

不同施硼方法对紫花苜蓿种子产量与质量的影响

陈玲玲^{1,2} 张阳阳¹ 毛培胜^{1*} 梁庆伟² 乌仁图雅² 王胜男² 陈琪²

(1. 中国农业大学 动物科学技术学院/草业科学北京市重点实验室,北京 100193;

2. 赤峰市农牧科学研究所,内蒙古 赤峰 024031)

摘要 为研究不同施硼方法对紫花苜蓿种子产量与质量的影响,探索合理的施硼肥措施,以公农1号苜蓿为试验材料,通过田间试验研究沟施(B1,10%的植株开花时施硼砂5.3 kg/hm²)、喷施1次(B2,20%的植株开花时喷施0.70%硼砂)及喷施2次(B3,20%、50%的植株开花时分别喷施0.70%硼砂)对紫花苜蓿的花粉数量、活力、不同时期叶、茎、生殖器官中硼含量、种子产量及质量的影响。结果表明,相对于对照(CK),3种施硼处理均显著($P < 0.05$)增加种子产量,且喷施处理组种子产量显著($P < 0.05$)高于B1,但B1种子质量好于喷施处理。B1通过提高结荚率和结实率来增加种子产量;B2通过提高种子重量、种子数量和结荚率来增产,但是影响种子质量;B3通过增加花序数、每花序小花数、每花序荚果数和结荚率来增产,但是增加了不正常种苗数,降低了种子发芽率。B2可以获得最高的苜蓿种子产量,但会对种子质量造成不利影响。因此,最适宜的施硼方法为B3。

关键词 硼肥;紫花苜蓿;种子产量;种子质量;沟施;喷施

中图分类号 S551⁺.7

文章编号 1007-4333(2017)08-0043-07

文献标志码 A

Effects of different fertilizing methods of boron on seed yield and quality of alfalfa

CHEN Lingling^{1,2}, ZHANG Yangyang¹, MAO Peisheng^{1*}, LIANG Qingwei²,
Wurentuya², WANG Shengnan², CHEN Qi²

(1. College of Animal Science and Technology/Key Laboratory of Grassland Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Chifeng Academy of Agricultural and Animal Sciences, Chifeng 024031, China)

Abstract To investigate the influence of different application method of boron (B) on seed yield and quality of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in B deficiency conditions of Chifeng area, field experiment was conducted in 2-year old alfalfa cv Gongnong No. 1 treated by furrow and foliar application. For furrow application(B1), 5.3 kg Borax/hm² was applied to the furrows at initial flowering stage. For foliar application, 0.70% Borax solution was sprayed once (B2) and twice (B3) during flowering stage. The pollen number and viability, B content, seed yield and quality of alfalfa were compared and investigated to determine the optimal methods for B application in alfalfa seed production. The results showed that all three different application methods of B increased the seed yield of alfalfa, and the foliar application was better than that of B1, but the seed quality of B1 was better than that of foliar application. B1, by increasing pod setting rate and seed setting rate, increased seed yield; B2, by improving the seed number, seed weight and pod setting rate, increased seed yield. However, it reduced the germination percentage and germination potential; B3, by increasing the number of racemes/stem, number of flowers/raceme, number of pods/raceme and pod setting rate, increased seed yield. However, increased the number of dead seeds and decreased the germination rate. B2 obtained the highest alfalfa seed yield, but it adversely affected the quality of the seeds. The results suggested that the optimum B application method of alfalfa for seed production was B3.

Keywords alfalfa; seed yield; seed quality; furrow application; foliar application

收稿日期: 2016-06-30

基金项目: 现代牧草产业技术体系资助项目(CARS-35)

第一作者: 陈玲玲, 博士研究生, E-mail: chenlingling001@126.com

通讯作者: 毛培胜, 教授, 博士, 主要从事牧草种子生理与良种扩繁研究, E-mail: maops@cau.edu.cn

紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 适应性强、营养丰富、饲用价值高, 是世界上分布最广, 栽培面积最大的豆科牧草。近年来, 受国家政策和社会需求的拉动, 紫花苜蓿越来越受到人们的重视, 使我国苜蓿产业得到了快速的发展。但其种子生产长期不受重视, 种子生产水平普遍较低, 全国苜蓿种子平均产量只有 225~300 kg/hm², 最高达 900 kg/hm², 仅是其理论产量的 4% 左右^[1-2], 而美国、加拿大等发达国家的苜蓿种子平均产量在 800~1 200 kg/hm², 最高能达到 2 000 kg/hm²^[2]。虽然目前对紫花苜蓿种子生产田栽培技术措施的研究日益广泛和深入, 但主要集中在播种行距、大量元素对紫花苜蓿种子产量的影响等方面^[3-5], 对必需微量元素的研究较少。

硼是紫花苜蓿必需的微量元素之一, 它能促进紫花苜蓿生殖器官的正常发育, 有利于开花结实^[6]。硼能促进可溶性糖类的代谢和转运, 在新陈代谢过程中起着重要作用^[7-8], 硼也有利于根瘤菌的固氮^[9], 可提高苜蓿种子产量和质量。硼的作用主要渗透于苜蓿开花, 花粉萌发、氮代谢、碳水化合物的合成与运输以及其他许多过程中^[10]。如果土壤中缺硼, 苜蓿的生长便会减缓, 生长点枯萎, 使糖运输受阻, 花中可溶性蛋白和其他营养物质减少, 抑制花粉管萌发, 花不开而脱落, 从而影响结实率和种子产量^[6]。硼的有效性受土壤 pH 的影响, 土壤 pH 在 4.7~6.7 时硼的有效性最高^[11]。硼是通过植物根系表面的离子吸附作用进入到植物体内, 叶片施硼不能转运到植物根中, 在缺硼的土壤中如果只采取叶片喷施硼肥的方式, 反而可能会加重根的缺硼症状, 从而影响根对其他元素的吸收^[12]。虽然近年来有关硼肥对苜蓿种子产量及质量的研究增加, 但是大部分研究采取叶面喷硼肥的方法, 研究的焦点是施硼量对苜蓿种子产量的影响^[13], 对施硼肥的方法进行系统的对比分析鲜有报道, 而根据苜蓿不同组织中硼含量的动态变化来诊断紫花苜蓿硼素吸收与利用的研究更是少见。由于不同地区土壤有效硼含量不一样, 不同施肥方法对苜蓿种子产量和质量的影响也必然不一样。苜蓿对硼的需求在适量和过量之间的界限很小, 施用不当会使苜蓿中毒从而降低种子产量。因此, 有必要研究适宜的施硼肥方法。本研究针对内蒙古赤峰地区土壤有效硼含量较低的情况, 选择公农 1 号苜蓿, 采取沟施和叶面喷施 2 种方式, 对比分析硼肥不同施用方法对紫花苜蓿种子

产量及质量的影响, 以期在苜蓿种子生产过程中更合理有效地施用硼肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区

试验区位于内蒙古赤峰市西郊 10 km 处, 北纬 42°17', 东经 118°51', 海拔 601 m, 属中温带半干旱大陆性季风气候, 四季分明, 年日照时数 2 800~3 100 h, 年均降水量 360~400 mm, 年平均气温 7.2 °C, 无霜期 120~145 d, ≥10°C 积温 1 800~3 000 °C。试验地地势平坦, 肥力均匀, 光照、通风条件良好, 有机质含量 12.02 g/kg, 全氮 0.72 g/kg, 碱解氮 51.33 mg/kg, 有效磷 40.45 mg/kg, 速效钾 98.33 mg/kg, 有效硼 0.46 mg/kg, 土壤 pH 8.37。

1.2 试验材料

试验材料为播种第 2 年的紫花苜蓿, 于 2014 年 6 月播种, 品种为公农 1 号苜蓿, 小区面积为 20.9 m² (3.8 m×5.5 m), 行距 60 cm, 播量 6 kg/hm²。于 2015 年 6 月进行试验, 供试硼肥为硼砂 (含硼 11.34%), 以化合物质量分数计算硼肥浓度。喷施设备为背负式电动喷雾器 (SX-MD16E-2L, SeeSa 市下)。试验材料于 2015 年 6 月 1 日进入初花期, 6 月 13 日进入盛花期 (50% 的植株开花), 7 月 1 日进入结荚期 (50% 的植株结荚), 8 月 15 日进入成熟期 (70% 的荚果变褐色)。

1.3 试验设计

试验采用单因素随机区组设计, 设置 4 个处理, 沟施 (B1): 于 6 月 1 日小区内 10% 的植株开花时开沟施 5.3 kg 硼砂/hm²; 喷施 1 次 (B2): 于 6 月 6 日小区内 20% 的植株开花时喷施 0.70% 硼砂, 液肥量为 750 kg/hm²; 喷施 2 次 (B3): 于 6 月 6、13 日小区内 20%、50% 的植株开花时分别喷施 0.70% 硼砂, 每次喷施的液肥量为 750 kg/hm², 每 1 kg 液肥里添加 0.2 g 中性洗衣粉 (增加液肥在叶面的吸附性), 以不施硼肥作为对照 (CK), 对照组喷施相同量的清水和中性洗衣粉, 每个处理重复 3 次。喷施时间选择在晴朗无风的 15:00 以后。

1.4 测定内容与方法

1.4.1 花粉数量的测定

分别于 6 月 13、20 日, 喷施硼肥 7 d 后, 每小区随机在不同植株的不同部位 (上中下) 取 10 朵大小相同、刚刚开放的单花, 放入 15 mL 离心管中, 加入 1 mL 2.5% 纤维素酶处理 24 h, 然后加入 9 mL

2.5%蔗糖溶液,充分混匀后用移液枪取 5 μL 溶液于光学显微镜下观察,每处理取 5 次稀释液进行观察^[14]。

$$\text{每朵小花花粉数量} = \frac{\text{载玻片上总花粉粒数} \times 200}{\text{供试种子总数}} \times 100\%$$

1.4.2 花粉活力的测定

分别于 6 月 13、20 日,喷施硼肥 7 d 后,每小区随机在不同植株的不同部位(上、中、下)取 10 朵大小相同、刚刚开放的单花,将其花药混合,放入 1.5 mL 离心管中 4 $^{\circ}\text{C}$ 保存待测。用玻璃棒滴一滴蔗糖硼酸培养基(由 10%的蔗糖,0.015%的硼酸和 1%的琼脂配制而成)于载玻片上,待冷却后,用干净毛刷沾取少许花粉均匀撒播于培养基表面,置于 25 $^{\circ}\text{C}$ 恒温箱中培养 1.5 h 后于显微镜下观察花粉的萌发状况,以花粉管长度超过花粉粒直径作为发芽标准,统计花粉萌发率,每个处理重复 3 次^[14-15]。

$$\text{花粉活力} = \frac{\text{已发芽花粉数}}{\text{载玻片中的花粉粒总数}} \times 100\%$$

1.4.3 硼含量的测定

分别于盛花期(6 月 20 日)、结荚期(7 月 20 日)和成熟期(8 月 20 日),每个小区选择具有代表性的植株 10 株,将茎、叶、花、荚分开后 105 $^{\circ}\text{C}$ 杀青 30 min,80 $^{\circ}\text{C}$ 恒温烘至恒重,称重。将样品粉碎后测定全硼含量,根据分器官硼含量计算整株硼含量。

1.4.4 种子产量及产量组成成分的测定

于盛花期(6 月 20 日)和结荚期(7 月 20 日)各小区随机选取健康的 30 个生殖枝条,齐地面剪下,测定每个生殖枝上的花序数、每花序小花数、每个生殖枝上的结荚花序数、每花序荚果数和每荚果种子数等产量组成成分。于盛花期(6 月 20 日)每个小区随机选取 3 个 1 m 长的样段,统计近地表植株基部的主枝数目。于种子成熟期(8 月 20 日),每个小区选取 3 个 1 m 长的样段,测定种子产量;选取具有代表性的植株 5 株,测定单株种子产量。收获种子后,测定千粒重,每个小区测定 3 次。

1.4.5 种子质量的测定

参照 ISTA 种子检验规程(2013)^[16] 进行发芽实验,将收获后的种子放入铺有 2 层湿润滤纸的培养皿中,每皿放置 100 粒种子,5 $^{\circ}\text{C}$ 预处理 7 d,随后放置于光照培养箱中,在 20 $^{\circ}\text{C}$ 恒温、光照 8 h/黑暗 16 h 条件下培养,每个小区设 4 次重复。从第 4 天开始初次计数,逐日统计发芽种苗数,末次计数日为第 10 天,最终统计正常种苗数、不正常种苗数、硬实

种子数和死种子数并按以下公式计算发芽率和发芽势:

$$\text{发芽率} = \frac{\text{规定的发芽天数内发芽种子数}}{\text{供试种子总数}} \times 100\%$$

$$\text{发芽势} = \frac{\text{种子发芽数达到高峰时的发芽总数}}{\text{供试种子粒数}} \times 100\%$$

1.5 数据分析

采用 Excel 软件进行数据处理和作图,SPSS 21.0 统计软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同施硼方法对紫花苜蓿花粉数量和花粉活力的影响

硼肥对紫花苜蓿花粉数量与花粉活力的作用效果差异较大(表 1)。施硼肥显著($P < 0.05$)提高紫花苜蓿花粉数量。其中,喷施 1 次(B2)的花粉数量最多,其次是沟施(B1),均显著($P < 0.05$)高于对照组(CK)和喷施 2 次处理组(B3)。喷施显著($P < 0.05$)提高花粉活力,以 B2 为最高,沟施反而降低了花粉活力,显著($P < 0.05$)低于 CK 和喷施处理。

表 1 不同施硼方法对紫花苜蓿花粉数量和花粉活力的影响
Table 1 Effect of different fertilizing methods of boron on pollen number and viability of alfalfa

不同处理 Treatment	花粉数量/粒 Pollen number per flower	花粉活力/% Pollen viability
CK	3 200 d	20.67 c
B1	4 920 b	16.26 d
B2	5 240 a	54.91 a
B3	3 880 c	26.76 b

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

Note: Different small letters within the same column indicate significantly different at $P < 0.05$ level. The same below.

2.2 不同施硼方法对紫花苜蓿硼含量动态变化的影响

从紫花苜蓿硼含量动态变化可看出(图 1),CK 和 B1 处理组紫花苜蓿硼含量随着生育进程的推进呈现增加的趋势,而 B2 和 B3 处理组苜蓿植株硼含量在结荚期下降,在种子成熟期上升。施硼肥增加了苜蓿植株硼含量,在开花期和结荚期以 B2 的增幅最大,植株硼含量显著($P < 0.05$)高于其他处理组,其次是 B3 处理组,显著($P < 0.05$)高于 CK 和 B1 处理组,B1 处理组在开花期显著($P < 0.05$)高于

CK,在结荚期与CK差异不显著($P>0.05$);在种子成熟期,植株硼含量以B3为最高,显著($P<0.05$)

高于其他处理组,其次是B1,显著($P<0.05$)高于CK和B2处理。

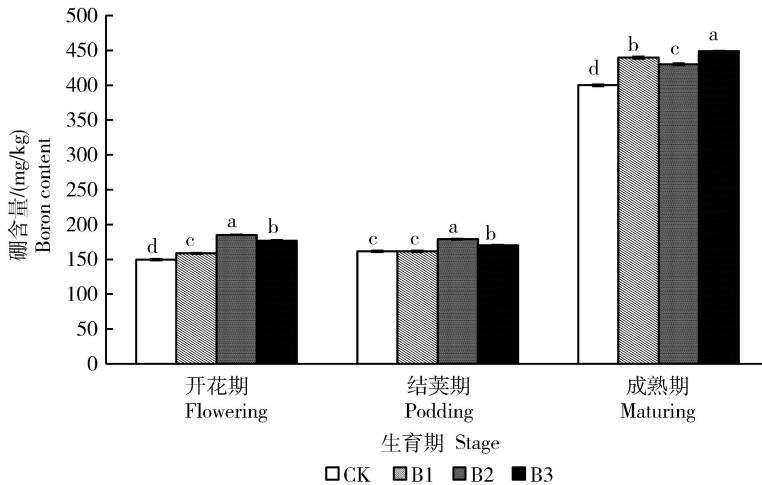


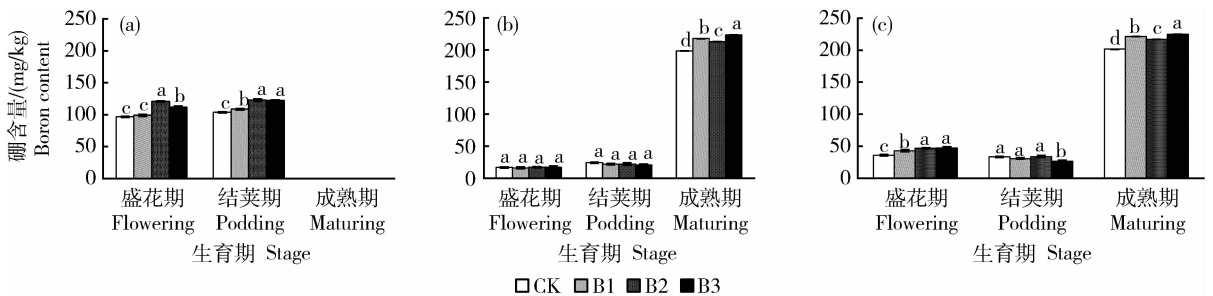
图1 不同施硼方法对紫花苜蓿硼含量动态变化的影响

Fig. 1 Effect of different fertilizing methods of boron on dynamic changes of the boron content in alfalfa

2.3 不同施硼方法对紫花苜蓿分器官硼含量动态变化的影响

从紫花苜蓿分器官硼含量动态变化看出

(图2),紫花苜蓿叶片硼积累量随着生育进程的推进呈现先增加后降低的趋势,茎硼含量呈现增加的趋势,而生殖器官硼含量则呈现先降低后增加的趋势。



(a)叶 Lea; (b)茎 Stem; (c)生殖器官 Reproductive organ

图2 不同施硼方法对紫花苜蓿分器官硼含量动态变化的影响

Fig. 2 Effect of different fertilizing methods of boron on dynamic changes of the boron content in different organs of alfalfa

在开花期和结荚期,叶片为积累硼的主要器官,占整株的60%~65%左右,种子成熟期苜蓿叶片已枯黄、凋落。3种施硼方法处理组的叶片硼含量均高于对照组,其中B2最高,其次是B3,均显著($P<0.05$)高于CK和B1。在开花期,B1与CK间差异不显著($P>0.05$),在结荚期B1显著($P<0.05$)高于CK;在开花期和结荚期,4个处理组苜蓿茎硼含量差异不显著($P>0.05$)。在成熟期,以B为最高,其次是B1,3种施硼方法均显著($P<0.05$)高于CK;在开花期生殖器官硼含量以B3为最高,其次是

B2,显著($P<0.05$)高于CK和B1。在结荚期生殖器官硼含量以B2和CK为最高,其次是B1,均显著($P<0.05$)高于B3。在成熟期,生殖器官硼含量以B3为最高,其次是B1,3种施硼方法处理组的苜蓿生殖器官硼含量均显著($P<0.05$)高于CK。

2.4 不同施硼方法对紫花苜蓿种子产量及产量组成成分的影响

施硼肥显著($P<0.05$)提高了苜蓿种子产量,喷施的效果好于沟施(表2)。在3种施硼方法中,以B3为最高,显著($P<0.05$)高于其他处理组,B2

和 B1 也能显著 ($P < 0.05$) 提高种子产量。单株粒重以 B2 为最高, 但与 CK 差异不显著 ($P > 0.05$), 显著 ($P < 0.05$) 高于 B1 和 B3; 千粒重以 B2 为最高, 但与其他处理组差异不显著 ($P > 0.05$); 花序数每枝条、小花数每花序与荚果数每花序以 B3 为最高, 显著 ($P < 0.05$) 高于其他处理组; 结荚花序数每

枝条以 B2 为最高, 与 B1 差异不显著 ($P > 0.05$), 显著 ($P < 0.05$) 高于 CK > B3; 种子数每荚果以 B2 为最高, 显著 ($P < 0.05$) 高于其他处理组; 结荚率以 B3 为最高, 与 B2 差异不显著 ($P > 0.05$), 显著 ($P < 0.05$) 高于 CK 和 B1。

表 2 不同施硼方法对紫花苜蓿种子产量及产量组成成分的影响

Table 2 Effect of different fertilizing methods of boron on seed yield and yield components of alfalfa

处理 Treatment	种子 产量/ (kg/hm ²) Seedyield	单株 粒重/g Seed weight	千粒重/g 1 000-seed weight	花序数每株 Number of racemes	小花数每 花序 Number of flowers	结荚花 序数每株 Number of pods	荚果数每 花序 Number of pods	种子数每 荚果 Number of seeds	结荚率/% Pod settingrate
CK	193 d	1.35 a	2.03 a	22.80 b	19.17 b	35.53 b	11.07 d	6.67 b	57.89 b
B1	259 c	1.14 b	2.05 a	17.43 d	18.70 b	44.07 a	11.58 c	6.87 b	57.92 b
B2	295 b	1.44 a	2.10 a	20.33 c	18.57 b	46.87 a	12.47 b	7.77 a	59.92 a
B3	353 a	0.72 c	2.01 a	25.47 a	22.77 a	22.23 c	13.77 a	6.57 b	60.48 a

2.5 不同施硼方法对紫花苜蓿种子质量的影响

沟施硼肥提高了种子发芽率, 在不同处理组中, B1 的种子发芽率最高, 但与其他处理组间差异不显著 ($P > 0.05$) (表 3)。喷施硼肥降低了种子发芽率, 低于 CK, 但差异不显著 ($P > 0.05$)。发芽势以 B1 为最高, 显著 ($P < 0.05$) 高于 CK 和 B2 处理组, 与

B3 处理组差异不显著 ($P > 0.05$); 硬实种子数以 B3 为最低, 显著 ($P < 0.05$) 低于其他处理组, 其余 3 组间差异不显著 ($P > 0.05$); 不正常种苗数以 B3 为最低, 显著 ($P < 0.05$) 低于 B2, 与 CK 和 B1 间差异不显著 ($P > 0.05$); 死种子数以 B1 为最低, 显著 ($P < 0.05$) 低于其他处理组。

表 3 不同施硼方法对紫花苜蓿种子质量的影响

Table 3 Effect of different fertilizing methods of boron on seed quality of alfalfa

处理 Treatment	发芽率/% Germination percentage	发芽势/% Germination potential	硬实种子数 Number of hard seeds	不正常种苗数 Number of abnormal seedlings	死种子数 Number of dead seeds
CK	86.73 a	39.45 b	40.82 a	6.54 ab	6.67 b
B1	89.54 a	47.00 a	38.18 a	5.27 b	5.25 c
B2	85.64 a	38.91 b	41.27 a	7.36 a	6.92 b
B3	84.91 a	46.27 a	34.00 b	4.91 b	10.17 a

3 讨论

3.1 沟施硼肥对紫花苜蓿种子产量与质量的影响

B1 有效提高了花粉数量、种子产量、千粒重、结荚花序数、每花序荚果数、每荚果种子数、结荚率、发芽率和发芽势等, 但是降低了花粉活力、单株粒重、开花花序数和每花序小花数。紫花苜蓿整株硼含量

和分器官硼含量变化主要在种子成熟期明显, 显著 ($P < 0.05$) 高于对照组, 说明采用沟施的方法施硼肥时苜蓿植株吸收硼较慢, 在初花期沟施硼肥主要在种子成熟期起关键作用。沟施硼肥容易被土壤固定, 需要一定的时间养分才能被作物吸收。在种子成熟期生殖器官中硼含量显著 ($P < 0.05$) 高于对照组, 产量组成成分也高于对照组, 说明沟施硼肥可通

过提高结荚率和结实率来增加种子产量。在开花期, B1 处理组生殖器官硼含量显著 ($P < 0.05$) 低于喷施处理组, 这可能是导致 B1 处理组种子产量低于喷施处理组的主要原因, 但 B1 有效提高了种子发芽率和发芽势, 降低了硬实种子数、不正常种苗数和死种子数。硼的有效性受土壤 pH 的影响, 随着土壤 pH 的升高, 硼的有效性降低, pH 在 7 以上时容易出现缺硼现象^[11]。试验地土壤属于碱性土壤, pH 为 8.37, 因此, 沟施硼肥容易受土壤条件的影响, 这也是沟施效果不如喷施效果的主要原因, 提高施肥量或者增加沟施次数, 效果可能会更好。

3.2 喷施硼肥对紫花苜蓿种子产量与质量的影响

叶面喷施硼肥有利于植株快速吸收养分, 对硼的利用率高。在本研究中 B3 的种子产量、开花花序数、每花序小花数、每花序荚果数和结荚率最高, 硬实种子数、不正常种苗数最少, 但是其单株粒重、千粒重、结荚花序数、每荚果种子数和发芽率在 3 种施用方法中都是最低的, 而死种子数最多。生殖器官硼含量在开花期最高, 说明 B3 有利于花期产量组成成分的提高, 增产是通过增加花序数、每花序小花数、每花序荚果数和结荚率来实现的。但是因死种子多, 造成发芽率降低, 这可能是因为施肥量过量, 出现了毒害现象。B2 的花粉数量、花粉活力、单株粒重、千粒重、结荚花序数、每荚果种子数最高, 而每花序小花数最低。在开花期和结荚期, B2 的分器官硼含量在 3 种施硼方法中最高, 而在种子成熟期最低, 说明 B2 有利于种子产量组成成分的提高, 但是对种子质量造成一定影响。增产是通过提高种子数量、重量和结荚率来实现的, 但增产效果不如 B3。

3.3 硼肥对紫花苜蓿种子产量与质量的影响

根据试验结果, 硼的施用效果主要表现为增加花粉数量、花粉活力及种子产量组成成分, 提高结实率和结荚率, 从而达到增产的效果。说明在赤峰地区有效硼含量较低的碱性土壤, 施硼肥有利于提高苜蓿种子产量。赤峰市无霜期为 130~150 d, 降雨量为 310~460 mm, 在苜蓿种子生殖生长期降雨较多, 导致花期长, 种子成熟不一致, 种子落粒多, 从而降低种子产量。因此适当的喷施硼肥有利于提高苜蓿种子产量。施硼肥后, 在结荚期叶片硼含量增加, 而茎和生殖器官硼含量降低, 说明硼肥是通过调控光合作用, 促进营养物质向生殖器官的转运和代谢, 从而提高紫花苜蓿的生殖分配比, 间接提高了种子产量。

施硼肥减少了硬实种子数和不正常种苗数, 从而提高发芽势。若在种子形成发育过程中缺乏营养物质, 则种子发育不充分, 不正常种苗数增多, 影响种子质量。Bel^[17] 等研究发现缺硼时苜蓿种子不正常种苗数增多, 发芽率降低。袁柱等^[6] 的研究表明 0.371% 的硼砂能显著提高苜蓿种子产量和正常种苗数, 降低硬实率。王赞文^[18] 在苜蓿花期喷施 0.50% 硼酸, 其种子发芽势和正常种苗数显著高于对照组。说明适量施硼肥有利于提高种子质量。关于硼肥对苜蓿种子质量的影响还有待进一步研究。

4 结论

综上所述, 3 种硼施用方法各有利弊, 总体上, 喷施 2 次的效果较好, 增产效果显著, 但对种子质量有一定影响。降低每次喷施浓度, 并在不同生育时期结合使用沟施和喷施方法, 效果可能会更理想。在以后的研究中, 选择不同施肥量、不同施肥时间及不同施肥方法的组合, 结合经济效益进行更系统的研究, 为紫花苜蓿种子生产田中合理使用硼肥提供理论依据和技术支持。

参考文献 References

- [1] 王志锋, 徐安凯, 杨允菲. 我国苜蓿种子丰产研究现状[J]. 草业科学, 2007, 24(7): 43-50
Wang Z F, Xu A K, Yang Y F. Current study situation of alfalfa seed yield in China[J]. *Pratacultural Science*, 2007, 24(7): 43-50 (in Chinese)
- [2] 韩清芳, 贾志宽, 王俊鹏. 国内外苜蓿产业发展现状与前景分析[J]. 草业科学, 2005, 22(3): 22-25
Han Q F, Jia Z K, Wang J P. The analysis of current situation and development prospect of alfalfa industry at home and abroad[J]. *Pratacultural Science*, 2005, 22(3): 22-25 (in Chinese)
- [3] 王秉龙, 罗世武, 徐丽芳. 氮磷钾配施对紫花苜蓿种子产量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2013(2): 7-9
Wang B L, Luo S W, Xu L F. Influence of NPK fertilizer on yield of alfalfa seed [J]. *Gansu Agriculture Science and Technology*, 2013(2): 7-9 (in Chinese)
- [4] 李丽, 李宁, 盛建东, 王皓. 施氮量和种植密度对紫花苜蓿生长及种子产量的影响[J]. 草地学报, 2012, 20(1): 54-62
Li L, Li N, Sheng J D, Wang H. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on alfalfa growth and seed yield[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, 20(1): 54-62 (in Chinese)
- [5] 田新会, 杜文华. 氮、磷、钾肥对紫花苜蓿种子产量及产量构成因素的影响[J]. 中国草地学报, 2008, 30(4): 16-20
Tian X H, Du W H. Effect of nitrogen, phosphorus and

- potassium fertilizer on seed yield and yield components of alfalfa (*Medicago sativa* L) [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2008, 30(4): 16-20 (in Chinese)
- [6] 袁柱, 孙彦, 陆继肖, 郭郁频, 冯子蓉. 叶面喷施硼肥对紫花苜蓿种子产量和质量的影响[J]. 草地学报, 2015, 23(6): 1329-1335
Yuan Z, Sun Y, Lu J X, Guo Y P, Feng Z R. Effects of foliar boron application on the yield and quality of alfalfa seed[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2015, 23(6): 1329-1335 (in Chinese)
- [7] 李科, 朱进忠. 硼、钼元素对苜蓿种子的增产效果[J]. 草业科学, 2009, 26(1): 61-63
Li K, Zhu J Z. Effect of boron and molybdenum on the seed yield of alfalfa[J]. *Pratacultural Science*, 2009, 26(1): 61-63 (in Chinese)
- [8] Dordas C. Foliar boron application improves seed set, seed yield, and seed quality of alfalfa[J]. *Agronomy*, 2006, 98(4): 907-913
- [9] 董肖昌, 姜存仓, 刘桂东, 刘磊超, 吴礼树, 彭抒昂. 低硼胁迫对根系调控及生理代谢的影响研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2014, 33(3): 133-137
Dong X C, Jiang C C, Liu G D, Liu L C, Wu L S, Peng S A. Advances on regulation and physiological metabolism of roots under the boron deficiency [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2014, 33(3): 133-137 (in Chinese)
- [10] Du W H, Tian X H, Cao Z Z, Humphries A. Effects of micronutrients on seed yield and yield components of alfalfa [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2009(32): 809-820
- [11] 王玉时, 章霁. 硼素营养及硼肥在农作物中的应用[J]. 安徽农业科学, 2004, 32(4): 791-792, 812
Wang Y S, Zhang J. The application of boron and boron fertilizer on crops [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2004, 32(4): 791-792, 812 (in Chinese)
- [12] 刘桂东. 纽荷尔脐橙缺硼的砧木效应及叶片结构变化与代谢响应研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014
- Liu G D. Rootstock effect of boron nutrition and changes in leaf structure and metabolism in Newhall navel orange under boron deficiency [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014 (in Chinese)
- [13] 耿智广, 曹宏, 李可夫. 叶面施肥对紫花苜蓿种子产量及质量的影响[J]. 中国草食动物科学, 2016, 36(1): 40-44
Geng Z G, Cao H, Li K F. Effects of foliar application fertilizers on alfalfa seed yield and quality[J]. *China Herbivores*, 2016, 36(1): 40-44 (in Chinese)
- [14] 姜华, 毕玉芬. 紫花苜蓿生殖生物学特性研究[J]. 草地学报, 2008, 16(2): 110-114
Jiang H, Bi Y F. A study on alfalfa pollinating mechanism and relationship of pollinating insects [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2008, 16(2): 110-114 (in Chinese)
- [15] 陈晶, 张月学, 糖凤兰, 刘凤歧, 韩微波, 刘杰淋, 陈积山, 尚晨, 张海玲. 紫花苜蓿花粉生活力测定方法研究[J]. 草地学报, 2010, 18(2): 297-301
Chen J, Zhang Y X, Tang F L, Liu F Q, Han W B, Liu J L, Chen J S, Shang C, Zhang H L. Methodology study on measurement of alfalfa pollen vitality [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2010, 18(2): 297-301 (in Chinese)
- [16] ISTA. *International Rules for Seed Testing* [M]. Bassersdorf: International Seed Testing Association, 2013
- [17] Bell R W, McLay L, Plaskett D, Dell B, Loneragan J F. Germination and vigor of black gram (*Vigna mungo* (L) Hepper) seed from plants grown with and without boron[J]. *Crop and Pasture Science*, 1989, 40(2): 273-279
- [18] 王赞文. 灌溉、施肥、疏枝等对紫花苜蓿种子产量和质量的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2003
Wang Y W. Effects of irrigation, fertilization and thinning on seed yield and quality of alfalfa[D]. Beijing: China Agricultural University, 2003 (in Chinese)

责任编辑: 苏燕