



叶面喷施不同化控复配剂对大豆产量与品质的影响

王通宇^{1,2}, 方淑梅³, 王庆燕^{1,2}, 栾晓燕⁴, 刘鑫磊⁴, 梁喜龙^{1,2}

(1. 黑龙江八一农垦大学 农学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 黑龙江省植物生长调节剂工程技术研究中心, 黑龙江 大庆 163319; 3. 黑龙江八一农垦大学 生命科学技术学院, 黑龙江 大庆 163319; 4. 黑龙江省农业科学院 大豆研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为明确调环酸钙(Pro-Ca)与胺鲜酯(DA-6)或油菜素内酯(BR)组配形成的复配剂 LMA 与 LMB 对大豆产量和品质的影响,本研究以黑龙江省主栽大豆品种黑农 84(高蛋白品种)和黑农 87(高油品种)为试验材料,在大豆关键生育时期(苗期、初花期及鼓粒期)进行叶面不同联合喷施处理,以喷施清水作为对照,于大豆完熟期随机取样,测定分析各处理产量构成因素指标、理论产量和大豆籽粒中的蛋白质及脂肪含量。结果表明:苗期喷施 LMA,初花期及鼓粒期喷施 LMB(ABB 处理)可使大豆黑农 84 的理论产量显著提高 19.40%,黑农 87 理论产量显著提高 32.66%,使黑农 87 总蛋白含量提高 7.29%。产量增加与化控复配剂对株粒数和百粒重的调控有关,总蛋白含量提高与其对百粒重的调控有关。在苗期及初花期分别喷施 LMA(AA 处理)则可使水溶蛋白及总蛋白含量显著提高 6.00% 以上,若在鼓粒期再次喷施 LMA(AAA 处理),则可使黑农 84 和黑农 87 的水溶蛋白、醇溶蛋白及总蛋白含量分别显著提高 9.56%、52.63% 和 11.80%。BA、A、AAA、AB 及 ABB 处理都使脂肪含量得到改善,但均未使两品种的含量同时显著提高。在田间生产中可根据不同的大豆生产需求,选用不同的联配及喷施方式和时期。

关键词:大豆;调环酸钙;胺鲜酯;油菜素内酯;产量;蛋白与脂肪

Effects of Foliar Spraying Different Chemical Regulator Compounds on Soybean Yield and Quality

WANG Tong-yu^{1,2}, FANG Shu-mei³, WANG Qing-yan^{1,2}, LUAN Xiao-yan⁴, LIU Xin-lei⁴, LIANG Xi-long^{1,2}

(1. College of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2. Heilongjiang Province Plant Growth Regulator Engineering Technology Research Center, Daqing 163319, China; 3. College of Life Science and Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 4. Soybean Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to clarify the effects of the combination of prohexadione-calcium (Pro-Ca) and diethyl aminoethyl hexanoate (DA-6) or brassinolide (BR) (LMA and LMB) on the yield and quality of soybean, Heinong 84 (high protein cultivar) and Heinong 87 (high oil cultivar), two main soybean cultivars in Heilongjiang province, were used as experimental materials. Foliar spraying was carried out at the key seedling stage, early flowering stage and graining stage, and spraying water was as control. Samples were collected at the maturity stage of soybean, and the indicators of yield components were investigated in each treatment. Then the theoretical yield was calculated according to the seeds weight per plant and the number of plants per square meter. Both protein and fat content in soybean seeds were also measured. The results showed that spraying LMA at seedling stage, LMB at initial flowering stage and seed filling stage (ABB treatment) could significantly increase the theoretical yield of Heinong 84 by 19.40%, and that of Heinong 87 by 32.66%, the total protein content was increased by 7.29%. The increase of yield was related to the regulation of plant seeds number and 100-seed weight by chemical control compound agent, and the increase of total protein content was related to its regulation of 100-seed weight. Spraying LMA at seedling stage and early flowering stage (AA treatment) could significantly increase the content of water soluble protein and total protein by more than 6.00%. If LMA was sprayed again at the bulging stage (AAA treatment), the content of water-soluble protein, prolamin and total protein were increased by 9.56%, 52.63% and 11.80%, respectively. BA, A, AAA, AB and ABB treatments all improved the fat content, but did not increase significantly in both varieties. In field production, different combination and spraying methods and time can be selected according to different soybean production demand.

Keywords: soybean; Pro-Ca; DA-6; BR; yield; protein and fat

大豆(*Glycine max*)富含优质蛋白、脂肪及不饱和脂肪酸,具有极高的营养与利用价值,属于重要的粮油饲兼用类作物,在我国国民经济发展及世界粮油作物中占有重要地位^[1-2]。近年来随着油料和

食品加工行业的飞速发展,人们对大豆产量与品质的需求日益增加,供需矛盾已成为国内大豆生产中较为突出的问题。2021 年我国大豆进口量与 2020 年相比虽有所下降,但已超过 9 600 万 t,因

收稿日期:2022-07-13

基金项目:黑龙江省应用技术与开发计划(GA20B103);黑龙江八一农垦大学“三横三纵”支持计划(2018 年度平台支持计划);国家自然科学基金面上项目(31571613)。

第一作者:王通宇(1996—),男,硕士研究生,主要从事植物化学调控研究。E-mail:396900312@qq.com。

通讯作者:梁喜龙(1976—),男,博士,教授,主要从事植物逆境生理及化学调控与作物高产研究。E-mail:xilongliang@126.com。

此国内大豆进口总量仍然较高^[3]。黑龙江省现为我国大豆主产区,大豆年种植面积占全国大豆面积的 42% 左右,可见在大量进口才能满足实际需要的背景下,深入探究有效提高黑龙江省大豆单产水平及改善品质的技术势在必行^[4]。

化学调控技术是指运用植物生长调节剂有目的地影响作物内源激素系统,进而调节生长发育,并使作物朝着人们预期的方向发展和变化的技术,其在克服环境和遗传局限以及改善品质和提升产量等方面可发挥积极作用^[5-7]。调环酸钙(Pro-Ca)是一种环己烷羧酸类的新型植物生长延缓剂,具有促进侧芽生长,调控花期,提高座果率的作用。王引等^[8]研究发现,喷施 500 mg·kg⁻¹ 调环酸钙可显著增大杨梅果实重量,提高果实糖度。王才斌等^[9]研究表明喷施 Pro-Ca 能显著增加花生单株果数、提高荚果饱满度。余明龙等^[10]研究发现在大豆叶面喷施 Pro-Ca 能有效稳固大豆根系以及促进生物量累积,并能加速可溶性物质的生物合成,维持根系渗透压。胺鲜酯(DA-6)和油菜素内酯(BR)作为常用的植物生长调节剂,具有增强作物碳氮代谢,提高叶片中叶绿素含量和光合效率,促进细胞伸长和分裂,加快根系发育,进而达到壮根增产的作用^[11]。宫香伟等^[12]研究发现胺鲜酯处理可以显著增加大豆植株的单株荚数、单株粒数和百粒重,从而提高大豆产量。徐伟松等^[13]研究发现,水稻苗期喷施 1.6% 胺鲜酯水剂,可使水稻增产 6.51% 以上。在油菜素内酯的研究中,程彦伟等^[14]发现 BR 处理可显著提高大豆种子的发芽率、轴根比,进而提高大豆的产量和品质。Otie 等^[15]研究发现在盐胁迫处理中,于大豆叶面喷施 BR 能有效缓解大豆受盐胁迫的危害,并且可以提高大豆干物质积累,调控幼苗生长以及养分的吸收与分配。近年来众多研究表明,在作物生育期间多种调节剂复配混用的效果要高于单药剂的施用^[16-17]。汤日圣等^[18]研究发现,与烯效唑、三唑酮单施相比,利用烯效唑与三唑酮混用可显著抑制水稻幼苗徒长,同时促进水稻幼苗分蘖。毛桂玲等^[19]研究发现,相比于单药剂施用,黄腐酸钾、胺鲜酯和 α-萘乙酸钠两两复配可显著提高黄瓜的叶绿素含量,增强茎粗。然而关于调环酸钙与胺鲜酯或油菜素内酯复配后不同大豆关键生长期进行叶面喷施的比较研究鲜见报道。

苗期、开花期及鼓粒期均对大豆的高产优质种植生产具有重要意义^[20-21]。因此本研究使用调环酸钙、胺鲜酯及油菜素内酯 3 种不同的植物生长调节剂进行复配形成复配剂,然后在大豆关键时期进行叶面喷施,以期明确不同复配剂的应用方法及其

在大豆产量和品质中的调控效果,进而为大豆的高产优质栽培提供技术支持,并推动我国大豆产业的健康与可持续发展。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 供试品种 黑龙江省主栽品种黑农 84 (高蛋白品种)与黑农 87(高油品种)均由黑龙江省农业科学院大豆研究所提供,均为亚有限结荚品种,生育期均在 115 ~ 119 d 左右,播种前经过精选处理。

1.1.2 供试药剂 促进型调节剂胺鲜酯(DA-6)购自河南旭阳农业有限公司,促进型调节剂油菜素内酯(BR)及延缓型调节剂调环酸钙(Pro-Ca)均购自郑州郑氏化工产品有限公司。依据大豆的生长发育特点与需求,在前期试验的基础上,基于大豆生长需求,利用适量浓度与比例的 Pro-Ca 与 DA-6 进行复配并添加助剂后形成复配类化控剂 LMA(规格 20 g,有效含量为 17%),利用适量浓度与比例的 Pro-Ca 与 BR 进行复配并添加助剂后形成复配类化控剂 LMB(规格 20 g,有效含量为 11%)。

1.2 试验设计

试验于 2021 年 5 月在黑龙江八一农垦大学安达试验基地(碱解氮 98.77 mg·kg⁻¹,有效磷 7.58 mg·kg⁻¹,速效钾 72.47 mg·kg⁻¹,pH8.37,有机质 1.75%)进行。采用三垄栽培方式,结合播种时(种下 5 ~ 7 cm)施入磷酸二铵 150 kg·hm⁻²,硫酸钾 75 kg·hm⁻²,尿素 45 kg·hm⁻²,保苗密度为 21.0 万株·hm⁻²左右。于大豆苗期(V3)、初花期(R1)、鼓粒期(R5)分别喷施相应 LMA 或 LMB,每 1 hm²用量均为 300 g 兑水 450 L 人工喷雾,并以喷施等量清水作为对照(CK),相应喷施药剂及时期和次数详见表 1。试验采用随机区组设计,3 次重复,小区垄距 0.65 m,垄长 18 m,5 垄行区,58.5 m²,其他田间管理同大田生产。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 大豆产量及品质 在大豆完熟期(R8)于不同处理间随机取样,每个处理选取 3 个采样点,先调查各样点中的每平方米株数,在每个采样点随机选取 5 株,统计与调查各处理单株荚数、单株粒数、单株粒重及百粒重等情况。然后根据单株粒重及相应每平方米株数计算理论产量,同时对部分籽粒于 -20 ℃ 低温保存,用于脂肪及蛋白质含量的测定。

表 1 不同化控复配剂应用方案

Table 1 Application scheme of different chemical regulator compounds			
序号 Number	处理 Treatment	喷施时期 Spraying period	对应调节剂类型 Corresponding regulator
1	CK	V3、R1、R5	清水、清水、清水
2	A	V3	LMA
3	B	V3	LMB
4	AA	V3、R1	LMA、LMA
5	AB	V3、R1	LMA、LMB
6	BA	V3、R1	LMB、LMA
7	BB	V3、R1	LMB、LMB
8	AAA	V3、R1、R5	LMA、LMA、LMA
9	AAB	V3、R1、R5	LMA、LMA、LMB
10	ABA	V3、R1、R5	LMA、LMB、LMA
11	ABB	V3、R1、R5	LMA、LMB、LMB
12	BAA	V3、R1、R5	LMB、LMA、LMA
13	BAB	V3、R1、R5	LMB、LMA、LMB
14	BBA	V3、R1、R5	LMB、LMB、LMA
15	BBB	V3、R1、R5	LMB、LMB、LMB

1.3.2 脂肪含量 脂肪含量的测定主要参照栾真杰等^[22]的方法,利用索氏脂肪浸提器进行,测定时利用粉碎机对低温保存的大豆籽粒进行充分粉碎(粒径≤500目),然后称取大豆粉1.5g,用称过重量(m_0)的滤纸包好放入烘箱烘干至恒重(m_1),接着放入索氏脂肪浸提器中,用石油醚(60-90)抽提2h后取出滤纸包,放入烘箱烘干至恒重(m_2)。粗脂肪含量(%) = $(m_1 - m_2) / (m_1 - m_0) \times 100$ 。

1.3.3 蛋白质含量 大豆籽粒中蛋白质含量的测定参照任冬莲等^[23]的考马斯亮蓝法。

1.4 数据分析

采用 Excel 2013 进行数据统计和作图,采用 SPSS Statistics 22.0 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对大豆产量及其构成因素的影响

如表 2 所示,不同时期合理喷施化控复配剂均可提高黑农 84 及黑农 87 的产量,对两个品种而言,ABB 处理的大豆单株粒重及其理论产量均为最高,其中黑农 84 的单株粒重及理论产量分别为 22.47 g 和 4 488.78 kg·hm⁻²,而黑农 87 的单株粒重及理论产量分别为 17.09 g 和 3 866.01 kg·hm⁻²,与对照相比两品种的理论产量分别提高了 19.40% 和 32.66%,且达到了差异显著水平。除此之外,经 AA、AB、AAA 及 A 处理后,黑农 84 和黑农 87 的理论产量虽与对照相比差异不显著,但其产量均高于对照。在此基础上,对各处理中两品种的产量构成因素进行分析发现:黑农 84 的各处理中株荚数变幅为 38.47 ~ 49.80 个,株粒数变幅为 76.87 ~ 106.60 个,各处理的百粒重变幅为 21.59 ~ 25.43 g,其中 B 处理可显著增加其株荚数和株粒数,与对照相比分别增加了 24.50% 和 38.21%,而经 AA 和 ABB 处理后大豆的百粒重最高,与对照相比分别增加 17.79% 及 15.38;黑农 87 的各处理中株荚数变幅为 27.53 ~ 37.93 个,其中 AAA 处理能显著提升株荚数,比对照增加了 37.78%,各处理中百粒重变幅为 19.15 ~ 22.55 g,其中 AB 处理能显著提升大豆的百粒重,与对照相比增加了 17.75%,其次为 ABB 及 AA 处理。

表 2 不同时期喷施化控复配剂对大豆产量构成因素及理论产量的影响

Table 2 Effects of foliar spraying chemical regulator compounds in different periods on yield components and theoretical yield of soybean

品种 Variety	处理 Treatment	单株荚数	单株粒数	百粒重	单株粒重	理论产量
		Pods number per plant	Seeds number per plant	100-seed weight/g	Seeds weight per plant/g	Theoretical yield/ (kg·hm ⁻²)
黑农 84 Heinong 84	CK	40.00 ± 6.76 bc	77.13 ± 21.57 e	22.81 ± 0.73 ef	18.82 ± 3.86 abcd	3759.40 ± 144.15 ab
	A	48.27 ± 8.85 ab	106.33 ± 21.85 a	22.30 ± 0.39 def	22.18 ± 5.20 ab	4074.52 ± 580.16 ab
	B	49.80 ± 12.89 a	106.60 ± 29.70 a	23.16 ± 0.77 cdef	21.59 ± 5.15 abc	3587.21 ± 287.04 b
	AA	40.53 ± 9.17 bc	82.47 ± 20.98 cde	25.43 ± 0.52 a	19.54 ± 3.78 abcd	4197.59 ± 355.40 ab
	AB	44.00 ± 7.57 abc	94.60 ± 20.14 abcde	23.89 ± 0.75 bcde	20.75 ± 4.39 abc	4105.70 ± 458.87 ab
	BA	41.67 ± 9.58 abc	95.47 ± 22.01 abcde	21.98 ± 0.48 fg	19.55 ± 5.26 abcd	3752.53 ± 162.28 ab
	BB	38.47 ± 7.07 c	80.27 ± 18.32 de	23.23 ± 0.57 cdef	16.85 ± 2.63 d	3647.82 ± 227.08 b
	AAA	45.00 ± 11.34 abc	102.13 ± 29.37 ab	24.17 ± 0.67 bcd	19.96 ± 5.37 abcd	3993.49 ± 511.20 ab
	AAB	46.13 ± 11.35 abc	98.27 ± 25.38 abcd	23.86 ± 0.17 bcde	20.60 ± 4.60 abcd	3959.83 ± 504.91 ab
	ABA	44.60 ± 9.31 abc	95.27 ± 26.84 abcde	23.38 ± 0.80 bc	19.83 ± 4.87 abcd	3693.98 ± 521.23 b
	ABB	47.07 ± 8.01 abc	100.67 ± 19.61 abc	24.91 ± 1.24 b	22.47 ± 4.62 a	4488.78 ± 174.00 a
	BAA	39.00 ± 7.45 c	76.87 ± 11.84 e	24.42 ± 0.52 bc	18.27 ± 3.01 cd	3591.03 ± 380.66 b
	BAB	43.13 ± 11.79 abc	91.47 ± 20.27 abcde	23.28 ± 0.97 cde	20.65 ± 5.70 abcd	4047.92 ± 269.64 ab
	BBA	43.07 ± 14.49 abc	86.60 ± 17.65 bcde	23.31 ± 0.27 cde	18.58 ± 3.53 bcd	3983.94 ± 515.05 ab
	BBB	43.47 ± 10.03 abc	89.20 ± 22.44 abcde	21.59 ± 0.61 g	18.87 ± 3.52 abcd	3771.30 ± 72.95 ab

表 2(续)

品种 Variety	处理 Treatment	单株荚数 Pods number per plant	单株粒数 Seeds number per plant	百粒重 100-seed weight/g	单株粒重 Seeds weight per plant/g	理论产量 Theoretical yield/ (kg·hm ⁻²)
黑农 87 Heinong 87	CK	27.53 ± 9.74 d	56.40 ± 19.57 abc	19.15 ± 0.80 e	10.15 ± 3.45 e	2914.31 ± 77.41 b
	A	30.07 ± 5.18 bcd	76.87 ± 15.81 ab	19.87 ± 0.65 cde	14.48 ± 2.86 abcd	3327.35 ± 12.99 ab
	B	33.47 ± 5.03 abcd	79.53 ± 19.18 abc	20.81 ± 0.95 bcd	14.46 ± 2.39 abcd	3064.78 ± 411.38 b
	AA	30.20 ± 5.37 bcd	69.67 ± 13.86 c	21.83 ± 0.56 ab	14.13 ± 3.55 bcd	3401.06 ± 233.53 ab
	AB	35.73 ± 10.07 ab	75.07 ± 23.38 bc	22.55 ± 1.77 a	15.05 ± 3.89 abcd	3183.98 ± 211.06 b
	BA	29.13 ± 6.61 bcd	73.80 ± 13.92 abc	20.08 ± 1.12 cde	12.97 ± 2.04 d	3026.77 ± 30.20 b
	BB	29.20 ± 10.14 bcd	62.07 ± 17.54 abc	19.87 ± 0.65 cde	12.59 ± 3.23 d	3040.95 ± 170.89 b
	AAA	37.93 ± 5.59 a	90.53 ± 15.17 abc	19.39 ± 1.08 de	16.64 ± 2.58 ab	3441.81 ± 231.03 ab
	AAB	29.07 ± 7.10 cd	68.40 ± 13.92 abc	21.12 ± 0.63 cde	13.62 ± 3.02 cd	3247.66 ± 471.52 b
	ABA	33.93 ± 7.03 abcd	80.07 ± 16.03 abc	19.82 ± 0.68 abc	14.24 ± 2.97 bcd	3039.93 ± 426.33 b
	ABB	35.33 ± 8.67 abc	81.60 ± 18.79 abc	21.87 ± 0.87 ab	17.09 ± 3.46 a	3866.01 ± 195.42 a
	BAA	30.00 ± 5.11 bcd	70.80 ± 13.74 abc	20.49 ± 0.33 cde	14.79 ± 4.73 abcd	3393.38 ± 679.80 ab
	BAB	31.87 ± 6.03 abcd	84.47 ± 14.65 abc	19.96 ± 0.47 cde	13.84 ± 1.83 cd	2863.33 ± 247.37 b
	BBA	35.20 ± 10.79 abc	89.27 ± 23.55 a	20.53 ± 0.34 cde	14.86 ± 3.38 abcd	3348.57 ± 333.33 ab
	BBB	33.47 ± 8.34 abcd	85.13 ± 25.49 abc	19.71 ± 0.39 cde	15.88 ± 3.37 abc	3448.50 ± 337.32 ab

注:表中数值为各处理平均值 ± 标准误差,小写字母为同一品种不同处理间差异显著水平 ($P < 0.05$),下同。
Note:The values in the table are the mean of each treatment ± standard error, lowercase are the same variety with significant differences among different treatments ($P < 0.05$), the same below.

2.2 不同处理对大豆蛋白质含量的影响

2.2.1 籽粒总蛋白含量 如图 1 所示,黑农 84 和黑农 87 中分别有 5 和 7 个处理的总蛋白含量与对照差异显著,其中处理 AA 使黑农 84 和黑农 87 两品种的总蛋白含量提升最为显著,其含量分别为 44.38% 和 41.93%,

与对照相比分别增加了 6.89% 和 15.32%,其次为 AAA、AB 及 A 处理。而对于在产量方面表现较好的 ABB 处理而言,其只使黑农 87 的总蛋白含量显著提升,与对照相比提高了 7.29% (图 1B)。

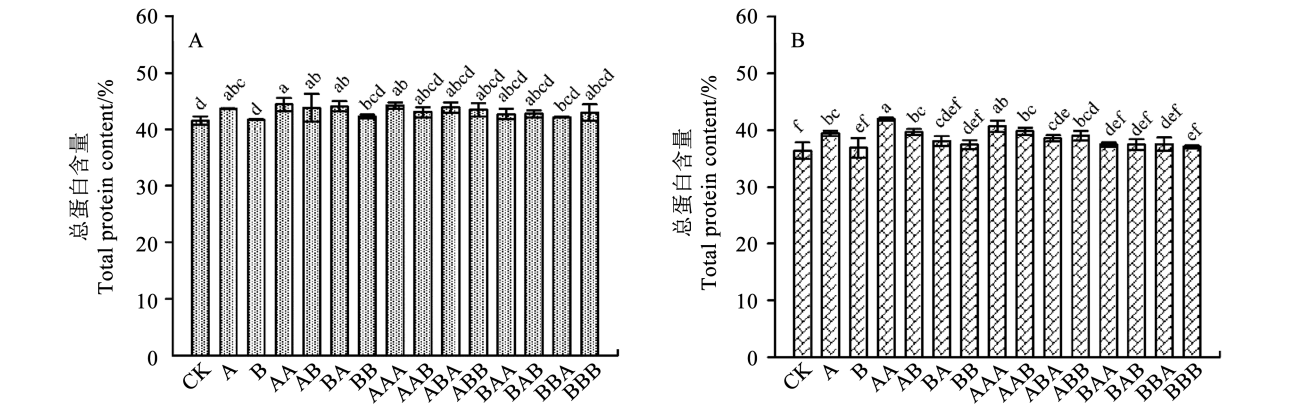


图 1 不同时期叶面喷施化控复配剂对大豆黑农 84 (A) 和黑农 87 (B) 总蛋白含量的影响

Fig.1 Effects of foliar spraying chemical regulator compounds in different periods on total protein content of soybean Heinong 84 (A) and Heinong 87 (B)

2.2.2 籽粒蛋白质组成 如表 3 所示:AAA 处理后可显著提升黑农 84 和黑农 87 水溶蛋白及醇溶蛋白含量,黑农 84 和黑农 87 水溶蛋白与对照相比,分别提升了 6.53% 和 9.56%,醇溶蛋白与对照相比分别提高了 42.86% 和 52.63%;而 AA 处理则仅使两个大豆品种的水溶蛋白含量提高,与对照相比,分别提升了 6.56% 和

12.79%,且达到显著差异水平。同时深入分析还发现,AB 处理可提高品种黑农 87 盐溶蛋白及碱溶蛋白含量,调控黑农 84 水溶蛋白含量,而 AAB 可调控黑农 87 的盐溶蛋白含量及黑农 84 的醇溶蛋白含量。由此可见,叶面喷施化控复配剂可显著调控大豆籽粒中的蛋白组成含量,尤其是 AAA(LMA 叶面喷施 3 次)处理。

表 3 不同时期叶面喷施化控复配剂对大豆蛋白组成含量的影响

Table 3 Effects of foliar spraying chemical regulator compounds in different periods on soybean protein composition content								
单位:%								
处理 Treatment	水溶蛋白 Water soluble protein		盐溶蛋白 Salt soluble protein		醇溶蛋白 Alcohol soluble protein		碱溶蛋白 Alkali-soluble protein	
	黑农 84	黑农 87	黑农 84	黑农 87	黑农 84	黑农 87	黑农 84	黑农 87
	Heinong 84	Heinong 87	Heinong 84	Heinong 87	Heinong 84	Heinong 87	Heinong 84	Heinong 87
CK	29.27 ± 0.56 b	22.91 ± 1.48 d	5.43 ± 0.21 de	6.54 ± 0.32 c	0.42 ± 0.04 bc	0.38 ± 0.04 c	6.40 ± 0.30 b	6.53 ± 0.15 c
A	30.45 ± 0.39 ab	24.88 ± 0.80 abc	5.52 ± 0.16 de	6.53 ± 0.73 c	0.40 ± 0.07 bcd	0.67 ± 0.14 ab	7.26 ± 0.48 a	7.34 ± 0.24 bc
B	29.17 ± 0.51 b	23.22 ± 1.00 d	5.42 ± 0.48 de	6.68 ± 0.29 bc	0.39 ± 0.04 cd	0.36 ± 0.03 e	6.74 ± 0.14 ab	6.64 ± 0.24 c
AA	31.19 ± 0.90 a	25.84 ± 0.59 a	5.34 ± 0.21 e	8.10 ± 0.52 a	0.60 ± 0.04 a	0.58 ± 0.02 abc	7.24 ± 0.23 a	7.41 ± 0.06 abc
AB	31.19 ± 2.28 a	24.46 ± 0.57 abcd	5.34 ± 0.13 e	7.27 ± 0.28 b	0.44 ± 0.02 bc	0.44 ± 0.02 cde	6.82 ± 0.56 ab	7.49 ± 0.31 ab
BA	31.18 ± 0.81 a	24.27 ± 0.70 bcd	5.42 ± 0.10 de	6.81 ± 0.23 bc	0.38 ± 0.01 d	0.44 ± 0.03 cde	7.06 ± 0.32 a	6.55 ± 0.05 c
BB	29.47 ± 0.31 ab	23.75 ± 0.44 bcd	5.48 ± 0.16 de	6.43 ± 0.19 c	0.42 ± 0.03 bc	0.48 ± 0.03 cde	6.87 ± 0.21 ab	6.76 ± 0.29 c
AAA	31.18 ± 0.15 a	25.10 ± 0.54 ab	5.29 ± 0.25 e	7.01 ± 0.25 bc	0.60 ± 0.02 a	0.71 ± 0.07 a	7.12 ± 0.21 ab	7.83 ± 0.40 a
AAB	29.67 ± 0.47 ab	24.38 ± 0.21 abcd	5.86 ± 0.56 cd	7.21 ± 0.23 b	0.55 ± 0.04 a	0.57 ± 0.15 abc	6.96 ± 0.06 ab	7.66 ± 0.18 ab
ABA	30.47 ± 1.18 ab	23.51 ± 0.19 cd	6.25 ± 0.09 bc	7.04 ± 0.10 c	0.45 ± 0.03 bc	0.53 ± 0.09 bcd	6.69 ± 0.34 ab	7.46 ± 0.28 abc
ABB	29.90 ± 1.40 ab	24.19 ± 1.24 cd	6.27 ± 0.17 bc	7.01 ± 0.18 c	0.45 ± 0.03 bc	0.54 ± 0.12 bcd	6.83 ± 0.32 ab	7.27 ± 0.50 bcd
BAA	28.93 ± 0.89 b	23.47 ± 0.54 cd	6.43 ± 0.16 ab	6.42 ± 0.51 bc	0.42 ± 0.04 bc	0.54 ± 0.03 bcd	6.92 ± 0.07 ab	7.00 ± 0.26 cde
BAB	29.05 ± 0.51 b	23.60 ± 0.50 bcd	6.60 ± 0.17 ab	6.40 ± 0.45 c	0.46 ± 0.05 d	0.57 ± 0.01 abc	6.65 ± 0.33 ab	6.86 ± 0.21 de
BBA	28.82 ± 0.26 b	23.94 ± 1.41 bcd	6.23 ± 0.11 bc	6.37 ± 0.13 c	0.39 ± 0.03 cd	0.40 ± 0.04 de	6.71 ± 0.14 ab	6.81 ± 0.21 de
BBB	29.30 ± 0.83 b	23.07 ± 0.15 d	6.80 ± 0.19 a	6.51 ± 0.08 c	0.45 ± 0.03 bc	0.45 ± 0.09 cde	6.40 ± 0.48 b	6.99 ± 0.18 de

2.3 不同处理对大豆脂肪含量的影响

如图 2 所示,不同时期多次喷施化控复配剂处理可有效提升大豆脂肪含量。对于黑农 84,其 BA、A、AAA 和 AB 处理表现较好,其分别比对照提高了 7.78%、7.31%、7.20% 和 4.66%;对于黑农 87,其 B、AAA、AB、BB、A、AAB 和 BAA 处理表现较好,分别比对照提高了 8.69%、8.53%、7.49%、5.74%、

5.14%、4.26% 和 4.10%。而对于能显著增加产量的 ABB 处理而言,其可使黑农 84 的脂肪含量提升 2.24%,可使黑农 87 的脂肪含量提升 3.39%。但在黑农 84 的 BAA、BAB 和 BBB 处理中,其与对照相比脂肪含量有所下降,分别下降了 4.03%、3.57% 和 2.53%,而在黑农 87 的 BBA 处理中,其脂肪含量下降了 1.80%。

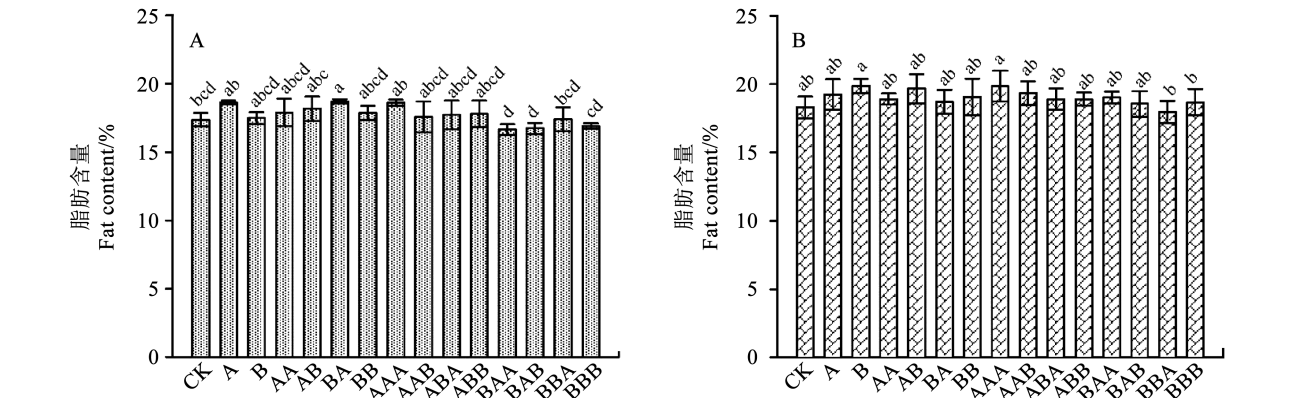


图 2 不同时期叶面喷施化控复配剂对大豆黑农 84 (A) 和黑农 87 (B) 脂肪含量的影响

Fig. 2 Effects of foliar spraying chemical control compounds in different periods on fat content of soybean Heinong 84 (A) and Heinong 87 (B)

3 讨论

化学调控是我国粮食高产高效的重要栽培技术手段,随着农业科学技术的不断强化,基于品种潜力水平,利用植物生长调节剂有针对性地调控植物生长发育和产量形成过程已成为现代农业生产技术体系中不可缺少的重要技术措施之一^[24-25]。在过往的研究中,基于大豆高产与品质需求目标,大量学者都针对多效唑与烯效唑对大豆的防倒、抗

逆及保花保荚展开了深入研究,并促进了我国大豆产业的长期发展^[26-27]。然而多效唑与烯效唑持效期长,大豆对多效唑敏感,易受环境及田间长势影响,农业生产应用不易控制。前人研究显示调环酸钙可竞争性结合 GA20ox 酶而抑制 GA20 的 3β-羟基化,减少活性赤霉素 GA1 的生成,由于 GA1 主要存在于营养器官中,所以施用调环酸钙可控制植物茎叶伸长生长,促进根系发育,另外调环酸钙的半衰期短,可被土壤中的微生物迅速分解为二氧化碳和

水,对环境无污染,绿色友好,是一种理想的矮化剂^[28-29]。为此本研究结合前期的研究结果,依据复配需求,将调环酸钙与促进型植物生长调节剂胺鲜酯或油菜素内酯形成复配剂 LMA 和 LMB,在大豆的不同关键时期进行叶面喷施,结果发现苗期喷施 LMA,花期及鼓粒期喷施 LMB 可显著提高大豆产量,且可对黑农 87 的总蛋白含量起到明显的促进作用。其次发现 AA、AB、AAA 及 A 处理也能提高黑农 84 和黑农 87 的理论产量,与对照相比虽未达到差异显著水平,但这些处理能明显增加大豆籽粒的蛋白质含量。可见复配剂 LMA 早期应用有利于提升大豆产量及蛋白质含量,与 LMB 形成多次化控技术,提升产量的效果明显,其机制可能与苗期促根及鼓粒期促进鼓粒有关。

蛋白质与脂肪含量是衡量大豆品质优劣的两个重要指标。其中大豆种子中的储藏蛋白常被分为水溶蛋白(白蛋白)、盐溶蛋白(球蛋白)、醇溶蛋白及碱溶蛋白(谷蛋白)4 类^[30]。在生产上,水溶蛋白的含量是豆类加工中较重要的评价指标,而醇溶蛋白含量高的品种豆腐产量高^[31-32]。有研究表明通过一些栽培手段以及调节剂的使用能够使大豆的蛋白质及脂肪含量都有一定的提升^[33]。本研究表明苗期及初花期分别喷施 LMA(AA 处理)可显著提高水溶蛋白及总蛋白含量,而在鼓粒期再次喷施 LMA(AAA 处理),则可显著提升水溶蛋白、醇溶蛋白及总蛋白含量,另外 AB 及 A 处理也可明显提高总蛋白含量,可见复配剂 LMA 对提高总蛋白含量及水溶含量效果较好。而对于脂肪含量而言,BA、A、AAA 及 AB 处理等,包括 ABB 处理都使其得到改善,但均未使两品种的含量同时达到差异显著水平,因此两种复配剂使大豆脂肪含量的增加幅度较小。与本研究存在部分相似结果的是,郭世保等^[34]发现调环酸钙在控旺的同时调控植株源库生长,提高作物抗病害能力,进而达到增产及改善作物品质的目的。

在我国农业逐渐走向轻简化栽培的时代背景下,本研究的多次连续喷施并未增加大豆的田间作业次数,原因在于本研究中的多次喷施主要基于大豆的不同关键时期进行叶面喷施,例如在大豆的 1~3 片复叶期经常进行苗后除草,在其初花期及鼓粒期经常需要补充叶面肥,本研究中的复配剂 LMA 及 LMB 均可与这些农事操作一起进行同机喷施,实现“一喷多效”。

4 结论

在大豆的关键生育时期进行不同化控剂复配剂叶面喷施可以提高大豆产量与品质。苗期喷施 LMA,初花期及鼓粒期喷施 LMB(ABB 处理)可显著提高黑农 84 和黑农 87 的产量以及黑农 87 的总蛋

白含量;而在苗期及初花期分别喷施 LMA(AA 处理)可显著提高两个大豆品种的水溶蛋白及总蛋白含量,若在鼓粒期再次喷施 LMA(AAA 处理),则可显著提升水溶蛋白、醇溶蛋白及总蛋白含量,另外 AB 及 A 处理也可明显提高总蛋白含量。在田间生产中可根据不同的大豆生产需求,选用不同的联配及喷施方式和时期。

参考文献

[1] 崔晓艳,顾和平,陈华涛,等. 高产夏大豆新品种苏豆 19 的选育及栽培技术[J]. 大豆科学, 2021, 40(6): 857-859. (CUI X Y, GU H P, CHEN H T, et al. Breeding and cultivation technology of a high production soybean variety Sudou19 [J]. Soybean Science, 2021, 40(6): 857-859.)

[2] 陈玲玲,李战,刘亭萱,等. 基于 783 份大豆种质资源的叶柄夹角全基因组关联分析[J]. 作物学报, 2022, 48(6): 1333-1345. (CHEN L L, LI Z, LIU T X, et al. Genome wide association analysis of petiole angle based on 783 soybean resources (*Glycine max* L.) [J]. Acta Agronomica Sinica, 2022, 48(6): 1333-1345.)

[3] 李奕聪,王新刚,司伟. 2022 年大豆产业发展趋势与政策建议[J]. 大豆科技, 2022(1): 6-8. (LI Y C, WANG X G, SI W. Development trends and policy recommendations of soybean industry in 2022 [J]. Soybean Science and Technology, 2022 (1): 6-8.)

[4] 兰静,王冰,李宛,等. 黑龙江省主栽大豆品种品质优势分析[J]. 大豆科学, 2022, 41(1): 107-113. (LAN J, WANG B, LI W, et al. Analysis on quality advantages of main soybean cultivars in Heilongjiang Province [J]. Soybean Science, 2022, 41 (1): 107-113.)

[5] 万燕,杨文钰. 不同生长调节剂叶面喷施对套作大豆形态及产量的影响[J]. 大豆科学, 2009, 28(1): 63-66. (WANG Y, YANG W Y. Effect of spraying plant growth regulator on morphology and yield of relay-cropping soybean [J]. Soybean Science, 2009, 28(1): 63-66.)

[6] 罗凯,谢琛,汪锦,等. 外源喷施植物生长调节剂对套作大豆碳氮代谢和花萼脱落的影响[J]. 作物学报, 2021, 47(4): 752-760. (LUO K, XIE C, WANG J, et al. Effect of exogenous plant growth regulators on carbon-nitrogen metabolism and flower-pod abscission of relay strip intercropping soybean [J]. Acta Agronomica Sinica, 2021, 47(4): 752-760.)

[7] BANDARA P M S, TANINO K K. Paclobutrazol enhances minituber production in Norland potatoes [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 1995, 14(3): 151-155.

[8] 王引,陈方永,倪海枝,等. 调环酸钙对东魁杨梅生长与结果的影响研究[J]. 浙江柑橘, 2017, 34(4): 36-39. (WANG Y, CHEN F Y, NI H Z, et al. Effects of prohexadione-calcium on the growth and fruit of Bayberry Dongkui [J]. Zhejiang Citrus, 2017, 34(4): 36-39.)

[9] 王才斌,吴正锋,赵品绩,等. 调环酸钙对花生某些生理特性和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(6): 1160-1164. (WANG C B, WU Z F, ZHAO P J, et al. Effects of prohexadione calcium on some physiological characteristics and pod yield of peanut [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(6): 1160-1164.)

[10] 余明龙,靳丹,刘美玲,等. 调环酸钙对盐碱胁迫下不同耐盐性大豆品种根系生长及生理特性的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(9): 2154-2164. (YU M L, JIN D, LIU M L, et al. Effects of prohexadione calcium on root growth and physiological responses of different salt-tolerance soybean varieties under saline-alkali stress [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2021,

- 35(9): 2154-2164.)
- [11] 单守明, 刘国杰, 李绍华, 等. 二烷基乙醇羧酸酯对草莓光合作和果实品质的影响[J]. 园艺学报, 2008(4): 587-590. (SHAN S M, LIU G J, LI S H, et al. Effects of different concentration of DA-6 on photosynthesis and fruit quality in strawberry [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2008, 35(4): 587-590.)
- [12] 宫香伟, 刘春娟, 冯乃杰, 等. S₃₃₀₇和DTA-6对大豆不同冠层叶片光合特性及产量的影响[J]. 植物生理学报, 2017, 53(10): 1867-1876. (GONG X W, LIU C J, FENG N J, et al. Effects of plant growth regulators S₃₃₀₇ and DTA-6 on photosynthetic characteristics and yield in soybean canopy [J]. 2017, 53(10): 1867-1876.)
- [13] 徐伟松, 罗建军, 刘承兰, 等. 1.6%胺鲜酯对水稻生长影响及增产作用研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(4): 994-995. (XU W S, LUO J J, LIU C L, et al. Effect of diethyl aminoethyl hexanoate 1.6% AS on growth regulation and yield increase of rice [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(4): 994-995.)
- [14] 程彦伟, 丁贺, 韩建明, 等. 天然油菜素内酯对豆类种子发芽和胚根下胚轴伸长的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(9): 140-142. (CHEN Y W, DING H, HAN J M, et al. Effects of natural brassinolide on seed germination and hypocotyl elongation of legumes [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2014, 42(9): 140-142.)
- [15] OTIE V, UDO I, SHAO Y, et al. Salinity effects on morpho-physiological and yield traits of soybean (*Glycine max* L.) as mediated by foliar spray with brassinolide[J]. Plants, 2021, 10(3): 541.
- [16] 卢政茂, 崔东亮, 马宏娟, 等. 植物生长调节剂与除草剂混用对水稻的安全性及对除草效果的影响[J]. 农药, 2017, 56(5): 388-390. (LU Z M, CUI D L, MA H J, et al. The effect study of herbicide mixed with plant growth regulators on weeds control and crop safety of rice[J]. Agrochemicals, 2017, 56(5): 388-390.)
- [17] 易书佳, 孔祥清, 徐宇, 等. 植物生长调节剂混用对水稻同化物及三种保护酶的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2014, 26(6): 11-15. (YI S J, KONG X Q, XU Y, et al. Effects on the mixture of plant growth regulators on assimilate and three kinds of protective enzyme of rice [J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2014, 26(6): 11-15.)
- [18] 汤日圣, 张大栋, 郭士伟, 等. 烯效唑和三唑酮调节水稻秧苗生长的增效作用及机理[J]. 中国水稻科学, 2000, 14(1): 54-57. (TANG R S, ZHANG D D, HUO S W, et al. Synergistic action of the combination of uniconazol and triadimefon on the growth of rice seedling and its mechanisms [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2000, 14(1): 54-57.)
- [19] 毛桂玲, 李梅兰, 任毛飞. 三种肥料增效剂对黄瓜幼苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2021, 45(18): 1-6. (MAO G L, LI L M, REN M F. Effects of Three fertilizer synergists on growth of cucumber seedlings growth of rice seedling and its mechanisms [J]. Northern Horticulture, 2021, 45(18): 1-6.)
- [20] 蒋红娇, 王财金, 赵慧艳, 等. 北方春大豆苗期根系性状优异等位变异的发掘[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(6): 1684-1697. (JIANG H J, WANG C J, ZHAO H Y, et al. Mining of elite alleles controlling root traits at the seedling stage in north spring soybean [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(6): 1684-1697.)
- [21] 刘江, 李明倩, 常峻菲, 等. 干旱胁迫及复水对大豆关键生育时期叶片生理特性的影响[J]. 中国农业气象, 2022, 43(8): 622-632. (LIU J, LI M Q, CHANG J F, et al. Physiological characteristics of soybean leaves at different growth stages [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2022, 43(8): 622-632.)
- [22] 栾真杰, 李佩佩, 李朵, 等. 马蔺籽油的索氏提取工艺、成分分析及抗氧化活性研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(9): 1-7. (LUAN Z J, LI P P, LI D, et al. Soxhlet extraction process, composition analysis and antioxidant activity of Iris lactea seed oil [J]. China Oils and Fats, 2020, 45(9): 1-7.)
- [23] 任冬莲, 朱倩, 刘学义. 山西省主栽大豆品种蛋白质及脂肪含量的测定[J]. 江苏农业科学, 2010(5): 420-421. (REN D L, ZHU Q, LIU X Y. Determination of protein and fat content of main soybean varieties in Shanxi Province [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2010(5): 420-421.)
- [24] DESTA B, AMARE G. Paclobutrazol as a plant growth regulator [J]. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 2021, 8(1): 1-15.
- [25] 荆奇, 曹卫星, 戴廷波. 小麦籽粒品质形成及其调控研究进展[J]. 麦类作物学报, 1999(4): 48-52. (JING Q, CAO W X, DAI T B. Research progress on formation and regulation of wheat grain quality [J]. Journal of Wheat Crops, 1999(4): 48-52.)
- [26] 黄甜, 黄俊霞, 闫晓艳, 等. 多效唑对繁茂度不同株型大豆产量及生理调控的影响[J]. 东北农业科学, 2021, 46(3): 20-23, 33. (HUANG T, HUANG J X, YAN X Y, et al. Effects of paclobutrazol on yield and hysiological regulation of soybean with different plant types of lush degree [J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2021, 46(3): 20-23, 33.)
- [27] 王诗雅. 初花期淹水胁迫下烯效唑对大豆碳代谢和产量的缓解效应[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2021. (WANG S Y. Mitigation effect of uniconazole on carbon metabolism and yield of soybean under flooding stress at early flowering stage [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2021.)
- [28] RADEMACHER W, KOBER R. Efficient use of prohexadione-Ca in pome fruits [J]. European Journal of Horticultural Science, 2003, 68: 101-107.
- [29] EVANS J R, EVANS R R, REGUSCI C L, et al. Mode of action, metabolism, and uptake of BAS 125W, prohexadione-calcium [J]. Hortscience, 1999, 34(7): 1200-1201.
- [30] RADHAKRISHNAN R. Seed pretreatment with magnetic field alters the storage proteins and lipid profiles in harvested soybean seeds [J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2018, 24(2): 343-347.
- [31] 张云鹏, 王丽娟, 李婧, 等. 全自动水溶蛋白速测仪快速测定豆类中水溶蛋白的含量[J]. 粮食储藏, 2020, 49(5): 39-44. (ZHANG Y P, WANG L J, LI J, et al. Rapid determination of water-soluble protein content in beans by automatic water-soluble protein rapid tester [J]. Grain Storage, 2020, 49(5): 39-44.)
- [32] 冀华, 张树伟, 赵晋忠. 不同大豆品种醇溶蛋白亚基累积与品质的关系[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2011, 31(3): 257-261. (JI H, ZHANG S W, ZHAO J Z, et al. The relationship between the quality and the accumulation of prolamine subunits in the early and late-maturing soybean varieties [J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2011, 31(3): 257-261.)
- [33] 胡喜平, 郭泰, 齐宁, 等. 大豆蛋白质、脂肪含量与主要农艺性状灰色关联度分析[J]. 大豆通报, 1998(4): 12-13. (HU X P, GUO T, QI N, et al. Analysis of grey correlation degree between protein and fat content of soybean and main agronomic characters [J]. Soybean Bulletin, 1998(4): 12-13.)
- [34] 郭世保, 徐雪松, 王朝阳, 等. 调环酸钙对小麦群体性状和产量的调控作用[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(7): 1706-1709. (GUO S B, XU X S, WANG C Y, et al. Effect of prohexadione-calcium on group characters and yield of wheat [J]. Agricultural Sciences, 2016, 55(7): 1706-1709.)