

阔叶类草抑制剂和氮素添加对高寒草地垂穗披碱草营养品质的影响

车美美, 祁娟*, 师尚礼, 赛宁刚, 王晓娟, 杨娟弟, 贾燕伟

(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研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要:【目的】解决甘南州桑科草原高寒草地阔叶类杂类草大量繁殖而产生的草地质量下降等问题。【方法】采用不同浓度阔叶类草抑制剂(0、0.9、1.5、2.1 kg/hm²)和不同氮素添加水平(0、75、150、225 kg/hm²)相结合的方式, 研究其对甘南高寒草地优势禾草垂穗披碱草营养品质的影响。【结果】喷洒抑制剂后垂穗披碱草营养品质显著高于对照($P < 0.05$), 且在较高喷施浓度(2.1 kg/hm²)时, 垂穗披碱草粗蛋白(CP)、钙(Ca)、磷(P)和粗脂肪(EE)含量分别较对照提高了2.18%、9.23%、9.52%和8.66%, 而中性洗涤纤维(NDF)和粗灰分(Ash)含量分别较对照降低了3.31%、14.21%, 酸性洗涤纤维(ADF)在1.5 kg/hm²浓度时较对照显著降低35.83%; 施氮处理下垂穗披碱草品质显著高于对照($P < 0.05$), 且在较高施氮水平(225 kg/hm²)时, 其CP、Ca、P和EE含量较高, 分别较对照提高了27.94%、35.09%、14.29%和11.79%, 而NDF和ADF含量显著降低, 分别较对照降低了6.45%、12.55%, 对Ash含量影响不显著; 抑制剂和氮素添加存在显著交互关系, 在2.1 kg/hm²浓度抑制剂和225 kg/hm²施氮水平下, 垂穗披碱草CP、Ca、P和EE含量均高于其他处理组合, NDF和Ash含量低于其他处理组合。【结论】研究结果对高寒草地提质增效及畜牧业可持续发展具有重要意义。

关键词:阔叶类草抑制剂; 氮素; 垂穗披碱草; 营养品质

中图分类号:S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)03-0046-08

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2023.03.006



甘南藏族自治州桑科草原位于青藏高原东北缘, 该地区分布着大面积的高寒草地, 是当地重要的畜牧业生产基地^[1]。甘南高寒草地主要优势种为禾本科(Poaceae)多年生丛生植物垂穗披碱草(*Elymus nutans*), 具有较强的抗旱性、抗寒性、抗病虫害能力以及耐放牧等特点^[2], 同时它具有丰富的营养价值和良好的适口性, 在高寒地区恶劣的气候条件下仍具有良好

的再生性^[3]。然而近年来, 由于长期高强度放牧等不合理利用以及缺乏深入系统的科学管理的双重影响, 使得该地区高寒草地土壤贫瘠、阔叶类杂类草覆盖度较高, 逐渐成为优势种群, 垂穗披碱草等优良禾本科牧草生产力和品质降低, 草地不断退化, 最终导致草地生产能力和质量的下降^[4-5]。

阔叶类杂类草是危害高寒地区天然草地垂穗披碱草等优良禾草旺盛生长的重要生物因素之一, 采用合理的人工调控技术是恢复草地质量的有效措施。研究表明, 使用适当剂量的阔叶类草抑制剂可造成杂类草生长点坏死、发生枯萎, 能有效地抑制阔叶类杂类草生长发育, 同时可促进禾草类和莎草类植株地上部分的生理代谢, 使其在养分争夺中占据有利地位^[6-8]。氮素添加可显著提高天然草地中优良禾草类

收稿日期:2022-01-20;修回日期:2022-03-10

基金项目:国家现代农业产业技术体系(CARS-34);天然草原种子基地培育关键技术与示范(034-031156)

作者简介:车美美(1997-),女,甘肃兰州人,硕士研究生。

E-mail:1697622219@qq.com

*通信作者。E-mail:qijuan@gsau.edu.cn

占地上总生物量的比重^[9],提高草地生产力及品质^[10-12],且能一定程度抑制杂类草的生长^[13-14],从而提高草地生产力和草地质量。然而,有关喷施阔叶类草抑制剂与氮素添加综合措施对提高高寒地区天然草地优良禾草品质的影响鲜见报道。因此,本研究以甘南州桑科草原高寒草地主要优良禾本科牧草垂穗披碱草为研究对象,通过采取喷施阔叶类草抑制剂及氮素添加的技术措施,研究不同浓度阔叶类草抑制剂、不同氮素水平及其交互作用对其营养品质的影响,阐明提高垂穗披碱草营养品质的最佳阔叶类草抑制剂浓度和施氮量。该研究对高寒草地退化生态系统修复及提质增效奠定理论与实践基础,对解决当地近年来草地退化和牧草品质下降的问题意义重大。

表1 试验地土壤理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of soil

土壤 pH 值	全氮 TN/ (g·kg ⁻¹)	全磷 TP/ (g·kg ⁻¹)	全钾 TK/ (g·kg ⁻¹)	速效钾 AK/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷 AP/ (mg·kg ⁻¹)	有机质 OM/ (g·kg ⁻¹)
7.61	4.03	1.65	8.98	151.43	12.46	76.08

1.2 试验设计

裂区设计。主区为阔叶类草抑制剂(42%二甲氯氟吡,33.5%二甲四氯,8.5%氯氟吡氧乙酸),分别为 H₀(0 g/hm²)、H₁(0.9 kg/hm²)、H₂(1.5 kg/hm²)和 H₃(2.1 kg/hm²)4个水平。副区为氮素添加(尿素,N≥46.0%),设4个水平,分别为 M₀(0 kg/hm²),M₁(75 kg/hm²),M₂(150 kg/hm²),M₃(225 kg/hm²),小区面积为 225 m²=(15 m×15 m),设3次重复,共48个小区,每个小区间设置1.5米间距。于阔叶类杂类草生长旺盛期(6月上旬),进行喷施阔叶类草抑制剂处理,并于7月初选择阴雨天撒施氮肥。于2021年8月中旬,各小区选取1 m×1 m 样方齐地刈割,去掉其他杂类草筛选出垂穗披碱草,3次重复。鲜草样带回实验室,于室内先将样品在105℃条件下杀青30 min,再在75℃条件下烘干至恒重,用于牧草品质测定。

1.4 测定方法

采用凯氏定氮法^[15]测定粗蛋白(CP)含量;采用 Soxtec8000 脂肪仪测定粗脂肪(EE)含量;采用高温直接法^[15]测定粗灰分(Ash)含量。采用尼龙袋法^[16]测定中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量;采

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于2021年6-8月在甘肃省甘南藏族自治州夏河县桑科草原(N 35°5'46",E 102°24'5",海拔3 039 m)进行。该区地处青藏高原东北缘,气候属寒冷湿润类型,高原大陆性气候特点比较明显,日照强烈、暖季短暂、冷季漫长、雨热同季。年平均气温为3.4℃,年降水量为449.1 mm,雨水多集中于牧草旺盛生长的6~8月;全年日照时数2 425.4 h,年平均无霜期58 d。试验区属冬春草场,植被类型为典型的高寒草甸植被,主要优势牧草为垂穗披碱草(*Elymus nutans*),土壤类型为亚高山草甸土。试验地土壤理化性质如表1所示。

表2 不同处理组合

Table 2 Different treatment combinations

处理	阔叶类草抑制剂浓度/ (kg·hm ⁻²)	氮素添加(纯N)/ (kg·hm ⁻²)
CK(H ₀ M ₀)	0	0
H ₀ M ₁	0	75
H ₀ M ₂	0	150
H ₀ M ₃	0	225
H ₁ M ₀	0.9	0
H ₁ M ₁	0.9	75
H ₁ M ₂	0.9	150
H ₁ M ₃	0.9	225
H ₂ M ₀	1.5	0
H ₂ M ₁	1.5	75
H ₂ M ₂	1.5	150
H ₂ M ₃	1.5	225
H ₃ M ₀	2.1	0
H ₃ M ₁	2.1	75
H ₃ M ₂	2.1	150
H ₃ M ₃	2.1	225

用EDTA—Na₂络合滴定法^[16]测定钙(Ca)含量;采用氢醌—亚硫酸钠比色法^[16]测定磷(P)含量。

1.5 数据统计分析

采用Microsoft Excel 2021整理数据和作图。用SPSS 20.0对各因子进行二因素裂区设计的方差分析,并分析阔叶类草抑制剂间、氮素添加水平间、阔叶类草抑制剂×氮素添加水平交互作用间各指标的差异。如果差异显著,分别用Duncan法进行多重比较,所有试验数据以均值±标准误表示。

2 结果与分析

2.1 阔叶类草抑制剂和氮素添加及其交互作用对垂穗披碱草品质的方差分析

由表3可知,阔叶类草抑制剂对垂穗披碱草P及Ash含量均存在极显著影响($P<0.01$),且对EE含量

存在显著影响($P<0.05$);氮素添加对除Ash之外的其他指标均影响极显著($P<0.01$);而阔叶类草抑制剂与氮素添加的交互作用对各指标均影响极显著($P<0.01$)。

2.2 阔叶类草抑制剂对垂穗披碱草品质的影响

由表4可知,阔叶类草抑制剂对垂穗披碱草CP和Ca的含量影响不显著;随着抑制剂浓度的增加,垂穗披碱草中的P含量有所增加,且较对照均达到极显著水平($P<0.01$),H₁、H₂、H₃处理分别较对照高出4.76%、9.52%、9.52%;H₂和H₃处理下的NDF含量均显著低于对照含量($P<0.05$),且降幅相同,较对照降低了3.34%;H₁、H₂、H₃处理下EE含量较对照均显著增加($P<0.05$),分别增加了6.25%、6.25%、10.34%;H₃处理下Ash含量极显著降低($P<0.01$),较对照降低了14.21%。

表3 阔叶类草抑制剂和氮素添加及其交互作用对垂穗披碱草品质的方差分析

Table 3 Variance analysis of broad-leaved grass inhibitors, nitrogen addition and their interactions on quality of *Elymus nutans*

变异来源	F值						
	粗蛋白 CP/%	酸性洗涤纤维 维 ADF/%	中性洗涤纤维 维 NDF/%	钙含量 Ca/%	磷含量 P/%	粗脂肪 EE/%	粗灰分 Ash/%
阔叶类草抑制剂(H)	0.200	2.796	2.667	1.482	9.653**	4.037*	22.442**
氮素添加(M)	76.568**	17.054**	10.932**	30.699**	9.273**	12.935**	0.777
阔叶类草抑制剂×氮素添加 H×M	17.598**	8.136**	4.258**	8.184**	8.601**	5.47**	5.527**

注:**表示差异极显著($P<0.01$),*表示差异显著($P<0.05$)

表4 不同浓度阔叶类草抑制剂处理对垂穗披碱草营养品质含量的差异性

Table 4 Differences of nutrient quality of *Elymus nutans* treated with different concentrations of broad-leaved grass inhibitors

阔叶类草抑制剂	粗蛋白 CP/%	酸性洗涤纤维 ADF/%	中性洗涤纤维 NDF/%	钙含量 Ca/%	磷含量 P/%	粗脂肪 EE/%	粗灰分 Ash/%
H ₀	7.33±0.21 ^a	41.14±0.89 ^a	62.62±0.81 ^a	0.65±0.02 ^a	0.21±0.00 ^c	2.77±0.06 ^b	5.63±0.07 ^a
H ₁	7.56±0.16 ^a	40.89±0.57 ^a	61.85±0.51 ^{ab}	0.69±0.03 ^a	0.22±0.00 ^b	2.95±0.04 ^a	5.60±0.10 ^a
H ₂	7.43±0.27 ^a	38.74±0.77 ^b	60.55±0.43 ^b	0.66±0.03 ^a	0.23±0.00 ^{ab}	2.95±0.05 ^a	5.72±0.11 ^a
H ₃	7.49±0.22 ^a	41.42±0.67 ^a	60.55±0.68 ^b	0.71±0.02 ^a	0.23±0.00 ^a	3.01±0.05 ^a	4.83±0.06 ^b

注:同列中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同

2.3 氮素添加对垂穗披碱草品质的影响

由表5可知, M_1 、 M_2 和 M_3 处理下CP含量与对照间差异均为极显著($P<0.01$), 分别较对照增加了17.90%、22.14%、27.94%; ADF和NDF含量均随施氮量的增加而降低。 M_1 、 M_2 、 M_3 处理下ADF含量较对照均达到了极显著水平($P<0.01$), 分别降低了5.20%、7.24%、12.55%; M_2 和 M_3 处理下NDF含量与对照间差异均达极显著水平($P<0.01$), 分别降低

了4.14%和6.45%; Ca含量在各施氮处理下均极显著高于对照($P<0.01$), M_1 、 M_2 、 M_3 处理下Ca含量分别较对照增加了17.54%、19.30%、35.09%; M_2 和 M_3 处理下P含量较对照也均有极显著的增加($P<0.01$), 分别增加了4.77%和14.29%; M_3 处理下EE含量与对照间差异达极显著水平($P<0.01$), 较对照增加了11.79%; 施氮处理对垂穗披碱草Ash含量影响不显著($P>0.05$)。

表5 不同氮素添加水平对垂穗披碱草营养品质含量的差异性

Table 5 Differences of nutrient quality and content of *Elymus nutans* with different nitrogen addition levels

氮素添加水平	粗蛋白 CP/%	酸性洗涤纤维 ADF/%	中性洗涤纤维 NDF/%	钙含量 Ca/%	磷含量 P/%	粗脂肪 EE/%	粗灰分 Ash/%
M_0	6.37±0.09 ^d	43.25±0.61 ^a	63.22±0.61 ^a	0.57±0.02 ^c	0.21±0.00 ^c	2.80±0.04 ^b	5.37±0.14 ^a
M_1	7.51±0.08 ^e	41.00±0.66 ^b	61.93±0.39 ^{ab}	0.67±0.01 ^b	0.22±0.00 ^{bc}	2.86±0.04 ^b	5.50±0.13 ^a
M_2	7.78±0.09 ^b	40.12±0.27 ^b	61.28±0.54 ^b	0.68±0.01 ^b	0.22±0.00 ^b	2.89±0.03 ^b	5.59±0.14 ^a
M_3	8.15±0.09 ^a	37.82±0.54 ^c	59.14±0.50 ^c	0.77±0.01 ^a	0.24±0.00 ^a	3.13±0.05 ^a	5.32±0.13 ^a

2.4 阔叶类草抑制剂和氮素添加水平交互作用对垂穗披碱草品质的影响

由图1可知, 在同一浓度的阔叶类草抑制剂下, 随着施氮量的增加, 垂穗披碱草的CP含量(图1-A)随之增加, 在所有处理组合中, H_0M_0 的CP含量最低, 极显著低于($P<0.01$)除 H_2M_0 、 H_3M_0 以外的所有处理组合, 其中 H_3M_3 处理组合的CP含量最高, 较 H_0M_0 对照组合高出31.47%; 在抑制剂 H_0 、 H_1 、 H_2 、 H_3 各水平间, M_3 施氮水平的ADF含量(图1-B)和NDF含量(图1-C)均极显著低于($P<0.01$) M_0 不施氮水平的ADF含量和NDF含量, 其中 H_2M_3 处理组合下ADF含量较低, H_3M_3 处理组合下NDF含量较低, 分别较 H_0M_0 对照组合降低了20.54%和10.85%; M_3 施氮水平的EE(图1-D)、Ca(图1-F)和P含量(图1-G)均极显著高于($P<0.01$) M_0 不施氮水平, 其中 H_3M_3 处理组合的Ca、P和EE含量相对最高, 分别较 H_0M_0 对照组合高出24.52%、40.35%、31.58%; 在所有处理组合中, H_3M_3 处理组合的Ash含量(图1-E)最低, 极显著低于($P<0.01$)除 H_3M_0 、 H_3M_1 、 H_3M_2 以外的其他处理组, 较 H_0M_0 对照组合降低了19.24%。

3 讨论

3.1 阔叶类草抑制剂对高寒草地优势禾草垂穗披碱草营养品质的影响

在高寒草地阔叶类杂类草快速生长期及时喷施适宜浓度阔叶类草抑制剂, 削弱群落中阔叶型草的生长及其比例, 促进优良禾本科草生长, 使得垂穗披碱草粗蛋白含量提高1.36%~3.14%, 该研究结果与刘欢^[17]研究一定浓度抑制剂可以提高牧草蛋白质含量的研究结果一致。这是由于该阔叶类草抑制剂是一种激素型抑制剂, 此类抑制剂主要成分为有机化合物, 在较低使用量时经垂穗披碱草吸收后, 促进了植株地上部分的生理代谢, 对植物蛋白质的合成能提供有效元素补给^[6]。本研究中, 中、高浓度抑制剂处理下中性洗涤纤维含量明显降低, 酸性洗涤纤维含量稍有降低, 表明该抑制剂能一定程度地提高垂穗披碱草的适口性和饲用价值。喷洒抑制剂后, 垂穗披碱草中的粗脂肪含量随抑制剂浓度的增加显著增加, 然而刘欢^[17]、牛兴奎^[18]等研究发现, 抑制剂分别降低了燕麦和玉米籽粒中的粗脂肪含量, 与本研究结果不同, 主

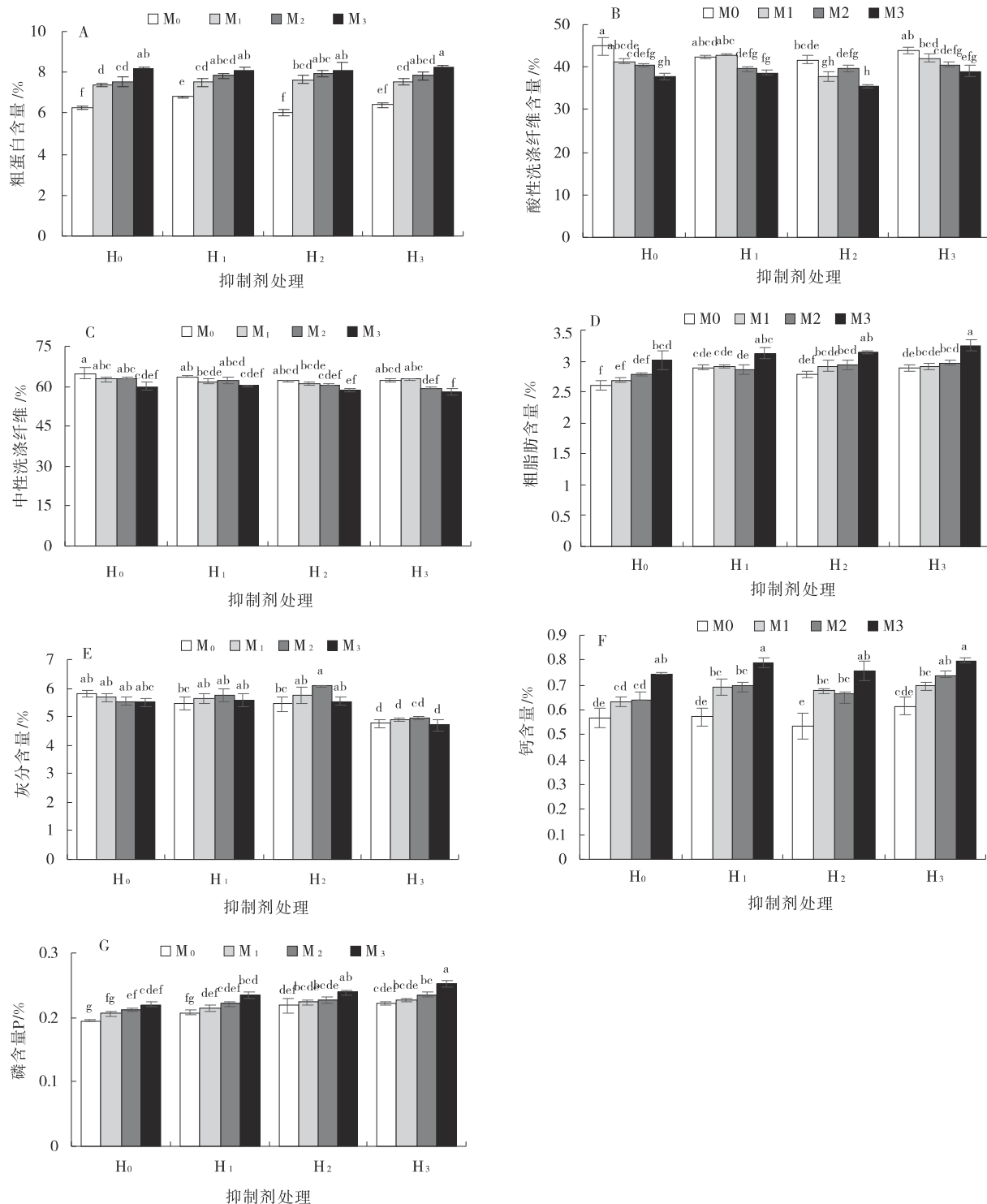


图1 阔叶类草抑制剂和氮素添加水平交互作用对垂穗披碱草品质的影响

Fig. 1 Effects of interactivity of broad-leaved grass inhibitors and nitrogen addition levels on the quality of *Elymus nutans*

注:两因素各水平交互中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

要原因可能是不同植物对不同种类抑制剂吸收能力不同所引起的生理性差异。该抑制剂对垂穗披碱草的Ca含量影响不大,但对P有显著促进作用,阔叶类草抑制剂的作用机理较为复杂,这种促进作用可能与该类抑制剂本身的化学特性有关。另外还有一些矿

物质以无机盐和氧化物的形式存在于灰分中,低浓度处理下使得垂穗披碱草灰分含量也有所增加,而高浓度处理下灰分含量显著降低,此研究结果说明该抑制剂低浓度下能促进垂穗披碱草对无机养分的吸收,对提高其矿质元素含量有促进作用,高浓度下则有所抑

制。由上可以初步说明该抑制剂对垂穗披碱草品质的直接影响相对较小,主要是通过抑制杂类草生长,削弱种间养分争夺,对垂穗披碱草品质提高起到一定的促进作用,从而能一定程度地改善垂穗披碱草营养品质。

3.2 氮素添加水平对高寒草地优势禾草垂穗披碱草营养品质的影响

草地施肥能够增加土壤中营养元素含量,提高牧草产量,增加牧草体内粗蛋白的含量,降低纤维素含量,提升牧草品质^[19]。本研究表明,施氮能显著增加高寒草地牧草粗蛋白含量,这与曹文侠^[20]、刘泽^[21]等在高寒草地上施氮的研究结果一致。原因是牧草体内粗蛋白含量与高寒草地土壤当中速效氮含量正相关^[22],氮肥增加了土壤中可利用的氮含量,植物根系在土壤中吸收了大量无机态氮、硝态氮充分补充了牧草体内合成蛋白质所需营养元素。本试验也表明,施氮肥能显著增加牧草粗脂肪含量,并降低中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量,此研究结果与胡冬雪等^[23-24]的一致,这说明施氮能一定程度的提高牧草营养品质、能量储蓄和适口性。施氮能明显增加牧草Ca、P等矿物质元素含量,由于氮和磷的相关性很强,随着施氮量的增加,刺激植物对磷元素的吸收,两者体现出协同作用^[25],因而提高了垂穗披碱草中的磷含量,从而改善其营养品质。

3.3 阔叶类草抑制剂和氮素添加交互作用对高寒草地优势禾草垂穗披碱草营养品质的影响

高寒退化草地植物群落中出现大量杂类草,使得优势禾草竞争力变弱,导致草地质量下降,采用施肥、抑杂等措施是使草地可持续、稳定利用的有效措施^[26]。阔叶类草抑制剂能有效抑制杂类草的生长发育,使得优良禾草获得更充分的生长空间,氮素添加不仅能补充土壤营养元素,提高牧草产量和品质,而且能一定程度改变群落结构,提高优势禾草竞争力^[27]。本研究结果显示,不同量抑制剂和不同氮素水平的交互作用均能一定程度地提高垂穗披碱草营养品质,且各营养指标表现较其单施的效果尤为显著,在抑制剂最高浓度 2.1 kg/hm^2 和氮素添加最大水平

225 kg/hm^2 处理下,垂穗披碱草营养品质相对最好,该研究结果与布·阿·马卡罗夫^[28]在山地天然草原施用杂类草抑制剂和施肥提高了牧草品质的研究结果一致。适宜浓度的阔叶类草抑制剂能显著提升优势禾草垂穗披碱草在植物群落中的竞争力水平,使其在竞争中占据有利地位,因而能从土壤中吸收更多生长发育所需的营养元素,最终使其营养品质也极大地改善^[29]。阔叶类草抑制剂剂量和施氮量的选择因各地区气候条件、地理位置、试剂种类以及施用时期不同,使用效果也存在很大差异^[17,30],该试验区域海拔较高、日照强烈、气候寒冷、土壤微生物活动弱,土壤-植被系统物质的循环转化速率较慢^[31-32],因而本试验在较高浓度时宜发挥出其最大作用。

4 结论

1) 阔叶类草抑制剂能一定程度提高高寒地区天然草地垂穗披碱草营养品质,ADF含量在 1.5 kg/hm^2 抑制剂浓度下最低,NDF和Ash含量在 2.1 kg/hm^2 抑制剂浓度下最低,其他各营养成分含量均在 2.1 kg/hm^2 抑制剂浓度时最高。

2) 氮素添加能显著提高高寒地区天然草地垂穗披碱草营养品质,垂穗披碱草CP、Ca、P和EE含量均在施氮量为 225 kg/hm^2 时达最高,而ADF、NDF和Ash含量均达最低。

3) 当抑制剂浓度为 2.1 kg/hm^2 ,氮素添加水平为 225 kg/hm^2 时,其交互作用下垂穗披碱草CP、Ca、P和EE含量均高于其他处理组合,ADF、NDF和Ash含量与其他处理组合比相对较低,其交互作用对提高高寒草地垂穗披碱草营养品质有显著作用。

参考文献:

- [1] 冯忠心. 培育措施对重度退化亚高山草甸植被恢复效果的研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2013.
- [2] Chen S Y, Ma X, Zhang X Q, *et al.* Genetic variation and geographical divergence in *Elymus nutans* Griseb. (Poaceae: Triticeae) from West China[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2009, 37(6): 716-722.
- [3] 陆光平, 聂斌. 垂穗披碱草利用价值评价[J]. *草业科学*, 2002, 19(9): 13-15.

- [4] 李雪萍,李建宏,李敏权.天然草地退化综合修复技术规范[J].甘肃农业科技,2020(11):88-91.
- [5] 李文华,周兴民.青藏高原生态系统及优化利用模式[M].广州:广东科技出版社,1998.
- [6] 郭剑.除草剂2甲4氯(MCPA)对冬小麦生长发育及生理特性的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [7] 王晓娜.除草剂对荞麦田杂草防效及荞麦生长发育的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [8] 郑建波,李洪来,李德春,等.5种除草剂对吉林省春小麦田杂草防除效果研究[J].现代农药,2012,11(6):48-50.
- [9] 赵洁.黄土区封育和放牧草地群落功能与结构对氮素添加的响应[D].杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [10] 姜哲浩,康文娟,柳小妮,等.施肥和补播对高寒草甸草原载畜能力的影响[J].草原与草坪,2018,38(6):68-78.
- [11] 王胜佳,王家玉,陈义.复膜尿素对水稻的增产效应及其生理基础[J].浙江农业学报,1997,9(3):7-11.
- [12] 中国农业科学院土壤肥料研究所主编.中国肥料[M].上海科学技术出版社,1994.
- [13] 陈文业,赵明,李广宇,等.不同类型施肥水平对甘南沙化高寒草甸植物群落特征及生产力的影响[J].自然资源学报,2012,27(2):254-267.
- [14] 王玲,施建军,史慧兰,等.氮、磷添加对环青海湖高寒草原牧草营养成分和土壤养分的影响[J].草业科学,2019,36(12):3065-3075.
- [15] 杨胜.饲料分析及饲料质量监测技术[M].北京:北京农业大学出版社,1993.
- [16] 甘肃农业大学草原系编.草原生态化学实习实验指导[M].北京:农业出版社,1987.
- [17] 刘欢.燕麦田高效除草剂的筛选及其对燕麦和土壤安全性的影响研究[D].兰州:甘肃农业大学,2014.
- [18] 牛兴奎.除草剂、种衣剂对玉米产量、品质和根际环境的影响[D].泰安:山东农业大学,2007.
- [19] 德科加.施肥对三江源区高寒草甸初级生产力和土壤养分的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2014.
- [20] 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.
- [21] 刘泽.不同施肥处理对甘南高寒草地牧草产量及质量的影响研究[D].北京:北京林业大学,2019.
- [22] 周青平,金继运,德科加,等.不同施氮水平对高寒草地牧草增产效益的研究[J].土壤肥料,2005(3):29-31.
- [23] 胡冬雪.氮素调控对羊草生产性能、品质及土壤理化性质的影响[D].哈尔滨:哈尔滨师范大学,2017.
- [24] 范媛媛.氮肥添加对贝加尔针茅草原群落特征和牧草品质的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.
- [25] Schleuss Per Marten, Widdig Meike, Heintz-Buschart Anna, *et al.* Interactions of nitrogen and phosphorus cycling promote P acquisition and explain synergistic plant-growth responses. [J]. Ecology, 2020, 101(5):e03003.
- [26] 寇建村,胡自治.高寒地区多年生禾草混播草地杂草防除研究[J].草原与草坪,2003(4):33-35+62.
- [27] 邱波,罗燕江.不同施肥梯度对甘南退化高寒草甸生产力和物种多样性的影响[J].兰州大学学报,2004,40(3):56-59.
- [28] 布·阿·马卡罗夫,邹济生.山地天然草地施肥和应用除草剂的效果[J].新疆畜牧业,1992(4):53-56.
- [29] 施建军,洪绂曾,马玉寿,等.施肥和杂草防除对三江源区人工草地群落特征的影响[J].草地学报,2011,19(5):724-728.
- [30] 王正贵.除草剂对小麦产量和品质的影响及其残留特性[D].扬州:扬州大学,2011.
- [31] 李孙荣.杂草及其防治[M].北京:北京农业大学出版社,1992.95-112,180-203.
- [32] 张瑶瑶,冷若琳,崔霞,等.甘南州高寒草地土壤氮磷空间分布特征[J].草业学报,2018,27(12):12-21.

Effects of broad-leaved grass inhibitors and nitrogen addition on nutritional quality of *Elymus nutans* in alpine grassland

CHE Mei-mei, QI Juan*, SHI Shang-li, SAI Ning-gang, WANG Xiao-juan,
YANG Juan-di, JIA Yan-wei

(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] In order to solve the problem of grassland quality degradation caused by the large-scale reproduction of broad-leaved grasses in the alpine grassland of Sangko grassland in Gannan Prefecture. [Method] This experiment took *Elymus nutans* as the research object. The effects of different concentrations of broad-leaved grass inhibitors (0, 0.9, 1.5, 2.1 kg/hm²) and different nitrogen addition levels (0, 75, 150, 225 kg/hm²) were used to study the nutritional quality of the dominant grass in Gannan alpine grassland. [Result] The nutritional quality of *Elymus nutans* after spraying inhibitor was significantly higher than that of the control ($P < 0.05$). The contents of crude protein (CP), calcium (CA), phosphorus (P) and ether extract (EE) increased by 2.18%, 9.23%, 9.52% and 8.66% while the contents of neutral detergent fiber (NDF) and crude ash (Ash) decreased by 3.31% and 14.21% compared with the control at higher spraying concentration (2.1 kg/hm²), respectively. Acid detergent fiber (ADF) at 1.5 kg/hm² significantly decreased by 5.83 compared to the control. The quality of *Elymus nutans* in nitrogen application treatments was significantly higher than that of the control ($P < 0.05$). The contents of CP, CA, P and EE in *Elymus nutans* were higher than those in the control at a higher nitrogen application level (225 kg/hm²), which increased by 27.94%, 35.09%, 14.29% and 11.79%, respectively. However NDF and ADF were significantly lower than control by 6.45% and 12.55%, respectively, and which had no significant effect on the content of Ash. There were significant interactions between inhibitors and nitrogen application. Under the concentration of 2.1 kg/hm² inhibitors and 225 kg/hm² nitrogen application levels, the contents of CP, CA, P and EE in *Elymus nutans* were higher while NDF and ash were lower than other treatment combinations. [Conclusion] The results are of great significance to improve the quality and efficiency of alpine grassland and the sustainable development of animal husbandry.

Key words: broad-leaved grass inhibitors; nitrogen addition; *Elymus nutans*; nutritional quality