

DOI: 10.11686/cyxb2021099

http://cyxb.magtech.com.cn

刘春增, 郑春风, 聂良鹏, 等. 现蕾期叶面喷素对紫云英籽粒数和籽粒重的影响. 草业学报, 2022, 31(5): 76—83.

LIU Chun-zeng, ZHENG Chun-feng, NIE Liang-peng, et al. Effects of foliar spray with various bioactive compounds on seed number and seed weight of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus*). Acta Prataculturae Sinica, 2022, 31(5): 76—83.

现蕾期叶面喷素对紫云英籽粒数和籽粒重的影响

刘春增^{1**}, 郑春风^{1**}, 聂良鹏², 张琳², 张济世¹, 吕玉虎², 李本银¹, 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:以“信紫1号”为供试材料, 清水为对照, 通过花期和成熟期对紫云英主茎不同花序位的花序结实性状测定, 研究紫云英现蕾期叶面分别喷施多效唑(PP₃₃₃)、6-苄氨基腺嘌呤(6-BA)、芸苔素内酯(BR)、海藻酸钠寡糖(AOS)、复合营养制剂(NCD)对紫云英籽粒数和籽粒重的调控效应, 以期为提高紫云英种子产量和应用调控技术提供参考。结果表明:与对照相比, 不同喷素处理均能提高紫云英不同花序位结荚率和荚果结实率, 增加紫云英不同花序位的籽粒数和籽粒重。各喷素处理对紫云英各花序位籽粒数的促进效果以NCD处理最佳, 其中, 基、中、顶部花序位籽粒数较对照分别提高27.79%、29.35%、71.25%; 对不同花序位籽粒重的促进效果也以NCD处理最佳, 其中, 基、中、顶部花序位籽粒重较对照分别提高27.18%、28.65%、71.05%。分析产量构成发现, 现蕾期喷施NCD、PP₃₃₃、BR、6-BA、AOS处理种子产量均显著高于对照, 较对照分别提高29.73%、22.02%、19.02%、10.52%、10.01%, 以NCD处理产量最高, 达601.37 kg·hm⁻²。其中, PP₃₃₃、6-BA处理增粒效果显著, 而对籽粒增重效果不明显; BR、AOS处理籽粒增重效果显著, 而对增粒效果不明显; NCD处理增粒增重效果均显著。综上, 在现蕾期叶面喷素可显著促进紫云英种子产量的增加, 以NCD作用效果最优, PP₃₃₃、BR、6-BA、AOS依次次之。

关键词:紫云英; 叶面喷素; 籽粒数; 籽粒重; 产量

Effects of foliar spray with various bioactive compounds on seed number and seed weight of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus*)

LIU Chun-zeng^{1**}, ZHENG Chun-feng^{1**}, NIE Liang-peng², ZHANG Lin², ZHANG Ji-shi¹, LV Yu-hu², LI Ben-yin¹, 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: The effects of various foliar sprays on Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* cv. Xinzi-1) seed number and seed weight at the squaring stage were studied in order to provide reference information for improving yield through use of chemical regulators. Foliar spraying of paclobutrazol (PP₃₃₃), 6-benzylaminopurine (6-BA), brassinolide (BR), alginate oligosaccharides (AOS) and compound nutrition preparation (NCD) were performed at

收稿日期: 2021-03-16; 改回日期: 2021-05-12

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD1700200), 河南省农业科学院自主创新基金项目(2022ZC29; 2021ZC35), 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系(CARS-22), 河南省农业科学院科技创新团队(2022TD37)和河南省农业科学院优秀青年科技基金项目(2020YQ30)资助。

作者简介: 刘春增(1967-), 男, 河南平顶山人, 研究员。E-mail: liucz321@aliyun.com; 郑春风(1988-), 女, 河南平顶山人, 助理研究员, 博士。E-mail: 1477859207@qq.com。 ** 共同第一作者 These authors contributed equally to this work.

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: caoweidong@caas.cn

the squaring stage, while spraying water as the control. At the flowering and harvest stages, the seed setting was investigated for inflorescences at the basal, central, and apical inflorescence positions on the main stem. It was found that, compared with the water control, the various spray treatments improved the pod and seed setting rates in the examined inflorescence positions at flowering, and improved the seed number and seed weight in those inflorescence positions at harvest. NCD was the best treatment; the seed number at the basal, central and apical inflorescence positions was increased by 27.79%, 29.35% and 71.25%, respectively, and the seed weight at the same positions was increased by 27.18%, 28.65% and 71.05%, respectively, compared with the control. The seed yields under NCD, PP₃₃₃, BR, 6-BA and AOS treatments were significantly higher than those of the control, with increases of 29.73%, 22.02%, 19.02%, 10.52% and 10.01%, respectively. The seed yield under NCD treatment was the highest, and was 601.37 kg·ha⁻¹. Among the treatments, PP₃₃₃ and 6-BA treatments induced significant increases in seed number, but no obvious effect on seed weight, while the BR and AOS treatments induced significant increases in seed weight, but not seed number. The NCD treatment induced significant effects both on seed number and seed weight. In summary, foliar spray of plant regulators at squaring stage significantly promoted increased seed yield and the NCD treatment has the greatest effect, followed by PP₃₃₃, BR, 6-BA and AOS.

Key words: Chinese milk vetch; foliar spray; seed number; seed weight; yield

随着“绿水青山就是金山银山”的发展理念在农业生产中的提出,在今后较长时期内,种植业结构调整、耕地用养结合、农田生态改善、农业面源污染削减、农产品提质增效等将是我国农业的主要战略性任务。随着我国农业绿色发展、耕地质量提升与保护工作的推进,绿肥种植利用作为一项重要技术措施,具有独特、有效的作用,越来越多地被生产者所接受正逐渐成为支撑我国主要农区化肥减施战略的重要手段。通过绿肥培肥地力,实现耕地休养生息,进而实现“藏粮于地、藏粮于技”^[1-5]。如今,绿肥种植利用面积逐渐增加,对绿肥种子需求量不断增多。紫云英(*Astragalus sinicus*)又名红花草、翹摇、草籽等,为豆科黄芪属,是中国传统绿肥作物之一,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^[6-7]。目前,紫云英种植面积占我国绿肥总种植面积的60%,随着绿肥作物在农业生产中的大量应用,紫云英的种子生产已成为发展绿肥生产的重要环节^[8-10]。

叶面喷施植物生长调节剂等化控技术已成为促进作物生长发育、保花增粒、提高粒重,进而提高产量的轻简化栽培技术之一。常见的植物生长调节剂有植物生长延缓剂^[11]、芸苔素内酯(brassinolide, BR)^[12]、6-苄氨基腺嘌呤(6-benzylaminopurine, 6-BA)^[13]、寡糖^[14]等,这些调节剂作为重要的微量活性调节物质,对作物生长发育及产量形成具有重要的调控作用^[15]。吴明荣等^[16]研究指出,叶面喷施BR可促进小麦(*Triticum aestivum*)增产4.93%~7.69%。Scarlsbrick等^[17]和任廷波等^[18]研究发现,叶面喷施多效唑(paclobutrazol, PP₃₃₃)可降低油菜(*Brassica napus*)株高和茎、叶干重,促使生殖器官中积累物质增多,显著增加其角果数、每角粒数和千粒重。杨东清等^[19]研究认为,在小麦盛花后期喷施6-BA能显著提高花后旗叶叶绿素含量,延缓叶片衰老。张翠翠等^[20]的研究表明,喷施海藻酸钠寡糖(alginate oligosaccharides, AOS)水溶肥料可促使花生(*Arachis hypogaea*)增产9.56%。然而目前有关植物生长调节剂在紫云英上的应用效应研究鲜有报道。因此,本研究拟在大田条件下,通过在紫云英现蕾期,采用叶面喷施不同植物生长调节剂及其复配剂,初步探讨不同喷素处理对紫云英籽粒数、籽粒重及产量的影响,以期为进一步提高紫云英种子产量提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

本研究于2018—2020年在信阳市洋河试验基地(32°14' N, 114°10' E)进行田间试验。该地区属亚热带向暖

温带过渡区,年均日照1900~2100 h;年均气温15.1~15.3℃;年平均降水量900~1400 mm;相对湿度年均77%。供试土壤为黄棕壤性潜育型水稻土,0~20 cm土层有机质含量为17.1 g·kg⁻¹,全氮为1.3 g·kg⁻¹,碱解氮为55.4 mg·kg⁻¹,有效磷为12.5 mg·kg⁻¹,速效钾为75.2 mg·kg⁻¹,pH值6.5。播前底施尿素(46.4% N)103.45 kg·hm⁻²、过磷酸钙(12% P₂O₅)562.50 kg·hm⁻²、氯化钾(60% K₂O)112.50 kg·hm⁻²。以当地紫云英纯化品种“信紫1号”为试验材料。两年试验材料均于9月28日播种,播种量为22.5 kg·hm⁻²,播种时将种子与细沙混匀后撒播。试验田栽培管理同一般高产田。6-苄氨基腺嘌呤(6-BA)纯度为99%(美国进口)。芸苔素内酯(BR)为0.01%粉剂,由山东绿贝特生物肥料有限公司提供。多效唑(PP₃₃₃)为15%可湿性粉剂,由安阳全丰生物科技有限公司提供。海藻酸钠寡糖(AOS)由中国科学院大连化学物理研究所提供。复合营养制剂(compound, NCD; 含有PP₃₃₃、BR、AOS、6-BA等物质)是由河南省农业科学院研发的促进紫云英种子增产的复合营养制剂。现蕾期(3月17日)分别于叶面喷清水、PP₃₃₃(400 mg·L⁻¹)、6-BA(10 mg·L⁻¹)、BR(0.04 mg·L⁻¹)、AOS(20 mg·L⁻¹)和NCD,均以叶面表层形成一层水雾但不下滴为准,每处理小区面积为20 m²,重复3次。

1.2 测定内容及方法

花序位划分^[21]:第1~2层花序为基部花序,第3~4层花序为中部花序,第5层及以上花序层统计为顶部花序。

不同花序位的花数:盛花期每小区随机选取植株5~10株,调查记载其主茎上不同花序位(基部、中部和顶部)的花数。

不同花序位的荚数、籽粒数和籽粒重:成熟期每小区随机选取植株20株,考察记载其主茎上不同花序位(基部、中部和顶部)的结荚数[结实荚数、不孕荚数(瘪荚)]。摘荚风干脱粒后统计计算各花序位的籽粒数、籽粒千重、结荚率和荚果结实率。

产量及其构成因素:成熟期每小区随机取1 m²(每处理重复3次),常规法考种其结荚数、籽粒数及千粒重。实收2 m²计产。

1.3 数据分析

采用Microsoft Excel 2003对两年数据进行处理分析,采用两年数据平均值进行制表绘图。采用PASW 18.0软件进行方差分析和统计检验,采用LSD法进行差异显著性检验($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 叶面喷素对紫云英不同花序位花数的影响

由表1可看出,与CK相比,5个喷素处理的基部、中部、顶部花序位的花数较对照均显著增加,增幅分别为1.97~4.85、1.23~2.75、1.54~4.43个,其中,以NCD处理花数增幅最大,其基部、中部、顶部花序位花数较对照分别提高22.97%、13.53%、25.27%。

2.2 叶面喷素对紫云英不同花序位结荚数的影响

由表2可见,与CK相比,5个喷素处理的基部、中部、顶部花序位的结荚数较对照增幅分别为0.90~4.07、1.25~3.03、0.49~1.99个,且各处理与对照差异均达到显著水平。其中,以NCD处理增荚幅度最大,其基部、中部、顶部花序位结荚数较对照分别提高33.61%、36.86%、65.25%。

2.3 叶面喷素对紫云英不同花序位花荚结荚、结实的影响

5个喷素处理的基部、中部、顶部花序位的结荚率

表1 不同喷素处理对紫云英不同花序位花数的影响

Table 1 The effect of different spraying treatments on flower numbers in different florescences of Chinese milk vetch

处理 Treatment	花数 Flower numbers (No.)		
	基部 Basal	中部 Central	顶部 Apical
CK	21.11c	20.32c	17.53c
PP ₃₃₃	25.41a	22.96a	21.33a
6-BA	23.35b	21.93b	19.26b
BR	25.25a	22.73a	21.21a
AOS	23.08b	21.55b	19.07b
NCD	25.96a	23.07a	21.96a

注: PP₃₃₃: 多效唑; 6-BA: 6-苄氨基腺嘌呤; BR: 芸苔素内酯; AOS: 海藻酸钠寡糖; NCD: 复合营养制剂; 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: PP₃₃₃: Paclobutrazol; 6-BA: 6-benzylaminopurine; BR: Brassinolide; AOS: Alginate oligosaccharides; NCD: Compound; Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among different treatments ($P<0.05$). The same below.

均显著高于对照(图 1),其中,PP₃₃₃、BR、NCD 处理的结荚率显著高于其他处理,三者之中,以 NCD 处理结荚率最高,其基部、中部、顶部花序位结荚率较对照分别提高 12.80%、8.98%、4.82%。

除 BR、AOS 处理,PP₃₃₃、6-BA、NCD 处理基部、中部、顶部花序位的荚果结实率均显著高于对照(图 1),以 NCD 处理荚果结实率最高,其基部、中部、顶部花序位荚果结实率较对照分别提高 6.38%、4.08%、6.53%。

2.4 叶面喷素对紫云英不同花序位籽粒数的影响

由表 3 可知,与 CK 相比,5 个喷素处理的基部、中部、顶部花序位的籽粒数较对照均有所增加。除 BR、AOS 处理,PP₃₃₃、6-BA、NCD 处理下均显著增加,增幅分别为 7.45~17.43、4.44~11.98、5.44~10.76 个。其中,以 NCD 处理籽粒数增加幅度最大,其基部、中部、顶部花序位籽粒数较对照分别提高 27.79%、29.35%、71.25%。

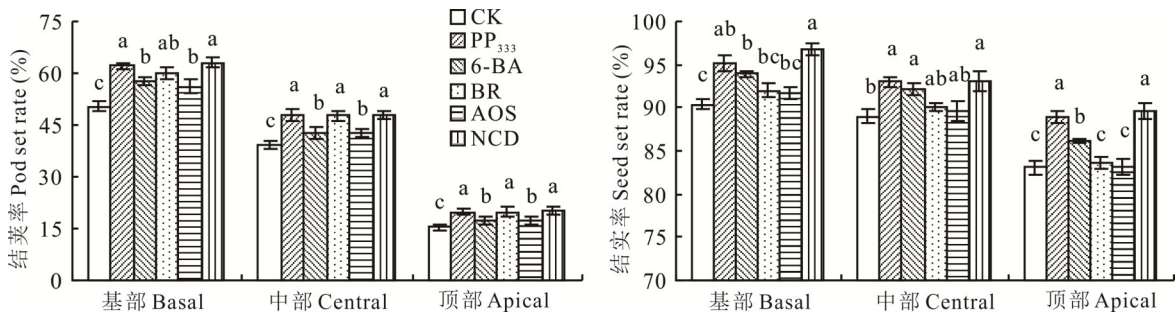


图 1 紫云英主茎枝上不同花序位的结荚率、结实率

Fig. 1 Pod and seed set rates in inflorescence at basal, central and apical position of the main branch of Chinese milk vetch

PP₃₃₃:多效唑;6-BA:6-苄氨基腺嘌呤;BR:芸苔素内酯;AOS:海藻酸钠寡糖;NCD:复合营养制剂;同一花序位不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。PP₃₃₃: Paclobutrazol; 6-BA: 6-benzylaminopurine; BR: Brassinolide; AOS: Alginate oligosaccharides; NCD: Compound; Different lowercase letters in the same inflorescence indicate significant differences among different treatments ($P<0.05$). The same below.

2.5 叶面喷素对紫云英不同花序位粒重的影响

由表 4 可见,喷素处理下紫云英不同花序位的籽粒重均有所提高。对基、中、顶部籽粒,PP₃₃₃、6-BA 处理的粒重与 CK 差异不显著,BR、AOS、NCD 处理较对照均显著增加。其中,以 NCD 处理粒重增加幅度最大,其基部、中部、顶部花序位粒重较对照分别提高 27.18%、28.65%、71.05%。

2.6 叶面喷素对紫云英产量及其构成的影响

由表 5 可看出,对于荚数,各喷施处理均显著高于对照;对于单荚籽粒数,PP₃₃₃、6-BA、NCD 处理显著高于对照,分别较对照提高 29.11%、21.52%、30.06%,BR、AOS 处理较对照分别提高 6.96%、4.43%,但差异不显著;对于千粒重,BR、AOS、NCD 处理较对照显著提高,提高幅度分别为 30.77%、21.05%、32.79%,PP₃₃₃、6-BA 处理较对照分别提高 8.91%、5.26%,但差异不显著。对于产量,NCD 处理最高,达 601.37 kg·hm⁻²,随后依次为 PP₃₃₃、BR、6-BA、AOS 处理,5 者均显著高于对照,

表 2 不同喷素处理对紫云英不同花序位结荚数的影响

Table 2 The effect of different spraying treatments on pod numbers in different florescences of Chinese milk vetch

处理 Treatment	结荚数 Pod numbers (No.)		
	基部 Basal	中部 Central	顶部 Apical
CK	12.11d	8.22c	3.05d
PP ₃₃₃	15.90ab	10.95a	4.83b
6-BA	13.16c	9.62b	3.75c
BR	15.77b	11.05a	4.88b
AOS	13.01c	9.47b	3.54c
NCD	16.18a	11.25a	5.04a

表 3 不同喷素处理对紫云英不同花序位籽粒数的影响

Table 3 The effect of different spraying treatments on seed numbers in different florescences of Chinese milk vetch

处理 Treatment	籽粒数 Seed numbers (No.)		
	基部 Basal	中部 Central	顶部 Apical
CK	62.70c	40.81b	15.10c
PP ₃₃₃	76.72ab	50.18a	25.86a
6-BA	70.15b	45.25ab	20.54b
BR	67.54bc	43.14ab	17.08bc
AOS	63.24c	41.55b	15.91c
NCD	80.13a	52.79a	24.99a

分别较对照提高 29.73%、22.02%、19.02%、10.52%、10.01%,且 NCD 处理显著高于其他喷施处理。

3 讨论

当前,应用化控技术调控作物生长发育已成为实现高产的有效措施之一。魏小星等^[22]、闫敏等^[23]、景宇鹏等^[24]通过在豆科牧草紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、三叶草(*Trifolium repense*)和毛叶苕子(*Vicia villosa*)上喷施 PP₃₃₃发现,PP₃₃₃可通过改变豆科牧草的种子产量构成要素来提高其种子产量,但也有研究结果与其相反^[25]。本研究结果表明,紫云英现蕾期叶面喷施 PP₃₃₃可通过增加结荚数、籽粒数来提高其种子产量,该研究结果与魏小星等^[22]、闫敏等^[23]、景宇鹏等^[24]研究指出的 PP₃₃₃主要通过改变种子产量构成要素来提高其种子产量的研究结论相一致,说明种子产量构成要素的变化是生长调节剂调控豆科作物种子产量增加的一项重要途径。

褚世海等^[26]研究指出,BR 水剂对水稻(*Oryza sativa*)穗粒数影响不显著,但可显著提高水稻千粒重和结实率,从而显著提高水稻产量。BR 增产效果在花生^[27]、小麦^[28]上也得到了印证。然而,丁熙柠等^[29]研究指出,在牡丹(*Paeonia suffruticosa*)生育期内喷施 BR 对油用牡丹籽粒产量没有影响。本研究结果表明,现蕾期叶面喷施 BR 可显著促进紫云英荚数、千粒重和种子产量的增加,而对籽粒数影响不显著。BR 对紫云英具有增产效应,这一结果与前人^[26-28]在水稻、花生和小麦等农作物上得出的研究结论相一致。BR 对紫云英千粒重的影响效果显著而对籽粒数的影响不显著,这一研究结果与褚世海等^[26]的研究结论相一致。

张运红等^[30]研究指出,喷施 AOS 可通过增加结果数和提高角果质量来实现花生增产。本研究结果表明,喷施 AOS 主要是通过增加结荚数和千粒重来提高紫云英种子产量,这一结果与张运红等^[30]研究结论基本一致。6-BA 在促进细胞分化、植株从营养生长向生殖生长转化及诱导植物物质积累与调运方面有重要作用^[31]。本研究结果表明,现蕾期叶面喷施 6-BA 可通过增加紫云英荚数和穗粒数来促进种子产量的增加。田艳云等^[32]通过对小麦进行多种营养元素叶面喷施发现,多种营养元素与植物生长调节剂配施,对小麦增粒增重效果比单一因素更明显。在本试验条件下,5 种喷素处理均能显著提高紫云英种子产量,其中,PP₃₃₃、6-BA 处理增粒效果好,但增重效果不明显;BR、AOS 处理增重效果好,但增粒效果不明显;然而复合营养剂 NCD 增粒增重效果均较好,其效果显著高于其他单一喷施处理,该研究结果与田艳云等^[32]研究结论相一致。

钟山^[33]在紫云英花荚脱落问题探讨中曾指出,在栽培上对于留种紫云英应当将重点放在各花序位的保花保荚上。现蕾期,正是紫云英营养生长向生殖生长过渡的关键期,在生殖器官不断出现、营养器官还需迅速增长的矛盾情况下,植株随生育期的推进,植株之间互相遮阴的情况日益严重,影响了光合作用的正常进行,以致光合产物不能同时满足营养生长和生殖生长两个方面的需求,致使后期形成的花荚大量脱落或形成瘪荚。因此,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。本试验结果表明,现蕾期叶面喷素处理可使紫云英不同花序位的花数、结荚数较对照有不同程度的增加,且以 NCD 处理增加幅度最大,尤其对上层花序的花、荚数的增加效果更加显著。推测其原因为:1)现蕾期,叶面喷施调节剂可能会增强紫云英叶片的光合能力,促

表 4 不同喷素处理对紫云英不同花序位粒重的影响

Table 4 The effect of different spraying treatments on seed weight in different florescences of Chinese milk vetch

处理 Treatment	粒重 Seed weight (g)		
	基部 Basal	中部 Central	顶部 Apical
CK	0.309b	0.171c	0.038c
PP ₃₃₃	0.332ab	0.180bc	0.044bc
6-BA	0.313b	0.175bc	0.042bc
BR	0.386a	0.201ab	0.062a
AOS	0.370a	0.196b	0.050b
NCD	0.393a	0.220a	0.065a

表 5 喷素对紫云英产量及其构成的影响

Table 5 The effect of foliar spray on seed yields and yield components of Chinese milk vetch

处理 Treat- ment	荚数 Pod number ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	单荚籽粒数 Seed number per pod (No.)	千粒重 1000-seed weight (g)	产量 Seed yield ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
CK	4768.50c	3.16c	2.47c	463.55d
PP ₃₃₃	4875.95a	4.08a	2.69bc	565.62b
6-BA	4809.87b	3.84b	2.60bc	512.31c
BR	4869.20a	3.38bc	3.23a	551.72b
AOS	4800.21b	3.30bc	2.99b	509.97c
NCD	4884.34a	4.11a	3.28a	601.37a

进叶片制造和积累同化物质,由于叶片所处部位不同,从而导致花序层不同部位同化物的供应与分配不一,由于上层花序层处于同化物质积累更有利位置,进而出现上层花序的花、荚数增加更为显著的现象;2)现蕾期正是紫云英花荚形成及发育的关键期,调节剂可能调控了花荚发育过程中不同花序层的叶片和花荚内源激素水平的变化,从而有利于不同层花序花荚发育与结实,进而促进花荚数增加。

实践中叶面喷施以上植物生长调节剂及其复配剂可不同程度地提高紫云英种子产量,本试验仅开展了以上喷素处理对紫云英种子产量的初步调控效应研究,然而对其促进种子增产的调控机理研究尚未开展。因此,以上叶面喷素处理调控紫云英种子增产的内在生理机制仍需进一步地探究。

4 结论

现蕾期,叶面喷施生长调节剂可显著促进紫云英种子产量的增加,以NCD作用效果最优,其种子产量较对照提高29.73%,达 $601.37\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。PP₃₃₃、BR、6-BA、AOS依次次之,种子产量较对照分别提高22.02%、19.02%、10.52%、10.01%。其中,PP₃₃₃、6-BA处理增粒效果显著,BR、AOS处理籽粒增重效果显著,NCD处理增粒增重效果均显著。

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] Chang H L, Ki D P, Ki Y J, *et al.* Effect of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) as a green manure on rice productivity and methane emission in paddy soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2010, 138: 343—347.
- [4] Zhu B, Yi L X, Hu Y J, *et al.* Effects of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) residue incorporation on CH₄ and N₂O emission from a double-rice paddy soil. *Journal of Integrative Agriculture*, 2012, 11(9): 1537—1544.
- [5] Chen X H, Zhao B. Arbuscular mycorrhizal fungi mediated uptake of nutrient elements by Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) grown in lanthanum spiked soil. *Biology and Fertility of Soils*, 2009, 45(6): 675—678.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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 Fertilizers*, 2017, 23(6): 1450—1461.
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): 1450—1461.
- [9] Cao W D. Descriptors and data standard 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.
- [10] Cao W D, Huang H X. Ideas on restoration and development of green manures in China. *Soil and Fertilizers Sciences in China*, 2009, 21(4): 1—3.
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): 1—3.
- [11] Wang Y W, Han J G, Qin G J, *et al.* Pruning in autumn, spraying of growth regulators in spring to promote alfalfa (*Medicago sativa* L.) seed yield and germination. *Acta Agrestia Sinica*, 2004, 12(1): 40—44, 50.
王贇文, 韩建国, 秦歌菊, 等. 行内疏枝和生长延缓剂对紫花苜蓿种子产量与发芽率的影响. *草地学报*, 2004, 12(1): 40—44, 50.
- [12] Wang H M. Brassinolide: A group of basic plant developing regulators. *Pesticides*, 2000, 39(1): 11—14.
王焕民. 芸苔素内酯: 植物生长发育的一种基本调节物质. *农药*, 2000, 39(1): 11—14.
- [13] Chen X L, Li G, Liu P, *et al.* Effects of exogenous hormone 6 benzyladenine (6-BA) on photosystem II performance of maize during process of leaf senescence under different nitrogen fertilization levels. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39(6): 1111—

1118.

陈晓璐, 李耕, 刘鹏, 等. 6-苄氨基嘌呤(6-BA)对不同氮素水平下玉米叶片衰老过程中光系统Ⅱ性能的调控效应. 作物学报, 2013, 39(6): 1111—1118.

- [14] Wang Y, Zhang R, Feng H P, *et al.* Effect of foliar application of Qishanbao at different growth stages on yield and quality of winter wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2014, 34(8): 1126—1129.
王永, 张睿, 冯海平, 等. 不同生育时期叶面喷施奇善宝对冬小麦产量及品质的效应. 麦类作物学报, 2014, 34(8): 1126—1129.
- [15] Liu H J, Ge J, Ni Y J, *et al.* Effects of different plant growth regulators on wheat development and yield. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2015, 43(4): 29—33.
刘红杰, 葛君, 倪永静, 等. 不同植物生长调节剂对小麦生长发育及产量的影响. 内蒙古农业科技, 2015, 43(4): 29—33.
- [16] Wu M R, Zhang S F. Application effect of brassinolide on wheat. *Hubei Plant Protection*, 2008(2): 45—46.
吴明荣, 张仕福. 芸苔素内酯在小麦上的应用效果. 湖北植保, 2008(2): 45—46.
- [17] 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.). *Journal of Agricultural Science*, 1985, 105(3): 605—612.
- [18] Ren T B, Zhao J X. Effects of nitrogen fertilizer and MET spraying time on plant types and yield characters of high grade hybrid rape. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(24): 11993—11995.
任廷波, 赵继献. 氮肥和多效唑喷施时期互作对优质杂交油菜株型及产量形状的影响. 安徽农业科学, 2012, 40(24): 11993—11995.
- [19] Yang D Q, Wang Z L, Yin Y P, *et al.* Effects of exogenous ABA and 6-BA on flag leaf senescence in different types of stay-green wheat and relevant physiological mechanisms. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39(6): 1096—1104.
杨东清, 王振林, 尹燕桦, 等. 外源ABA和6-BA对不同持绿型小麦旗叶衰老的影响及其生理机制. 作物学报, 2013, 39(6): 1096—1104.
- [20] Zhang C C, Yang S L, Kou C L, *et al.* Optimization of spraying new-type water-soluble fertilizers in peanuts production based on grey relational analysis model. *Chinese Journal of Soil Science*, 2012, 43(6): 1486—1490.
张翠翠, 杨首乐, 寇长林, 等. 基于灰色关联度分析对新型水溶肥料在花生喷施效果的优选. 土壤通报, 2012, 43(6): 1486—1490.
- [21] 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.
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.
- [22] Wei X X, Guo W S, Sun Y. Effect of growth regulator on seed yield and yield components of alfalfa. *Pratacultural Science*, 2009, 26(6): 121—125.
魏小星, 郭文山, 孙彦. 生长调节剂对紫花苜蓿种子产量及产量构成要素的影响. 草业科学, 2009, 26(6): 121—125.
- [23] Yan M, Zhang Y J, Tie Y H, *et al.* Effects of growth regulator on seed yield and yield components of white clover. *Pratacultural Science*, 2007, 24(4): 58—62.
闫敏, 张英俊, 铁云华, 等. 生长调节剂对白三叶种子产量及产量构成要素的影响. 草业科学, 2007, 24(4): 58—62.
- [24] Jing Y P, Duan Y, Zhang J, *et al.* Effects of growth regulators on seeds yield and yield traits of *Vicia villosa* Roth. *Chinese Journal of Grassland*, 2016, 38(3): 112—115.
景宇鹏, 段玉, 张君, 等. 生长调节剂对毛叶苕子种子产量及产量性状的影响. 中国草地学报, 2016, 38(3): 112—115.
- [25] Marshall A H, Hides D H. Effect of the plant growth regulator parlay on the seed production of the white clover cvs. Menna and Olwen II. yield components and potential seed yield. *Journal of Applied Seed Production*, 1991(9): 81—86.
- [26] Zhu S H, Li L, Zhu W D. Effect of 0.01% brassinolide as on the growth, yield and quality of rice. *Hubei Agricultural Sciences*, 2016, 55(24): 6445—6448.
褚世海, 李林, 朱文达. 0.01%芸苔素内酯水剂对水稻生长、产量和品质的影响. 湖北农业科学, 2016, 55(24): 6445—6448.
- [27] Feng Y, Liu L Y. Study on the effect of brassinolide on peanut. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2017(12): 127—128.
冯渊, 刘林业. 芸苔素内酯在花生上的应用效果研究. 现代农业科技, 2017(12): 127—128.
- [28] Wang J Z, Pei J Z, Cui Y H. Study on the influence of propionyl brassinolide to wheat yield. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(4): 245—247.

- 王江柱, 裴敬祖, 崔彦宏. 丙酰芸苔素内酯对小麦增产效果的影响. 中国农学通报, 2007, 23(4): 245—247.
- [29] Ding X N, Shi T, Yang H. Effects of brassinolide on yield characters and grain quality of oil peony. Shandong Agricultural Sciences, 2019, 51(11): 126—131.
- 丁熙柠, 史田, 杨辉. 喷施芸苔素内酯对油用牡丹产量性状和籽粒品质的影响. 山东农业科学, 2019, 51(11): 126—131.
- [30] Zhang Y H, Yang H Y, Yang Z P, *et al.* Effects of different foliar fertilization on photosynthetic characteristics, yield and nitrogen absorption and distribution of peanut. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2020, 46(4): 386—392.
- 张运红, 杨红燕, 杨占平, 等. 不同叶面肥对花生光合特性与产量及氮吸收分配的影响. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(4): 386—392.
- [31] Zheng C F, Ren W, Zhu Y J, *et al.* Responses of floret development and grain setting characteristics of winter wheat to foliar spray of 6-benzylaminopurine. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2017, 23(3): 774—780.
- 郑春风, 任伟, 朱云集, 等. 冬小麦小花发育及结实特性对叶面喷 6-BA 的响应. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(3): 774—780.
- [32] Tian Y Y, Zhang G Z, Zheng C F, *et al.* Effects of foliar spray on spike kernels and grain weight at booting stage in winter wheat. Journal of Triticeae Crops, 2016, 36(7): 919—924.
- 田艳云, 张国钊, 郑春风, 等. 孕穗期叶面喷素对小麦穗粒数和粒重的影响. 麦类作物学报, 2016, 36(7): 919—924.
- [33] 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.