

孙慧雯, 夏玉莹, 王 进, 等. 胺鲜酯与油菜素内酯复配对绿豆生长及产量和品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2026, 42(4): 718-726.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2026.04.008

胺鲜酯与油菜素内酯复配对绿豆生长及产量和品质的影响

孙慧雯^{1,2}, 夏玉莹^{1,2}, 王 进^{1,2}, 杨 坤³, 项宏飞^{1,2}, 王庆燕^{1,2}, 姜海鹏^{1,2}, 方淑梅^{2,4}, 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. 黑龙江省北大荒集团和平牧场, 黑龙江 大庆 163851; 4. 黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘要: 本研究以冀绿 2 号绿豆为供试品种, 采用田间随机区组设计, 在盛花期叶面喷施不同质量浓度的胺鲜酯(DA-6)与油菜素内酯(BR)复配药剂, 分析其对绿豆农艺性状、产量及品质指标的影响。结果表明, 喷施不同质量浓度胺鲜酯与油菜素内酯复配药剂可不同程度地改善绿豆生长、产量和品质。其中 25.00 mg/L 胺鲜酯+0.08 mg/L 油菜素内酯处理效果最佳, 2024 年和 2025 年, 该处理的产量均显著高于对照($P<0.05$)。增产原因在于, 该处理显著提高了绿豆的茎粗、分枝数及各器官干物质重, 同时促进了单株粒数、荚数和粒重的协同提升。相关性分析结果表明, 产量与主茎荚数呈显著正相关($P<0.05$), 与茎粗、单株荚数、单株粒重和分枝荚数呈极显著正相关($P<0.01$)。本研究结果为绿豆田间生产的产量与品质调控提供了重要参考。

关键词: 绿豆; 胺鲜酯; 油菜素内酯; 农艺性状; 产量; 品质

中图分类号: S522 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2026)04-0718-09

Effects of combined application of diethyl aminoethyl hexanoate and brassinolide on growth, yield and quality of mung bean

SUN Huiwen^{1,2}, XIA Yuying^{1,2}, WANG Jin^{1,2}, YANG Kun³, XIANG Hongfei^{1,2}, WANG Qingyan^{1,2}, JIANG Haipeng^{1,2}, FANG Shumei^{2,4}, LIANG Xilong^{1,2}

(1. College of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2. Heilongjiang Provincial Engineering Technology Research Center of Plant Growth Regulators, Daqing 163319, China; 3. Heilongjiang Beidahuang Group Peace Ranch, Daqing 163851, China; 4. College of Life Science and Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: In this study, Jilü 2 mung bean was used as the test variety. A randomized block field design was adopted, and different mass concentrations of diethyl aminoethyl hexanoate (DA-6) and brassinolide (BR) compound were foliarly sprayed at the full-bloom stage. The effects on agronomic traits, yield and quality indices of mung bean were

analyzed. The results showed that foliar application of the DA-6 and BR compound at different mass concentrations improved the growth, yield and quality of mung bean to varying degrees. Among them, the treatment of 25.00 mg/L diethyl aminoethyl hexanoate + 0.08 mg/L brassinolide showed the best effect. In 2024 and 2025, the yield under this treatment was significantly higher than that of the control ($P<0.05$). The yield increase was attributed to

收稿日期: 2025-08-20

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32472238, 32272225); 黑龙江省农垦总局科技攻关项目(HNK135-02-10); 黑龙江省杂粮产业技术协同创新推广体系项目

作者简介: 孙慧雯(2001-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 研究方向为作物化学控制原理与技术。(E-mail) 1711491594@qq.com

通讯作者: 梁喜龙, (E-mail) xilongliang@126.com

the fact that this treatment significantly improved stem diameter, branch number and dry matter weight of various organs in mung bean, and simultaneously promoted the synergistic increase in seed number per plant, pod number per plant and seed weight per plant. Correlation analysis indicated that yield was significantly positively correlated with pods per main stem ($P < 0.05$), and was extremely significantly positively correlated with stem diameter, pods per plant, grain weight per plant and pods per branch ($P < 0.01$). The results of this study provide an important reference for the regulation of yield and quality in mung bean field production.

Key words: mung bean; diethyl aminoethyl hexanoate; brassinolide; agronomic traits; yield; quality

植物生长调节剂通过调控植物内源激素系统,影响作物的生长发育,从而实现优质高效生产^[1-2]。其中,胺鲜酯(DA-6)作为一种新型细胞分裂素类调节剂,不仅安全性高、成本较低^[3],还能促进根系发育、增强光合作用、调节养分平衡、提升碳氮代谢水平,从而增强植株抗逆性并提高作物产量。目前,DA-6已被广泛应用于多种作物,展现出良好的应用前景^[4]。Liu等^[5]发现,初花期在大豆叶面喷施DA-6可增强叶片生理活性,延缓衰老,进而提升产量。油菜素内酯(BR)是一类多羟基化的植物固醇类激素,能够促进细胞分裂与伸长,并增强植物对逆境的适应能力,在植物生长发育过程中具有重要调控作用并且外源施用BR还可提高作物对多种病原菌的抗性^[6]。谢云灿等^[7]的研究结果表明,喷施BR能显著改善大豆叶片光合性能,促进干物质积累,最终实现增产。在大豆叶片表面喷施胺鲜酯与油菜素内酯的复配药剂,可显著增强叶片碳氮代谢效率,促进籽粒中蛋白质的合成与积累,同时优化籽粒形态建成,有助于干物质的积累,进而提高大豆百粒重及产量^[1]。

绿豆(*Vigna radiata*)属于豆科(Leguminosae)豇豆属,其籽粒营养丰富,兼具食用与药用价值,在现代功能性食品开发中具有重要潜力^[8-10]。构建绿豆高产、优质、高效的栽培技术体系已成为杂粮杂豆产业研究的重点方向。目前,关于胺鲜酯与油菜素内酯的研究主要集中在大豆、玉米等大宗作物上,而其对经济作物绿豆农艺性状及产量的调控效应尚缺乏系统研究。为此,本研究拟采用胺鲜酯与油菜素内酯复配处理绿豆,系统探究该复配剂对绿豆农艺性状及产量的调控作用,并筛选最佳施用浓度配比,以期构建基于化学调控的绿豆高产优质栽培技术体系提供科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 供试材料

供试绿豆品种为冀绿2号。胺鲜酯(DA-6)购

自河南旭阳农业有限公司,油菜素内酯(BR)购自郑州郑氏化工产品有限公司。

1.2 试验设计

试验于2024年在黑龙江八一农垦大学和平牧场试验基地进行。试验地土壤类型为风沙土,pH值为7.8,地势平坦,肥力中等。该区域属北寒温带大陆性季风气候,全年活动积温在2 900℃以上,年平均气温为4.6℃,年平均日照时数为2 782.5 h,无霜期为136 d。

2024年,绿豆种植垄距65 cm,种植密度为1 hm² 1.5×10⁵株。2025年,绿豆种植垄距110 cm,种植密度为1 hm² 1.5×10⁵株。每1 hm²施用尿素15 kg、磷酸二铵150 kg、硫酸钾75 kg。于绿豆盛花期叶面喷施胺鲜酯(DA-6)与油菜素内酯(BR)复配药剂,共设置12个处理,具体复配组合如表1所示。试验采用随机区组设计,每小区4垄,每处理设3个重复。

表1 试验处理设置

Table 1 Experimental treatments

处理	调节剂用量(mg/L)	
	胺鲜酯	油菜素内酯
CK	清水	清水
D ₂	50.00	0
B ₂	0	0.04
D ₁ B ₁	25.00	0.02
D ₁ B ₂	25.00	0.04
D ₁ B ₃	25.00	0.08
D ₂ B ₁	50.00	0.02
D ₂ B ₂	50.00	0.04
D ₂ B ₃	50.00	0.08
D ₃ B ₁	75.00	0.02
D ₃ B ₂	75.00	0.04
D ₃ B ₃	75.00	0.08

1.3 测定指标与方法

1.3.1 主要农艺性状相关指标的测定 于绿豆成熟期,利用直尺测定绿豆株高,利用游标卡尺测定茎粗,利用分析天平称量分枝干重、主茎干重及叶片干重。

1.3.2 产量及产量构成因素的测定 每处理随机选取 3 个 1 m² 的采样点,每采样点随机选取 5 株,共 15 株,用于调查分枝数、单株荚数、单荚粒数、单株粒数、荚长、单株粒重及百粒重等农艺性状。同时,每处理另取 3 个 1 m² 样点进行产量测定。籽粒中直链淀粉和支链淀粉含量采用双波长法测定^[11],脂肪含量采用索氏抽提法测定^[12],粗蛋白质含量采用凯氏定氮法测定^[13]。

1.3.3 数据分析 利用 Microsoft Excel 2021 软件进行数据整理,利用 SPSS 27.0 软件进行单因素方差分析和多重比较,利用 Origin 2021 软件进行数据处理及图像绘制。

2 结果与分析

2.1 胺鲜酯和油菜素内酯复配喷施对绿豆农艺性状的影响

由表 2 可知,D₂ 处理、B₂ 处理株高与 CK 和其他大部分处理均无显著差异 ($P>0.05$),D₁B₃ 处理绿豆茎粗显著高于对照和其他处理 ($P<0.05$)。D₁B₃ 处理、D₂B₃ 处理、D₂B₂ 处理和 D₃B₃ 处理绿豆分枝数显著高于对照 ($P<0.05$)。

表 3 胺鲜酯和油菜素内酯复配喷施对绿豆干物质积累量的影响

Table 3 Effects of foliar application of diethyl aminoethyl hexanoate and brassinolide compound on dry matter accumulation of mung bean

处理	叶干重(g)	主茎干重(g)	分枝干重(g)	总物质干重(g)
CK	2.83±0.59b	5.50±0.21f	4.00±1.06d	12.33±1.12c
D ₂	5.33±1.07ab	6.74±0.32bcd	6.97±1.27cd	19.04±2.01b
B ₂	5.87±1.04ab	6.24±0.26de	8.24±1.76abcd	20.34±2.46b
D ₁ B ₁	4.90±0.82ab	6.34±0.23de	7.97±1.28abcd	19.22±0.95b
D ₁ B ₂	5.04±1.15ab	6.39±0.23de	7.96±1.31abcd	19.39±1.72b
D ₁ B ₃	7.93±1.03a	7.52±0.30a	11.97±1.00a	27.42±1.71a
D ₂ B ₁	5.53±1.00ab	5.88±0.24ef	8.52±0.97abc	19.93±1.18b
D ₂ B ₂	7.31±1.10a	6.51±0.30cde	10.01±1.43abc	23.83±2.20ab
D ₂ B ₃	7.77±1.40a	5.86±0.06ef	11.48±1.69ab	25.12±2.38ab
D ₃ B ₁	7.76±1.50a	7.18±0.23abc	7.22±1.45bcd	22.16±2.20ab
D ₃ B ₂	8.30±1.55a	7.28±0.08ab	9.21±1.47abc	24.79±2.19ab
D ₃ B ₃	4.91±1.14ab	6.41±0.22de	9.80±1.42abc	21.12±1.72b

CK:清水对照;D₂:50.00 mg/L胺鲜酯;B₂:0.04 mg/L油菜素内酯;D₁B₁:25.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₁B₂:25.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₁B₃:25.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯;D₂B₁:50.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₂B₂:50.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₂B₃:50.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯;D₃B₁:75.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₃B₂:75.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₃B₃:75.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯。同一列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

表 2 胺鲜酯和油菜素内酯复配喷施对绿豆株高、茎粗和分枝数的影响

Table 2 Effects of foliar application of diethyl aminoethyl hexanoate and brassinolide compound on plant height, stem diameter and branch number of mung bean

处理	株高(cm)	茎粗(mm)	分枝数(个)
CK	67.98±1.47abc	7.03±0.30d	1.93±0.41c
D ₂	72.09±1.55a	8.35±0.23bc	2.53±0.31abc
B ₂	71.69±1.28a	8.34±0.30bc	2.27±0.25bc
D ₁ B ₁	69.05±1.72ab	8.59±0.46b	2.53±0.26abc
D ₁ B ₂	68.59±1.68ab	7.75±0.29bcd	2.40±0.27bc
D ₁ B ₃	66.75±1.30abc	10.80±0.62a	3.47±0.47a
D ₂ B ₁	65.61±1.77bc	8.33±0.18bc	2.87±0.19abc
D ₂ B ₂	66.53±1.89abc	8.61±0.29b	3.00±0.26ab
D ₂ B ₃	62.73±2.23c	7.14±0.75cd	3.47±0.35a
D ₃ B ₁	67.21±1.81abc	8.03±0.26bcd	2.47±0.29abc
D ₃ B ₂	67.20±1.68abc	8.21±0.26bcd	2.67±0.30abc
D ₃ B ₃	69.10±1.70ab	8.57±0.29b	3.00±0.26ab

CK:清水对照;D₂:50.00 mg/L胺鲜酯;B₂:0.04 mg/L油菜素内酯;D₁B₁:25.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₁B₂:25.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₁B₃:25.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯;D₂B₁:50.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₂B₂:50.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₂B₃:50.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯;D₃B₁:75.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₃B₂:75.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₃B₃:75.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯。同一列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

如表 3 所示,D₁B₃ 处理绿豆叶、主茎和分枝干重均显著高于对照 ($P<0.05$),D₁B₃ 处理总物质干重显著高于对照和除 D₂B₂ 处理、D₂B₃ 处理、D₃B₁ 处理、D₃B₂ 处理外的其他处理 ($P<0.05$)。

2.2 胺鲜酯和油菜素内酯复配喷施对绿豆结荚特性及产量的影响

如表 4 所示,2024 年, D₁B₁ 处理和 D₁B₃ 处理绿豆主茎荚数显著高于对照 ($P < 0.05$), D₂B₃ 处理、D₁B₁ 处理、D₁B₃ 处理、D₂B₂ 处理、D₂B₁ 处理绿豆分枝

荚数均显著高于对照 ($P < 0.05$), 各处理绿豆荚长和单荚粒数均显著高于对照 ($P < 0.05$)。2025 年, D₁B₁ 处理、D₁B₃ 处理、D₂B₁ 处理、D₂B₂ 处理和 D₂B₃ 处理绿豆分枝荚数显著高于对照 ($P < 0.05$), 各处理绿豆荚长和单荚粒数无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 4 胺鲜酯和油菜素内酯复配喷施对绿豆结荚特性的影响

Table 4 Effects of foliar application of diethyl aminoethyl hexanoate and brassinolide compound on pod characteristics of mung bean

年份	处理	主茎荚数(个)	分枝荚数(个)	荚长(cm)	单荚粒数(个)
2024	CK	13.27±1.12bc	5.60±1.68c	9.13±0.06b	12.55±0.19c
	D ₂	13.07±0.86c	6.20±1.53bc	9.62±0.06a	13.27±0.15ab
	B ₂	16.40±1.34abc	8.87±1.70abc	9.70±0.05a	13.68±0.10ab
	D ₁ B ₁	18.00±1.08a	13.27±2.80a	9.43±0.06a	13.19±0.15ab
	D ₁ B ₂	15.13±1.59abc	9.47±1.67abc	9.53±0.05a	13.33±0.13ab
	D ₁ B ₃	18.00±1.06a	13.13±1.66a	9.69±0.05a	13.78±0.13a
	D ₂ B ₁	15.87±0.75abc	12.13±1.58ab	9.46±0.08a	13.09±0.15b
	D ₂ B ₂	17.13±0.90abc	12.53±2.01a	9.49±0.08a	13.33±0.15ab
	D ₂ B ₃	17.47±2.11ab	13.87±2.16a	9.57±0.06a	13.51±0.12ab
	D ₃ B ₁	16.40±1.20abc	11.27±2.28abc	9.59±0.06a	13.31±0.15ab
	D ₃ B ₂	15.67±0.82abc	11.53±1.94abc	9.66±0.05a	13.54±0.12ab
	D ₃ B ₃	17.13±1.84abc	11.67±1.90abc	9.68±0.07a	13.41±0.16ab
2025	CK	13.67±0.67cd	7.33±1.33d	9.50±0.19a	13.00±0.58a
	D ₂	13.00±0.58d	8.00±1.00cd	9.50±0.05a	13.33±0.33a
	B ₂	16.00±0.58b	8.00±1.15cd	9.61±0.08a	13.33±0.33a
	D ₁ B ₁	16.00±0.58b	14.67±0.33a	9.45±0.11a	13.00±0.58a
	D ₁ B ₂	15.33±0.88bc	9.67±1.20bcd	9.47±0.02a	13.33±0.67a
	D ₁ B ₃	19.00±0.58a	15.33±0.88a	9.63±0.09a	13.67±0.33a
	D ₂ B ₁	16.00±0.58b	13.67±0.33ab	9.42±0.09a	13.00±0.58a
	D ₂ B ₂	16.33±0.33b	12.67±1.86abc	9.62±0.18a	13.00±0.58a
	D ₂ B ₃	16.67±0.67b	13.00±2.89ab	9.59±0.14a	13.00±0.58a
	D ₃ B ₁	16.00±0.58b	10.67±1.67abcd	9.53±0.11a	13.33±0.33a
	D ₃ B ₂	16.00±0.58b	10.67±1.33abcd	9.59±0.03a	12.33±0.33a
	D ₃ B ₃	15.67±1.20bc	11.00±1.73abcd	9.62±0.08a	13.33±0.67a

CK: 清水对照; D₂: 50.00 mg/L 胺鲜酯; B₂: 0.04 mg/L 油菜素内酯; D₁B₁: 25.00 mg/L 胺鲜酯+0.02 mg/L 油菜素内酯; D₁B₂: 25.00 mg/L 胺鲜酯+0.04 mg/L 油菜素内酯; D₁B₃: 25.00 mg/L 胺鲜酯+0.08 mg/L 油菜素内酯; D₂B₁: 50.00 mg/L 胺鲜酯+0.02 mg/L 油菜素内酯; D₂B₂: 50.00 mg/L 胺鲜酯+0.04 mg/L 油菜素内酯; D₂B₃: 50.00 mg/L 胺鲜酯+0.08 mg/L 油菜素内酯; D₃B₁: 75.00 mg/L 胺鲜酯+0.02 mg/L 油菜素内酯; D₃B₂: 75.00 mg/L 胺鲜酯+0.04 mg/L 油菜素内酯; D₃B₃: 75.00 mg/L 胺鲜酯+0.08 mg/L 油菜素内酯。同一列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

如表 5 所示,2024 年, D₁B₃ 处理和 D₂B₁ 处理绿豆产量显著高于对照 ($P < 0.05$), D₁B₃ 处理单株粒数、单株荚数及单株粒重均显著高于对照 ($P < 0.05$), D₂B₁ 处理绿豆单株荚数显著高于对照 ($P < 0.05$)。2025 年, D₁B₃ 处理产量显著高于 CK ($P < 0.05$)。

2.3 胺鲜酯和油菜素内酯复配喷施对绿豆籽粒品质的影响

如图 1 所示, D₁B₃ 处理绿豆淀粉含量显著高于 D₃B₃ 处理 ($P < 0.05$)。如图 2 所示, D₁B₃ 处理和 D₃B₁ 处理绿豆籽粒粗蛋白质含量显著低于对照 ($P < 0.05$)。如图 3 所示, 各处理绿豆脂肪含量无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 5 胺鲜酯和油菜素内酯复配喷施对绿豆产量及产量构成因素的影响

Table 5 Effects of foliar application of diethyl aminoethyl hexanoate and brassinolide compound on yield and yield components of mung bean

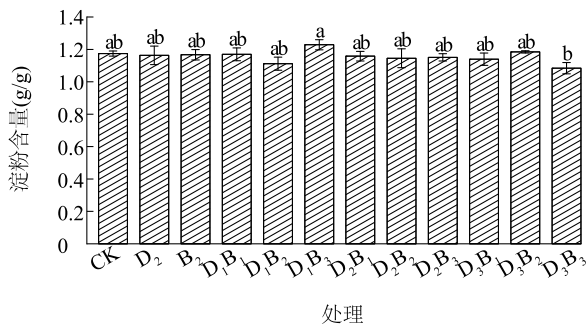
年份	处理	单株粒数(个)	单株荚数(个)	单株粒重(g)	百粒重(g)	产量(g/m ²)
2024	CK	217.40±17.31b	18.87±2.08b	8.63±0.92d	4.28±0.10abc	176.07±13.07b
	D ₂	274.40±24.83b	19.27±1.38b	10.00±0.75cd	4.43±0.08abc	193.30±7.49ab
	B ₂	351.60±47.35ab	25.27±2.35ab	12.70±1.19abc	4.35±0.08abc	168.25±8.55b
	D ₁ B ₁	324.20±60.04ab	31.27±3.54a	15.52±1.74a	4.30±0.05abc	236.92±23.44ab
	D ₁ B ₂	265.60±32.40b	24.60±2.52ab	11.40±1.09bcd	4.35±0.07abc	215.98±32.17ab
	D ₁ B ₃	414.60±33.33a	31.13±1.87a	16.18±1.14a	4.32±0.06abc	248.74±32.17a
	D ₂ B ₁	259.40±40.55b	28.00±1.87a	13.86±0.95abc	4.36±0.12abc	247.77±27.70a
	D ₂ B ₂	453.00±74.97a	29.67±2.72a	15.13±1.52ab	4.14±0.05c	218.20±18.88ab
	D ₂ B ₃	256.20±37.91b	31.33±3.13a	15.84±1.65a	4.28±0.11abc	215.63±9.23ab
	D ₃ B ₁	248.60±34.49b	27.67±2.14a	13.13±0.83abc	4.58±0.14a	169.68±24.05b
	D ₃ B ₂	254.20±26.70b	27.20±2.31a	13.70±1.32abc	4.51±0.11ab	195.25±20.98ab
	D ₃ B ₃	419.40±55.81a	28.80±3.39a	13.61±1.33abc	4.27±0.10bc	209.46±12.16ab
	2025	CK	255.33±13.28cde	21.00±1.15d	9.76±0.31d	4.25±0.07a
D ₂		270.00±28.50cde	21.00±1.15d	11.10±0.44cd	4.27±0.02a	192.77±6.34de
B ₂		269.67±23.14cde	24.00±1.73cd	12.25±1.63bcd	4.32±0.06a	183.18±1.89e
D ₁ B ₁		290.67±4.26abcd	30.67±0.88ab	14.77±1.21ab	4.19±0.02a	230.86±7.49ab
D ₁ B ₂		285.67±2.19bcde	25.00±2.00bcd	13.99±0.38abc	4.28±0.05a	217.59±9.87bc
D ₁ B ₃		350.67±16.75a	34.33±1.20a	16.10±0.75a	4.33±0.03a	246.74±5.20a
D ₂ B ₁		304.33±8.82abc	29.67±0.33abc	15.40±0.47ab	4.26±0.03a	235.86±6.41ab
D ₂ B ₂		342.33±22.93ab	29.00±2.08abc	14.24±2.00abc	4.18±0.11a	216.38±4.14bc
D ₂ B ₃		257.00±45.45cde	29.67±2.96abc	13.43±0.10abc	4.27±0.02a	206.27±2.56cd
D ₃ B ₁		231.00±5.77de	26.67±1.76bcd	12.42±0.62bcd	4.33±0.11a	188.52±6.06de
D ₃ B ₂		222.00±9.54e	26.67±1.86bcd	13.60±0.89abc	4.25±0.06a	188.50±7.58de
D ₃ B ₃		337.00±9.54ab	26.67±2.73bcd	13.14±1.47abc	4.27±0.05a	208.22±0.90cd

CK:清水对照;D₂:50.00 mg/L胺鲜酯;B₂:0.04 mg/L油菜素内酯;D₁B₁:25.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₁B₂:25.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₁B₃:25.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯;D₂B₁:50.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₂B₂:50.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₂B₃:50.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯;D₃B₁:75.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₃B₂:75.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₃B₃:75.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯。同一列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.4 绿豆生长指标的相关性分析

如表 6 所示,绿豆株高与分枝数、分枝干重、分枝荚数、单株荚数、单株粒重呈极显著负相关($P<0.01$),与主茎荚数、产量呈显著负相关($P<0.05$);绿豆茎粗与分枝干重、总干重、主茎荚数、荚长、单株粒重、产量呈极显著正相关($P<0.01$),与单株荚数、单荚粒数、脂肪含量呈显著正相关($P<0.05$);绿豆分枝数与分枝干重、分枝荚数、单株荚数呈极显著正相关($P<0.01$),与总干重、单株粒重呈显著正相关($P<0.05$);绿豆总干重与荚长、单荚粒数、单株粒重呈极显著正相关($P<$

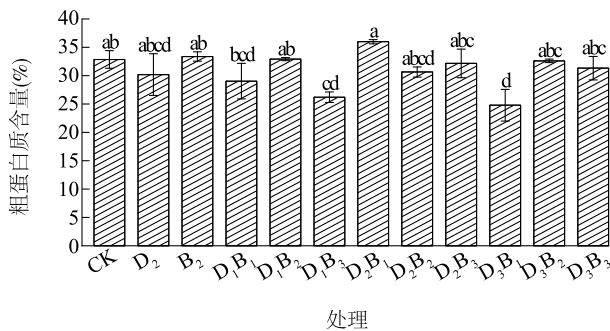
0.01),与分枝荚数呈显著正相关($P<0.05$);绿豆主茎荚数与分枝荚数、单株荚数、单荚粒数、单株粒重呈极显著正相关($P<0.01$),与产量、脂肪含量呈显著正相关($P<0.05$);绿豆分枝荚数与单株荚数、单株粒重、产量呈极显著正相关($P<0.01$);绿豆单株荚数与单株粒重、产量呈极显著正相关($P<0.01$),与单荚粒数、脂肪含量呈显著正相关($P<0.05$);绿豆单株粒重与产量呈极显著正相关($P<0.01$),与脂肪含量呈显著正相关($P<0.05$)。综上,影响绿豆产量的主要因素为茎粗、分枝荚数及单株荚数。



CK:清水对照;D₂:50.00 mg/L胺鲜酯;B₂:0.04 mg/L油菜素内酯;D₁B₁:25.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₁B₂:25.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₁B₃:25.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯;D₂B₁:50.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₂B₂:50.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₂B₃:50.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯;D₃B₁:75.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₃B₂:75.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₃B₃:75.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯。图柱上不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图1 胺鲜酯和油菜素内酯复配喷施对绿豆籽粒淀粉含量的影响

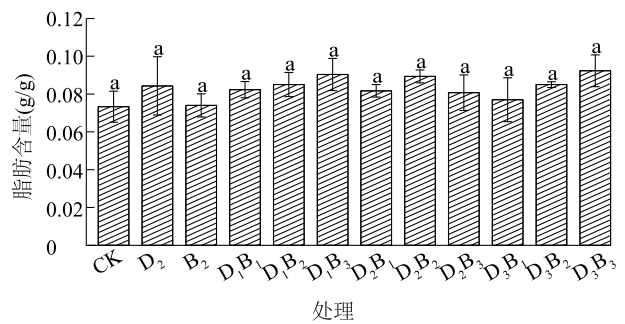
Fig.1 Effects of foliar application of diethyl aminoethyl hexanoate and brassinolide compound on seed starch content of mung bean



CK:清水对照;D₂:50.00 mg/L胺鲜酯;B₂:0.04 mg/L油菜素内酯;D₁B₁:25.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₁B₂:25.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₁B₃:25.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯;D₂B₁:50.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₂B₂:50.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₂B₃:50.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯;D₃B₁:75.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₃B₂:75.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₃B₃:75.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯。图柱上不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图2 胺鲜酯和油菜素内酯复配喷施对绿豆籽粒粗蛋白质含量的影响

Fig.2 Effects of foliar application of diethyl aminoethyl hexanoate and brassinolide compound on seed crude protein content of mung bean



CK:清水对照;D₂:50.00 mg/L胺鲜酯;B₂:0.04 mg/L油菜素内酯;D₁B₁:25.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₁B₂:25.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₁B₃:25.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯;D₂B₁:50.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₂B₂:50.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₂B₃:50.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯;D₃B₁:75.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₃B₂:75.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₃B₃:75.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯。图柱上不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图3 胺鲜酯和油菜素内酯复配喷施对绿豆籽粒脂肪含量的影响

Fig.3 Effects of foliar application of diethyl aminoethyl hexanoate and brassinolide compound on seed fat content of mung bean

2.5 绿豆生长指标的主成分分析

如图4所示如,主成分1和主成分2的贡献率分别为34.1%和16.2%。在PC1轴上,对照与其他处理存在显著差异,表明胺鲜酯和油菜素内酯处理对绿豆生长发育具有显著调控作用。

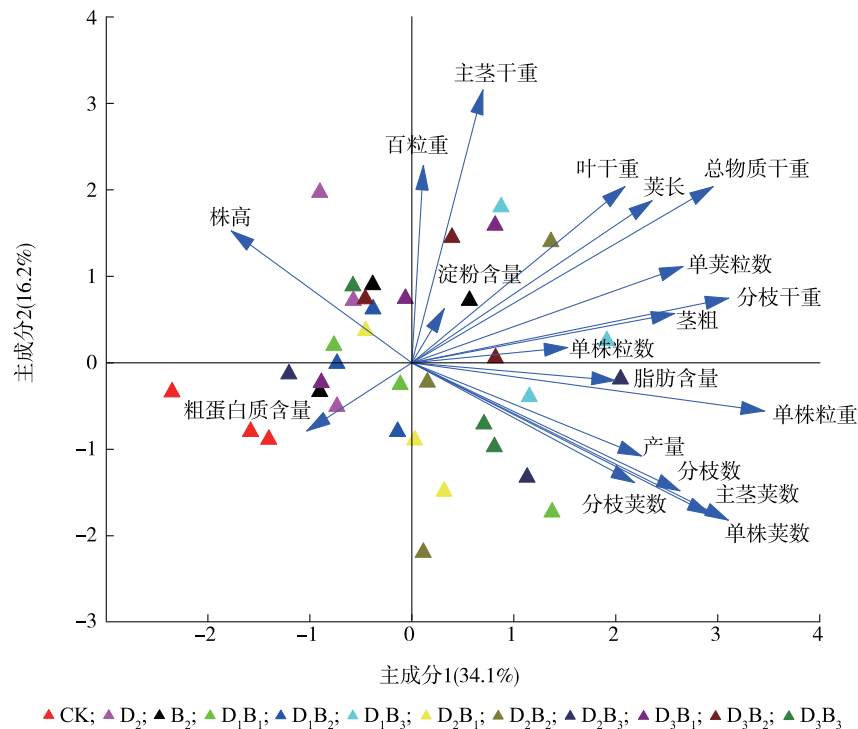
3 讨论与结论

化学调控通过施用植物生长调节剂来调节植物内源激素及其平衡^[14-15]。合理施用植物生长调节剂能够显著优化作物农艺性状,包括缩短节间、促进分蘖、增强茎秆强度、提高抗倒伏能力,并有助于改善产量与品质^[16]。王娜等^[17]研究发现,在绿豆始花期于叶面喷施 S3307 和 DTA-6,可增加植株干物质积累量,进而提高绿豆的产量和品质。郑殿峰等^[18]在垦农4号大豆叶面喷施 DA-6,能减少落花落荚,增加茎粗,并提高单株粒数和粒重。刘洋^[19]研究发现,在绿豆鼓粒期叶面喷施烯效唑可显著延缓叶片衰老,促进同化物向豆荚的转运,从而提高产量。本研究结果表明,在绿豆盛花期于叶面喷施不同浓度的胺鲜酯与油菜素内酯复配药剂,可提高绿

表 6 绿豆生长指标的相关性分析
Table 6 Correlation analysis of growth indices in mung bean

指标	相关系数																			
	株高	茎粗	分枝数	叶干重	主茎干重	分枝干重	总干重	单株粒数	单株荚数	单株粒重	百粒重	产量	主茎荚数	分枝荚数	荚长	单荚粒数	淀粉含量	粗蛋白含量	脂肪含量	
株高	1.000																			
茎粗	-0.209	1.000																		
分枝数	-0.458**	0.238	1.000																	
叶干重	-0.104	0.278	0.137	1.000																
主茎干重	0.183	0.230	-0.126	0.532**	1.000															
分枝干重	-0.427**	0.438**	0.493**	0.409*	0.263	1.000														
总干重	-0.263	0.436**	0.330*	0.818**	0.609**	0.835**	1.000													
单株粒数	-0.049	0.238	0.151	0.135	0.114	0.402*	0.324	1.000												
单株荚数	-0.467**	0.391*	0.579**	0.261	-0.218	0.407*	0.318	0.212	1.000											
单株粒重	-0.480**	0.522**	0.366*	0.340*	-0.003	0.652**	0.543**	0.315	0.727**	1.000										
百粒重	0.106	0.134	-0.205	0.465**	0.464**	-0.036	0.291	-0.189	-0.114	-0.072	1.000									
产量	-0.341*	0.477**	0.250	0.156	-0.092	0.284	0.222	0.292	0.503**	0.663**	-0.060	1.000								
主茎荚数	-0.357*	0.430**	0.287	0.169	-0.137	0.284	0.219	0.099	0.842**	0.648**	-0.183	0.373*	1.000							
分枝荚数	-0.464**	0.311	0.667**	0.277	-0.234	0.420*	0.330*	0.249	0.948**	0.668**	-0.056	0.506**	0.625**	1.000						
荚长	0.072	0.478**	0.004	0.393*	0.327	0.550**	0.575**	0.179	0.197	0.560**	0.265	0.195	0.267	0.127	1.000					
单荚粒数	0.044	0.412*	0.137	0.333*	0.290	0.569**	0.551**	0.183	0.411*	0.585**	-0.009	0.146	0.504**	0.295	0.828**	1.000				
淀粉含量	-0.230	0.259	0.052	0.095	0.108	0.168	0.166	0.299	-0.095	0.059	0.142	0.129	-0.253	0.013	-0.076	-0.115	1.000			
粗蛋白含量	-0.034	-0.290	-0.261	-0.141	-0.285	-0.195	-0.239	-0.146	-0.141	-0.166	0.010	0.077	-0.020	-0.192	-0.174	-0.180	-0.089	1.000		
脂肪含量	0.003	0.376*	0.329	0.185	-0.029	0.385*	0.307	0.128	0.358*	0.344*	-0.044	0.309	0.348*	0.311	0.316	0.407*	-0.189	-0.001	1.000	

*表示相关性显著($P < 0.05$), **表示相关性极显著($P < 0.01$)。



CK:清水对照;D₂:50.00 mg/L胺鲜酯;B₂:0.04 mg/L油菜素内酯;D₁B₁:25.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₁B₂:25.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₁B₃:25.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯;D₂B₁:50.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₂B₂:50.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₂B₃:50.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯;D₃B₁:75.00 mg/L胺鲜酯+0.02 mg/L油菜素内酯;D₃B₂:75.00 mg/L胺鲜酯+0.04 mg/L油菜素内酯;D₃B₃:75.00 mg/L胺鲜酯+0.08 mg/L油菜素内酯。

图4 绿豆生长指标的主成分分析

Fig.4 Principal component analysis of growth indices in mung bean

豆茎粗、分枝数及干物质积累量。其中,D₁B₃处理绿豆茎粗、分枝数、叶干重、主茎干重、分枝干重及总物质干重均显著高于对照($P<0.05$)。表明胺鲜酯与油菜素内酯可通过增强茎粗、提升分枝能力和促进干物质积累,最终提升产量。

喷施植物生长调节剂能够提高叶片净光合速率和叶面积指数,促进地上部干物质积累,增加单位面积粒数、千粒重和结实率,最终实现产量提升^[20-23]。潘彬荣等^[24]研究发现,在玉米吐丝期喷施胺鲜酯可促进玉米籽粒灌浆,进而提升产量。影响作物产量的主要因素包括荚粒数和分枝数等关键农艺性状^[25-26]。李晓鹏等^[27]研究结果表明,采用12.00 mg/L和16.00 mg/L胺鲜酯分别与0.05 mg/L油菜素内酯复配喷施,可显著提高油用牡丹籽粒产量。本研究结果表明,与对照相比,喷施胺鲜酯(DA-6)与油菜素内酯(BR)复配药剂可有效提高绿豆产量。2024年和2025年,D₁B₃处理绿豆产量均显著高于

对照($P<0.05$),这主要归因于其单株粒数、单株荚数及单株粒重的协同增加。

相关性分析旨在揭示多变量之间的关联性,明确其相互关系的方向和强度;主成分分析作为一种多变量统计方法,通过降维将大量原始变量转化为少数互不相关且能够充分表征原始信息的综合变量,从而实现变量的有效整合与优化。目前,这两种方法已被广泛应用于作物多指标分析研究^[28-30]。侯小峰等^[31]研究发现,绿豆产量是多个农艺性状综合作用的结果,且各性状对产量的贡献存在主次差异^[32]。张旭丽^[33]发现,单株荚数和单荚粒数对绿豆产量的影响最为显著。杨芳等^[34]研究结果表明,提高株高和增加结荚数量是提升绿豆产量的关键。本研究的主成分分析结果显示,对照与其他处理显著分离,表明胺鲜酯与油菜素内酯复配喷施对绿豆生长具有显著的调控效应。进一步的相关性分析结果表明,产量与株高、主茎荚数呈显著正相关($P<$

0.05),与茎粗、单株荚数、单株粒重及分枝荚数呈极显著正相关($P<0.01$)。

参考文献:

- [1] 王通宇,方淑梅,王庆燕,等. 叶面喷施不同化控复配剂对大豆产量与品质的影响[J]. 大豆科学,2023,42(1):70-76.
- [2] 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.
- [3] 杨修一,李圣会,梅宇超,等. DA-6对水培生菜生长及生理特性的影响[J]. 农业环境科学学报,2017,36(1):32-38.
- [4] 郝青南,汪媛媛,龙泽福,等. DA-6对南方大豆品种性状、产量和品质的影响[J]. 大豆科学,2021,40(6):799-804.
- [5] LIU C J, FENG N J, ZHENG D F, et al. Uniconazole and diethyl aminoethyl hexanoate increase soybean pod setting and yield by regulating sucrose and starch content[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture,2019,99(2):748-758.
- [6] 肖瑞雪,郭丽丽,贾琦石,等. 油菜素内酯调控植物生长发育及产量品质研究进展[J]. 江苏农业科学,2019,47(10):16-21.
- [7] 谢云灿,何孝磊,杜鹏,等. 外源油菜素内酯对高温胁迫下大豆光合特性及产量品质的影响[J]. 大豆科学,2017,36(2):237-243.
- [8] 田静,程须珍,范保杰,等. 我国绿豆品种现状及发展趋势[J]. 作物杂志,2021(6):15-21.
- [9] 钱静斐,张蕙杰. 中国食用豆贸易演变特征及现状分析[J]. 中国食物与营养,2021,27(2):20-25.
- [10] 王丽侠,程须珍,王素华. 绿豆种质资源、育种及遗传研究进展[J]. 中国农业科学,2009,42(5):1519-1527.
- [11] 刘襄河,郑丽璇,郑丽勉,等. 双波长法测定常用淀粉原料中直链淀粉、支链淀粉及总淀粉含量[J]. 广东农业科学,2013,40(18):97-100.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中脂肪的测定:GB 5009.6-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [13] 全国粮油标准化技术委员会. 谷物和豆类氮含量测定和粗蛋白质含量计算凯氏法:GB/T 5511-2008[S]. 中国标准出版社,2008.
- [14] 赵黎明,段绍彪,项洪涛,等. 干湿交替灌溉与植物生长调节剂对水稻光合特性及内源激素的影响[J]. 作物学报,2025,51(1):174-188.
- [15] 谢章书,谢学方,屠小菊,等. 植物激素对棉花蕾铃脱落的调控研究进展[J]. 作物学报,2025,51(1):1-29.
- [16] 樊海潮,顾万荣,杨德光,等. 化控剂对东北春玉米茎秆理化特性及抗倒伏的影响[J]. 作物学报,2018,44(6):909-919.
- [17] 王娜,杨思敏,刘蓓蓓,等. 植物生长调节剂对绿豆干物质积累动态与产量的影响[J]. 中国农业大学学报,2021,26(3):10-17.
- [18] 郑殿峰,赵黎明,于洋,等. 植物生长调节剂对大豆花荚脱落及产量的影响[J]. 大豆科学,2008,27(5):783-786.
- [19] 刘洋. 烯效唑和激动素对绿豆根系建成与生长发育及产量的影响[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学,2016.
- [20] DEHGHAN M, BALOUCHI H, YADAVI A, et al. Improve wheat (*Triticum aestivum*) performance by brassinolide application under different irrigation regimes[J]. South African Journal of Botany, 2020,130:259-267.
- [21] HUANG G M, LIU Y G, GUO Y L, et al. A novel plant growth regulator improves the grain yield of high-density maize crops by reducing stalk lodging and promoting a compact plant type[J]. Field Crops Research,2021,260:107982.
- [22] GONG L S, QU S J, HUANG G M, et al. Improving maize grain yield by formulating plant growth regulator strategies in North China[J]. Journal of Integrative Agriculture,2021,20:622-632.
- [23] 丁凯鑫,冯乃杰,郑殿峰,等. 植物生长调节剂对赤豆鼓粒期光合特性及氮代谢的影响[J]. 核农学报,2022,36(12):2510-2518.
- [24] 潘彬荣,岳高红,刘永安,等. 胺鲜酯对甜玉米叶片光合特征、籽粒糖分积累和产量的调控效应[J]. 农药学报,2015,17(6):660-666.
- [25] ZHANG Q, ZHANG L, EVERS J, et al. Maize yield and quality in response to plant density and application of a novel plant growth regulator[J]. Field Crops Research,2014,164:82-89.
- [26] RAZA M H, SADOZAI G U, BALOCH M S, et al. Effect of irrigation levels on growth and yield of mungbean[J]. Pakistan Journal of Nutrition,2012,11(10):974-977.
- [27] 李晓鹏,肖瑞雪,张利霞,等. 叶面喷施胺鲜酯及其与油菜素内酯复配液对油用牡丹生理特性及产量的影响[J]. 山东农业科学,2024,56(1):97-104.
- [28] 胡标林,万勇,李霞,等. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物学报,2012,38(5):829-839.
- [29] 代攀虹,孙君灵,何守朴,等. 陆地棉核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学,2016,49(19):3694-3708.
- [30] 孙东雷,卞能飞,陈志德,等. 花生种质资源表型性状的综合评价及指标筛选[J]. 植物遗传资源学报,2018,19(5):865-874.
- [31] 侯小峰,刘静,王彩萍,等. 绿豆产量与主要农艺性状的灰色关联分析[J]. 作物杂志,2015(1):53-56.
- [32] 刘佩瑶,冉莉萍,杨佳庆,等. 小麦穗形态建成和生理特征及外界影响因素的研究进展[J]. 作物杂志,2025(1):1-9.
- [33] 张旭丽. 绿豆主要农艺性状与产量的相关性和通径分析[J]. 安徽农学通报,2020,26(24):65-67.
- [34] 杨芳,杨媛,冯高,等. 绿豆籽粒产量与主要农艺性状的相关分析[J]. 农业科技通讯,2012(7):95-97.

(责任编辑:成纾寒)