

DOI:10.11686/cyxb2018811

http://cyxb.magtech.com.cn

郑春风, 刘春增, 李本银, 等. 叶面喷硼对紫云英结实特性的影响. 草业学报, 2019, 28(11): 192—199.

Zheng C F, Liu C Z, Li B Y, *et al.* Effects of boron foliar spray on grain-setting characteristics of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus*). Acta Prataculturae Sinica, 2019, 28(11): 192—199.

叶面喷硼对紫云英结实特性的影响

郑春风^{1**}, 刘春增^{1**}, 李本银¹, 吕玉虎², 潘兹亮², 曹卫东^{3*}

(1. 河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 河南 郑州 450002; 2. 信阳市农业科学院, 河南 信阳 464000;
3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 硼是植物生长发育所必需的微量元素, 与植物的细胞与功能、花粉管发育伸长以及对光合作用的产物—碳水化合物化合物的合成与转运有重要作用。本研究通过开花前叶面喷施硼肥, 探讨硼肥对紫云英花荚结实成粒的调控效应, 以期增加紫云英籽粒数、提高种子产量调控技术应用提供参考。选取“信紫1号”为供试材料, 在开花前叶面喷施清水(对照 CK)、硼肥[500 (T₁)、1000 (T₂)、2000 (T₃)、4000 (T₄)、6000 mg · L⁻¹ (T₅)]。在成熟期, 按常规考种法记载单位面积株数、分枝数、不同层花序的花序数、结荚数、籽粒数等指标。结果表明, 各喷施浓度处理(除 T₃ 处理外)的单位面积花序数、结荚数、单荚籽粒数和荚果结实率在不同层花序上与对照间差异均不明显。喷施浓度 T₃ 处理的单位面积花序数在第3~6层花序上较对照分别提高31.87%、40.79%、37.49%和44.99%, 单位面积结荚数较对照分别提高27.89%、32.69%、35.92%和25.84%, 单荚籽粒数较对照分别提高20.69%、23.54%、23.24%和22.03%, 荚果结实率较对照分别增加2.95%、2.56%、3.49%和4.51%, 然而在第1和2层花序上与对照差异不明显。进一步分析产量构成发现, 喷施不同浓度硼肥处理对紫云英单位面积有效株数、一级分枝数、单株一级分枝数和千粒重影响不大。综上, 在紫云英花荚脱落开始之前叶面喷施2000 mg · L⁻¹ 硼肥, 可显著促进第3~6层花序单位面积花序数、结荚数和单荚籽粒数的增加, 从而促进荚果结实率的提高, 最终获得较高的种子产量。

关键词: 紫云英; 叶面喷硼; 结实特性

Effects of boron foliar spray on grain-setting characteristics of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus*)

ZHENG Chun-feng^{1**}, LIU Chun-zeng^{1**}, LI Ben-yin¹, LÜ Yu-hu², PAN Zi-liang², CAO Wei-dong^{3*}

1. Institute of Plant Nutrition Agricultural Resources and Environmental Sciences, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. Xinyang Academy of Agricultural Sciences, Xinyang 464000, China; 3. Institute of Agriculture Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

Abstract: Boron is an essential trace element for plant growth and development, with special functions in pollen tube elongation and the synthesis and transport of carbohydrates. The aim of this study was to determine the effect of applying boron as a foliar spray on flowering and the development of pods and grains, with an overall aim to increase the number of grains per pod and improve yield. The Chinese milk vetch cultivar “Xinzi No. 1” was subjected to six different foliar application treatments; water (control) and borate solution (500 mg · L⁻¹,

收稿日期:2018-12-14;改回日期:2019-02-27

基金项目:国家绿肥产业技术体系(CARS-22)和国家重点研发计划(2018YFD0200200)资助。

作者简介:郑春风(1988-),女,河南平顶山人,助理研究员,博士。E-mail: cfzheng666@126.com;刘春增(1967-),男,河南平顶山人,研究员。E-mail: liucz321@aliyun.com。* * 共同第一作者 These authors contributed equally to this work.

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: liucz321@aliyun.com, caoweidong@caas.cn

T_1 ; $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, T_2 ; $2000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, T_3 ; $4000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, T_4 ; $6000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, T_5), which were applied at the pre-flowering stage. When the plants reached the mature stage, the number of inflorescences, pods, grains per pod for different inflorescence positions (1 lowest on the raceme, 6 highest) and the number of plants and branches per unit area were determined using conventional test methods. The number of inflorescences and pods unit area, grain set rates of pods, and number of grains per pod for different inflorescence positions did not differ significantly between the control and the treatments, except for the T_3 treatment. In the 3rd to 6th inflorescence positions, the number of inflorescences per unit area was increased by 31.87%, 40.79%, 37.49%, and 44.99%, respectively; the number of pods per unit area was increased by 27.89%, 32.69%, 35.92% and 25.84%, respectively; the number of grains per pod was increased by 20.69%, 23.54%, 23.24%, and 22.03%, respectively; and the grain set rates of pods was increased by 2.95%, 2.56%, 3.49% and 4.51%, respectively, in the T_3 treatment as compared with the water control. However, these parameters in the 1st and 2nd inflorescence positions did not differ significantly between the T_3 treatment and the control. Further analyses showed that spraying boron at different concentrations had little effect on first-order branching and 1000-grain weight of Chinese milk vetch. Our results show that, when applied at the pre-flowering stage, a foliar application of boron ($2000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) can significantly increase the number of inflorescences, pods, and grains per pod per unit area at the 3rd to 6th inflorescence positions, thereby increasing the grain-setting rates of pods and increasing the grain yield of Chinese milk vetch.

Key words: Chinese milk vetch; foliar spraying boron; grain-setting characteristic

紫云英(*Astragalus sinicus*)又名红花草、翹搖、草籽等,为豆科黄芪属绿肥作物,是中国传统的农业种植绿肥作物之一,具有改善土壤理化性状、增加土壤微生物数量和多样性及提高土壤肥力的作用^[1-3]。随着绿肥作物在农业生产不同领域的大量应用,紫云英的种子生产已成为发展绿肥生产的重要环节^[4-5]。目前,紫云英种子生产基础性研究投入不足,其高产理论和配套技术研究相对薄弱,导致种子产量低且不稳定^[6-8]。因此,如何保证长期稳定地提供紫云英生产用种,将是十分重大的课题,也是从事绿肥研究的重要工作,对于提高我国绿肥品种资源的活力,扩大品种资源的储备与利用以及缓解化肥污染环境压力,也具有现实意义^[9-11]。

紫云英种子生产过程中,不仅需要 N、P、K 等大量元素,而且需要微量元素的供给,尽管微量元素在植株体内含量很少,但在新陈代谢过程中对能量交换和物质转运却起着重要的调控作用。目前紫云英施肥研究主要集中在大量元素(氮、磷、钾)常规肥料的施用^[12-13],而微量元素对其生长发育的作用研究较少。微量元素硼在植物体内比较集中分布在柱头、子房等花器官中,能促进根系生长,对光合作用的产物—碳水化合物的合成与转运有重要作用。硼素营养状况与作物雄蕊发育的关系极为密切^[14-16],缺硼可导致小麦雄性不育,籽粒发育成粒受阻^[15]。陈述明等^[17]研究发现,在苜蓿(*Medicago sativa*)现蕾期叶面喷硼,能够增加其单荚种子数和千粒重,从而提高其种子产量。有研究指出,在紫云英孕蕾期叶面喷施硼酸和钼酸铵溶液,可以促进植株生长,提高鲜草产量^[18]。前人有关硼对紫云英生长、养分含量及其经济性状研究已有报道^[19-20],然而关于硼肥对紫云英花荚结实特性的调控研究尚未见报道。本研究拟通过开花前叶面喷施硼肥,探究其对紫云英花荚结实成粒的调控效应及其途径,以期为提高紫云英种子产量的调控技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

本研究于 2016—2018 年在河南省正阳县兰青乡大余庄($32^{\circ}16' \text{ N}$, $114^{\circ}11' \text{ E}$)进行田间试验。试验田土壤类型为砂姜黑土,土壤质地为粘壤,0~20 cm 土层有机质含量为 $17.20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮为 $0.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效氮为 $102.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷为 $28.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾为 $125.42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效硼为 $0.41 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,低于土壤有效硼 $>0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 缺硼临界值^[21]。播前每 hm^2 施复合肥(N:P:K=24:11:10)187.5 kg,以信紫 1 号

为供试材料,两年试验材料均于9月15号播种,播种量为 $22.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,播种时将种子与细沙混匀后撒播,每处理小区面积为 $20\text{ m}^2(5\text{ m}\times 4\text{ m})$,试验田栽培管理同一般高产田。硼肥采用含量为99.5%的硼砂($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}$,含硼11.3%),在开花前(第1层花序开花之前),叶面喷施硼砂水溶液[500 (T_1)、1000 (T_2)、2000 (T_3)、4000 (T_4)、6000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (T_5)]各1次,喷量为 $750\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,均以叶面表层形成一层水雾但不下滴为准,对照区叶面喷施清水(CK),重复4次。

1.2 测定指标与方法

根据信紫1号生长特性,自下而上将其分为6个花序层(图1),其中,6层及其以上花序层统称为第6层花序。

成熟期每小区随机取 1 m^2 (每处理重复4次),常规法考种其有效株数(即成熟期存活的株数)、一级分枝数(即在主茎子叶的叶腋长出的分枝,通常在成熟期可以存活)、不同层花序的有效花序数(即在花荚脱落阶段未脱落且在成熟期能够结荚的花序)、结荚数[结实荚数、不孕荚数(瘪荚)]、籽粒数及粒重,并实收 2 m^2 计产。根据考种结果计算单位面积的各层花序平均单荚籽粒数、荚果结实率。

每层花序平均单荚籽粒数=每层花序籽粒数/每层花序结荚数

每层花序荚果结实率=每层花序结实荚数/每层花序结荚数 $\times 100\%$

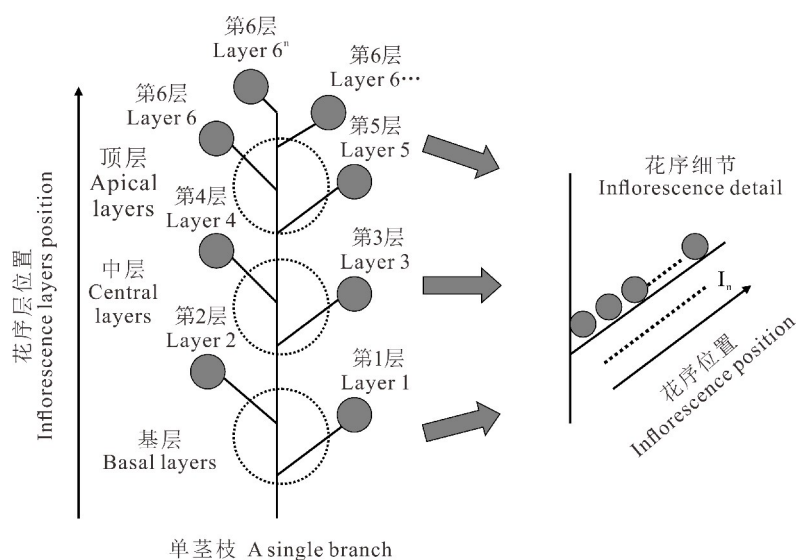


图1 植株形态结构示意图

Fig. 1 Plant morphological structure diagram

1.3 数据处理

采用Microsoft Excel 2003和PASW Statistics 18.0软件对两年数据进行处理分析,采用两年数据平均值绘图。

2 结果与分析

2.1 喷硼对紫云英不同层次花序数的影响

在第1和2层花序上,各喷施处理与对照之间的单位面积花序数差异不显著(图2)。在第3~6层花序上,各喷施处理与对照之间总体上表现出 $T_3>T_2>T_4>T_5>T_1>\text{CK}$ 。其中, T_3 处理与对照之间差异达到显著水平,其单位面积花序数较对照分别提高31.87%、40.79%、37.49%和44.99%,其他各处理与对照之间差异不显著($P>0.05$)。

2.2 喷硼对紫云英不同层花序结荚数的影响

在第1和2层花序上,各喷施处理与对照之间的单位面积结荚数差异不显著(图3)。但在第3~6层花序上, T_3 处理与对照之间差异达到显著水平($P<0.05$),其他各处理与对照之间差异不显著($P>0.05$)。在第3~

6 层花序上, T_3 处理的单位面积结荚数较对照分别提高 27.89%、32.69%、35.92% 和 25.84%。

2.3 喷硼对紫云英不同层花序单荚籽粒数的影响

在第 1 和 2 层花序上, 各喷施处理与对照之间的单荚籽粒数差异不显著($P>0.05$) (图 4)。但在第 3~6 花序层上, T_3 处理与对照之间差异达到显著水平($P<0.05$), 其单荚籽粒数较对照分别提高 20.69%、23.54%、23.24% 和 22.03%, 其他各处理与对照之间差异不显著。

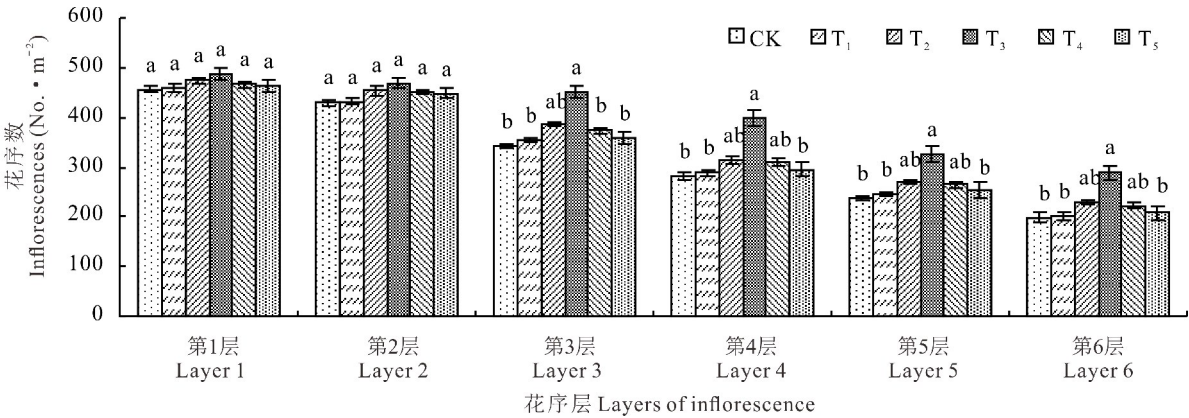


图 2 紫云英不同层花序上的花序数

Fig. 2 Number of inflorescences in different inflorescence layers of Chinese milk vetch

不同字母表示处理在 0.05 水平差异显著, 下同。Different lowercase letters above the bars indicate significant differences among treatments at $P<0.05$, the same below.

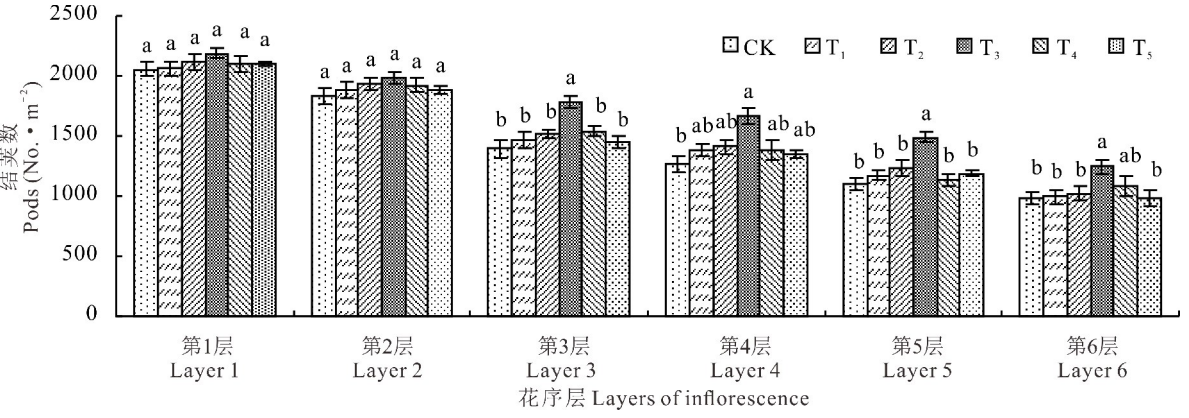


图 3 紫云英不同层花序上的结荚数

Fig. 3 Number of pods in different inflorescence layers of Chinese milk vetch

2.4 喷硼对紫云英不同层花序荚果结实率的影响

在第 1 和 2 层花序上, 各喷施处理与对照之间的荚果结实率差异不显著 (图 5)。但在第 3~6 层花序上, T_3 处理与对照之间差异达到显著水平($P<0.05$), 其荚果结实率较对照分别增加 2.95%、2.56%、3.49% 和 4.51%, 而其他各处理与对照之间差异不显著($P>0.05$)。

2.5 喷硼对紫云英产量构成的影响

从产量构成因素分析, 喷施不同浓度硼肥处理与对照在单位面积有效株数、一级分枝数、单株一级分枝数和千粒重上差异均不显著 (表 1)。各喷施处理在单位面积花序数、一级分枝花序数、每有效花序结荚数和每荚粒数上均表现为 $T_3>T_2>T_4>T_5>T_1>CK$, 其中, T_3 处理与对照之间差异达到显著水平, 其他各处理与对照之间差异不显著($P>0.05$)。

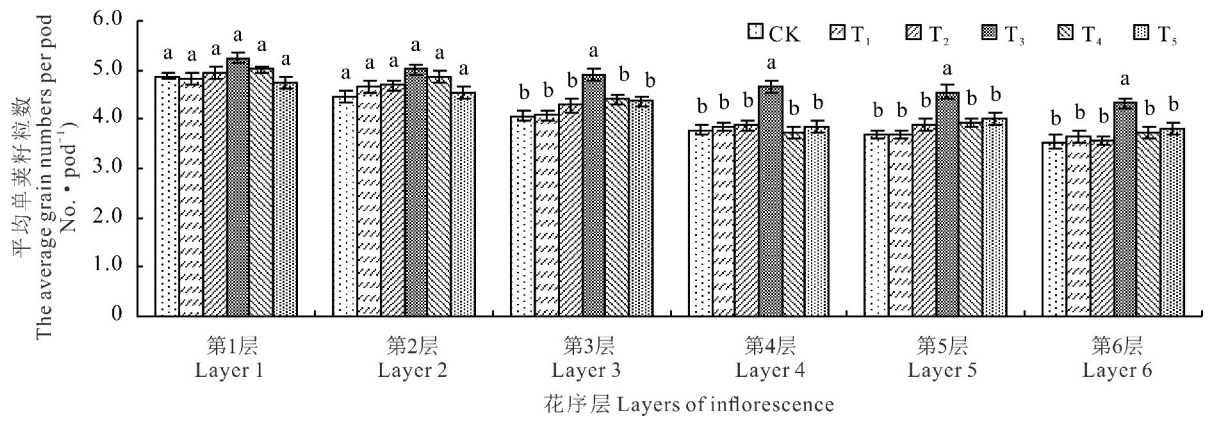


图 4 紫云英不同层花序上的平均单荚籽粒数

Fig. 4 The average grain numbers per pod in different inflorescence layers of Chinese milk vetch

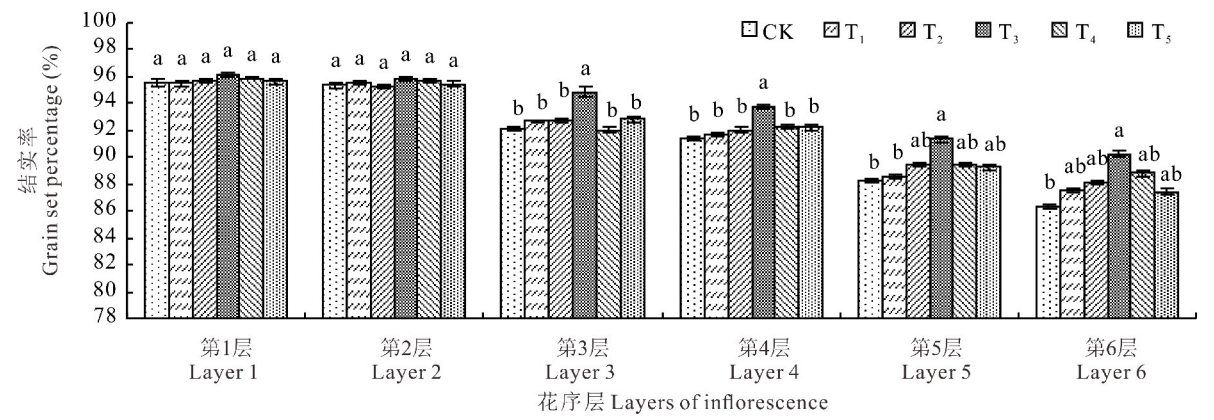


图 5 紫云英不同层花序上的荚果结实率

Fig. 5 The grain set percentage of pods in different inflorescence layers of Chinese milk vetch

表 1 喷硼对紫云英产量构成因素的影响

Table 1 Yield components of spraying B and control treatments in Chinese milk vetch

处理 Treatments	单株一级分枝数	一级分枝花序数	每有效花序结荚数	每荚粒数	千粒重	单位面积 Unit area (m ²)		
	First grade branch per plant	Inflorescences per first grade branch	Pods per effective inflorescence	Grains per pod	1000-grain weight (g)	有效株数 Effective plant	一级分枝数 First grade branch	花序数 Inflorescences
CK	1.95a	6.88b	3.47b	3.40b	2.96a	150.46a	298.46a	1905.14b
T ₁	1.78a	7.01b	3.56b	3.43b	3.01a	147.50a	272.55a	1934.18b
T ₂	1.80a	7.96ab	4.78ab	4.06ab	3.25a	152.10a	280.78a	2305.26ab
T ₃	2.16a	8.89a	5.67a	4.94a	3.18a	145.05a	313.31a	2876.44a
T ₄	1.88a	7.16b	4.12ab	3.94ab	2.94a	151.42a	287.67a	2087.08ab
T ₅	1.94a	7.05b	3.61b	3.54b	3.03a	140.27a	279.12a	1941.31b

注: 同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。
Note: Values followed by different lowercase letters in the same column indicate significant differences between CK and treatments at $P<0.05$.

3 讨论

紫云英各花序开花的顺序是由下而上陆续进行的^[22-23],并以此顺序先后结荚。紫云英花荚脱落基本上也是按此顺序先后发生的。同一花序上的小花,开放顺序是由外向内进行的,其结荚和脱落的顺序基本上也是按此顺

序先后发生的^[22]。紫云英茎枝的中下部花序上着生的小花数较顶部多,特别是基部花序着生的小花数最多^[22]。花荚脱落比率根据花在茎枝上着生部位的高低,一般表现为下部花序花荚脱落率较低,上部花序较高^[23]。本研究发现,紫云英的单位面积花序数和结荚数随花序层的增加自下而上呈现逐渐减少的趋势,这与前人研究结果相一致^[22-23]。

紫云英的开花期延续时间较长,因而出现落花落荚的时间也较长,可延续 38~43 d,大部分是在盛花期到终花末期间脱落,且此间的落花率高达 85% 左右,落荚率高达 75% 左右^[22,24]。因此,通过对紫云英花荚脱落问题的初步探讨,钟山^[24]研究指出,在栽培上对于留种紫云英如若想促进种子高产,应当将重点放在如何提高植株各部位花序的花荚结实上,促使保花增荚结实。本试验发现,叶面喷施 2000 mg · L⁻¹ 硼肥处理可显著促进紫云英中上层花序单位面积花序数、结荚数、荚果结实率和单荚籽粒数的提高,进而促进种子产量的提高,这与前人提出的研究观点相应证^[24]。本试验不仅探索了叶面喷硼对旱地紫云英种子产量提高的调控效应,还筛选出了适合紫云英种子高产的适宜硼肥喷施浓度以及具体的调控途径,为紫云英种子高产的栽培调控技术应用提供参考。

随着植株生殖器官的不断出现、营养器官继续的迅速增长,植株体内养分供应不足或分配失调,是造成花荚大量脱落的主要生理原因。目前,有关紫云英花荚发育与植株体内同化物营养分配的关系尚未见报道,但马元喜等^[25]在针对冬小麦小花发育的研究中曾提到在冬小麦(*Triticum aestivum*)小花退化高峰前采取一定调控措施可减少小花退化,促进结实。Demotes-Mainard 等^[26]研究指出冬小麦籽粒数与小花发育期穗部氮素积累量呈显著正相关。文祥朋等^[27]在对冬小麦小花发育成粒的研究中指出可孕花的形成与同化物在穗部和营养器官的分配比例密切相关。Scarisbrick 等^[28]通过对油菜(*Brassica napus*)进行多效唑处理发现,其荚果结实增多与生殖器官中积累物质的增多有关。基于前人的研究推测,在紫云英花荚脱落开始之前,叶面喷硼可能调控了花荚发育过程中不同部位同化物的供应与分配,或促进了花器官的发育成熟,从而有利于中上层花序荚果的发育与结实,其内在的生理机制需进行进一步的探究。

4 结论

在紫云英花荚脱落开始之前,采取叶面喷施硼肥(2000 mg · L⁻¹),可明显促进中上层花序单位面积花序数、结荚数、荚果结实率和单荚籽粒数的增加。通过本研究得知叶面喷施硼肥在提高紫云英花序数、结荚数、籽粒数等产量构成因素方面有一定的调控潜力。由此建议,在紫云英生产中应根据各生态区土壤硼供应状况,关注硼肥的施用,叶面喷硼不失为一项投入少、增粒效果好的技术措施。

参考文献 References:

- [1] Jiao B. Roles of green manures on modern agriculture in China. *Soils and Fertilizers*, 1980, 22(5): 16—18.
焦彬. 绿肥在我国农业生产中作用的简述. *土壤肥料*, 1980, 22(5): 16—18.
- [2] Wan S X, Tang S, Jiang G Y, *et al.* Effects of Chinese milk vetch mature and fertilizer on soil microbial characteristics and yield of rice. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(6): 109—117.
万水霞, 唐杉, 蒋光月, 等. 紫云英与化肥配施对土壤微生物特征和作物产量的影响. *草业学报*, 2016, 25(6): 109—117.
- [3] Li Z Y, Tang H Q, He T G, *et al.* Research progress of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus*). *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2016, 36(11): 27—32.
李忠义, 唐红琴, 何铁光, 等. 绿肥作物紫云英研究进展. *热带农业科学*, 2016, 36(11): 27—32.
- [4] Cao W D. Descriptors and data standards for green manure. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
曹卫东. 绿肥种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [5] Cao W D, Bao X G, Xu C X, *et al.* Reviews and prospects on science and technology of green manure in China. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, 23(6): 1444—1455.
曹卫东, 包兴国, 徐昌旭, 等. 中国绿肥科研 60 年回顾与未来展望. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(6): 1444—1455.
- [6] Lin X J, Cao W D, Wu Y Q, *et al.* Advance in *Astragalus sinicus* research. *Pratacultural Science*, 2011, 28(1): 135—140.
林新坚, 曹卫东, 吴一群, 等. 紫云英研究进展. *草业科学*, 2011, 28(1): 135—140.
- [7] Qin Z G. Effects of different cultivation technique on the growth and seed yield of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.). Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015.

秦自果. 不同栽培措施对紫云英生长及种子产量的影响. 武汉: 华中农业大学, 2015.

- [8] Chen S P. Views of roles of green manures on the eco-systems in modern agriculture. *Chinese Journal of Soil Science*, 1980, 28(1): 35—40.
- 陈士平. 论绿肥在现代化农业生态系统中的地位. *土壤通报*, 1980, 28(1): 35—40.
- [9] Cao W D, Huang H X. Ideas on restoration and development of green manures in China. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2009, 21(4): 127—133.
- 曹卫东, 黄鸿翔. 关于我国恢复和发展绿肥若干问题的思考. *中国土壤与肥料*, 2009, 21(4): 127—133.
- [10] Chen L Z, Zhang S Z, Wang J Y, *et al.* Introduction of plantation and utilization of green manures in China. *Soils and Fertilizers*, 1989, 36(4): 33—39.
- 陈礼智, 张淑珍, 王隽英, 等. 我国绿肥种植利用概况. *土壤肥料*, 1989, 36(4): 33—39.
- [11] Gu R S. Selecting suitable varieties and expanding the green manure cultivation. *Scientia Agricultura Sinica*, 1957, 36(8): 459—462.
- 顾荣申. 选择适宜的绿肥种类扩大绿肥的栽培. *中国农业科学*, 1957, 36(8): 459—462.
- [12] Su W, Lu J W, Liu W, *et al.* Effect of N, P and K fertilizer combination and application rate on yield of *Astragalus sinicus* L. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(6): 1094—1098.
- 苏伟, 鲁剑巍, 刘威, 等. 氮磷钾肥用量对紫云英产量效应的研究. *中国生态农业学报*, 2009, 17(6): 1094—1098.
- [13] Zhang X M, Guo X S, Wang W J, *et al.* Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on growth and yield of *Astragalus sinicus* L. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2011, 39(30): 18585—18586.
- 张祥明, 郭熙盛, 王文军, 等. 施用氮磷钾肥对紫云英生长—产量的影响. *安徽农业科学*, 2011, 39(30): 18585—18586.
- [14] Chen G, Yi Y R, Zhou M B, *et al.* Research advance in the B nutrient application in plant. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2006, 34(16): 4060—4061.
- 陈刚, 易妍睿, 周漠兵, 等. 植物硼营养研究进展. *安徽农业科学*, 2006, 34(16): 4060—4061.
- [15] Rerkasem B, Netsangtip R, Lorkaew S, *et al.* Grain set failure in boron deficient wheat. *Plant Soil*, 1993, 155(156): 309—312.
- [16] Yan H, Hu S L, Li W X, *et al.* Effect of boron on the morphology and anatomical structure of reproductive organ in wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(1): 47—51.
- 严红, 胡尚连, 李文雄, 等. 硼对小麦生殖器官形态及解剖结构的影响. *作物学报*, 2002, 28(1): 47—51.
- [17] Chen S M, Wang Y Y, Xu C A, *et al.* Effects of spraying B, Mo and Fe on fruiting characteristic and seed yield of alfalfa. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(29): 8—14.
- 陈述明, 王月异, 徐常安, 等. 喷施硼、钼、铁对苜蓿结实性和种子产量的影响. *中国农学通报*, 2015, 31(29): 8—14.
- [18] Cheng Y. Cultivation technique of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.). *Serves of Agricultural Technology*, 2013, 30(10): 1065—1069.
- 程扬. 紫云英的栽培技术. *农技服务*, 2013, 30(10): 1065—1069.
- [19] Pan F X. Effect of planting technique on the growth, yield and nutrients accumulation of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.). Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.
- 潘福霞. 不同种植技术对紫云英生长及物质养分积累影响的研究. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- [20] Guo X Y, Zhang L X, Lü Y H, *et al.* Effect of spraying B and Mo fertilizer on the economic characters and seed production of Chinese milk vetch. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2014, 20(20): 55—57.
- 郭晓彦, 张丽霞, 吕玉虎, 等. 喷施硼、钼肥对紫云英经济性状及种子产量的影响. *安徽农学通报*, 2014, 20(20): 55—57.
- [21] State Soil Survey Service of China. *Chinese soil*. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1998.
- 全国土壤普查办公室. *中国土壤*. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [22] Lin D H, Gu R S. *Milk vetch in China*. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 2000.
- 林多胡, 顾荣申. *中国紫云英*. 福州: 福建科学技术出版社, 2000.
- [23] Zhong S. A discussion on the effective flowering stage, pod development process and the appropriate harvest stage of Chinese milk vetch. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 1978, (6): 24—29, 46.
- 钟山. 留种紫云英有效开花期、荚粒发育过程和收种适期的探讨. *浙江农业科学*, 1978, (6): 24—29, 46.
- [24] Zhong S. A preliminary study on the shedding of flowers and pods of Chinese milk vetch. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 1975, (5): 21—25.
- 钟山. 紫云英花荚脱落问题的初步探讨. *浙江农业科学*, 1975, (5): 21—25.
- [25] Ma Y X, Wang C Y, Zhu Y J. Coordinate three polarization process of young spike development to increase grain number//

Lu L S. China's wheat cultivation research progress. Beijing: Agricultural Press, 1991: 119—126.

马元喜, 王晨阳, 朱云集. 协调小麦幼穗发育三个两极分化过程增加穗粒数//卢良恕. 中国小麦栽培研究新进展. 北京: 农业出版社, 1991: 119—126.

- [26] Demotes-Mainard S, Jeuffroy M H. Effects of nitrogen and radiation on dry matter and nitrogen accumulation in the spike of winter wheat. *Field Crops Research*, 2004, 87: 221—233.
- [27] Wen X P, Ren W, Sun K G, *et al.* Relationship between photosynthate distribution in young ear at floret development stage and grain number per ear of different ear-type wheat varieties. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2017, 29(8): 11—14.
文祥朋, 任伟, 孙克刚, 等. 不同穗型小麦小花发育过程中幼穗内同化物分配与穗粒数的关系. *江西农业学报*, 2017, 29(8): 11—14.
- [28] Scarisbrick D H, Addo-Quaye A A, Daniels R W, *et al.* The effect of paclobutrazol on plant height and seed yield of oil-seed rape (*Brassica napus* L.). *The Journal of Agricultural Science*, 1985, 105: 605—612.