功能叶片生理特性、氮素利用效率及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 81—91.
- [14] 段媛媛, 王淳忆, 张曹莉, 等. 植株密度和氮素互作对垂穗披碱草生物量分配的影响[J]. 生态学报, 2021, 41(24): 1—9.
- [15] 王春宏, 杜晓坤, 张迪, 等. 氮肥施用技术对小黑麦产量及饲用品质的影响[J]. 东北农业大学学报, 2012, 43(11): 20—23.
- [16] 张仁懿, 徐当会, 袁建立, 等. 叶重比及株高质量比解释亚高寒草甸禾本科对氮素添加的积极响应[J]. 草业科学, 2019, 36(10): 2631—2638.
- [17] Wedin D, Tilman D. Competition among grasses along a nitrogen gradient, initial conditions, and mechanisms of competition [J]. *Ecological Monographs*, 1993, 63: 199—229.
- [18] 卜冬冬, 李昂, 王银柳, 等. 氮素和植物生长促进剂对羊草生长及竞争力的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(8): 2667—2674.
- [19] 朱桂林, 韦文珊, 张淑敏, 等. 植物地下生物量测定方法概述及新技术介绍[J]. 中国草地学报, 2008, 30(3): 94—99.
- [20] 张永亮, 于铁峰, 郝凤, 等. 施肥与混播比例对豆禾混播牧草生产性能的影响[J]. 中国草地学报, 2020, 42(6): 115—124.
- [21] 杨鹏年, 安学忠, 马文馨, 等. 猫尾草新品系在甘肃省中部地区的生产性能和营养价值研究[J]. 中国草地学报, 2021, 43(9): 44—51.
- [22] 徐丽君, 杨桂霞, 辛晓平, 等. 不同混播模式下草地营养成分综合评价[J]. 草业科学, 2014, 31(2): 278—283.
- [23] 李玉珠, 吴芳, 师尚礼, 等. 河西走廊13个引进紫花苜蓿品种生产性能和营养价值评价[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37: 119—129.
- [24] 武文莉, 吴冬强, 张静, 等. 铁锌配施对河西走廊地区紫花苜蓿品质和相对饲用价值的影响[J]. 中国草地学报, 2018, 40(4): 62—67.
- [25] 杨秀芳, 陈玲玲, 乌艳红, 等. 应用灰色关联度综合评价26个青贮玉米的生产性能[J]. 草业科学, 2012, 29(1): 105—111.
- [26] 武建双, 沈振西, 张宪洲, 等. 藏北高原人工垂穗披碱草种群生物量分配对施氮处理的响应[J]. 草业学报, 2009, 18(6): 113—121.
- [27] 曹文侠, 李文, 李小龙, 等. 施氮对高寒草甸草原植物群落和土壤养分的影响[J]. 中国沙漠, 2015, 35(3): 658—666.
- [28] 张静, 董世魁, 赵珍珍, 等. 模拟氮沉降对青海湖流域高寒草原植物群落组成及稳定性的影响[J]. 草业科学, 2019, 36(11): 2733—2741.
- [29] LUO Y J, ZHOU J J, WANG H Y, *et al.* The relation of nutrients and plant species diversity in an alpine meadow [J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2004, 40(2): 84—91.
- [30] 姚泽英, 李军, 宋连昭, 等. 垂穗披碱草与紫花苜蓿不同时期交叉混播效果研究[J]. 草地学报, 2020, 28(5): 1454—1459.
- [31] 汪茜, 王生文, 陈伟, 等. 施肥对民乐低产田苜蓿产量、品质及经济效益的影响[J]. 草业科学, 2016, 33(2): 230—239.
- [32] 文雅, 周培, 张忠雪, 等. 施氮和灌溉互作对垂穗披碱草生物量及构成要素的影响[J]. 草业科学, 2020, 37(2): 330—338.
- [33] 吕富成, 王孙高, 王小丹. 藏东南高寒地区人工草地建植初期生物量研究[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2017, 40(3): 385—391.
- [34] 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, 31(10): 1935—1942.
- [35] 闫得朋, 巩林, 袁玉莹, 等. 不同时期喷施叶面肥对紫花苜蓿生长和产草量营养品质的影响[J]. 草地学报, 2018, 26(5): 1255—1261.
- [36] 韩世洁, 董洁, 董宽虎. 不同形态氮肥及施氮量对白羊草产量和品质的影响[J]. 草地学报, 2018, 26(3): 618—624.

Response of nutrient quality, aboveground biomass and underground biomass of *Elymus nutans* to nitrogen addition in alpine artificial grassland

CHEN Xin, JIAO Ting*, MA Shu-min, ZHANG Xia, Mu Ren

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

Abstract: **[Objective]** The purpose of the experiment was to study the effects of different nitrogen levels on the nutritional quality and biomass of *Elymus nutans* at the alpine artificial grassland in order to provide a theoretical basis for rational fertilization management in alpine artificial grassland. **[Method]** The experiment took *E. nutans* as the research object and different nitrogen levels: control N0 (no nitrogen), N1 (12 kg/(hm²·a)), N2 (24 kg/(hm²·a)), N3 (48 kg/(hm²·a)) and N4 (96 kg/(hm²·a)) were applied. **[Result]** The results showed that, with the increase of nitrogen application level, the content of crude protein (CP) of *E. nutans* for the first year of planting (in 2020) increased first and then decreased. But there was no significant difference in underground biomass, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), crude ash (Ash), calcium and phosphorus content under different nitrogen application levels ($P > 0.05$). In the second year of planting (2021), the aboveground and underground biomass of 48 kg/hm² treatment was significantly higher than that of other treatments, and the above-ground biomass in the two years was significantly higher than that in 2021. The CP content of *E. nutans* also reached the maximum value of 12.51% at N3, increased by 21.10% compared with N0. There was no significant difference in the contents of ADF, NDF and ash under different treatments, but the lowest values were 52.18% and 27.61% under N3 treatment. However, compared with N0, the calcium content of N3 treatment increased by 42.53%. The relative feeding value (RFV) of *E. nutans* in N3 and N4 treatments was significantly higher than that in N0. Comprehensive analysis showed that *E. nutans* in the second year of planting under N3 treatment performed best in both yield and quality. The comprehensive evaluation results of each treatment were as follows: N3 > N4 > N2 > N1 > N0. **[Conclusion]** In conclusion, the nitrogen application rate of 48 kg/(hm²·a) could ensure the yield and quality of *E. nutans* in alpine grassland. The results would provide a theoretical basis for the rational utilization and effective fertilization of Tianzhu Alpine *E. nutans* artificial grassland.

Key words: *Elymus nutans*; nitrogen level; nutritional quality; biomass