

高寒地区优良乡土草种丰产栽培技术研究——以麦宾草例

景美玲^{1*}, 王彦龙^{2#}, 李世雄², 马玉寿²

¹青海民族大学生态环境与资源学院, 青海 西宁

²青海畜牧兽医科学院, 青海 西宁

收稿日期: 2021年9月13日; 录用日期: 2021年10月25日; 发布日期: 2021年11月4日

摘要

近几十年, 青藏高原高寒草地表现出明显的不同程度的退化状态, 为加快高寒草地恢复, 选育适应当地环境的优良乡土草种是至关重要的一步。本研究以麦宾草为例, 在青海省祁连山试验田中采用正交设计, 研究了不同行距(A)、播种量(B)及施肥量(C)对其分蘖和产量的影响。表明: 不同试验处理对麦宾草分蘖和地上植物量的影响均有极显著差异($P < 0.01$), 影响大小分别为施肥量 > 行距 > 播种量, 行距 > 施肥量 > 播种量; 对麦宾草种子产量的影响大小表现为施肥量 > 播种量 > 行距, 施肥量与播种量影响极显著, 行距差异不显著。结论: 本文研究表明麦宾草地上植物量丰产栽培最佳方案为行距20 cm、播量 $37.5 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、施肥量 $600 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; 种子最佳方案为行距50 cm、播种量 $37.5 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、施肥量为 $600 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

关键词

麦宾草, 行距, 播种量, 施肥量

Optimum Conditions for the Superior Local Grass Species Cultivation in Alpine Regions: Taking *Elymus tangutorum* Nevski Hand.-Mazz. as an Example

Meiling Jing^{1*}, Yanlong Wang^{2#}, Shixiong Li², Yushou Ma²

¹College of Eco-Environment and Resources, Qinghai Nationalities University, Xining Qinghai

²Qinghai Academy of Animal Science and Veterinary Medicine, Xining Qinghai

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 景美玲, 王彦龙, 李世雄, 马玉寿. 高寒地区优良乡土草种丰产栽培技术研究——以麦宾草例[J]. 植物学研究, 2021, 10(6): 739-748. DOI: 10.12677/br.2021.106093

Abstract

In recent decades, alpine grassland in the Tibetan Plateau had experienced a degradation at differing degrees. In order to restore the degraded grassland rapidly, the first important step is to breed the superior local grass species. The effects of different treatments (row spacing, seeding rate, seed fertilizing rate) on tillers and yields of *Elymus tangutorum* Nevski Hand.-Mazz. were studied by orthogonal design in Qilian mountain in Qinghai province. The results showed that different combinations of row spacing, seeding rate and seed fertilizing rate had significant effects on tillers and yield at 0.01 level. The primary relations of effects of row spacing (A), seeding rate (B) and seed fertilizing rate (C) on tillers was $C > A > B$, and on yield was $A > C > B$, and on seed yield was $C > B > A$. Therefore, our study indicated that the preferred breeding technique of *E. tangutorum* yield is the row spacing of 20 cm, seeding rate of $37.5 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, seed fertilizing rate of $600 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, and the optimum breeding technique of *E. tangutorum* seed yield is the row spacing of 50 cm, seeding rate of $37.5 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, seed fertilizing rate of $600 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$.

Keywords

Elymus tangutorum Nevski Hand.-Mazz., Row Spacing, Seeding Rate, Seed Fertilizing Rate

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

作为“地球第三极”的青藏高原具有独特而脆弱的高寒草地生态系统，它是全国主要的畜牧区，具有重要的生态功能和经济生产价值。由于人类长期不合理的利用及全球气候变化的影响[1] [2]，高寒草地表现出明显的不同程度的退化状态。如何加快恢复已退化的高寒草地生态系统是当前一项艰巨的任务。因高寒草地自身调节的自然恢复过程周期长见效慢，因此，以人工干预为主的恢复方式为当前青藏高原高寒草地恢复的主要途径之一。

目前通过人工干预恢复退化草地的方法主要有围栏禁牧、补播和人工草地建植，并同时结合施肥和覆膜等农艺措施[3]。而筛选适应当地环境条件的优良乡土草种是至关重要的第一步。麦宾草(*Elymus tangutorum* Nevski Hand.-Mazz.)是禾本科披碱草属多年生草种，为正在培育中的在高寒退化草地恢复中有很大的潜力的新品种[4] [5]；其适应范围较广，根系发达，具有防水固沙、改善土壤的能力；成熟叶片刚毛较多，适口性差，导致其在成熟后牛羊和野生动物均不喜食，它也可作为一种治理黑土滩的生态型先锋草种。该研究针对青海高寒地区特定环境特征下播种因素变化对麦宾草生长的影响，以期研究出麦宾草的丰产栽培技术，为高寒地区麦宾草大面积生产栽培提供科学的理论依据，从而加快该草种在黑土滩退化草地恢复重建、牧区矿山修复、人工草地建植及公路绿化方面的应用。

2. 材料与方法

2.1. 试验地概况

试验地位于祁连县默勒镇瓦日尕村三社的集体牧场(N: $37^{\circ}56'56''$, E: $100^{\circ}13'07''$, 海拔 3650 m), 为

高寒草甸极度退化后形成的次生裸地——黑土滩，草地植被优势种为细叶亚菊(*Ajanía tenuifolia*)。未退化前的草地植被优势种为垂穗披碱草、矮嵩草(*Kobresia humilis*)、等。属高原大陆性气候，冷季长，暖季短，年均温 1.4℃，1 月平均气温-13℃，7 月平均气温为 12.2℃，气温日差大，干湿分明，年平均降水量为 415.0 mm，无绝对无霜期。光能资源丰富，全年日照时数 2829 h 太阳辐射强，大于 0℃积温 1658.0℃，年蒸发量平均为 1162.3 mm。土壤为高寒草甸土。

2.2. 供试材料

供试材料为青海省畜牧兽医科学院获得的麦宾草新品系。种子来源于果洛州玛沁县大武镇试验站原种田，种子纯净度为 95%，千粒重为 2.43。试验所用肥料为磷酸二铵(有效成分含量为 64%，其中 N: 18%，P₂O₅: 46%)。

2.3. 实验设计

种植时间为 2014-06-03，采取 3 因素 5 水平正交试验(见表 1)。共 3 个因素分别为行距、播种量、施肥。种植前对试验地用机械进行翻耕、耙地、整平。采用人工开沟条播，种子播深 1~2 cm 左右，计算并按量撒化肥，播深 2~3 cm，播后镇压。按试验按 L₂₅(5₆)正交表设计，共 25 个处理，小区面积 30 m²，因素 A 为行距，5 个水平依次为 20 cm (A₁)，30 cm (A₂)，40 cm (A₃)，50 cm (A₄)，60 cm (A₅)。因素 B 为播种量，5 个水平依次为 15 kg·hm⁻² (B₁)，22.5 kg·hm⁻² (B₂)，30 kg·hm⁻² (B₃)，37.5 kg·hm⁻² (B₄)，45 kg·hm⁻² (B₅)。因素 C 为磷酸二铵施用量，5 个水平依次为 150 kg·hm⁻² (C₁)，300 kg·hm⁻² (C₂)，450 kg·hm⁻² (C₃)，600 kg·hm⁻² (C₄)，750 kg·hm⁻² (C₅)。小区面积为 30 m² (5 m × 6 m)，随机排列，2 次重复[6]。忽略因素间的交互作用。

Table 1. Experiment design and treatment levels

表 1. 试验设计与处理水平

No.	A	B	C	空列 Blank column	空列 Blank column	空列 Blank column	试验方案 Testing program
1	1	1	1	1	1	1	A ₁ B ₁ C ₁
2	1	2	2	2	2	2	A ₁ B ₂ C ₂
3	1	3	3	3	3	3	A ₁ B ₃ C ₃
4	1	4	4	4	4	4	A ₁ B ₄ C ₄
5	1	5	5	5	5	5	A ₁ B ₅ C ₅
6	2	1	2	3	4	5	A ₂ B ₁ C ₂
7	2	2	3	4	5	1	A ₂ B ₂ C ₃
8	2	3	4	5	1	2	A ₂ B ₃ C ₄
9	2	4	5	1	2	3	A ₂ B ₄ C ₅
10	2	5	1	2	3	4	A ₂ B ₅ C ₁
11	3	1	3	5	2	4	A ₃ B ₁ C ₃
12	3	2	4	1	3	5	A ₃ B ₂ C ₄
13	3	3	5	2	4	1	A ₃ B ₃ C ₅
14	3	4	1	3	5	2	A ₃ B ₄ C ₁
15	3	5	2	4	1	3	A ₃ B ₅ C ₂
16	4	1	4	2	5	3	A ₄ B ₁ C ₄

Continued

17	4	2	5	3	1	4	A ₄ B ₂ C ₅
18	4	3	1	4	2	5	A ₄ B ₃ C ₁
19	4	4	2	5	3	1	A ₄ B ₄ C ₂
20	4	5	3	1	4	2	A ₄ B ₅ C ₃
21	5	1	5	4	3	2	A ₅ B ₁ C ₅
22	5	2	1	5	4	3	A ₅ B ₂ C ₁
23	5	3	2	1	5	4	A ₅ B ₃ C ₂
24	5	4	3	2	1	5	A ₅ B ₄ C ₃
25	5	5	4	3	2	1	A ₅ B ₅ C ₄

2.4. 田间管理

播种后用钢丝网围栏进行保护,防止家畜和大型野生动物践踏啃食;四周 500 m 范围内每年冬季连续进行害鼠防控,如若发现有害鼠即用捕鼠夹灭除。试验期间不定期进行人工杂草防除。

2.5. 测定项目

2.5.1. 单株分蘖、单株有效分蘖、单株无效分蘖

分蘖:在孕穗期,在每个小区随机挖取 30 株麦宾草,然后数其分蘖数和有效分蘖数。

单株无效分蘖 = 分蘖数 - 有效分蘖数。

2.5.2. 地上植物量

种植第二年在小区内随机选取 1 m² 的牧草,于抽穗期齐地面刈割,剔除杂草称鲜重,求取平均值。取 500 g 放入 80℃ 烘箱中经过 24 h 烘干,称重即为风干重。

2.5.3. 种子产量及千粒重

种植第二年于种子成熟期采用人工方法收割、脱粒、晾晒、清选、待种子完全干燥后,称量,计算种子产量。用电子数粒仪在各处理数净种子 1000 粒,称量,重复 3 次,计算种子千粒千粒重(g)。

2.6. 数据分析

数据用 Excel 2003 录入,采用 SPSS 18.0 软件进行正交方差分析和差异显著性运用 Duncan 检验法进行多重比较。

3. 结果与分析

3.1. 不同栽培技术对麦宾草的分蘖的影响

麦宾草单株分蘖、有效分蘖数、无效分蘖数间差异显著($P < 0.05$),分蘖最高的 25 号处理比最低的 3 号处理高出 114% (见表 2)。极差分析中麦宾草分蘖中不同施肥量间的极差值最大(4.2),不同行距间的极差值次之(3.8),不同播量间的极差值最小(3.2),表明施肥量对分蘖的影响较大;有效分蘖中,不同行距间的极差值最大(2.1),不同播量间的极差值次之(1.8),不同施肥量间的极差值最小(1.7)。可见,适当的行距设置可提高麦宾草的有效分蘖(见表 3)。多重比较表明麦宾草分蘖中,不同行距中 A₅ 最高(19.2),显著高于其他水平($P < 0.05$);不同播量中 B₅ 最高(18.4),B₄ 最低(15.3),B₅ 显著高于 B₃、B₄ ($P < 0.05$);不同施肥量中 C₄ 最高(19.4),显著高于其他水平($P < 0.05$)。不同行距水平中有效分蘖 A₅ 最高(8.4),显著

高于 A₁ ($P < 0.05$); 不同播量中 B₄ 最高(8.3), 显著高于 B₃ ($P < 0.05$); 不同施肥量间差异不显著($P < 0.05$), 但 C₄ 最高(7.9)。方差分析表明, 3 个因子对分蘖影响均极显著, 影响分蘖的主次顺序为: 施肥量 > 行距 > 播种量。3 个因子对有效分蘖有影响, 其中行距极显著($P < 0.01$), 播种量显著($P < 0.05$), 施肥量不显著($P > 0.05$)。影响有效分蘖的主次顺序为: 行距 > 播种量 > 施肥量。

Table 2. Effects of different treatments on tillers and yields of *Elymus tangutorum* Nevski Hand.-Mazz.
表 2. 不同处理对麦宾草分蘖及产量的影响

No.	处理 Treatment	分蘖 Tillers	有效分蘖 Effective tillers	无效分蘖 Ineffective tillers	地上植物量 /g·m ⁻² Aboveground biomass	种子产量/g·m ⁻² Seed yield	种子千粒质量/g Thousand seed weight
1	A ₁ B ₁ C ₁	17.8 ± 1.75 ^{bcdef}	5.3 ± 0.25 ^f	12.5 ± 1.50 ^b	184.8 ± 8 ^{ij}	10.8 ± 0.43 ^e	2.2 ± 0.22 ^{bcdef}
2	A ₁ B ₂ C ₂	17.3 ± 1.25 ^{bcdefg}	6.3 ± 0.25 ^{cdef}	11.0 ± 1.00 ^{bcd}	463.5 ± 36.6 ^a	20.8 ± 8.5 ^{bcde}	2.3 ± 0.03 ^{bcdef}
3	A ₁ B ₃ C ₃	12.3 ± 0.75 ^{hi}	5.3 ± 0.75 ^f	7.0 ± 0.00 ^{efg}	348.1 ± 49.4 ^{cd}	23.2 ± 1.6 ^{bcde}	1.9 ± 0.1 ^f
4	A ₁ B ₄ C ₄	15.0 ± 0.50 ^{defghi}	8.3 ± 0.75 ^{bcd}	6.8 ± 0.25 ^{fg}	439.1 ± 40.5 ^{ab}	38.9 ± 6.3 ^a	2.4 ± 0.01 ^{abcde}
5	A ₁ B ₅ C ₅	17.8 ± 0.75 ^{bcdef}	6.5 ± 0.00 ^{cdef}	11.3 ± 0.75 ^{bc}	375.2 ± 13.7 ^{bc}	18.6 ± 0.28 ^{cde}	2.2 ± 0.05 ^{bcdef}
6	A ₂ B ₁ C ₂	15.8 ± 0.25 ^{cdefgh}	8.3 ± 0.75 ^{bcd}	7.5 ± 1.00 ^{defg}	218.1 ± 20.3 ^{fghij}	19.3 ± 7.7 ^{cde}	2.5 ± 0.06 ^{abcd}
7	A ₂ B ₂ C ₃	15.8 ± 0.25 ^{cdefgh}	6.8 ± 0.75 ^{bcdef}	9.0 ± 0.50 ^{bcdef}	374.1 ± 15.4 ^{bc}	25.3 ± 3 ^{bcd}	2.1 ± 0.14 ^{cdef}
8	A ₂ B ₃ C ₄	17.3 ± 0.25 ^{bcdefg}	6.8 ± 0.25 ^{bcdef}	10.5 ± 0.00 ^{bcde}	492.7 ± 8.2 ^a	32.8 ± 2.2 ^{ab}	2.3 ± 0.02 ^{bcdef}
9	A ₂ B ₄ C ₅	14.5 ± 1.00 ^{efghi}	6.8 ± 1.25 ^{bcdef}	7.8 ± 0.25 ^{cdef}	425.9 ± 16.1 ^{ab}	26.8 ± 5.1 ^{abcd}	2.5 ± 0.05 ^{abc}
10	A ₂ B ₅ C ₁	13.8 ± 0.75 ^{ghi}	5.5 ± 0.00 ^{ef}	8.3 ± 0.75 ^{cdef}	198.6 ± 10.9 ^{hij}	10.2 ± 2 ^e	2.1 ± 0.04 ^{def}
11	A ₃ B ₁ C ₃	14.8 ± 0.75 ^{defghi}	5.3 ± 1.25 ^f	9.5 ± 0.50 ^{bcdef}	251.3 ± 23.9 ^{efghi}	24.0 ± 2.8 ^{bcd}	2.4 ± 0.09 ^{abcde}
12	A ₃ B ₂ C ₄	20.5 ± 2.00 ^b	8.0 ± 0.00 ^{bcde}	12.5 ± 2.00 ^b	273.5 ± 26.6 ^{efgh}	26.2 ± 3.8 ^{abcd}	2.1 ± 0.02 ^{def}
13	A ₃ B ₃ C ₅	16.3 ± 0.25 ^{cdefg}	7.8 ± 0.25 ^{bcdef}	8.5 ± 0.50 ^{cdef}	290.2 ± 8 ^{defg}	26.4 ± 2.5 ^{abcd}	2.5 ± 0.18 ^{abc}
14	A ₃ B ₄ C ₁	15.8 ± 0.25 ^{cdefgh}	7.8 ± 0.75 ^{bcdef}	8.0 ± 0.50 ^{cdef}	245.1 ± 33.3 ^{fghi}	22.9 ± 4.1 ^{bcde}	2.3 ± 0.01 ^{bcdef}
15	A ₃ B ₅ C ₂	18.3 ± 1.75 ^{bcde}	8.8 ± 0.25 ^{bc}	9.5 ± 1.50 ^{bcdef}	218.6 ± 19.8 ^{fghij}	19.4 ± 2.6 ^{cde}	2.0 ± 0.05 ^{ef}
16	A ₄ B ₁ C ₄	18.0 ± 0.50 ^{bcdef}	7.3 ± 0.25 ^{bcdef}	10.8 ± 0.25 ^{bcd}	264.5 ± 35.7 ^{efgh}	28.2 ± 1.8 ^{abcd}	2.3 ± 0.1 ^{bcdef}
17	A ₄ B ₂ C ₅	17.0 ± 0.50 ^{bcdefg}	8.5 ± 0.50 ^{bc}	8.5 ± 0.00 ^{cdef}	231.6 ± 14.5 ^{fghij}	28.3 ± 1.9 ^{abcd}	2.8 ± 0.03 ^a
18	A ₄ B ₃ C ₁	14.3 ± 1.25 ^{fghi}	5.8 ± 1.25 ^{def}	8.5 ± 0.00 ^{cdef}	161.8 ± 2.8 ^j	10.8 ± 3.3 ^e	2.2 ± 0.05 ^{bcdef}
19	A ₄ B ₄ C ₂	11.8 ± 0.75 ⁱ	7.5 ± 0.50 ^{bcdef}	4.3 ± 0.25 ^g	265.7 ± 4.9 ^{efgh}	28.8 ± 4.8 ^{abcd}	2.5 ± 0.02 ^{ab}
20	A ₄ B ₅ C ₃	16.0 ± 0.50 ^{cdefgh}	5.5 ± 1.00 ^{ef}	10.5 ± 0.50 ^{bcde}	320.6 ± 20.2 ^{cde}	30.6 ± 4 ^{abc}	2.4 ± 0.04 ^{abcde}
21	A ₅ B ₁ C ₅	18.5 ± 3.00 ^{bcd}	7.5 ± 0.50 ^{bcdef}	11.0 ± 3.50 ^{bcd}	224.8 ± 9.3 ^{fghij}	18.8 ± 1.4 ^{cde}	2.6 ± 0.03 ^{ab}
22	A ₅ B ₂ C ₁	14.8 ± 0.25 ^{defghi}	6.8 ± 0.25 ^{bcdef}	8.0 ± 0.00 ^{cdef}	215.1 ± 5 ^{ghij}	10.8 ± 0.8 ^e	2.6 ± 0.47 ^{ab}
23	A ₅ B ₃ C ₂	17.3 ± 0.25 ^{bcdefg}	7.3 ± 0.25 ^{bcdef}	10.0 ± 0.50 ^{bcdef}	291.2 ± 18.1 ^{def}	17.0 ± 3.9 ^{de}	2.5 ± 0.04 ^{abcd}
24	A ₅ B ₄ C ₃	19.3 ± 1.75 ^{bc}	11.3 ± 0.75 ^a	8.0 ± 1.00 ^{cdef}	272.9 ± 5 ^{efgh}	25.2 ± 1.2 ^{bcd}	2.6 ± 0.07 ^{ab}
25	A ₅ B ₅ C ₄	26.3 ± 1.25 ^a	9.3 ± 2.25 ^{ab}	17.0 ± 1.00 ^a	246.3 ± 2.3 ^{fghi}	28.2 ± 5.5 ^{abcd}	2.6 ± 0.09 ^{ab}

注: 同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。文章中数据表示形式是平均数加减标准误。

3.2. 不同栽培技术对麦宾草地上植物量的影响

25 个处理中麦宾草地上植物量变化范围为 161.8~492.7 g·m⁻² ($P < 0.05$)。其中, 8 号处理(A₂B₃C₄)地

上植物量最大($492.7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), 其中地上植物量最高的处理比最低的 18 号处理($161.8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$)的地上植物量高 186.5%, 可见不同试验条件对麦宾草的地上植物量影响较大(见表 2)。极差分析得出施肥量(142.1) > 行距(113.3) > 播种量(101.0), 表明施肥量对麦宾草地上植物量的影响较大。多重比较表明, 不同行距中 A_1 最高(362.2), A_2 次之(341.7), 均显著高于其他水平($P < 0.05$); 不同播量间 B_4 最高(329.8), 且显著高于 B_1 ($P < 0.05$), 但与其他水平差异不显著; 不同施肥量间 C_4 最高(343.2), 显著高于 C_1 , 但与其他水平间差异不显著(见表 4)。方差分析显示行距、播量、种肥量对麦宾草的地上植物量影响均极显著($P < 0.01$), 施肥量影响较大, 行距次之, 播种量最小。影响地上植物量的主次顺序为: 施肥量 > 行距 > 播种量(见表 5)。

Table 3. Range analysis of tillers and yields of *Elymus tangutorum* Nevski Hand.-Mazz.

表 3. 麦宾草分蘖及产量的极差分析

指标 Index	A	B	C	
分蘖 Tillers	k_1	16	17	15.3
	k_2	15.4	17.1	16.1
	k_3	17.1	15.5	15.6
	k_4	15.4	15.3	19.4
	k_5	19.2	18.4	16.8
	极差 r	3.8	3.2	4.2
有效分蘖 Effective tillers	k_1	6.3	6.7	6.2
	k_2	6.8	7.3	7.6
	k_3	7.5	6.6	6.8
	k_4	6.9	8.3	7.9
	k_5	8.4	7.1	7.4
	极差 r	2.1	1.8	1.7
无效分蘖 Ineffective tillers	k_1	9.7	10.3	9.1
	k_2	8.6	9.8	8.5
	k_3	9.6	8.9	8.8
	k_4	8.5	7	11.5
	k_5	10.8	11.3	9.4
	极差 r	2.3	4.4	3.1
地上植物量/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ Aboveground biomass	k_1	362.2	228.7	201.1
	k_2	341.9	311.6	291.4
	k_3	255.7	316.8	313.4
	k_4	248.8	329.8	343.2
	k_5	250.1	271.9	309.5
	极差 r	113.3	101	142.1
种子产量/ $\text{株}\cdot\text{m}^{-2}$ Seed yield	k_1	22.5	20.2	13.1
	k_2	22.9	22.3	21.0
	k_3	23.8	22	25.7
	k_4	25.3	28.5	30.9
	k_5	20	21.4	23.8
	极差 r	5.4	8.3	17.8

Continued

	k_1	2.2	2.4	2.3
	k_2	2.3	2.4	2.4
种子千粒质量/g	k_3	2.3	2.3	2.3
Thousand seed weight	k_4	2.4	2.5	2.3
	k_5	2.6	2.2	2.5
	极差 r	0.4	0.2	0.3

3.3. 不同栽培技术对麦宾草的种子产量影响

25 个处理中麦宾草种子产量变化范围为 10.2~38.9 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ($P < 0.05$)。4 号处理种子产量最大(38.9 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)，其中 4 号处理比最低的 10 号处理(10.2 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)的高 281.7%，可见不同试验条件对麦宾草的种子产量影响较大(见表 2)。极差分析中不同施肥量的极差值最大(17.8)，不同播种量间的极差值次之(8.3)，不同行距间的极差值最小(5.4)，表明施肥量对麦宾草种子产量的影响较大(见表 3)。多重比较表明，不同行距间差异不显著，但 A₄ 最高(25.3)；不同播量间 B₄ 最高(28.5)，且显著高于其他水平($P < 0.05$)；不同施肥量间 C₄ 最高(30.9)，且显著高于其他水平($P < 0.05$) (见表 4)。方差分析中播种量、施肥量对麦宾草的种子产量影响均极显著($P < 0.01$)，施肥量影响较大，播种量次之，行距最小。影响种子产量的主次顺序为：施肥量 > 播种量 > 行距(见表 5)。

Table 4. Duncan multiple comparison between tillers and yields among levels of factors

表 4.3 因子水平间分蘖和产量的多重比较

因素 Factor	水平 Level	分蘖 Tillers	有效分蘖 Effective tillers	无效分蘖 Ineffective tillers	地上植物量/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ Aboveground biomass	种子产量 / $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ Seed yield	种子千粒质量/g Thousand seed weight
行距 Spacing	A ₁	16 ^{bB}	6.3 ^{bA}	9.7 ^{aA}	362.2 ^{aA}	22.4 ^{aA}	2.2 ^{cB}
	A ₂	15.4 ^{bB}	6.8 ^{abA}	8.6 ^{aA}	341.7 ^{aA}	22.9 ^{aA}	2.3 ^{bcAB}
	A ₃	17.1 ^{bAB}	7.5 ^{abA}	9.6 ^{aA}	255.7 ^{bB}	23.8 ^{aA}	2.3 ^{bcAB}
	A ₄	15.4 ^{bB}	6.9 ^{abA}	8.5 ^{aA}	258.8 ^{bB}	25.3 ^{aA}	2.4 ^{abAB}
	A ₅	19.2 ^{aA}	8.4 ^{aA}	10.8 ^{aA}	250.1 ^{bB}	20.0 ^{aA}	2.6 ^{aA}
播量 Seeding rate	B ₁	17 ^{abA}	6.7 ^{abA}	10.3 ^{abA}	228.7 ^{bB}	20.2 ^{bA}	2.4 ^{aA}
	B ₂	17.1 ^{abA}	7.3 ^{abA}	9.8 ^{abA}	311.9 ^{aA}	22.3 ^{bA}	2.4 ^{aA}
	B ₃	15.5 ^{bA}	6.6 ^{bA}	8.9 ^{bAB}	316.8 ^{aA}	22.0 ^{bA}	2.3 ^{aA}
	B ₄	15.3 ^{bA}	8.3 ^{aA}	7.0 ^{cB}	329.8 ^{aA}	28.5 ^{aA}	2.5 ^{aA}
	B ₅	18.4 ^{aA}	7.1 ^{abA}	11.3 ^{aA}	271.9 ^{abAB}	21.4 ^{bA}	2.2 ^{aA}
种肥量 Fertilizing amount	C ₁	15.3 ^{bB}	6.2 ^{aA}	9.1 ^{bA}	201.1 ^{bB}	13.1 ^{cC}	2.3 ^{bB}
	C ₂	16.1 ^{bB}	7.6 ^{aA}	8.5 ^{bA}	291.4 ^{aA}	21.0 ^{bB}	2.4 ^{abAB}
	C ₃	15.6 ^{bB}	6.8 ^{aA}	8.8 ^{bA}	313.4 ^{aA}	25.7 ^{bAB}	2.3 ^{bB}
	C ₄	19.4 ^{aA}	7.9 ^{aA}	11.5 ^{aA}	343.2 ^{aA}	30.9 ^{aA}	2.3 ^{abAB}
	C ₅	16.8 ^{bAB}	7.4 ^{aA}	9.4 ^{bA}	309.5 ^{aA}	23.8 ^{bAB}	2.5 ^{aA}

注：同列不同大小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平上差异显著。

3.4. 不同栽培技术对麦宾草种子千粒重的影响

25 个处理中麦宾草种子千粒重变化范围为 1.9~2.8 g·m⁻², 处理间差异显著($P < 0.05$)。17 号处理种子千粒重最大(2.8 g·m⁻²), 其中种子千粒重最高的小区比最低的 3 号小区(1.9 g·m⁻²)的高 43.8%。结果显示 A₄B₂C₅ 处理种子千粒重最大, 可见不同试验条件对麦宾草的种子千粒重影响较大(见表 2)。极差分析中不同行距间的极差值最大(0.4), 不同施肥量间的极差值次之(0.3), 不同播量间的极差值最小(0.2), 表明施肥量对麦宾草种子千粒重的影响较大(见表 3)。方差分析中行距对麦宾草的种子千粒重影响极显著($P < 0.01$), 施肥量影响显著($P < 0.05$)。影响种子千粒重的主次顺序为: 行距 > 施肥量 > 播种量(见表 5)。多重比较表明, 行距不同水平间 A₅ 最高(2.6), 显著高于 A₁, A₂, A₃ ($P < 0.05$); 播量不同水平间差异不显著, 但 B₄ 最高(2.5); 施肥量不同水平间 C₅ 最高(2.5), 显著高于 C₁, C₃ ($P < 0.05$) (见表 4)。

Table 5. Variance analysis of tillers and yields

表 5. 麦宾草分蘖及产量的方差分析

因素 Factor	df	F					
		分蘖 Tillers	有效分蘖 Effective tillers	无效分蘖 Ineffective tillers	地上植物量 /g·m ⁻² Aboveground biomass	种子产量 /g·m ⁻² Seed yield	种子千粒重 /g Thousand seed weight
行距 Spacing	4	4.983**	3.602**	2.233	10.179**	1.370	5.487**
播量 Seeding rate	4	3.621*	2.634*	6.787**	5.634**	3.684**	2.462
种肥量 Fertilizing amount	4	5.350**	2.572	3.658*	9.610**	15.080**	2.967*

注: *表示在 0.05 水平上差异显著; **表示在 0.01 水平上差异显著, 下同。

3.5. 麦宾草分蘖及产量的性状相关分析

麦宾草分蘖及产量之间的相关性分析表明, 分蘖与有效分蘖、无效分蘖间呈极显著正相关($P < 0.01$); 有效分蘖与种子产量间呈显著正相关($P < 0.05$), 与种子千粒质量间呈显著正相关($P < 0.05$); 地上植物量与种子产量呈极显著正相关水平($P < 0.01$) (见表 6)。

Table 6. Correlation analysis among tillers and yields of of *Elymus tangutorum* Nevski Hand.-Mazz.

表 6. 麦宾草分蘖及产量的性状相关分析

指标 Index	分蘖 Tillers	有效分蘖 Effective tillers	无效分蘖 Ineffective tillers	地上植物量/g·m ⁻² Aboveground biomass	种子产量 /g·m ⁻² Seed yield	种子千粒重/g Thousand seed weight
分蘖 Tillers	1	0.505**	0.848**	-0.074	0.078	0.130
有效分蘖 Effective tillers		1	0.180	-0.075	0.342*	0.334*
无效分蘖 Ineffective tillers			1	-0.040	-0.120	-0.054
地上植物量/g·m ⁻² Aboveground biomass				1	0.522**	-0.091
种子产量/g·m ⁻² Seed yield					1	0.153
种子千粒重/g Thousand seed weight						1

4. 讨论

4.1. 行距、播种量与施肥量对麦宾草分蘖的影响

分蘖是植物枝条自地表或地下植物分蘖节、地下茎节、根茎上的分蘖芽形成枝条的现象[7]。研究表明施氮肥可以促进有效分蘖的发生[8]，本研究得出3个因素对麦宾草分蘖影响均极显著，其中行距对麦宾草的分蘖和有效分蘖影响显著。该结果与张永亮等研究的结果不一致，这可能与草种自身特性和环境的不同有关。在行距较宽的情况下，麦宾草在地上与地下部分的竞争较小，就可以汲取更多的空间和养分，从而对生殖枝有显著影响。同时，播种量的增加可以改变田间麦宾草的种植密度而影响麦宾草的分蘖。此外，施肥对分蘖的影响说明不同水平的施肥用量均对播种当年幼苗生长和分蘖起到较大的促进作用。这可能与该地区土壤肥力天然供应不足引起的，施肥增加土壤的速效养分，快速解除因土壤肥力缺乏的抑制作用。

4.2. 行距、播种量与施肥量对麦宾草地上植物量及种子产量的影响

播量和行距对牧草的生长性能有一定影响[9]。王彦龙等[10]研究，增加行距和适宜的播种量能显著提高麦宾草的干草产量和种子产量。该研究中行距、播量、种肥均对麦宾草地上植物量有极显著影响，分析可能是适量施用磷酸二铵作种肥，可为幼苗生长提供营养物质补充，为牧草和种子的高产优质奠定物质基础。播种量的变化直接影响麦宾草的出苗与分蘖、有效分蘖等，从而使麦宾草地上植物量和种子产量有所增加。但行距对麦宾草种子产量的影响不显著，这可能与试验地区、气候环境和试验条件的差异有关。研究表明麦宾草的种子产量普遍较低，这可能与栽培当年气候因素有关，有待进一步研究。

4.3. 行距、播种量与施肥量对麦宾草种子千粒重的影响

行距对种子千粒重有极显著影响，这是由于行距的增加可以改变麦宾草地上、地下资源的空间分布，从而影响麦宾草种子对养分的吸收和利用，使种子千粒质量有所改变。播种时磷酸二铵可为幼苗早期生长提供营养补充，进而提高第二年种子的品质[11]。播种量对种子千粒重没有显著影响，高产和优质之间存在权衡关系，即在对种子产量影响较大的情况下，种子的品质就无法完全保证。

4.4. 分蘖及产量的性状相关分析

分蘖的变化直接影响着有效分蘖、无效分蘖的变化，但对地上植物量种子产量影响没有显著相关性，这可能与试验的因素有关。因为试验所测得是麦宾草的单株分蘖，而地上植物量的变化与种植行距、播种量、施肥量等综合因素有关，单株的分蘖对其影响较小。而有效分蘖的变化直接影响生殖枝变化从而改变种子产量与千粒重。

5. 结论

行距、播种量、施肥均能极显著增加麦宾草的分蘖和地上植物量；3个因素对麦宾草分蘖的影响表现为施肥量 > 行距 > 播种量；对麦宾草地上植物量的影响表现为行距 > 施肥量 > 播种量，最佳组合是 A₁B₄C₄；对麦宾草种子产量的影响表现为施肥量 > 播种量 > 行距，施肥量与播种量影响极显著，最佳组合是 A₄B₄C₄。

基金项目

青海省青年基金(2019-ZJ-987Q)；青海省科技支撑项目(2015-SF-129)；青海民族大学校级高层次人才项目(2018XJG08)。

参考文献

- [1] Lu, X.Y., Kelsey, K.C., Yan, Y., Sun, J., Wang, X.D., Cheng, G.W. and Neff, J.C. (2017) Effects of Grazing on Ecosystem Structure and Function of Alpine Grasslands in Qinghai-Tibetan Plateau: A Synthesis. *Ecosphere*, **8**, e1656. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1656>
- [2] Liu, J., Milne, R.I., Cadotte, M.W., Wu, Z.Y., Provan, J., Zhu, G.F., Gao, L.M. and Li, D.Z. (2018) Protect Third Pole's Fragile Ecosystem. *Science*, **362**, 1368. <https://doi.org/10.1126/science.aaw0443>
- [3] 周华坤, 姚步青, 于龙, 等. 三江源区高寒草地退化演替与生态恢复[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [4] 钟声, 奎嘉祥. 滇西北的温带牧草种质资源[J]. 四川草原, 2000(1): 22-25.
- [5] 马玉寿, 施建军, 董全民, 等. 适宜黑土滩栽培的牧草品种筛选研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2011, 41(4): 1-4.
- [6] 中国现场统计研究会农业优化组编. 农业正交设计法[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994: 4-13.
- [7] 王柳英, 马玉寿, 施建军, 等. 祁连山区青海草地早熟禾的丰产栽培技术研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2004, 34(3): 18-19.
- [8] 内蒙古农学院主编. 草原管理学[M]. 北京: 北京农业出版社, 1979.
- [9] 赵向田, 司二静, 汪军成, 等. 播量和施肥对甘啤 6 号产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(11): 1603-1608.
- [10] 王彦龙, 马玉寿, 邓波, 等. 行距和播量对麦宾草生产性能的影响[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2015, 45(3): 7-9.
- [11] 张众, 云锦凤, 逯晓萍, 等. 不同播种因素对蒙古冰草种子产量和品质的影响[J]. 华北农学报, 2006, 21(6): 95-99.