



烯效唑与矮壮素复配微量元素拌种对大豆光合生理及产量的影响

张春宇,金喜军,张明聪,王孟雪,曹 亮,任春元,胡国华,张玉先

(黑龙江八一农垦大学 农学院,黑龙江 大庆 163319)

摘要:为明确2种生长调节剂烯效唑与矮壮素复配微量元素对大豆生长的影响,促进复合型生长调节剂在生产实际中的应用,采用小区对比方式,设置4个烯效唑和矮壮素与微量元素复配拌种处理,烯效唑+微量元素(S)、矮壮素+微量元素(C)、烯效唑与矮壮素混合+微量元素(S+C)和不拌种(CK)处理,研究2种激素与微量元素复配拌种对大豆光合、荧光特性、干物质积累及产量的影响。结果表明:光合荧光特性方面,与CK相比,S、C、S+C处理提高了苗期、结荚期、鼓粒期大豆叶片净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和气孔导度(G_s),各项指标的平均提高幅度分别为17.3%~42.8%、25.2%~52.8%、4.6%~5.4%、19.9%~30.8%;S、C、S+C处理能够改善苗期、结荚期和鼓粒期叶片 $\Phi PS II$ 、 ETR 、 F_v/m 和 F_v/o 值,平均提高幅度分别为26.7%~71.1%、25.8%~60.5%、7.4%~15.7%、51.1%~89.1%;大豆形态方面,与CK相比,苗期时S、C和S+C处理的株高分别降低3.5%、3.1%和3.4%,而单株叶面积平均增长2.4%~23.4%;S+C、S和C处理更能促进地下部器官的生长发育;产量方面,S+C和S处理能够显著增加大豆单株粒数与单株荚数,增长幅度分别为12.3%~22.1%和19.3%~20.7%,与CK相比,S、C和S+C增产幅度为20.2%、5.9%和22.7%。综上所述,烯效唑与矮壮素复配微量元素能够提高光合作用气体交换参数、改善荧光指标、促进苗期地下部生长、提高单株荚数和粒数,最终提高大豆产量。S+C处理效果显著,适合黑龙江省垦区实际生产应用,复合植物生长调节剂与微量元素配施对大豆生长水平具有正向促进作用且效果好于单独使用植物生长调节剂。

关键词:大豆; 烯效唑; 矮壮素; 微量元素; 光合作用; 产量

Effects of S_{3307} and CCC Mixed Trace Element Dressing on the Photosynthetic Physiology and Yield of Soybean

ZHANG Chun-yu, JIN Xi-jun, ZHANG Ming-cong, WANG Meng-xue, CAO Liang, REN Chun-yuan, HU Guo-hua, ZHANG Yu-xian

(College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: In order to clarify the effect of the combination of the two growth regulators S_{3307} and CCC on growth of soybeans, promoting the application of compound growth regulator in production, we took cell comparison method to study the effects of the above-mentioned two hormones and trace elements on the photosynthesis, fluorescence characteristics, dry matter accumulation and yield of soybean. We set four treatments induced seed dressing with S_{3307} and CCC with trace elements S_{3307} with trace elements(S), CCC with trace elements(C), S_{3307} + CCC with trace elements(S+C), and no seed dressing(CK). The results showed that compared with CK, the P_n , Tr , G_s and C_i of soybean leaves at seedling, pod-setting and bulging stages of S, C and S+C treatments increased. The average increment of the indexes were respectively 17.3% - 42.8%, 25.2% - 52.8%, 4.6% - 5.4% and 19.9% - 30.8%. The $\Phi PS II$, ETR , F_v/m and F_v/o values of S, C, S+C treatments at seedlings, pods and bulges stage all increased. The average increment were respectively 26.7% - 71.1%, 25.8% - 60.5%, 7.4% - 15.7% and 51.1% - 89.1%. In terms of soybean morphology, compared with CK, the plant height of S, C and S+C treatments at the seedling stage respectively reduced 3.5%, 3.1% and 3.4%. The average leaf area per plant increased 2.4% - 23.4%. S+C, S, C treatments could promote the growth and development of the organs below the ground. In terms of yield, S+C and S treatments could significantly increase the number of seeds per plant and the number of pods per plant, with growth rates of 12.3% - 22.1% and 19.3% - 20.7%. Compared with CK, the yield of S, C and S+C treatments increased 20.2%, 5.9% and 22.7% respectively. In summary, the combination of S_{3307} and CCC could increase the gas exchange parameters of photosynthesis, improve the fluorescence index, promote the growth of seedlings, increase the number of pods and seeds per plant, and ultimately increase soybean yield. The effect of S+C treatment in this study was remarkable, which was suitable for the actual production application in Heilongjiang reclamation area. At the same time, this study verified that the combined application of compound plant growth regulators and trace elements had a positive effect on the growth of soybean with better effect comparing with plant growth regulators alone.

Keywords: Soybean; S_{3307} ; CCC; Trace elements; Photosynthesis; Yield

收稿日期:2019-12-05

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0201000);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04-01A);黑龙江省农垦总局重点科研计划(HNK135-02-06)。

第一作者简介:张春宇(1996-),男,硕士,主要从事大豆化学调控方向研究。E-mail:zcy114123@163.com。

通讯作者:张玉先(1968-),男,教授,博导,主要从事大豆高产生理生态研究。E-mail:zyx_lxy@126.com;

胡国华(1951-),男,博士,研究员,博导,主要从事大豆栽培生理和遗传育种研究。E-mail:hugh757@vip.163.com。

大豆作为世界范围内重要的粮、油、饲兼用作物被广泛种植^[1]。研究表明,植物生长调节剂拥有广谱、高效、低残留、使用便捷等优点,被广泛应用于大豆、玉米、马铃薯等大田作物^[2-4]。谢雪梅等^[5]研究发现,三唑类植株生长调节剂,如烯效唑(S_{3307} , uniconazole)和多效唑(PP333, paclobutracol)等,能够使植株矮化,提高作物抗倒伏能力,增强作物的抗逆性,促进根系生长发育。烯效唑能够缓解大豆非生物胁迫下受到的光合抑制,提高净光合速率,增强蔗糖淀粉的合成^[6]。同时,烯效唑是一种良好的抑菌剂,能够缓解小麦赤霉病、水稻恶苗病等病害^[7]。矮壮素(CCC, chlormequat chloride)是一种能够抑制植物细胞生长的植物延缓剂,矮壮素能够促进根系吸水、影响作物体内脯氨酸的积累,从而增强作物抗逆性,如抗旱、抗寒、抗涝等。在大豆初花期喷施矮壮素能达到保花保蕾、促进大豆结荚等作用^[8]。近年来研究表明激素混合施用的效果可能高于单独施用一种^[9-10],易书佳等^[11]研究发现植物生长调节剂混用能够影响水稻同化物,增强叶片保护酶的合成,既节约成本又能达到事半功倍的效果。

钼、硅、钙等微量元素在植物生长过程不可或缺。钼能够参与作物的硝酸还原作用并能促进豆科作物的固氮能力,缺钼常发生于豆科作物上,大豆缺钼会导致叶片萎蔫卷曲^[12];钙对于蛋白质的合成有促进作用,番茄、辣椒等缺钙会导致脐腐病的发生;硅即可提供作物所需的养分又有调节土壤的功效^[13]。

目前,对植物生长调节剂在低温、干旱、淹水等胁迫下对作物抗逆性、光合作用的调节作用的研究较多,激素混合使用效果的研究也逐年递增,但关于烯效唑结合矮壮素并配合 Mo、Si、Ca 等微量元素使用效果的研究尚未见报道。在供给侧改革、种植业结构调整、中美贸易摩擦等多种背景下,作为中国大豆主产区的黑龙江省大豆种植面积逐渐回升,东北大豆种植业的快速发展对于保证国家粮食安全就显得尤为重要。近年来本课题组开展了一系列在大豆抗逆性与大豆增产方面的研究,考虑到种子拌种是目前生产上常用的播种前种子处理方式,拥有操作简便、节约成本、便于推广等优点,本研究以黑龙江九三垦区主栽大豆品种黑河 43 作为试验材料,采用拌种方式,探讨研究烯效唑与矮壮素复配微量元素使用对大豆光合荧光特性与产量的影响。研究旨在为生长调节剂与微量元素混合施用的效果提出合理建议,促进大豆增产,为实际生产提出可行性方案。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆黑河 43 由垦丰种业提供;烯效唑、矮壮素由黑龙江八一农垦大学大豆研究组提供;钼酸铵购自沈阳市东华试剂厂;硅酸钠和氯化钙购自辽宁泉瑞试剂有限公司。

1.2 试验设计

试验于 2019 年在黑龙江省农垦总局九三分局鹤山农场进行,土壤类型为黑土。供试土壤 pH6.28,土壤有机质含量 $14.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 $149.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $39.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $195\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。试验地前茬作物为玉米,施肥量与当地施肥的水平一致,N、 P_2O_5 和 K_2O 分别为 55.0、67.4 和 $30.0\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

试验采用完全随机区组设计,以常规种子作为对照(CK),设置 3 个拌种处理:烯效唑 $40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 拌种(S);矮壮素 $20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 拌种(C);烯效唑 $20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ + 矮壮素 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 拌种(S+C)。各处理均采用 0.8% 钼酸铵、 $1.3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 硅酸钠、 $0.2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钙配合施用。

将各处理制作成种衣剂,采用拌种方式,药种比为 1:40,于播种前 1 d 对种子进行包衣,设置 3 次重复,6 垄行区,垄宽 0.65 m,行长 6 m。各小区前后间隔 1 m 过道。田间管理同大田生产。并于大豆苗期(V5)、初花期(R1)、结荚期(R3)和鼓粒期(R5)分别测定大豆干物质积累、光合叶绿素荧光参数等相关指标。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 光合参数 在天气晴朗的上午 9:00,选择生长整齐一致的倒数第 3 片功能叶,采用 Li-6400 型光合测定仪(美国 Li-COR 公司产)测定净光合速率(P_n),胞间 CO_2 浓度(C_i),蒸腾速率(T_r),气孔导度(G_s)。每个处理测量 5 株,取平均值。

1.3.2 叶绿素荧光参数 选取大豆倒数第 3 片功能叶片测定叶绿素荧光参数。采用便携式脉冲调制叶绿素荧光仪 OS-5P+(美国 OPTI-SCIENCES 公司产)进行光反应测定,测定实际光化学效率 $PSII$,光合电子传递效率 ETR 值。测定暗反应前先将叶片进行暗适应处理 20 min,测定最大光化学效率 F_v/m 和 F_v/o ,每个处理测量 5 株,取平均值。

1.3.3 形态相关指标 从子叶痕区分地上部和地下部,使用卷尺测量株高。整株叶面积采用 Li-3100 型(美国 Li-COR 公司产)台式叶面积仪测定。

1.3.4 生物量 各处理取 9 株新鲜样品,按器官装入信封中,置于 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱中杀青,30 min 后调至

80 ℃烘干,用电子天秤称量各个器官重量。

1.3.5 产量 于大豆成熟期,各小区取 1 m² 内的植株测定单株粒数、单株荚数和百粒重。理论产量 = 单株粒数 × 百粒重/100 × 密度 × 667/1 000 × 15,单位为 kg·hm²。

1.4 数据分析

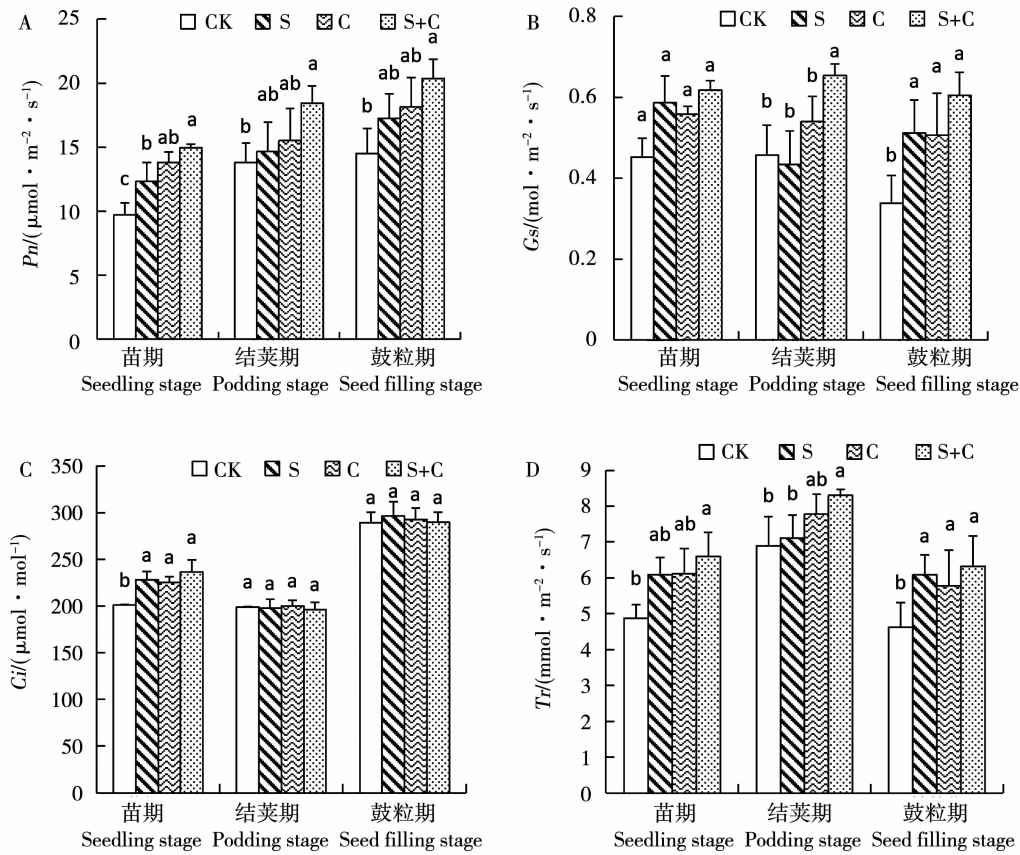
采用 Excel 2010 进行数据整理与制作图表;采用 SPSS 20.0 进行数据方差分析

2 结果与分析

2.1 烯效唑与矮壮素复配微量元素拌种对大豆光合特性的影响

与 CK 和 S 处理相比,苗期,S + C 处理 *Pn* 分别提高 54.2% 和 21.06%,差异显著,结荚期,S + C 处理的 *Pn* 较 CK 提高 33.3%,差异显著。与 CK、S、C 处理相比,S + C 处理在鼓粒期的 *Pn* 分别提高 40.00%、18.00% 和 9.80%,差异显著(图 1A)。苗期,S + C 处理 *Gs* 较 CK、S、C 处理分别提高 36.78%、

5.43% 和 10.7%,但差异不显著;结荚期,S + C 处理的 *Gs* 与各处理相比均达到显著水平;鼓粒期,CK 较 S、C、S + C 处理的 *Gs* 分别降低 33.34%、32.00% 和 43.33%,差异显著(图 1B)。苗期 CK 处理 *Ci* 较 S、C、S + C 处理分别减少 11.84%、10.87% 和 15.08%,差异显著;结荚期和鼓粒期各处理间 *Ci* 差异不明显(图 1C)。苗期 S + C 处理 *Tr* 较 CK、S、C 处理分别提高 35.27%、8.38% 和 7.98%,S + C 处理 *Tr* 与 CK 处理差异呈显著水平;结荚期,S + C 处理 *Tr* 较 CK、S、C 处理分别提高 20.29%、16.9% 和 6.4%,与 CK 和 S 处理差异显著;鼓粒期,S、C、S + C 处理较 CK 分别高 32.60%、24.00% 和 36.50%,差异显著(图 1D)。研究结果表明,烯效唑和矮壮素复配微量元素均能不同程度改善 *Pn*、*Gs* 和 *Tr*,S + C 处理正向促进作用效果较好。而对于 *Ci* 的调控效果,仅在 S、C、S + C 处理苗期达到显著水平,结荚期和鼓粒期差异不显著。



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P \leq 0.05$)。下同。
Different lowercase indicate significant difference ($P \leq 0.05$) between treatments. The same below.

图1 烯效唑与矮壮素复配微量元素拌种对大豆光合特性的影响

Fig. 1 Effects of seed dressing with S₃₃₀₇ and CCC on the photosynthetic characteristics

2.2 烯效唑与矮壮素复配微量元素拌种对大豆叶绿素荧光参数的影响

苗期,与 CK 相比 S + C 和 S 处理的 $\Phi PS II$ 分别

提高 90.17% 和 58.32%, 达到显著水平; 结荚期, S + C 处理较 CK、S、C 处理分别高 44.05%、30.94% 和 53.94%, 差异显著(图 2A)。苗期,与 CK 相比,

S + C 和 S 处理的 *ETR* 分别提高 56.26% 和 55.51% ; 结荚期, S + C 处理均显著高于其它处理, S + C 处理较 CK、S、C 处理分别高 44.15%、31.08% 和 54.12% ; 鼓粒期, S 处理的 *ETR* 值最大达到 20.93, 显著高于对照 CK (图 2B)。苗期, S + C 处理的最大光化学效率 *Fv/m* 值与 CK、S、C 相比分别高 17.44%、6.03% 和 4.79% , 其中与 CK 相比呈显著差异; 结荚期, 与 CK 相比, S、C、S + C 处理分别高 7.20%、8.60% 和 8.30% , 均呈现显著差异。鼓粒期, C 处理的 *Fv/m* 值最大 (图 2C)。苗期, S、C 和

S + C 处理的最大光化学效率 *Fv/o* 均显著高于 CK 处理, CK 较 S、C、S + C 处理相比分别减少 34.95%、37.28% 和 40.22% ; 结荚期, 各处理间 *Fv/o* 值与苗期趋势一致; 鼓粒期, C 处理较 S 和 S + C 处理高 65.7% 和 72.35% , 与对照 CK 呈显著差异 (图 2D)。综上所述, 苗期、结荚期及鼓粒期, 烯效唑和矮壮素复配微量元素对叶绿素荧光 *Fv/m*、*Fv/o*、*ETR*、 $\Phi PSII$ 均具有正向促进的作用, 其中 S 和 S + C 处理对 $\Phi PSII$ 和 *ETR* 调控效果显著, 而 C 和 S + C 处理对 *Fv/m* 和 *Fv/o* 调控效果显著。

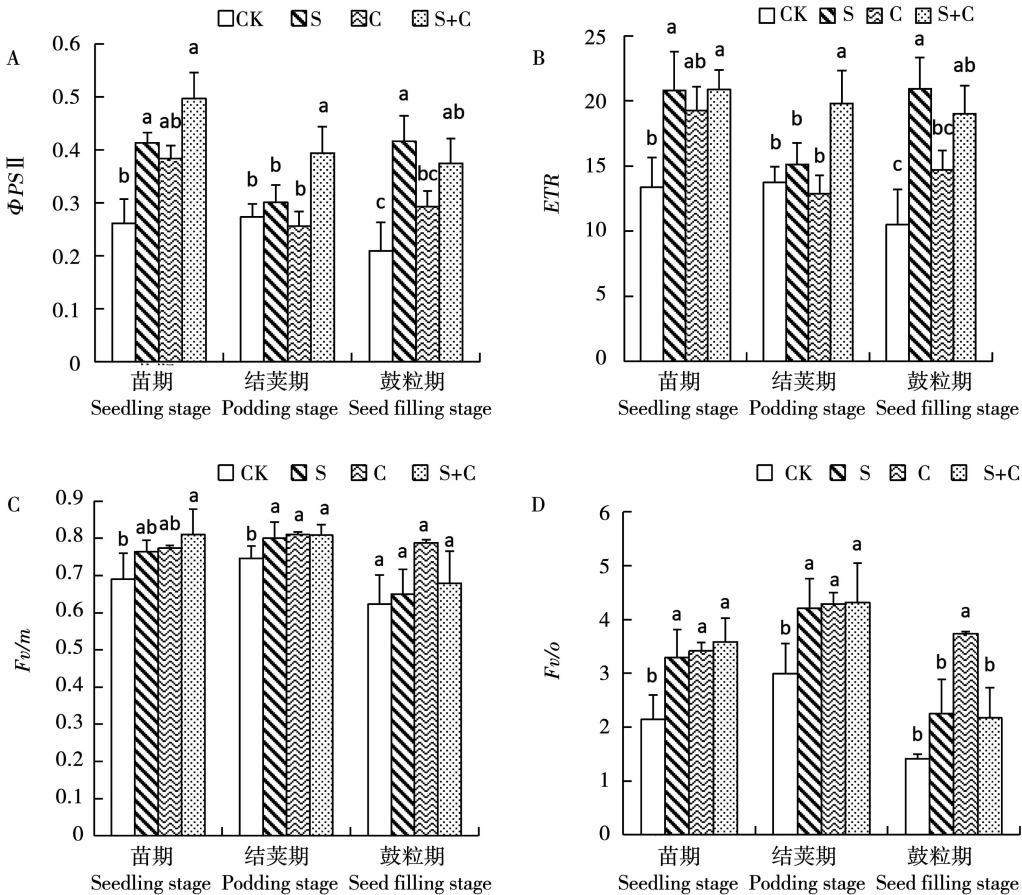


图 2 烯效唑与矮壮素复配微量元素拌种对大豆叶绿素荧光参数的影响

Fig. 2 Effects of seed dressing with S₃₃₀₇ and CCC on the chlorophyll fluorescence parameters

2.3 烯效唑与矮壮素复配微量元素拌种对大豆株高及叶面积的影响

随着生育期的进行,大豆的株高与叶面积呈持续增长的趋势。从单株叶面积增长速率分析,C 和 S + C 处理增长幅度较大,结荚期 C 和 S + C 处理的叶面积分别比 CK 高 28.9% 和 37.4% , 差异显著。大豆苗期各处理间株高差异不显著,在花期以及结荚期时 S + C 处理的株高较 CK 明显增高 (图 3)。

2.4 烯效唑与矮壮素复配微量元素拌种对大豆植株干物质积累的影响

大豆苗期,茎与叶的干重均以 S + C 处理最高,分别达到了 0.52 和 1.09 g ; 叶柄的干重以 C 处理最

大, C 处理较 S + C、S、CK 分别提高 28.87%、31.58% 和 63.40% , 与 CK 相比达到显著差异; 地下部器官根与根瘤的干物质积累量均以 S + C 处理最高; S + C 处理的根干重分别高于 CK、S 和 C 处理 25.54%、3.82% 和 10.27% , 与 CK 呈显著差异; 根瘤干重, S + C 处理达到 0.067 g, 显著高于 CK 和 S 处理。开花期, 地下部器官干重变化趋势与苗期一致, 均以 S + C 处理最显著; 而 S + C 处理与 CK 的叶干物质积累均高于 S 和 C 处理, 叶柄的干物质积累量以 S + C 处理最高。结荚期, 根瘤的干物质积累量表现为各处理均高于 CK 处理; S + C 处理根重最高, 但差异不显著; S + C 处理茎重、叶重、叶柄重显

著高于 CK 与 S 处理,而与 C 处理相比差异不显著; S + C 处理与 C 处理荚皮重显著高于 S 处理,与 CK 相比差异不显著。鼓粒期,各处理荚皮的干物质积累显著高于对照 CK,其中 S、C、S + C 处理分别比 CK 高 57.73%、60.14% 和 59.45%;籽粒的干物质积累以 S + C 与 S 处理最为显著。成熟期,S + C 处

理茎干重较 CK、S、C 处理分别高 15.58%、5.26% 和 11.65%,与 CK 相比差异显著。各处理籽粒重与 CK 相比均达到显著水平(表 1)。综上所述,C 处理和 S + C 处理更能促进地下部器官的生长发育,籽粒建成方面以 S + C 处理促进作用最为显著。

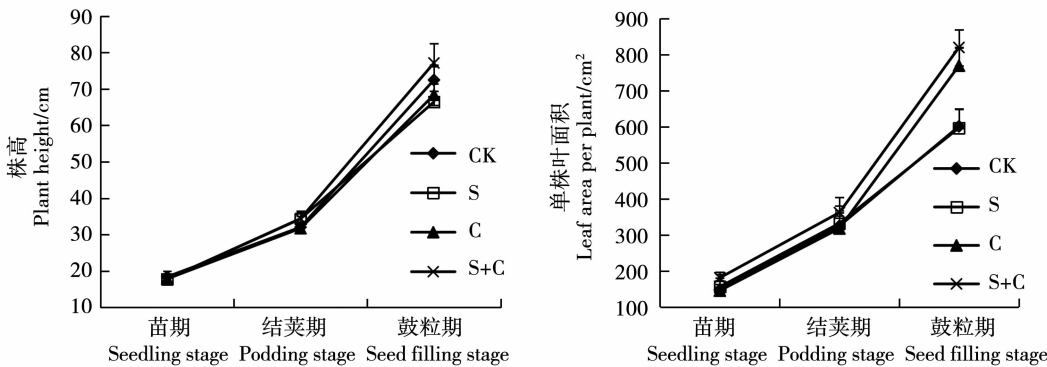


图 3 烯效唑与矮壮素复配微量元素拌种对大豆株高及叶面积的影响
Fig. 3 Effects of dressing seeds with S₃₃₀₇ and CCC on soybean plant height and leaf area

表 1 烯效唑与矮壮素复配微量元素拌种对大豆单株干物质积累的影响
Table 1 Effects of S₃₃₀₇ and CCC compounded seed dressing on dry matter accumulation per plant (g)

时期 Period	处理 Treatment	根瘤重 Root nodules weight	根重 Root weight	茎重 Stem weight	叶重 Leaf weight	叶柄重 Petiole weight	荚皮重 Pod weight	籽粒重 Seed weight
苗期 Seedling period	CK	0.030 ± 0.007 b	0.33 ± 0.05 b	0.43 ± 0.01 a	0.91 ± 0.10 a	0.15 ± 0.03 b	—	—
	S	0.032 ± 0.014 b	0.39 ± 0.09 ab	0.51 ± 0.05 a	1.01 ± 0.06 a	0.19 ± 0.06 ab	—	—
	C	0.038 ± 0.001 ab	0.37 ± 0.09 ab	0.44 ± 0.03 a	1.04 ± 0.09 a	0.25 ± 0.05 a	—	—
	S + C	0.067 ± 0.001 a	0.41 ± 0.08 a	0.55 ± 0.09 a	1.09 ± 0.13 a	0.19 ± 0.05 ab	—	—
开花期 Flowering period	CK	0.214 ± 0.042 b	0.85 ± 0.13 b	1.40 ± 0.19 a	1.93 ± 0.21 a	0.48 ± 0.12 ab	—	—
	S	0.223 ± 0.102 b	0.95 ± 0.34 ab	1.28 ± 0.22 a	1.54 ± 0.33 b	0.41 ± 0.16 b	—	—
	C	0.187 ± 0.093 b	0.89 ± 0.14 ab	1.24 ± 0.12 a	1.55 ± 0.22 b	0.37 ± 0.08 b	—	—
	S + C	0.337 ± 0.101 a	1.12 ± 0.28 a	1.52 ± 0.39 a	2.12 ± 0.53 a	0.55 ± 0.13 a	—	—
结荚期 Podding period	CK	0.545 ± 0.024 b	1.84 ± 0.63 a	3.73 ± 1.02 b	3.35 ± 0.75 b	1.14 ± 0.25 b	2.36 ± 0.95 ab	—
	S	0.710 ± 0.056 a	2.06 ± 0.43 a	3.18 ± 0.96 b	3.36 ± 1.00 b	1.19 ± 0.42 b	1.82 ± 0.65 b	—
	C	0.657 ± 0.093 a	2.81 ± 0.94 a	4.43 ± 1.10 ab	4.18 ± 1.48 ab	1.47 ± 0.50 b	3.30 ± 0.89 a	—
	S + C	0.708 ± 0.072 a	2.86 ± 1.68 a	5.66 ± 1.16 a	5.13 ± 1.08 a	2.05 ± 0.52 a	3.30 ± 0.75 a	—
鼓粒期 Seed filling period	CK	—	2.62 ± 0.63 a	3.01 ± 0.60 b	1.57 ± 0.20 b	0.54 ± 0.37 b	2.91 ± 0.69 b	7.16 ± 1.26 b
	S	—	2.65 ± 0.96 a	5.72 ± 0.82 ab	2.71 ± 0.55 ab	1.31 ± 0.69 ab	4.59 ± 0.82 a	10.02 ± 1.49 a
	C	—	2.94 ± 0.47 a	6.76 ± 0.04 a	4.89 ± 0.53 a	2.33 ± 0.41 a	4.66 ± 0.17 a	8.19 ± 0.96 ab
	S + C	—	3.13 ± 0.71 a	4.25 ± 0.14 ab	4.33 ± 0.81 a	1.97 ± 0.54 a	4.64 ± 0.77 a	11.12 ± 1.36 a
成熟期 Maturity period	CK	—	—	3.98 ± 3.83 b	—	—	2.78 ± 1.32 b	7.90 ± 1.47 b
	S	—	—	4.37 ± 1.18 ab	—	—	4.28 ± 0.66 a	10.90 ± 0.49 a
	C	—	—	4.12 ± 0.19 ab	—	—	3.91 ± 0.31 ab	10.41 ± 0.10 a
	S + C	—	—	4.60 ± 1.39 a	—	—	4.40 ± 0.53 a	11.77 ± 0.79 a

2.5 烯效唑与矮壮素复配微量元素拌种对大豆产量的影响

S + C 和 S 处理均能改善大豆产量的构成因素, S + C 处理较其它处理在百粒重方面调控效果显著更强。在单株粒数和单株荚数方面与对照 CK 相

比,S 和 S + C 处理促进效果显著,从而导致最终产量的提高。方差分析可知,S、C、S + C 处理分别比CK 增产 20. 20%、5. 90% 和 22. 70%,其中 S 和 S + C 处理增产效果明显(表 2)。

表 2 烯效唑与矮壮素复配微量元素拌种对大豆产量及产量构成因素的影响

Table 2 Effects of seed dressing with S ₃₃₀₇ and CCC on soybean yield and yield components									
处理 Treatment	单株四粒荚数 4-seed number per plant	单株三粒荚数 3-seed number per plant	单株二粒荚数 2-seed number per plant	单株一粒荚数 1-seed number per plant	单株无效荚数 0-seed number per plant	单株荚数 Pod number per plant	单株粒数 Seed number per plant	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)
CK	1. 41 ± 0. 4 a	7. 91 ± 1. 1 b	6. 33 ± 0. 4 a	2. 12 ± 0. 2 a	0. 36 ± 0. 10 b	18. 13 ± 1. 1 b	44. 15 ± 3. 8 b	19. 58 ± 0. 8 b	2508. 82 ± 143. 2 b
S	1. 93 ± 0. 9 a	10. 47 ± 1. 5 a	6. 48 ± 1. 3 a	2. 76 ± 1. 1 a	0. 25 ± 0. 07 b	21. 64 ± 4. 2 a	53. 92 ± 4. 9 a	19. 99 ± 0. 2 b	3015. 73 ± 256. 3 a
C	1. 46 ± 0. 2 a	8. 61 ± 0. 5 ab	6. 06 ± 0. 5 a	2. 25 ± 0. 1 a	0. 33 ± 0. 02 b	18. 71 ± 0. 1 b	46. 05 ± 0. 1 b	20. 01 ± 0. 2 b	2656. 96 ± 211. 0 ab
S + C	1. 43 ± 0. 1 a	8. 82 ± 0. 5 ab	7. 99 ± 1. 0 a	3. 57 ± 1. 5 a	0. 77 ± 0. 07 a	22. 59 ± 2. 8 a	51. 75 ± 4. 7 a	21. 57 ± 0. 1 a	3080. 03 ± 125. 9 a

3 讨 论

3.1 烯效唑和矮壮素与微量元素拌种对大豆光合荧光作用的影响

植物进行光合作用的能量来源主要来自光照^[14],作物前期的光能利用效率对植株生长后期干物质积累、养分运输转移和产量的形成有着重要的影响。作物受到光合抑制时茎秆明显变细,易倒伏,并且严重影响大豆形态建成和光合产物,如淀粉,蔗糖的转化^[15]。大量研究表明,植物生长调节剂能够显著提高作物的光合作用^[16-17],S₃₃₀₇能够有效调控芸豆的光合作用能力,喷施 S₃₃₀₇ 后芸豆的光合作用和蒸腾作用明显提升^[18]。温国泉等^[19]研究发现矮壮素能够改善山药生长中后期光合作用。本研究表明,与对照相比,经过烯效唑与矮壮素处理过的大豆叶片 *Pn*、*Gs* 和 *Tr* 有显著提高,张洪鹏等^[20]也得到过类似的研究结果。在本研究中,*Pn* 的趋势为 S + C > C > S > CK,说明烯效唑与矮壮素配合微量元素共同作用的效果显著。而本研究中烯效唑与矮壮素对于 *Ci* 的调控效果不显著,研究表明 *Ci* 会因外界因素不同而有不同的趋势,与 *Pn* 可能呈现 3 种相关性^[21],因此在本研究中,这可能受空气中 CO₂ 的浓度,叶肉细胞光合活性等多种因素影响。

叶绿素荧光参数是作物光合作用的内在表现^[22],叶绿素荧光参数 *Fv/Fm* 和 *Fv/Fo* 可以表示出植物的最大光化学转换效率,而 *ETR* 表示 *PS* II 反应中心电子传递速率。光化学转换效率越大说明植物的光能利用率越高,植物的光合作用就越强^[23]。左官强等^[24]研究表明烯效唑能缓解胁迫下大豆的 *Fv/Fm* 和 *Fv/Fo* 值。叶面喷施能够提高荔枝叶片 *Fv/m*、*qP*、*PCR*、*ETR* 等叶绿素荧光特征参

数^[25]。本研究表明,烯效唑与矮壮素对叶绿素荧光参数 *Fv/m*、*ΦPS* II、*ETR* 等调控效果显著。S + C 处理较其它处理的调控效果明显,说明烯效唑与矮壮素配合微量元素共同作用更容易提高大豆 *PS* II 反应中心的 *Fv/m* 与 *Fv/o*,提高表观电子传递性能,从而促进光合作用。

3.2 烯效唑和矮壮素与微量元素拌种对大豆干物质积累及产量的影响

植物的生长发育受多种因素影响,其中一方面来自光合作用及光合产物的积累、运输和转移,另一方面根系在土壤中吸收的养分也为地上部生长提供所需的能量。植物生理学上常说的“源 - 库 - 流”就是养分吸收、转移、最终向籽粒运输的过程^[26]。在大豆生长前期,叶片、根系等营养器官作为“源”负责在前期积累养分,开花结荚期后由茎开始向荚皮、籽粒等营养器官发生养分转移,进而促进最终产量。因此,作物形态及干物资积累量直接影响作物产量的形成。庞婷等^[27]研究发现干物质积累量受到环境、栽培条件等多种因素影响,本研究结果表明,苗期和初花期根瘤及根干物质积累表现为 S + C > S > C > CK,说明烯效唑与矮壮素均能促进地下部器官根系及根瘤的干物质积累,鼓粒期及成熟期的籽粒干物质积累表现为 S + C > S > C > CK,说明生长前期根系发育的好坏直接影响地上营养器官的生长发育与后期籽粒的建成,本研究结果验证了宫香伟等^[28]喷施后大豆籽粒干物质积累显著提高的效果。

大豆分枝期和初花期喷施植物生长调节剂对百粒重有促进作用^[29],喷施烯效唑和矮壮素后水稻有效穗数和穗粒数显著提高^[30]。本研究表明,与对照 CK 相比,S + C 和 S 处理的单株粒数、单株荚数以及百粒重分别提高 17. 21%、24. 60%、10. 16% 和

22. 12%、19. 36%、2. 10%,最终产量表现为 S + C > S > C > CK,说明施用烯效唑与矮壮素配合微量元素施用对大豆的增产效果显著。

4 结 论

烯效唑与矮壮素配合微量元素拌种后的大豆种子在苗期、结荚期以及鼓粒期光合参数(P_n 、 Tr 、 G_s)和叶绿素荧光参数($\Phi PSII$ 、 ETR 、 F_v/m 、 F_v/o)明显改善。烯效唑 S_{3307} 与矮壮素 CCC 能够促进大豆根系及根瘤的建成,增加叶面积指数与生物量的积累,促进大豆的单株荚数与单株粒数,提高百粒重。本研究中以烯效唑 $20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 加矮壮素 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 配合微量元素拌种的实际应用效果最好。

参考文献

[1] 崔宁波,刘望. 全球大豆贸易格局变化对我国大豆产业的影响及对策选择[J]. 大豆科学, 2019, 38(4): 629-634. (Cui N B, Liu W. The impact and countermeasures option of global soybean trade pattern change on China's soybean industry [J]. Soybean Science, 2019, 38(4): 629-634.)

[2] 曾学明. 我国大豆产业发展战略规划研究[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(9): 89-97. (Zeng X M. Research on the strategic planning for the development of soybean industry in China [J]. China Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(9): 89-97.)

[3] 屈梦瑶,刘慧芹,刘峰,等. 植物生长调节剂的种类及应用前景[J]. 天津农林科技, 2019(5): 34-36, 39. (Qu M Y, Liu H Q, Liu Y, et al. The types and application prospects of plant growth regulators[J]. Tianjin Agriculture and Forestry Science and Technology, 2019(5): 34-36, 39.)

[4] 梁晓艳,刘春娟,冯乃杰,等. 两种生长调节剂对大豆叶片昼夜同化物生理代谢及产量的影响[J]. 大豆科学, 2019, 38(2): 244-250. (Liang X Y, Liu C J, Feng N J, et al. Effects of two growth regulators on physiological metabolism and yield of diurnal assimilation of soybean leaves [J]. Soybean Science, 2019, 38(2): 244-250.)

[5] 谢雪梅. 三唑类植物生长调节剂的立体选择性环境行为研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2010. (Xie X M. Stereoselective environmental behavior of triazole plant growth regulators[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2010.)

[6] 左官强,王诗雅,冯乃杰,等. 烯效唑对淹水胁迫下大豆光合生理及表型的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(9): 2702-2708. (Zuo G Q, Wang S Y, Feng N J, et al. Effects of uniconazole on photosynthetic physiology and phenotype of soybean under flooding stress[J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(9): 2702-2708.)

[7] 常瑞丰,王召元,张立莎,等. 烯效唑在果树上应用的研究进展[J]. 安徽农学通报, 2013, 19(3): 61-63. (Chang R F, Wang Z Y, Zhang L S, et al. Research progress on application of uniconazole in fruit trees [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2013, 19(3): 61-63.)

[8] 薛艳. 植物生长延缓剂对不同作物的作用及其机理研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014. (Xue Y. Study on the effect of plant growth retarders on different crops and its mechanism[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014.)

[9] 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 safety of rice plant mixed with herbicides and its effect on weed control[J]. Pesticides, 2017, 56(5): 388-390.)

[10] 朱同生. 不同植物生长调节剂与2,4-D异辛酯协同对大豆生理代谢的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2009. (Zhu T S. Effects of different plant growth regulators and 2,4-D isooctyl on physiological metabolism of soybean [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.)

[11] 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 of mixed plant growth regulators on rice assimilation and three protective enzymes[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2014, 26(6): 11-15.)

[12] 张爱媛. 根瘤菌与钼肥对大豆养分吸收和产量影响的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015. (Zhang A Y. Effect of rhizobium and molybdenum fertilizer on nutrient absorption and yield of soybean [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2015.)

[13] 冯元琦. 硅肥—土壤不可或缺[J]. 中国石油和化工, 2001(1): 33-35, 57. (Feng Y Q. Silicone fertilizer - Indispensable for the soil[J]. China Petroleum and Chemical Industry, 2001(1): 33-35, 57.)

[14] 顾少龙,史宏志. 光照对烤烟生长发育及质量形成的影响研究进展[J]. 河南农业科学, 2010(5): 120-124. (Gu S L, Shi H Z. Research progress on the effects of light on the growth and quality of flue-cured tobacco [J]. Henan Agricultural Science, 2010(5): 120-124.)

[15] 姚兴东. 遮荫对大豆光合生理和农艺性状的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018. (Yao X D. Effects of shading on photosynthetic physiology and agronomic traits of soybean [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018.)

[16] 刘星海. 植物多糖复合制剂对作物生长及产量的调控作用与机理研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011. (Liu X H. Study on the regulation and mechanism of plant polysaccharide compounds on crop growth and yield [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011.)

[17] 钱武. 甘蓝型冬油菜光合特性与抗寒性分析[J]. 南方农业, 2018, 12(17): 29-31. (Qian W. Photosynthetic characteristics and cold resistance of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) [J]. Southern Agriculture, 2018, 12(17): 29-31.)

[18] 王畅,赵海东,冯乃杰,等. $S_{-}(3307)$ 和DTA-6对芸豆生殖生长阶段光合特性和产量的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(11): 162-170. (Wang C, Zhao H D, Feng N J, et al. Effects of $S_{-}(3307)$ and DTA-6 on photosynthetic characteristics and yield of kidney beans during reproductive growth stage[J]. Journal of Practicing Industry, 2018, 27(11): 162-170.)

[19] 温国泉,刘永贤,农梦玲,等. 不同植物生长调节剂对南方淮山药叶片光合作用的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(7):

1590-1594. (Wen G Q, Liu Y X, Nong M L, et al. Effects of different plant growth regulators on photosynthesis of Huaishan yam leaves[J]. Journal of Southwest Agricultural Sciences, 2016, 29 (7): 1590-1594.)

[20] 张洪鹏, 张盼盼, 李冰, 等. 烯效唑对淹水胁迫下大豆叶片光合特性及产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2016, 38(5): 611-618. (Zhang H P, Zhang P P, Li B, et al. Effects of uniconazole on photosynthetic characteristics and yield of soybean leaves under flooding stress [J]. Chinese Journal of Oil Crops, 2016, 38(5): 611-618.)

[21] 陈根云, 陈娟, 许大全. 关于净光合速率和胞间 CO₂ 浓度关系的思考[J]. 植物生理学通讯, 2010, 46(1): 64-66. (Chen G Y, Chen J, Xu D Q. Thinking about the relationship between net photosynthetic rate and intercellular CO₂ concentration [J]. News of Plant Physiology, 2010, 46(1): 64-66.)

[22] 徐洪文, 宋凤斌, 童淑媛. 两种不同基因型玉米苞叶叶绿素荧光特性差异分析[J]. 核农学报, 2008(5): 717-721, 673. (Xu H W, Song F B, Tong S Y. Difference analysis of chlorophyll fluorescence characteristics of two different genotype maize bracts [J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2008 (5): 717-721, 673.)

[23] 王志军, 谢宗铭, 田又升, 等. 膜下滴灌和淹灌对水稻叶片 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响[J]. 华北农学报, 2015, 30(6): 216-225. (Wang Z J, Xie Z M, Tian Y S, et al. Effects of subsurface drip irrigation and subsurface irrigation on PS II chlorophyll fluorescence light response curve of rice leaves [J]. North China Agricultural Journal, 2015, 30(6): 216-225.)

[24] 左官强, 王诗雅, 冯乃杰, 等. 烯效唑对淹水胁迫下大豆光合生理及表型的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(9): 2702-2708. (Zuo G Q, Wang S Y, Feng N J, et al. Effects of uniconazole on photosynthetic physiology and phenotype of soybean under flooding stress [J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38 (9): 2702-2708.)

[25] 李伟才, 张红娜, 石胜友, 等. 成花诱导期喷施烯效唑和赤霉素对荔枝叶片叶绿素荧光特征的影响[J]. 热带作物学报, 2014, 35(12): 2414-2419. (Li W C, Zhang H N, Shi S Y, et al. Effects of spraying uniconazole and gibberellin on chlorophyll fluorescence characteristics of litchi leaves during flowering induction period [J]. Journal of Tropical Crops, 2014, 35(12): 2414-2419.)

[26] 刘广银. 水稻不同基本苗群体经济产量直接形成期叶片光合速率与物质积累初步研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011. (Liu G Y. Preliminary study on leaf photosynthetic rate and material accumulation in the direct formation stage of economic yield of different basic rice seedling populations [D]. Chongqing: Southwest University, 2011.)

[27] 庞婷, 陈平, 袁晓婷, 等. 种间距对不同结瘤特性套作大豆物质积累、鼓粒及产量形成的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(21): 3751-3762. (Pang T, Chen P, Yuan X T, et al. Seed spacing was used to accumulate material accumulation, bulging and impact of yield formation[J]. Chinese Agricultural Science, 2019, 52(21): 3751-3762.)

[28] 宫香伟, 刘春娟, 冯乃杰, 等. S₋(3307) 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 S₋(3307) and DTA-6 on photosynthetic characteristics and yield of different canopy leaves of soybean[J]. Chinese Journal of Plant Physiology, 2017, 53 (10): 1867-1876.)

[29] 王宝生, 刘春娟, 冯乃杰, 等. 植物生长调节剂对大豆植株上、中部干物质积累及产量的影响[J]. 南方农业学报, 2015, 46(9): 1567-1573. (Wang B S, Liu C J, Feng N J, et al. Effects of plant growth regulators on dry matter accumulation and yield in soybean plants [J]. Southern Journal of Agriculture, 2015, 46(9): 1567-1573.)

[30] 姜龙, 曲金玲, 孙国宏, 等. 矮壮素、烯效唑和多效唑对水稻倒伏及产量的影响[J]. 中国林副特产, 2018(2): 10-13, 18. (Jiang L, Qu J L, Sun G H, et al. Effects of chlormequat, uniconazole and PP333 on rice lodging and yield[J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2018(2): 10-13, 18.)