



甘肃高寒阴湿区播种方式和氮肥施用量对 猫尾草种质生产性能的影响

张文轩,李瑞珍,田新会,杜文华

(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,兰州 730070)

摘要 采用裂区试验设计,通过研究甘肃高寒阴湿区 4 个氮肥施用量(A1:施纯氮量 0 kg/hm²,A2:施纯氮量 90 kg/hm²,A3:施纯氮量 180 kg/hm²,A4:施纯氮量 360 kg/hm²)和 3 种播种方式(B1:条播,B2:撒播,B3:点播)对 4 个猫尾草种质(C1:新品系,C2:‘川西’,C3:‘岷山’,C4:‘克劳沃 1 号’)生产性能的影响,以筛选出最佳氮肥施用量、最佳播种方式和最佳猫尾草种质。结果表明,从单因素看,4 个氮肥施用量间,A4 的平均生产性能最好;3 种播种方式间,B3 的平均生产性能最好;4 个猫尾草种质中,C1 的平均生产性能最好。从二因素交互作用看,氮肥施用量×猫尾草种质交互作用间,A4C3 的平均生产性能最好;播种方式×猫尾草种质交互作用间,B3C1 的平均生产性能最好;氮肥施用量×播种方式交互作用间,A4B3 的平均生产性能最好。从三因素交互作用看,C1 在 A2B3 处理下生产性能最好;C2 和 C4 在 A4B3 处理下生产性能最好;C3 在 A4B2 处理下生产性能最好。综上,新品系的最佳氮肥施用量为 90 kg/hm²,最佳播种方式为点播;‘川西’和‘克劳沃 1 号’的最佳氮肥施用量为 360 kg/hm²,最佳播种方式为点播;‘岷山’的最佳氮肥施用量为 360 kg/hm²,最佳播种方式为撒播。

关键词 猫尾草;氮肥施用量;播种方式;生产性能

甘肃省高寒阴湿区位于甘肃西南部,该地区海拔较高,沟谷纵横,地形复杂,气候寒冷湿润,降雨量较多^[1-2],土壤及生物群落具有明显差异,是甘肃省农牧业发展最具潜力的地区之一^[3]。但由于该地区较为偏僻,且多为山地,草畜产业发展较为缓慢^[3-4],造成了当地优良饲草品种单一、产量低、质量差以及冬春季饲草严重不足的现象,限制了当地农牧业的发展。因此引进优质的饲草品种,并配以适宜的栽培管理措施是大力发展当地草畜产业的关键^[5-6]。

猫尾草(*Phleum pratense* L.)又称梯牧草,是禾本科多年生疏丛型牧草^[7],分蘖能力强,能适应潮湿阴冷的环境,抗旱抗涝性较强,且草产量高,适口性好,可调制成多种草产品供家畜饲用^[8]。猫尾草因含有较丰富的粗蛋白和粗纤维而广受养殖业者青睐,饲喂赛马能使其保持良好体型,延长寿命,是赛马的优良饲草^[9-10]。此外,猫

尾草根系较为发达,能够涵养水源,可作为公路边坡等贫瘠干旱土壤恢复植被的优势草种^[11-12]。近年来,由于人们生活水平的提高,饲养宠物的人越来越多,对猫尾草的需求量也越来越大^[13]。一些发达国家在上世纪就开始了猫尾草种质资源的研究,并培育出了高产、抗病的猫尾草新品种^[14]。Havstad 等^[15]研究表明猫尾草种子在低播种率下每隔一行种植覆盖作物和种子作物,对种子产量可以产生较正面的影响。

氮素对禾本科牧草的生长发育起着至关重要的作用,在一定范围内适量施用氮肥,能有效提高牧草产量和营养品质,进而增加其经济效益,同时可以改善土壤环境,提高植物对土壤中氮素的利用率,改善水土流失^[16-18]。但过量施用氮肥会导致禾草出现倒伏,牧草产量下降,草品质降低^[19-20]。在新疆伊犁昭苏县沙尔套山山麓,猫尾草株高随施氮量的增加而增加,当施氮量为 270

收稿日期:2023-01-12 修回日期:2023-02-23

基金项目:甘肃省重点研发计划(20YF8NA129);西藏重大专项(XZ202101ZD003N);国家自然科学基金(32260339);甘肃省高等学校产业支撑计划(2022CYZC-49)。

第一作者:张文轩,男,硕士研究生,研究方向为农艺与种业。E-mail:1813947458@qq.com

通信作者:杜文华,女,教授,研究方向为草种质资源及育种栽培。E-mail:duwh@gsau.edu.cn

kg/hm² 时,猫尾草产量增加最高;施氮量为 180 kg/hm² 时,对饲草营养品质的促进成效提升效果最为显著^[21]。丁欣丹^[13] 研究表明,在东北地区增施氮肥能显著提高当地克力玛猫尾草的株高、草产量和饲用品质,且生长第 2 年,施氮量均为 150 kg/hm² 时,草产量最高。

播种方式对提高饲草生产性能有显著影响,适宜的播种方式能改善土壤环境,进而提高饲草品质。禾本科牧草能够通过不同的播种方式有效改善土壤结构,提高其草产量^[22]。全膜覆土穴播方式可明显改善小麦的生长环境,显著提高其株高和草产量^[23]。‘岷山’猫尾草的氮肥施用量为 150 kg/hm²、播种行距为 40~45 cm 时,种子产量最高^[24]。目前国内外建植猫尾草饲草生产田多采取条播和撒播,对点播鲜有研究^[25]。

因此本试验拟通过研究氮肥使用量和播种方式对甘肃省高寒阴湿区 4 个猫尾草种质生产性能的影响,以筛选出最佳氮肥施用量、播种方式以及猫尾草种质,为该区猫尾草的推广种植提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于岷县南部寺沟乡本直寺,地理位置 N34.29°,E104.04°,海拔 2 530 m,年均气温 4.5 °C,无霜期 95 d,年降水量 700 mm,7—9 月份的降水量约占全年降水量的 54.9%,年蒸发量 1 158.1 mm。试验地为河谷台地,无灌溉条件,土壤为亚高山草甸土,植被以高山草甸为主。

1.2 试验材料

试验材料为猫尾草新品系、‘川西’猫尾草、‘岷山’猫尾草和‘克劳沃 1 号’猫尾草,猫尾草新品系是以‘岷山’猫尾草、‘Goliatl’和‘Commonl’猫尾草品种为亲本,利用轮回选择法选育得到的新品系。

1.3 试验设计及方法

再裂区试验设计。主区为 N 肥施用量,设 4 个水平,分别为 A1(施纯氮量 0 kg/hm²),A2(施纯氮量 90 kg/hm²),A3(施纯氮量 180 kg/hm²),A4(施纯氮量 360 kg/hm²),生长第 2 年和第 3 年分别于返青期和拔节期按照试验设计追施尿素(N 46%);副区为播种方式,设 3 个水平,分别为 B1(条播,播种行距 30 cm,播种量 10 kg/hm²),B2(撒播,播种量 20 kg/hm²),B3(点播,播种行

距为 30 cm,株距为 15 cm,每穴 3 粒);副副区为猫尾草种质,设 4 个水平,分别为 C1(猫尾草新品系),C2(‘川西’猫尾草)、C3(‘岷山’猫尾草)、C4(‘克劳沃 1 号’猫尾草);小区面积(3 m×5 m=15 m²)。播种前施磷酸二铵 300 kg/hm²。各小区间隔 50 cm,种 10 行,间距 30 cm。播种日期,2020-04-27。

1.4 测定指标及方法

枝条数测定于抽穗期刈割前进行。每个小区内随机选取 1 m 样段(边行和地头两边 50 cm 部分除外),数取样段内猫尾草的枝条数。

株高测定在抽穗期刈割前进行。分别从每个小区选择代表性植株 10 株,测量从地面至最高点的自然高度。10 株的平均值作分别作为该小区的株高。

鲜(干)草产量测定在抽穗期进行。齐地面刈割每个小区内所有植株的地上部分(除去边行和地头两边 50 cm 部分),称量,得到鲜草产量。每个小区分别取样 500 g 带回实验室,105 °C 烘箱中杀青 30 min,在 70 °C 烘箱中烘至恒量,称量得到干草质量,计算鲜干比。根据 500 g 鲜样的鲜干比计算每个小区的干草产量。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 进行数据整理与作图,在 SPSS 19.0 中用裂区试验设计的统计方法对不同处理的生产性能数据进行方差分析,F 检验显著时用 Duncan 氏法进行多重比较。

2 结果与分析

氮肥施用量间猫尾草枝条数存在显著差异($P < 0.05$),株高和鲜(干)草产量存在极显著差异($P < 0.01$);播种方式间株高和枝条数呈极显著差异($P < 0.01$),而鲜(干)草产量差异不显著;猫尾草种质间株高存在显著差异($P < 0.05$),而其余生产性能指标差异不显著;氮肥施用量×播种方式交互作用间鲜草产量差异不显著,株高、枝条数和干草产量均呈极显著差异($P < 0.01$);播种方式×猫尾草种质交互作用间株高呈极显著差异($P < 0.01$),枝条数呈显著差异($P < 0.05$),鲜(干)草产量差异均不显著;氮肥施用量×猫尾草种质交互作用间各生产性能指标均呈极显著差异($P < 0.01$);氮肥施用量×播种方式×猫尾草种质交互作用间株高、枝条数、鲜草产量和干草产量差异极显著($P < 0.01$)(表 1)。

表 1 单因素(氮肥施用量间、播种方式间、猫尾草种质间)以及二因素和三因素交互作用间生产性能的方差分析

Table 1 Analysis of variance on production performance among single factors(nitrogen fertilizing rates, sowing methods, timothy genotypes), and interactions of two and three factors

变量 Variance	F 值 F-value			
	株高/cm Plant height	枝条数 ($\times 10^4$)/ hm^{-2} Number of branches	鲜草产量/ (t/hm^2) Fresh yield	干草产量/ (t/hm^2) Hay yield
氮肥施用量 Nitrogen fertilizing rates	6.31**	3.13*	133.75**	87.98**
播种方式 Sowing methods	5.45**	7.03**	1.10	1.10
猫尾草种质 Timothy genotypes	3.80*	0.97	1.49	1.94
氮肥施用量 \times 播种方式间 Nitrogen fertilizing rates \times Sowing methods	6.68**	4.73**	43.95	29.41**
播种方式 \times 猫尾草种质间 Sowing methods \times Timothy genotypes	4.31**	2.19*	0.80	1.11
氮肥施用量 \times 猫尾草种质间 Nitrogen fertilizing rates \times Timothy genotypes	2.55**	2.37**	42.37**	26.54**
氮肥施用量 \times 播种方式 \times 猫尾草种质间 Nitrogen fertilizing rates \times Sowing methods \times Timothy genotypes	4.31**	3.44**	35.61**	21.55**

注: * 和 ** 分别表示差异显著和差异极显著,下同。

Note: * and ** indicates significant and extremely significant difference, respectively, the same below.

2.1 单因素间猫尾草生产性能的差异

4 个氮肥施用量处理平均生产性能为 $A4 > A3 > A2 > A1$, 4 个氮肥施用量处理间(表 2)各生产性能指标均存在显著差异($P < 0.05$)。其中平均株高和平均鲜(干)草产量随着氮肥施用量的增加而增加。A4 处理的平均株高最高,是 A1 处理的 1.07 倍;A3 和 A2 处理的平均枝条数最多,显著高于 A1 处理($P < 0.05$);平均鲜草产量最高

的处理是 A4,是最低值 A1 处理的 2.18 倍;平均干草产量最高的处理为 A4,是最低值 A1 的 1.90 倍。

3 种播种方式间平均株高和平均枝条数差异显著($P < 0.05$)。其中 B3 处理下不同氮肥施用量间,4 个猫尾草种质的平均株高显著高于 B1 处理($P < 0.05$),且 B3 的平均株高是 B1 的 1.05 倍,与 B2 处理差异不显著;B2 处理的平均枝条数

表 2 单因素间(氮肥施用量,播种方式,猫尾草种质)生产性能的差异($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Differences of production performance among single factors(nitrogen fertilizing rates, sowing methods, timothy genotypes)

因素 Factor	处理 Treatment	株高/cm Plant height	枝条数($\times 10^4$)/ hm^{-2} Number of branches	鲜草产量/(t/hm^2) Fresh yield	干草产量/(t/hm^2) Hay yield
氮肥施用量 Nitrogen fertilizing rates	A1	104.87 \pm 1.58 b	1 168.43 \pm 61.80 b	28.17 \pm 1.20 d	7.02 \pm 0.25 d
	A2	109.76 \pm 1.32 a	1 373.80 \pm 52.64 a	49.18 \pm 1.67 c	11.58 \pm 0.33 c
	A3	110.24 \pm 1.09 a	1 407.50 \pm 61.31 a	55.63 \pm 0.80 b	12.54 \pm 0.28 b
	A4	112.41 \pm 0.99 a	1 282.72 \pm 65.56 ab	61.33 \pm 1.16 a	13.35 \pm 0.26 a
播种方式 Sowing methods	B1	106.75 \pm 1.22 b	1 284.86 \pm 61.63 b	48.20 \pm 2.06 a	11.00 \pm 0.37 a
	B2	109.23 \pm 1.06 ab	1 454.61 \pm 45.11 a	47.54 \pm 2.24 a	10.95 \pm 0.47 a
	B3	111.99 \pm 1.08 a	1 184.86 \pm 45.87 b	51.80 \pm 2.24 a	11.80 \pm 0.51 a
猫尾草种质 Timothy genotypes	C1	110.98 \pm 1.18 a	1 254.08 \pm 57.19 a	50.74 \pm 2.08 ab	11.58 \pm 0.47 a
	C2	108.67 \pm 1.00 ab	1 271.12 \pm 56.02 a	49.95 \pm 2.61 ab	11.69 \pm 0.52 a
	C3	111.60 \pm 1.43 a	1 316.85 \pm 73.02 a	51.36 \pm 2.84 a	11.57 \pm 0.59 a
	C4	106.03 \pm 1.51 b	1 390.40 \pm 59.73 a	44.67 \pm 2.43 b	10.17 \pm 0.51 a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note:Different lowercase letters within the same column mean significant difference at the 0.05 level. The same below.

显著高于 B1 和 B3 ($P < 0.05$)。由此可以得出,3 种播种方式间,平均株高最高的处理为点播 (B3),平均枝条数最多的处理为撒播 (B2)。

4 个猫尾草种质间 C1 和 C3 的平均株高显著高于 C4 ($P < 0.05$),且与 C2 无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.2 二因素交互作用间猫尾草生产性能的差异

2.2.1 主区×副副区交互作用间生产性能的差异

由图 1 可知,A1、A3 和 A4 处理中,4 个猫尾草种质在不同播种方式下(下同)的平均株高无显著差异,A2 处理下 C1 的平均株高显著高于 C4,与 C2 和 C3 无显著差异。由此说明,A2 处理下,猫尾草新品系的平均株高较高。就同一猫尾草种质而言,C1 和 C3 在 4 个氮肥施用量处理下的平均株高无显著差异,C2 在 A3 处理下的平均株高显著高于 A1,与 A2 和 A4 处理无显著差异。由此说明,氮肥施用量对猫尾草新品系和‘岷山’猫尾草平均株高无显著影响,但有利于提高‘川西’和‘克劳沃 1 号’猫尾草的株高,‘川西’猫尾草在

A3 处理的平均株高最高,‘克劳沃 1 号’在 A4 处理的平均株高最高。

由图 1 可知,就同一氮肥施用量看,A1 处理下,C4 的平均枝条数显著高于 C2 和 C3,与 C1 差异不显著;A2、A3 和 A4 处理中,4 个猫尾草种质的平均枝条数无显著差异,其中 A2C2、A3C3 和 A4C3 的平均枝条数较多。由此说明,不施氮肥时,‘新品系’和‘克劳沃 1 号’猫尾草的枝条数较多,追施氮肥后,猫尾草种质间枝条数的差异缩小。就同一猫尾草种质而言,C1 和 C4 在 4 个氮肥施用量处理下的平均枝条数无显著差异;C2 在 A2 处理下的平均枝条数显著高于 A1,但与 A3 和 A4 无显著差异;C3 在 A3 处理下其平均枝条数显著高于 A1,但与 A2 和 A4 处理无显著差异。由此说明,无论是条播、点播,还是撒播,追施氮肥不能增加‘新品系’和‘克劳沃 1 号’猫尾草的枝条数;氮肥施用量为 A2 时,能够显著增加‘川西’猫尾草的枝条数;对于‘岷山’猫尾草而言,氮肥施用量达到 A3 时,能够增加其枝条数。

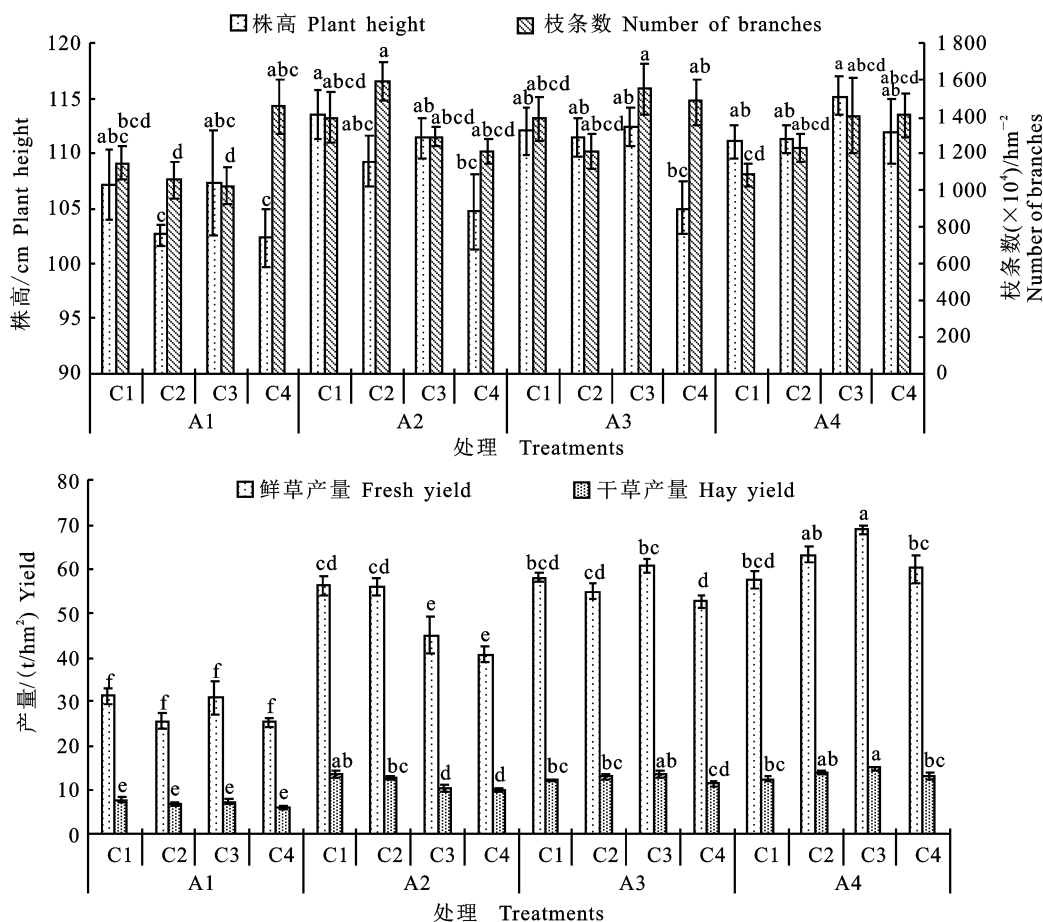


图 1 氮肥施用量×猫尾草种质交互作用间生产性能的差异

Fig. 1 Differences of production performance between nitrogen fertilizing rates and timothy genotypes

由图 1 可知,就同一氮肥施用量看,A1 处理下 4 个猫尾草种质不同播种方式(下同)的平均鲜(干)草产量均无显著差异,但 C1 的平均鲜(干)草产量较高;A2 处理下,C1 的平均鲜(干)草产量显著高于 C3 和 C4,但与 C2 无显著差异;A3 处理下,C3 的平均鲜(干)草产量显著高于 C4,但与 C1 和 C2 无显著差异;A4 处理下,C3 的平均鲜(干)草产量显著高于 C1 和 C4,但与 C2 无显著差异。由此说明,无论条播、点播还是撒播,不施氮肥(A1)或施氮肥较低(A2)时,猫尾草新品系的鲜(干)草产量较高,氮肥施用量较大(A3 和 A4 处理)时,‘岷山’猫尾草能获得较高鲜(干)草产量。从同一猫尾草种质看,C1 在 A3 处理下的平均鲜草产量最高,显著高于 A1,与其余 2 个氮肥施用量无显著差异,而在 A2 处理下,平均干草产量最高,显著高于 A1,与其余 2 个氮肥施用量无显著差异;C2 在 A4 处理下的平均鲜草产量显著高于其余 3 个氮肥施用量处理,平均干草产量显著高于 A1 处理,与 A2 和 A3 处理无显著差异;C3 在 A3 和 A4 处理下的平均鲜(干)草产量均显著高于 A1 和 A2 处理;C4 在 A4 处理下的平均鲜草产量显著高于其余 3 个氮肥施用量处理,平均干草产量显著高于 A1 和 A2 处理,与 A3 处理差异不显著。由此说明,猫尾草新品系在氮肥施用量较低(A2)时就能获得较高草产量,‘川西’、‘岷山’和‘克劳沃 1 号’猫尾草氮肥施用量较大(A4)时,才能获得较高鲜(干)草产量,4 个猫尾草种质间,‘岷山’猫尾草平均鲜草产量较多,‘川西’猫尾草平均干草产量较多。

2.2.2 副区×副副区交互作用间形态指标的差异 由图 2 可知,在同一播种方式下,B1 处理下 C2 在不同氮肥施用量下(下同)的平均株高显著高于 C4,但与 C1 和 C3 无显著差异;B2 处理下,C3 和 C1 的平均株高显著高于 C4,与 C2 无显著差异;B3 处理下,4 个猫尾草种质的平均株高均无显著差异,其中 C1 的平均株高最高。由此说明,条播有利于增加‘川西’猫尾草株高,撒播有利于增加‘岷山’猫尾草株高,点播有利于增加猫尾草新品系株高,3 种播种方式下,‘克劳沃 1 号’猫尾草的株高均较低。就同一猫尾草种质而言,C1、C2 和 C3 在 3 种播种方式下的平均株高均无显著差异;C4 在 B3 处理下的平均株高显著高于 B1 和 B2。由此说明,播种方式对猫尾草新品系、‘川西’猫尾草和‘岷山’猫尾草的株高无显著影响,点播时猫尾草新品系和‘川西’猫尾草的株高略高,撒播时‘岷山’猫尾草的株高略高,点播能显著提高‘克劳沃 1 号’猫尾草的株高,4 个猫尾草种质间,‘岷山’猫尾草在 3 种播种方式下平均株高较高。

由图 2 可知,同一播种方式看,B1 和 B2 处理中,4 个猫尾草种质的平均枝条数无显著差异;B3 处理下,C4 的平均枝条数显著高于 C1,但与 C2 和 C3 无显著差异。由此说明,条播和撒播情况下,4 个猫尾草种质的枝条数无显著差异,点播有利于增加‘克劳沃 1 号’猫尾草枝条数。就同一猫尾草种质而言,C1、C2 和 C3 在 3 种播种方式下的平均枝条数均无显著差异;C4 在 B2 处理下的平均枝条数显著高于 B1,但与 B3 无显著差异。

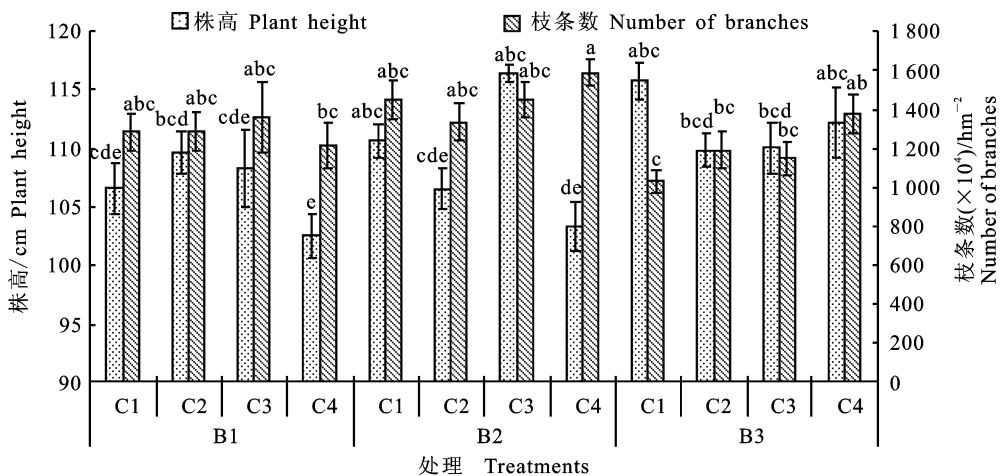


图 2 播种方式×猫尾草种质交互作用间生产性能的差异

Fig. 2 Differences of production performance between sowing methods and timothy genotypes

由此说明,对于猫尾草新品系、‘川西’猫尾草和‘岷山’猫尾草而言,无论采用哪种播种方式,枝条数均无显著变化,但撒播有利于增加‘克劳沃 1 号’猫尾草的枝条数,4 个猫尾草种质间,‘克劳沃 1 号’猫尾草在 3 种播种方式下平均枝条数较多。

2.2.3 主区×副区交互作用间生产性能的差异

由图 3 可知,就同一播种方式而言,B1 处理下,A2 的平均株高显著高于 A1,且与 A3 和 A4 差异不显著;B2 处理下,4 个氮肥施用量的平均株高均无显著差异,其中 A2 的平均株高较高;B3 处理下,A4 的平均株高显著高于 A1 和 A2,与 A3 无显著差异。由此说明,条播和撒播处理下,A2 处理更有利于猫尾草平均株高增加;点播处理下,A4 处理更有利于猫尾草平均株高增加。就同一氮肥施用量看,A1 处理下,B3 的平均株高显著高于 B1,与 B2 无显著差异;A2 处理下,3 种播种方式的平均株高差异不显著,B2 的平均株高较高;A3 处理下,B3 的平均株高显著高于 B2,与 B1 无显著差异;A4 处理下,B3 的平均株高较高,与其余 2 种播种方式差异显著。由此说明,A1、A3 和 A4 处理中,点播更有利于猫尾草平均株高的增

加;A2 处理下,撒播更有利于猫尾草平均株高增加。

由图 3 可知,就同一播种方式而言,B1 处理下,A4 的平均枝条数显著高于 A1,且与其余 2 种播种方式无显著差异;B2 处理下,A2 和 A3 的平均枝条数显著高于 A4,且与 A1 无显著差异;B3 处理下,4 个氮肥施用量的平均枝条数均无显著差异,其中 A2 的平均枝条数较高。由此说明,条播处理下,A4 处理更有利于猫尾草平均枝条数的增多;撒播处理下,A2 和 A3 处理有利于猫尾草平均枝条数的增多;点播处理下,A2 处理更有利于猫尾草平均枝条数的增多。就同一氮肥施用量看,A1 处理下,B2 的平均枝条数显著高于 B1,与 B3 无显著差异;A2 处理下,B2 的平均枝条数显著高于其余 2 种播种方式;A3 处理下,B2 的平均枝条数显著高于 B3,且与 B1 无显著差异;A4 处理下,3 种播种方式的平均枝条数均无显著差异,其中 B1 的平均枝条数较高。由此说明,A1、A2 和 A3 处理下,撒播更有利于猫尾草枝条数的增加;A4 处理下,条播更有利于猫尾草枝条数的增加。

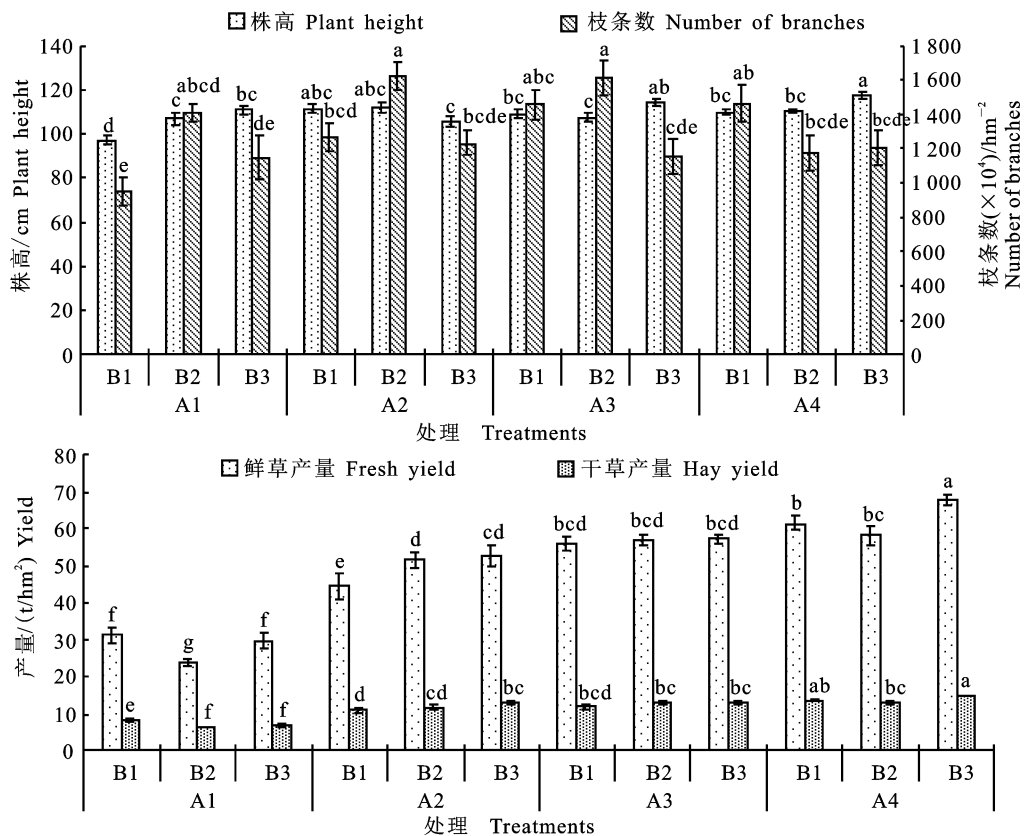


图 3 氮肥施用量×播种方式交互作用间生产性能的差异

Fig. 3 Differences of production performance between nitrogen fertilizing rates and sowing methods

由图3可知,从同一播种方式看,B1和B2处理下,A4的平均鲜(干)草产量均显著高于A1,且与A3无显著差异;B3处理下,A4的平均鲜(干)草产量显著高于其余3个氮肥施用量处理。由此说明,条播、撒播和点播处理下,A4处理更有利于猫尾草平均鲜(干)草产量提高。综上所述,3种播种方式中,点播处理下猫尾草平均鲜(干)草产量较多。就同一氮肥施用量看,A1处理下,B1的平均鲜(干)草产量显著高于B2;A2处理下,B3的平均鲜(干)草产量显著高于B1,且与B2无显著差异;A3处理下,3种播种方式的平均鲜(干)草产量均无显著差异,其中B3的平均鲜草产量较高;A4处理下,B3的平均鲜草产量显著高于B1和B2,平均干草产量显著高于B2,且与B1无显著差异。由此说明,A1处理下,条播更有利于猫尾草平均鲜(干)草产量的增加;A2,A3和A4处理中,点播更有利于猫尾草平均鲜(干)草产量的增加。

2.3 三因素(氮肥施用量×播种方式×猫尾草种质)交互作用间猫尾草生产性能的差异

从表3看出,在条播(B1)处理下,当氮肥施用量相同时,4个猫尾草种质的株高和枝条数均无显著差异;施肥量较低时(A1~A3)时,C2和C3的干草产量较高,均高于C4,但施肥量增加为A4时,4个猫尾草种质鲜(干)草产量的差异缩小。说明条播时,C3的鲜(干)草产量较高;氮肥在提高猫尾草种质草产量同时,能够缩小产量差距。

在撒播(B2)处理下,当氮肥施用量相同时,4个猫尾草种质株高的差异较小,枝条数的变化无统一规律。不追施氮肥(A1)时鲜(干)草产量的差异较小;追施氮肥后,不仅使草产量提高,而且差距增大,A2处理下C1、C2、C3的鲜(干)草产量显著高于C4,A3处理下C2的鲜(干)草产量显著高于C4,A4处理下C3的鲜(干)草产量显著高于C1、C2和C4。从而说明,4个猫尾草种质撒播时,追施氮肥有利于提高草产量,而且使草产量的差距加大,有利于挖掘高产种质C3的生产潜力,使其干草产量达到最大值。

点播(B3)时,4个猫尾草种质间株高、枝条数和鲜(干)草产量的差异增大,其中A2处理下C1的株高显著高于C4;A1处理下C4的枝条数显著高于C1、C2和C3;C1的鲜(干)草产量在A1处理下显著高于C2和C4,A2处理下显著高于C3

和C4,而且干草产量达到最大值,C2和C4的干草产量在A4时也达到最大值。从而说明,点播有利于挖掘C1、C2和C4的生产潜力,提高其草产量。

3 讨论

3.1 单因素(氮肥施用量、播种方式和猫尾草种质)间生产性能的差异及原因

在一定范围内施用氮肥可提高牧草产量^[26]。合理施用氮肥能有效提高猫尾草草产量和草品质,改善适口性^[27]。本试验表明,氮肥施用量为360 kg/hm²时,平均株高、鲜(干)草产量均达到最大,平均枝条数均较高。这可能是由于在甘肃省高寒阴湿区,气候较湿润,在氮肥充足的条件下,猫尾草生长发育较快,分蘖数较多,株高增高,且茎秆增粗,对草产量贡献较大。但由于当地降水较多,猫尾草种质倒伏较严重,底部出现了枯黄腐烂的现象,对猫尾草生产性能产生了一定的负面影响^[28]。

牧草会因播种方式不同生产性能的差异较大,因此选择合适的播种方式是有效提高牧草产量和品质的关键因素^[29]。本研究中,点播处理的猫尾草平均株高最高,显著高于条播($P < 0.05$),平均鲜(干)草产量高于其余两种播种方式。由此说明,4个猫尾草种质点播时可以提高其生产性能,这与前人研究的结果相似^[30]。主要因为点播时播种量小、群体密度低,因而削弱了种内竞争^[31]。田间观测表明,点播时猫尾草种质倒伏率低于条播和撒播,植株底部通风较好,枯黄腐烂较少,草产量损失较少。因此,甘肃省高寒阴湿区猫尾草进行点播时更能提高其生产性能。

牧草生产性能是由其自身遗传性状决定的。牧草的品种不同,最佳生长环境不同,草产量和草品质也不同^[32]。杜文华等^[33]研究表明,猫尾草的生产性能因生长环境和品种的不同而不同。本研究表明,猫尾草新品系的平均鲜(干)草产量和枝条数与其余3个种质无显著差异。这可能是由于3种猫尾草种质的遗传特性不同,适宜的播种方式和施肥量不同,不同播种方式和氮肥施用量下4个猫尾草种质的平均生产性能相互抵消,使差异缩小^[34-35]。

3.2 二因素交互作用间猫尾草形态特征和生产性能的差异及原因

氮肥施用量×猫尾草种质:牧草生产性能由

表 3 氮肥施用量×播种方式×猫尾草种质交互作用间生产性能的差异
Table 3 Differences of production performance for interaction between the nitrogen fertilizing rates, sowing methods, timothy genotypes

处理 Treatments			株高/cm Plant height	枝条数($\times 10^4$)/ hm^{-2} Number of branches	鲜草产量/(t/ hm^2) Fresh mass	干草产量/(t/ hm^2) Hay yield
B1	A1	C1	94.96±0.88 mn	1 237.78±221.25 efghijk	31.92±2.07 mnopq	8.12±1.19 mnop
		C2	102.57±1.64 ghijklmn	907.78±98.63 ijk	29.42±1.59 nopqr	8.04±0.39 mnop
		C3	94.57±7.99 n	794.44±179.32 k	39.75±4.76 lm	9.69±0.46 jklm
		C4	95.67±0.49 lmn	855.56±62.55 jk	23.67±1.54 rst	6.57±0.71 opq
	A2	C1	112.43±3.28 bcdefg	1 190.00±111.07 efghijk	50.00±1.68 ijk	12.05±0.74 fghi
		C2	111.65±4.44 bcdefgh	1 567.78±139.01 abcdefg	59.00±0.65 defgh	13.45±0.42 defgh
		C3	112.45±4.81 bcdefg	1 234.44±162.08 efghijk	33.25±7.07 mnop	8.77±0.50 klmn
		C4	109.44±4.26 bcdefghij	1 070.00±75.60 fghijk	34.92±1.01 mno	8.57±0.21 klmno
	A3	C1	110.90±2.66 bcdefghi	1 605.55±166.52 abcdef	55.75±1.2 defghi	12.17±0.38 fghi
		C2	113.08±4.24 abcdefg	1 234.44±221.36 efghijk	53.75±2.93 efghij	13.20±1.19 defgh
		C3	110.56±2.79 bcdefghi	1 587.78±142.26 abcdef	63.50±1.06 bcd	12.21±0.36 efghi
		C4	100.34±2.60 ijklmn	1 405.56±172.39 abcdefghij	50.67±1.06 hijk	9.63±0.18 jklm
	A4	C1	107.96±0.47 bcdefghijk	1 105.55±203.24 fghijk	57.25±2.45 defghi	12.30±0.59 efghi
		C2	111.08±0.72 bcdefghi	1 443.33±83.29 abcdefghi	62.92±0.84 bed	13.84±0.29 cdefg
		C3	115.67±3.18 abcdef	1 808.89±567.56 abcd	69.08±1.78 ab	14.46±0.29 abcde
		C4	104.66±0.20 fghijklmn	1 508.89±349.43 abcdefgh	56.33±3.78 defghi	13.00±0.85 defgh
B2	A1	C1	110.33±0.72 bcdefghi	1 296.67±54.09 defghijk	25.47±1.18 pqrst	6.87±0.42 nopq
		C2	100.00±0.39 ijklmn	1 326.67±47.96 cdefghijk	26.00±0.10 pqrs	6.86±0.29 nopq
		C3	119.17±0.87 ab	1 343.33±43.58 bcdefghijk	18.08±0.34 t	5.07±0.23 q
		C4	98.33±0.27 klmn	1 683.33±42.14 abcde	25.13±2.29 qrst	6.32±0.56 pq
	A2	C1	117.59±2.12 abc	1 916.67±41.82 a	55.50±1.63 defghi	12.34±0.32 efghi
		C2	109.34±5.30 bcdefghijk	1 863.35±47.57 abc	53.75±0.80 efghij	12.12±0.15 fghi
		C3	114.85±1.36 abcdef	1 336.67±56.71 bcdefghijk	56.83±2.02 defghi	12.52±1.01 efghi
		C4	106.01±8.37 defghijkl	1 376.73±53.19 abcdefghij	39.59±0.66 lm	9.78±0.22 jklm
	A3	C1	106.09±0.68 defghijkl	1 563.33±51.68 abcdefg	60.92±0.92 cdef	12.43±0.27 efghi
		C2	107.44±0.56 cdefghijk	1 073.32±39.98 fghijk	59.89±1.90 defg	14.29±0.16 bcdef
		C3	116.07±1.46 abcde	1 916.67±41.79 a	56.67±3.85 defghi	13.24±1.45 defgh
		C4	101.18±1.36 hijklmn	1 883.33±49.13 ab	50.00±0.58 ijk	11.66±0.65 ghij
	A4	C1	108.40±0.68 bcdefghijk	1 020.10±41.82 ghijk	53.00±3.64 fghij	11.49±1.02 hij
		C2	109.31±3.66 bcdefghijk	1 080.07±44.07 fghijk	57.75±3.32 defghi	13.29±0.60 defgh
		C3	115.74±1.93 abcdef	1 193.32±49.31 efghijk	69.50±1.35 ab	16.24±0.90 ab
		C4	107.78±0.78 cdefghijk	1 400.24±32.55 abcdefghij	52.53±3.31 fghijk	10.64±0.52 ijk
B3	A1	C1	116.33±0.45 abcde	897.78±70.88 ijk	36.05±0.15 mn	8.26±0.72 lmnop
		C2	105.33±1.16 efghijklm	922.22±227.46 ijk	20.83±4.43 st	5.71±0.40 q
		C3	108.17±7.22 bcdefghijk	928.89±61.38 ijk	34.67±3.95 mno	7.07±0.21 nopq
		C4	113.00±0.88 abcdefg	1 826.67±40.42 abcd	27.07±0.71 opqrs	5.64±0.16 q
	A2	C1	110.62±5.49 bcdefghi	1 086.67±160.01 fghijk	63.09±2.17 bcd	16.48±0.58 a
		C2	106.90±2.89 cdefghijk	1 353.33±204.13 bcdefghijk	55.50±6.14 defghi	13.04±1.20 defgh
		C3	107.06±0.31 cdefghijk	1 293.33±31.80 defghijk	44.67±2.45 kl	10.31±1.02 ijkl
		C4	98.80±4.73 jklmn	1 196.66±141.46 efghijk	47.17±0.98 jk	11.57±0.10 hij
	A3	C1	119.23±0.80 ab	992.22±161.85 hijk	57.67±1.22 defghi	12.22±0.34 efghi
		C2	113.85±2.89 abcdefg	1 322.22±205.88 cdefghijk	51.42±1.11 ghijk	11.65±0.65 ghij
		C3	110.56±4.14 bcdefghi	1 146.66±234.54 efghijk	62.17±1.62 bede	15.12±1.47 abcd
		C4	113.62±2.12 abcdefg	1 158.89±119.65 efghijk	57.33±1.53 defghi	12.94±0.78 defgh
	A4	C1	116.96±1.16 abcd	1 136.67±37.91 efghijk	62.25±1.00 bede	14.23±0.45 bcdef
		C2	113.54±1.30 abcdefg	1 158.89±134.61 efghijk	69.17±1.57 ab	14.78±0.28 abcd
		C3	114.30±4.63 abcdef	1 217.78±262.98 efghijk	68.10±2.33 abc	14.08±0.37 cdef
		C4	123.52±1.93 a	1 318.89±185.72 cdefghijk	71.58±0.46 a	15.71±0.27 abc

其遗传性状决定,不同牧草品种其最佳氮肥施用量不同^[36],增施氮肥能有效提高牧草产量^[37]。在一定范围内,随着氮肥施用量增加,牧草株高、枝条数和鲜(干)草产量也随之提高^[21]。本研究结果表明,‘川西’猫尾草、‘岷山’猫尾草和‘克劳沃1号’猫尾草对氮肥不敏感,氮肥施用量较高(360 kg/hm²)时,不同播种方式下的平均株高和分蘖数较多,平均鲜(干)草产量均较高,因此最佳氮肥施用量均为360 kg/hm²;猫尾草新品系对氮肥较敏感,氮肥施用量为90 kg/hm²时植株生长健壮,叶量丰富,平均株高、枝条数和鲜(干)草产量较高,由此可以说明猫尾草新品系对氮肥的利用率高^[38]。

播种方式×猫尾草种质:猫尾草种质不同,遗传性状不同,因此对播种方式的要求也不同^[33]。本试验中,播种方式对猫尾草种质的株高和枝条数有显著影响,点播处理下4个猫尾草种质群体密度适宜,植株底部腐烂现象少,植株生长健壮,平均株高较高,饲草品质较好,但撒播处理下猫尾草平均枝条数较多,对草产量贡献较大。

氮肥施用量×播种方式:在一定范围内合理施用氮肥以及搭配适宜的播种方式,可以显著提高牧草产量和草品质^[39]。株高和枝条数对小黑麦草产量有显著影响^[40]。本试验中,由于试验区降雨量较大,对于任何一个猫尾草种质而言,倒伏是最大问题,因此氮肥施用量为360 kg/hm²,点播时猫尾草平均株高和草产量均较高,而且植株底部通风透气性较好,枯黄腐烂现象较少,对饲草品质影响较小。

3.3 三因素(氮肥施用量×播种方式×猫尾草种质)交互作用间生产性能的差异及原因

施氮不但可以显著提高燕麦的草产量,还能改善适口性^[41]。在降雨量充足,氮肥施用量适宜的情况下,精量播种能够显著提高小麦产量^[42]。猫尾草作为一种优质高产牧草,其高产主要由遗传性状决定,但施肥和播种方式对草产量有显著影响^[43]。本试验通过研究4个猫尾草种质生产性能对氮肥施用量和播种方式的响应,以明晰不同猫尾草种质的适宜施肥量和播种方式。猫尾草新品系由于分蘖性能较强,对氮肥的利用率高,点播、且氮肥施用量为90 kg/hm²时,草产量最高;‘岷山’猫尾草由于分蘖性能弱,对氮肥的利用率低,撒播、施肥量为360 kg/hm²时,草产量最高;‘川西’猫尾草和‘克劳沃1号’猫尾草分蘖性能较

强,对氮肥的利用率低,点播、施肥量为360 kg/hm²时草产量最高。

4 结论

氮肥施用量和播种方式影响4个猫尾草种质生产性能,猫尾草新品系的最佳氮肥施用量为90 kg/hm²,最佳播种方式为点播;‘川西’猫尾草和‘克劳沃1号’猫尾草的最佳氮肥施用量为360 kg/hm²,最佳播种方式为点播;‘岷山’猫尾草的最佳氮肥施用量为360 kg/hm²,最佳播种方式为撒播。

参考文献 Reference:

- [1] 王无怠. 甘肃省岷山高寒阴湿区农业发展方向商榷[J]. 科学·经济·社会,1995(3):15-20.
WANG W D. Discussion on the development direction of agriculture in the alpine and damp areas of Taomin, Gansu Province[J]. *Science Economy Society*, 1995(3):15-20.
- [2] 余优森,尹东,杨家宝,等. 甘肃省高寒阴湿区农业气候区划与资源利用研究[J]. 甘肃气象,1995(2):17-21.
YU Y S, YIN D, YANG J B, et al. Agroclimatic demarcation and resource application in high cold and shade moisture region in Gansu province[J]. *Journal of Arid Meteorology*, 1995(2):17-21.
- [3] 丁瑞青,李永成. 甘肃省高寒阴湿区特色农产品开发浅议[J]. 甘肃农业科技,2017(11):81-83.
DING R Q, LI Y CH. Discussion on development of characteristic agricultural products in cold and humid area of Gansu province[J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2017(11):81-83.
- [4] 李生兰. 甘肃省高寒阴湿区春油菜农机化推广现状与对策[J]. 农业机械,2019(3):80-81.
LI SH L. Current situation and countermeasures of agricultural mechanization promotion of spring rapeseed in alpine and humid areas of Gansu province[J]. *Farm Machinery*, 2019(3):80-81.
- [5] 孙伟真. 岷县畜草产业发展现状[J]. 甘肃畜牧兽医,2014,44(12):37-38,41.
SUN W ZH. Development status of animal and grass industry in Min county[J]. *Gansu Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2014,44(12):37-38,41.
- [6] 王成强,张广. 岷县养牛业发展现状及对策[J]. 中国牛业科学,2016,42(5):67-68.
WANG CH Q, ZHANG G. Development situation and countermeasures of cattle industry in Min county[J]. *China Cattle Science*, 2016,42(5):67-68.
- [7] 张平科. 优质高产牧草——猫尾草[N]. 云南科技报,2007-9-20.
ZHANG P K. High quality and high yield forage timothy [N]. *Yunnan Science and Technology News*, 2007-9-20.
- [8] 朱文慧,张鲜花,朱进忠. 海拔梯度对新疆梯牧草植株形态学特征的影响[J]. 草业科学,2019,36(3):754-762.
ZHU W H, ZHANG X H, ZHU J ZH. Effect of different altitudes on the morphological traits of *Phleum pratense*[J]. *Pratacultural Science*, 2019,36(3):754-762.

- [9] 孙铁军,韩建国,赵守强,等. 施肥对猫尾草种子产量及生殖枝转化的影响[C]. 呼和浩特:中国草学会第六届二次会议暨国际学术研讨会论文集,2004:347-352.
SUN T J, HAN J G, ZHAO SH Q, *et al.* Effect of fertilizer application on seed yield and transformation of fertile tillers of *Phleum pratense* [C]. Hohhot: Proceedings of the Sixth Second Conference and International Symposium of Chinese Grassland Society, 2004:347-352.
- [10] 曹致中. 我国猫尾草引种栽培与猫尾草产业之梗概[J]. 中国草地, 2003(6):73-75.
CAO ZH ZH. The Cultivation and Production of *Phleum pratense* in China [J]. *Grassland of China*, 2003(6):73-75.
- [11] 龙忠富,唐成斌,刘秀峰,等. 喀斯特地区高等级公路边坡等侵蚀劣地草种筛选研究[J]. 公路, 2006(11):187-193.
LONG ZH F, TANG CH B, LIU X F, *et al.* Study on screening of grass species-grade highway slope erosion badland in Karst Area [J]. *Highway*, 2006(11):187-193.
- [12] 周卫生,干友民,李才旺,等. 猫尾草的研究概况[J]. 草业科学, 2003(6):16-20.
ZHOU W SH, GAN Y M, LI C W, *et al.* Review of studies on *Phleum pratense* [J]. *Pratacultural Science*, 2003(6):16-20.
- [13] 丁欣丹. 盐碱、干旱胁迫对猫尾草种子萌发及施氮对其产质的影响[D]. 长春:东北师范大学, 2013.
DING X D. Effect of salt, alkaline, drought stress on seed germination and nitrogen addition on yield and quality of *Phleum pratense* L. [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2013.
- [14] 周卫生,干友民,李才旺,等. 猫尾草的育种初探[J]. 草原与草坪, 2003(1):19-22.
ZHOU W SH, GAN Y M, LI C W, *et al.* Brief review on *Phleum pratense* breeding [J]. *Grassland and Turf*, 2003(1):19-22.
- [15] LARS T, HAVSTAD, JOHN I. Effect of sowing methods and sowing rate in organic seed production of timothy (*Phleum pratense* L.), meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.) and red clover (*Trifolium pratense* L.) [J]. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 2017, 67(5):462-473.
- [16] XIE K Y, LI X L, HE F, *et al.* Effect of nitrogen fertilization on yield, N content, and nitrogen fixation of alfalfa and smooth brome grass grown alone or in mixture in greenhouse pots [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2015, 14(9):1864-1876.
- [17] 李杰. 施肥对环境的影响及对策[C]. 云南省“粮食高产创建”省农科院“八百双倍增工程”科技培训暨云南农业科技论坛论文集:昆明:《云南农业科技》编辑部, 2009:69-70.
LI J. Effect of Fertilization on Environment and Countermeasures [C]. Science and technology training of “High Yield Creation of Grain” and “800 Double Multiplication Project” of Provincial Academy of Agricultural Sciences in Yunnan Province and Proceedings of Yunnan Agricultural Science and Technology Forum: Kunming: Editorial Department of Yunnan Agricultural Science and Technology, 2009:69-70.
- [18] 孙建平,薛竹慧,杨国义,等. 施氮对晋北燕麦饲草主要农艺性状及干物质产量的影响[J]. 草地学报, 2018, 26(4):964-970.
SUN J P, XUE ZH H, YANG G Y, *et al.* Effects of nitrogen addition on the yield and quality of oat in northern Shanxi [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(4):964-970.
- [19] 沈振西,陈佐忠,周兴民,等. 高施氮量对高寒矮蒿草甸主要类群和多样性及质量的影响[J]. 草地学报, 2002(1):7-17.
SHEN ZH X, CHEN Z ZH, ZHOU X M, *et al.* Responses of plant groups, diversity and meadow quality to high-rate N fertilization on alpine *Kobresia humilis* community [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2002(1):7-17.
- [20] 邓蓉,张定红,陈武,等. 施肥对黔中地区混播草地牧草生长性能的影响[J]. 畜牧与兽医, 2004(3):12-15.
DENG R, ZHANG D H, CHEN W, *et al.* The effects of fertilizer on grass growth of the mixture grassland in the middle of Guizhou region [J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2004(3):12-15.
- [21] 杨开虎,于磊,张前兵,等. 施氮对猫尾草栽培草地饲草产量和品质的影响[J]. 草业科学, 2015, 32(12):2071-2077.
YANG K H, YU L, ZHANG Q B, *et al.* Effects of nitrogen application on *Phleum pratense* pasture's forage yield and quality [J]. *Pratacultural Science*, 2015, 32(12):2071-2077.
- [22] 景美玲,王彦龙,马玉寿,等. 祁连山区青海草地早熟禾的丰产栽培技术[J]. 西北农业学报, 2019, 28(1):31-40.
JING M L, WANG Y L, MA Y SH, *et al.* Optimum conditions of *Poa pratensis* L. cv. Qinghai cultivation in Qilian mountain [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2019, 28(1):31-40.
- [23] 赵红梅,高志强,任爱霞,等. 基于旱地小麦“三提前”蓄水保墒技术播种方式的研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2012, 32(5):395-402.
ZHAO H M, GAO ZH Q, REN A X, *et al.* Study on sowing methods for dryland wheat based on the “Three advance” soil moisture preservation technology [J]. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2012, 32(5):395-402.
- [24] 席文娣,王国生,程文定. 行距、播量和施肥对岷山猫尾草种子产量的影响[J]. 中国草食动物科学, 2013, 33(6):55-56.
XI W D, WANG G SH, CHENG W D. Effects of row spacing, sowing amount and fertilization on seed yield of timothy [J]. *China Herbivore Science*, 2013, 33(6):55-56.
- [25] 吴忠海,杨翌,李红. 猫尾草栽培与利用[J]. 养殖技术顾问, 2014, 225(1):199-200.
WU ZH H, YANG ZH, LI H. Cultivation and utilization of timothy [J]. *Modern Animal Husbandry Science & Technology*, 2014, 225(1):199-200.
- [26] 王文石. 施用牛粪对多花黑麦草生长和土壤生物学特性的影响[D]. 长春:吉林农业大学, 2016.
WANG W SH. Effects of cattle manures fertilizing on *Lolium multiflorum* growth and soil biological characteristics [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2016.
- [27] 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.

- ZHANG R Y, XU D H, YUAN J L, *et al.* Using leaf mass fractions and height/mass ratios to explain the positive response of Gramineae to nitrogen addition on a sub-alpine meadow[J]. *Pratacultural Science*, 2019, 36(10): 2631-2638.
- [28] 韩玉静, 杜广明, 田 婧. 不同 pH 值对猫尾草发育和苗期生长的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2013(23): 97-99.
- HAN Y J, DU G M, TIAN J. Effects of different pH values on the development and seedling stage of timothy chinensis[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2013(23): 97-99.
- [29] 苟 蓉, 游明鸿, 刘金平, 等. 播种方式对燕麦和箭筈豌豆混播草地牧草生产性能的影响[J]. 草业科学, 2019, 36(3): 804-812.
- GOU R, YOU M H, LIU J P, *et al.* Effect of sowing methods on the productivity of mixed *Avena sativa* and *Vicia sativa* pastures[J]. *Pratacultural Science*, 2019, 36(3): 804-812.
- [30] 赵变荣. 猫尾草丰产栽培技术[J]. 现代园艺, 2016(22): 31-32.
- ZHAO B R. Cultivation techniques for high yield of timothy[J]. *Contemporary Horticulture*, 2016(22): 31-32.
- [31] 杨春华, 李向林, 张新全, 等. 秋季补播多花黑麦草对扁穗牛鞭草草地产量、质量和植物组成的影响[J]. 草业学报, 2004(6): 80-86.
- YANG CH H, LI X L, ZHANG X Q, *et al.* Influence of overseeding on herbage production, quality and botanical composition of *Hemarthria compressa* pastures oversown with annual *Lolium multiflorum* in autumn[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2004(6): 80-86.
- [32] 于 洋, 何志军, 侯鹏霞, 等. 宁夏宁南山区高产饲草品种引种筛选[J]. 现代畜牧兽医, 2018(9): 32-35.
- YU Y, HE ZH J, HOU P X, *et al.* Introduction and screening of high yield forage varieties in southern mountain area of Ningxia[J]. *Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2018(9): 32-35.
- [33] 杜文华, 田新会, 曹致中. 猫尾草不同品种的草产量和适应性评价[J]. 草业学报, 2004(2): 56-60.
- DU W H, TIAN X H, CAO ZH ZH. Hay yield and adapt ability of different *Phleum pratense* varieties [J]. *Acta Pratacultural Sinica*, 2004(2): 56-60.
- [34] 伍浩天, 聂 蛟, 杨文娟, 等. 机播深度、播种量和施肥量对苦荞倒伏及产量的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(12): 61-72.
- WU H T, NIE J, YANG W J, *et al.* Effects of machine sowing depth and amounts of seeds and fertilizer on lodging and yield of Tartary buckwheat[J]. *Acta Pratacultural Sinica*, 2020, 29(12): 61-72.
- [35] 王路为, 田 旭, 温玉环, 等. 栽培技术对红麻生长及吸收镉的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(5): 995-1003.
- WANG L W, TIAN X, WEN Y H, *et al.* Effects of cultivation techniques on kenaf growth and absorption of cadmium[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(5): 995-1003.
- [36] 谢 楠, 刘振宇, 冯 伟, 等. 饲用谷子在环渤海盐碱旱地的生产性能及饲用品质评价[J]. 草地学报, 2021, 29(1): 60-71.
- XIE N, LIU ZH Y, FENG W, *et al.* The production performance and forage quality of forage millet in saline alkali dryland around Bohai sea[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2021, 29(1): 60-71.
- [37] 游永亮, 李 源, 赵海明, 等. 海河平原区施氮磷肥对饲用小黑麦生产性能及营养品质的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(3): 137-146.
- YOU Y L, LI Y, ZHAO H M, *et al.* Effects of nitrogen and phosphate fertilizer application on yield and forage quality of forage triticale on the Haihe plain [J]. *Acta Pratacultural Sinica*, 2020, 29(3): 137-146.
- [38] 薛竹慧. 不同品种和施氮量对燕麦生产性能和品质的影响[D]. 太原: 山西农业大学, 2018.
- XUE ZH H. Effect of different variety and nitrogen application on production performance and quality of oats[D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2018.
- [39] 王伟强, 刘 晶, 田新会, 等. ‘甘农 4 号’小黑麦品种在青海省不同区域的适应性评价[J]. 草地学报, 2020, 28(6): 1626-1634.
- WANG W Q, LIU J, TIAN X H, *et al.* Evaluations on the adaptability of Triticosecale Wittmack ‘Gannong No. 4’ in different regions of Qinghai province [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2020, 28(6): 1626-1634.
- [40] 赵方媛, 赵雅姣, 田新会, 等. 30 个小黑麦品种在甘肃临洮县半干旱灌区的草产量及营养价值综合评价[J]. 草原与草坪, 2021, 41(4): 10-16.
- ZHAO F Y, ZHAO Y J, TIAN X H, *et al.* Comprehensive evaluation of forage yield and nutritional value of 30 triticale cultivars in semi-arid irrigation area of Lintao, Gansu Province [J]. *Grassland and Turf*, 2021, 41(4): 10-16.
- [41] 林叶春, 臧华栋, 曾昭海, 等. 氮肥运筹对裸燕麦光合特性、粗蛋白含量及产量的影响[C]. 成都: 中国农作制度研究进展 2012; 中国农业科学技术出版社, 2012: 207-217.
- LIN Y CH, ZANG H D, ZENG ZH H, *et al.* Effects of nitrogen fertilizer management on photosynthetic characteristics, crude protein content and yield of naked oat [C]. Chengdu: Research Progress on agricultural systems in China 2012; China Agricultural Science and technology Press, 2012: 207-217.
- [42] 王晓乐, 张 楠, 张保军, 等. 播种方式和施肥量对西农 979 冬小麦旗叶光合特性及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2014, 23(4): 16-21.
- WANG X L, ZHANG N, ZHANG B J, *et al.* The effects of sowing methods and fertilizer rate on photosynthetic characteristics of the flag leaf and yield of winter wheat of Xinong 979 [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2014, 23(4): 16-21.
- [43] 赵变荣. 猫尾草丰产栽培技术[J]. 现代园艺, 2016, 322(22): 31-32.
- ZHAO B R. High yield cultivation techniques of timothy [J]. *Contemporary Horticulture*, 2016, 322(22): 31-32.

Effects of Sowing Method and Nitrogen Fertilizing Rate on Production Performance of Timothy Genotypes in Alpine and Humid Regions of Gansu

ZHANG Wenxuan, LI Ruizhen, TIAN Xinhui and DU Wenhua

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

Abstract To determine the optimal nitrogen fertilizing rate, sowing method, and the suitable timothy genotype, a split-plot design was employed to study the effects of four nitrogen fertilizing rates (A1:0 kg/hm², A2:90 kg/hm², A3:180 kg/hm² and A4:360 kg/hm²) and three sowing methods (B1: drill, B2: broadcast and B3: dibble) on the production performance of four timothy genotypes (C1: New timothy line, C2: 'Chuanxi', C3: 'Minshan' and C4: 'Clover 1') in an alpine and humid area of Gansu province. Single factor analysis showed that treatment A4 had the highest average production performance among the four nitrogen fertilizing rates, while B3 had the best average production performance among the three sowing methods, C1 had the highest average production performance among the four genotypes. The interaction between two factors showed that, treatment A4C3 had the highest average production performance among the interactions between nitrogen fertilizing rates and genotypes, while the treatment B3C1 had the best average production performance among the interactions between sowing method and genotypes, the treatment A4B3 had the highest average production performance between the interactions between nitrogen fertilizing rates and sowing methods. The interaction of the three factors showed that C1 had the best average production performance under treatment A2B3, while C2 and C4 had the best average production performance under treatment A4B3, C3 had the highest average production performance under treatment A4B2. In conclusion, for the new timothy line, a nitrogen fertilizing rate of 90 kg/hm² and dibble sowing are the best sowing method. For 'Chuanxi' and 'Clover 1', the best nitrogen fertilizing rate is 360 kg/hm², and dibble sowing is the preferred sowing method. On the other hand, for 'Minshan', the best nitrogen fertilizing rate is also 360 kg/hm², but, the broadcast sowing, is the recommended sowing method.

Key words Timothy; Nitrogen fertilizing rate; Sowing method; Production performance

Received 2023-01-12

Returned 2023-02-23

Foundation item Key R&D Plan of Gansu Province (No. 20YF8NA129); Major Project of Tibet Autonomous Region (No. XZ202101ZD003N); the National Natural Science Foundation of China (No. 32260339); Industrial Support Plan for Colleges and Universities in Gansu Province (No. 2022CYZC-49).

First author ZHANG Wenxuan, male, master student. Research area: agronomy and seed industry. E-mail: 1813947458@qq.com

Corresponding author DU Wenhua, female, professor. Research area: germplasm resources and breeding and cultivation of grass. E-mail: duwh@gsau.edu.cn

(责任编辑:顾玉兰 Responsible editor: GU Yulan)