



新型植物生长调节剂 AP₂ 和 CGR₃ 对大豆光合特性及产量的影响

李冰¹, 蔡光容^{1,2}, 张洪鹏¹, 张盼盼¹, 郑殿峰^{1,2}, 冯乃杰¹

(1. 黑龙江八一农垦大学 农学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 国家杂粮工程技术研究中心, 黑龙江 大庆 163319)

摘要: 为明确两种新型植物生长调节剂对大豆生长的影响, 促进新型调节剂的实际应用, 以大豆合丰 50 为试验材料, 在大田栽培条件下, 研究不同浓度梯度的新型植物生长调节剂 AP₂ 和 CGR₃ 浸种对大豆光合生理特性及产量的调控效应。在大豆盛花期(R2)和盛荚期(R4)通过测定叶片叶绿素含量、净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶片胞间 CO₂ 浓度, 分析了两种植物生长调节剂浸种对大豆光合特性及产量的调控效应。结果表明: 两种植物生长调节剂在适宜的浓度下均可使大豆有不同程度的增产, 其中 100 mg·L⁻¹ AP₂ 和 50 mg·L⁻¹ CGR₃ 浸种浓度处理使合丰 50 的产量较对照分别提高 18.90% 和 11.30%。应用两种植物生长调节剂提高了大豆叶片 SPAD 值、净光合速率。由此, 初步推断 AP₂ 和 CGR₃ 使大豆增产可能与调节剂对叶片光合生理的调控作用密切相关。

关键词: 植物生长调节剂; AP₂; CGR₃; 光合特性; 大豆

Effects of New Plant Growth Regulators AP₂ and CGR₃ on Photosynthetic Characteristics and Yield of Soybean

LI Bing¹, CAI Guang-rong^{1,2}, ZHANG Hong-peng¹, ZHANG Pan-pan¹, ZHENG Dian-feng^{1,2}, FENG Nai-jie¹

(1. Agronomy College of Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2. National Coarse Cereals Engineering Research Center, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: In order to clarify the effects of two new plant growth regulators on soybean growth, and promote the practical application of new regulators. Soybean Hefeng 50 was used as experimental material to study the effects of different concentration gradient of plant growth regulator AP₂ and CGR₃ soaking on soybean photosynthetic physiological characteristics and yield by field experiments. The effects of two plant growth regulators on photosynthetic characteristics and yield of soybean were analyzed by measuring leaf chlorophyll content, net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance and intercellular CO₂ concentration in the flowering period (R2) and podding period (R4). The results showed that two kinds of plant growth regulators could increase soybean yield in different degrees at appropriate concentrations. AP₂ (100 mg·L⁻¹) and CGR₃ (50 mg·L⁻¹) seed soaking concentration was better for the yield of Hefeng 50, the yield was 18.90% and 11.3% higher than that of the control, respectively. The application of AP₂ and CGR₃ increased the chlorophyll (SPAD) value, net photosynthetic rate of soybean leaves. Therefore, it is preliminarily inferred that AP₂ and CGR₃ increased soybean yield and may be closely related to regulation effect of regulator on leaf photosynthetic physiology.

Keywords: Plant growth regulators; AP₂; CGR₃; Photosynthetic characteristics; Soybean

大豆产量低是制约我国大豆发展的主要原因之一^[1]。研究如何提高大豆单产的技术至关重要。因此, 应用植物生长调节剂调控作物生长发育进程, 对提高作物抗逆性、增加产量及品质具有重要的意义。前人研究发现, 三唑类调节剂具有矮化株高、防止倒伏、增强抗逆性、提高产量和改善品质等作用^[2-4]。许艳丽等^[5]研究表明, 大豆应用壮丰安拌种和叶面喷施可以提高叶片中光合速率, 增加大豆产量。张保军等^[6]和曹宏等^[7]研究天达-2116

浸种在干旱的条件下能够促进小麦种子萌发延长根长, 提高抗旱性, 增加产量及改善品质等。相关研究表明, 乙烯利能促进作物成熟, 还可以增加作物的分蘖率, 增加作物产量^[8]。雷晓天等^[9]研究表明, 施用“新丰王”能增加叶绿素的含量, 提高光合速率, 促进作物的生长发育, 叶面喷施多效唑能够增加叶绿素和蛋白质的含量, 使叶片光合效率提高, 从而对产量的提高和品质的改善具有重要意义^[10]。张瑞鹏等^[11]研究指出大豆叶片的净光合速

收稿日期: 2018-03-12

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201306-03); 黑龙江省现代农业大豆产业技术体系协同创新项目(2041881028); 黑龙江农垦总局攻关项目(HNK12A-06-03); 黑龙江省科技厅项目(2014BAD07B05-H05)。

第一作者简介: 李冰(1992-), 女, 硕士, 主要从事大豆化学调控方面的研究。E-mail: 2455178052@163.com。

通讯作者: 郑殿峰(1969-), 男, 教授, 博导, 主要从事作物化控及大豆生理研究。E-mail: byndzdf@126.com;

冯乃杰(1970-), 女, 教授, 博导, 主要从事大豆化控和栽培生理研究。E-mail: dqfnj@126.com。

率与气孔导度、光合有效辐射以及蒸腾速率呈正相关,而与胞间 CO₂ 浓度呈负相关。植物生长调节剂的研究在理论和生产实践上都具有重要的意义。调节剂种类及功能的多样化可以推进化控技术更新换代。目前市场化的植物生长调节剂大部分都存在很多不足,制约着化控技术的发展。常见的问题包括水溶性较差(比如烯效唑、油菜素内酯等)、田间药效不稳定(ABA 光分解失活)、土壤残留时间长影响后茬作物的生产(三十烷醇、烯效唑等),部分产品还存在应用成本高、生产效果不稳定的缺点,使许多产品不能在实际生产中广泛应用。化控技术是农业栽培体系中不可缺少的一项农艺措施,可以调节作物生理过程,同时可以提高大豆单位面积产量,是实现大豆高产值得探索的一条途径。因此,研制开发新型低毒、高效、低成本、环境友好的植物生长调节剂是当前在大豆生产上亟需解决的问题。

黑龙江八一农垦大学化控室开发了新型植物生长调节剂 AP₂ (C₈H₁₄N₄O) 和 CGR₃ (C₁₀H₁₅N₃O₃), 属于三唑类植物生长调节剂,且 AP₂ 水溶性较好,溶解度为 100 g·L⁻¹。通过室内试验研究发现,2 个生长调节剂在多种作物上具有促进根系发育的功效^[12],但是还未开展其在田间对作物产量及生长发育影响的研究。因此,本试验采用浸种的方式,首次报道调节剂 AP₂ 和 CGR₃ 对大豆盛花期(R2)和盛荚期(R4) 光合特性和最终产量及产量构成因素的调控效应,旨在为该生长调节剂的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种为合丰 50(亚有限结荚习性),生育期约 120 d,由国家杂粮工程技术研究中心提供。调节剂分别为 10,50,100 mg·L⁻¹ 的 AP₂ 和浓度为 1,10,50 mg·L⁻¹ 的 CGR₃,由黑龙江八一农垦大学农学院化控组提供。

1.2 试验设计

试验于 2016 年在国家杂粮工程技术研究中心试验基地进行。采用大田试验方法。土壤类型为盐碱土,土壤基本养分状况(0~20 cm 耕层)为:碱解氮 129.70 mg·kg⁻¹、速效磷 25.79 mg·kg⁻¹、速效钾 100.00 mg·kg⁻¹、pH 7.88、有机质 53.78 g·kg⁻¹。

试验采用完全随机区组设计,6 个处理,以不同浓度的 AP₂ (10,50,100 mg·L⁻¹) 和 CGR₃ (1,10,50 mg·L⁻¹),进行浸种处理,以清水浸种为对照(CK),

浸种时间 6 h。4 次重复,挑选大小均匀一致的种子,先用 3% 次氯酸钠消毒,再用蒸馏水冲洗。于 6 月 7 日进行人工播种,小区为 6 行区,垄宽 0.65 m,行长 5 m,小区面积为 19.5 m²,区间过道 0.5 m,施尿素 30 kg·hm⁻²、二胺 150 kg·hm⁻²、硫酸钾 45 kg·hm⁻²。各项田间管理同大田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶绿素相对含量测定 于大豆盛花期(R2)和盛荚期(R4)采用 SPAD-502 型叶绿素仪测定大豆功能叶片(倒三叶)的 SPAD 值,每个处理测定 4 株,4 次重复,取平均值。

1.3.2 光合参数测定 于大豆盛花期(R2)和盛荚期(R4)选择生长一致的大豆功能叶片(倒三叶),用 CID-340 便携式光合测定仪测定叶片的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和胞间 CO₂ 浓度(C_i),每个处理测定 4 株。

1.3.3 产量及其产量构成因素测定 于大豆完熟期(R8)进行收获。收获时,每个小区选取 1 m² 的大豆植株,并从中选取具有代表性的 10 株进行株高、单株荚数、单株粒数和百粒重的测定。

产量(kg·hm⁻²) = 单株粒数 × 百粒重(g) × 公顷株数/1 × 10⁵

1.4 数据处理

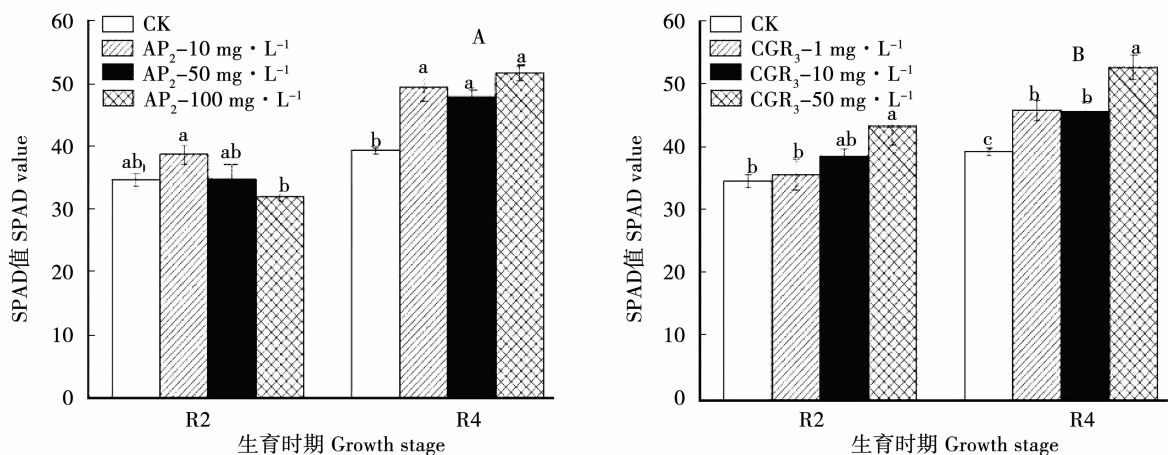
采用 Excel 2013 进行数据整理,SPSS 19 进行方差分析,Origin 9.1 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 新型植物生长调节剂浸种对大豆叶片叶绿素相对含量的影响

叶绿素含量在一定程度上可以反映作物生理活性的强弱^[13]。由图 1A 可知,在 R2 期,不同浓度 AP₂ 处理的 SPAD 值与 CK 之间差异不显著;随着生育进程的推进,在 R4 期,不同浓度 AP₂ 处理均显著增加了 SPAD 值,各处理分别比 CK 增加 25.30%、21.55% 和 31.05%,其中,以 100 mg·L⁻¹ AP₂ 处理效果为最好。

由图 1B 可知,在 R2 期,50 mg·L⁻¹ CGR₃ 处理的 SPAD 值显著高于 CK,较 CK 增加了 24.91%。1 mg·L⁻¹ 处理下大豆叶片 SPAD 值显著低于 50 mg·L⁻¹ 处理。在 R4 期,CGR₃ 调节剂的 3 个浓度处理均显著高于 CK,且 50 mg·L⁻¹ 处理下大豆叶片的 SPAD 值显著高于另外两个浓度处理。3 个 CGR₃ 处理下大豆叶片的 SPAD 值分别较 CK 增加了 16.60%、16.17% 和 33.92%。



同期内不同小写字母表示在 $P=0.05$ 水平上差异显著。下同。
Different lowercase indicate significant difference at $P<0.05$ level. The same as below.

图 1 AP₂ 和 CGR₃ 浸种对大豆 SPAD 值的影响

Fig. 1 Effects of AP₂ and CGR₃ seed soaking on SPAD value of soybean

2.2 新型植物生长调节剂浸种对大豆叶片净光合速率的影响

由图 2A 可知,在 R2 期,100 mg·L⁻¹ 处理下大豆叶片净光合速率显著高于 CK 和其它 2 个浓度处理,10 和 50 mg·L⁻¹ 的 AP₂ 均低于 CK,但不存在显著性差异。在 R4 期,100 mg·L⁻¹ 处理仍显著高于 CK 和其它 2 个浓度处理,另外两个浓度处理均高于 CK,但不存在显著性差异。

由图 2B 可知,在 R2、R4 两时期中,各处理间与同期 CK 相比均表现不同,在 R2 期,CGR₃ 各处理下大豆叶片净光合速率与 CK 相比,均显著降低,以 1 mg·L⁻¹ 处理最低;随着生育进程的推进,在 R4 期,CGR₃ 各处理下大豆叶片净光合速率均高于 CK,呈逐渐上升的趋势,总体表现 CK < 1 mg·L⁻¹ < 10 mg·L⁻¹ < 50 mg·L⁻¹,且 50 mg·L⁻¹ 处理下大豆叶片净光合速率较 CK 增加了 78.10%。

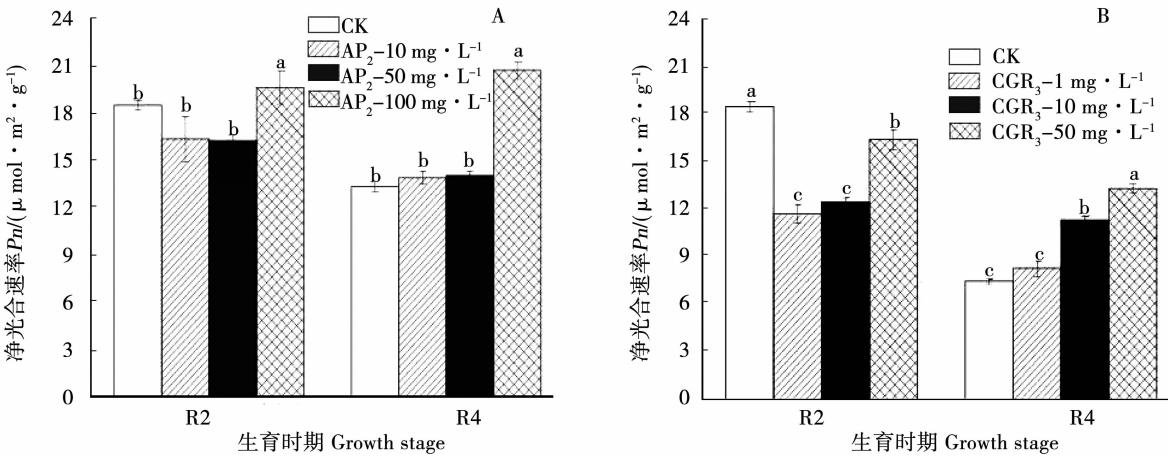


图 2 AP₂ 和 CGR₃ 浸种对大豆叶片净光合速率的影响

Fig. 2 Effect of soaking seeds with AP₂ and CGR₃ on net photosynthetic rate of soybean leaves

2.3 新型植物生长调节剂浸种对大豆叶片蒸腾速率的影响

由图 3A 可知,在 R2 期,AP₂ 处理下大豆叶片蒸腾速率在各处理中与同期 CK 相比均表现不同。大豆叶片蒸腾速率在 50 mg·L⁻¹ 处理和 100 mg·L⁻¹ 处理下较 CK 分别增加了 2.40% 和 14.75%。而大豆叶片蒸腾速率在 10 mg·L⁻¹ 处理下较 CK 降低了 12.17%。在 R4 时期,100 mg·L⁻¹ 处理下大豆叶片

蒸腾速率与 CK 之间差异最大,且达到了显著差异。
由图 3B 可知,在 R2 期,CGR₃ 各处理的大豆叶片蒸腾速率均低于 CK 但不存在显著性差异。而在 R4 时期,调节剂处理均低于 CK,10 和 50 mg·L⁻¹ 处理下的大豆叶片蒸腾速率与 CK 差异不显著,1 mg·L⁻¹ 处理的大豆叶片蒸腾速率与同期 CK 相比显著降低了 37.4%。

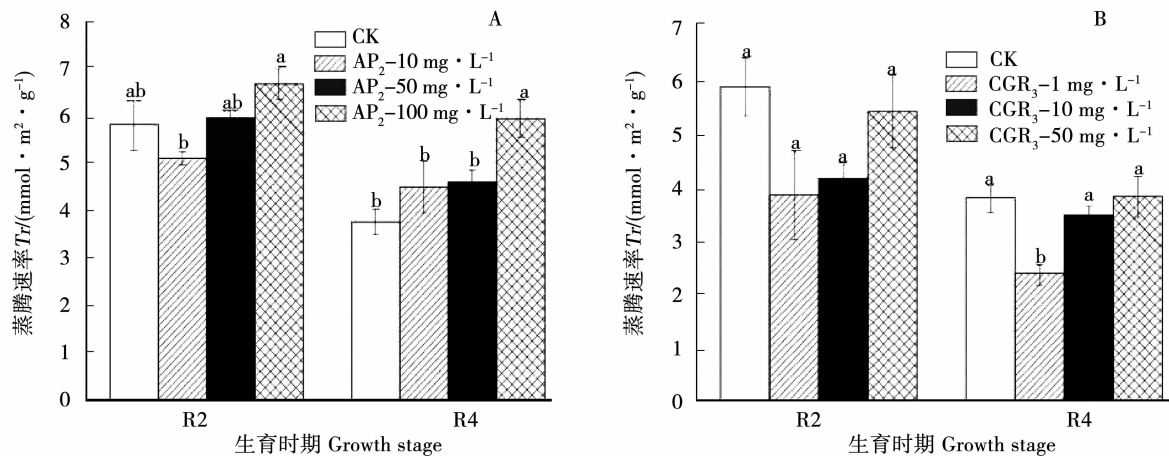


图3 AP_2 和 CGR_3 浸种对大豆叶片蒸腾速率的影响

Fig. 3 Effect of soaking seeds with AP_2 and CGR_3 on transpiration rate of soybean leaves

2.4 新型植物生长调节剂浸种条件下对大豆叶片气孔导度的影响

由图4A可知,在R2和R4期, AP_2 处理下3个浓度的大豆叶片气孔导度均显著高于CK,且3个浓度处理间存在显著性差异。其中在R2期,不同浓度 AP_2 处理的大豆叶片气孔导度表现为随着浓度的升高呈逐渐上升的趋势。在R4期,大豆叶片气孔导度则随着浓度的升高而降低。

由图4B可知,在R2期,1,10和 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理下的大豆叶片的气孔导度与同期CK相比基本表现为先下降后升高的趋势,其中, $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理和 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的大豆叶片气孔导度与CK之间相比差异最大,两处理与同期CK相比分别降低了41.91%和37.61%。在R4期, $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理和 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的大豆叶片气孔导度显著低于CK,而 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的大豆叶片气孔导度显著高于CK。

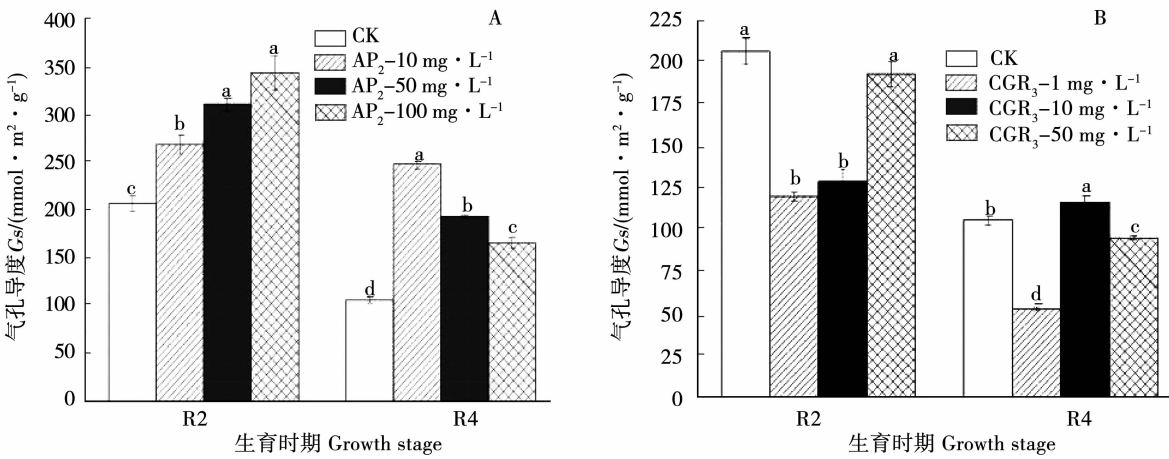


图4 AP_2 和 CGR_3 浸种对大豆气孔导度的影响

Fig. 4 Effects of soaking seeds of AP_2 and CGR_3 on stomatal conductance of soybean

2.5 新型植物生长调节剂浸种对大豆叶片胞间CO₂浓度的影响

由图5A可知,在R2期, AP_2 各处理浓度的大豆叶片胞间 CO_2 浓度与CK间无显著性差异。随着生育进程的推进,在R4期,与CK相比, AP_2 各处理间大豆叶片胞间 CO_2 浓度表均显著高于CK,具体表现为 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} > 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} > 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} > \text{CK}$,3个 AP_2 处理中 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的大豆叶片胞间 CO_2 浓度最低,但较CK增加了25.56%。

由图5B可知,在R2和R4期,大豆叶片胞间 CO_2 浓度在各处理间均表现不同。在R2期, $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理与 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的大豆叶片胞间 CO_2 浓度显著低于CK,分别较CK低18.93%和12.52%。在R4期,随着浸种浓度的递增, CGR_3 各处理的大豆叶片胞间 CO_2 浓度与CK相比呈先下降后升高的趋势,其中 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的大豆叶片胞间 CO_2 浓度显著高于CK。

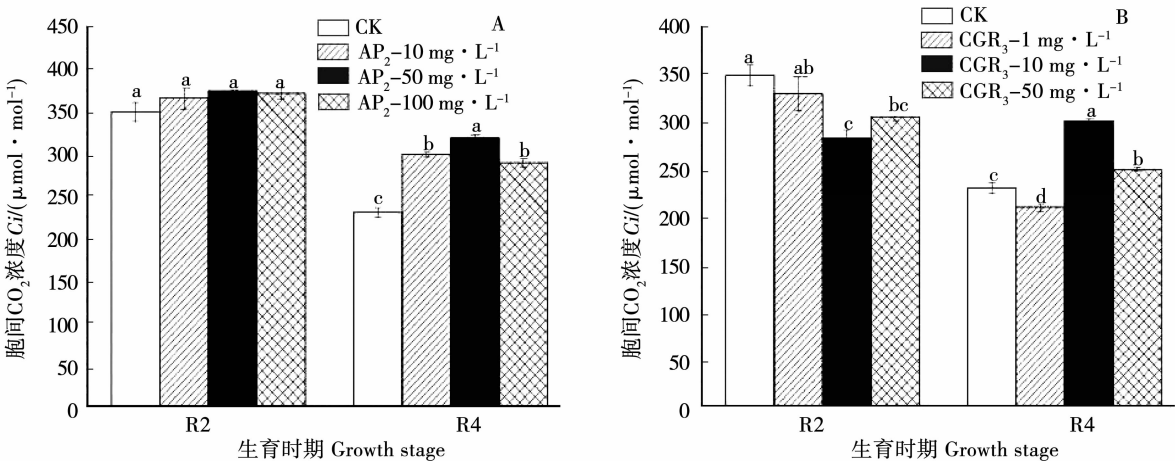


图5 AP₂和CGR₃浸种对大豆叶片胞间CO₂浓度的影响

Fig. 5 Effects of seed soaking with AP₂ and CGR₃ on intercellular CO₂ concentration in soybean leaves

2. 6 新型植物生长调节剂浸种对大豆产量及其构成因素的影响

产量及其产量构成因素分析表明:AP₂不同浓度浸种处理对大豆产量及其构成因素影响差异显著,AP₂处理下,大豆单株荚数、单株粒数均高于CK,且10 mg·L⁻¹处理和50 mg·L⁻¹处理显著高于CK。百粒重则表现为10 mg·L⁻¹和100 mg·L⁻¹的AP₂处理与CK差异不显著,50 mg·L⁻¹的AP₂处理显著低于CK。100 mg·L⁻¹的AP₂处理提高了合丰50的单株荚数、百粒重,从产量幅度上看,10 mg·L⁻¹处理和100 mg·L⁻¹处理均和对照存在显著性差异,分别比对照增加了12.32%和18.90%(表1)。

表1 AP₂浸种对大豆产量及构成因素的影响

Table 1 AP₂ effect of soaking seed on soybean yield and its components

处理 Treatment	单株荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)
CK	30.50 ± 0.25 b	59.32 ± 1.10 c	19.46 ± 0.02 a	3387.18 ± 23.50 b
10 mg·L ⁻¹	34.16 ± 0.88 a	68.39 ± 1.19 ab	19.63 ± 0.75 a	3804.59 ± 191.50 a
50 mg·L ⁻¹	33.56 ± 0.87 a	65.94 ± 0.96 b	17.83 ± 0.22 b	3242.20 ± 32.37 b
100 mg·L ⁻¹	31.39 ± 0.15 b	72.59 ± 2.86 a	20.56 ± 0.13 a	4027.49 ± 159.86 a

同列不同小写字母代表处理间差异显著(P<0.05)。下同。
Different lowercase in the same column indicate significant difference (P<0.05) between different treatment. The same as below.

由表2可知,10 mg·L⁻¹处理和50 mg·L⁻¹处理下的大豆单株荚数、单株粒数均显著高于CK处理,而CGR₃不同处理下的大豆百粒重与CK处理相比,无显著性差异;在50 mg·L⁻¹处理下的大豆单株粒数显著高于CK处理,比CK处理高18.62%。产量在不同处理间表现为1 mg·L⁻¹<CK<10 mg·L⁻¹<50 mg·L⁻¹。从产量幅度上看,50 mg·L⁻¹处增产最多,较对照增加了11.30%。

表2 CGR₃浸种对大豆产量及构成因素的影响

Table 2 CGR₃ effect of soaking seed on soybean yield and its components

处理 Treatment	单株荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)
CK	36.72 ± 1.21 bc	65.28 ± 2.42 b	19.46 ± 0.02 a	3686.07 ± 69.67 b
1 mg·L ⁻¹	32.56 ± 1.38 c	65.56 ± 2.07 b	19.24 ± 0.34 a	3658.83 ± 31.67 b
10 mg·L ⁻¹	45.94 ± 1.91 a	73.44 ± 2.13 a	18.95 ± 0.92 a	3807.58 ± 40.99 b
50 mg·L ⁻¹	41.33 ± 1.17 ab	80.22 ± 3.47 a	19.82 ± 0.17 a	4155.54 ± 50.46 a

3 讨论

叶绿素是参与光合作用的重要色素^[13]。其含量的多少可直接反映光合能力的强弱^[14]。杜吉到等^[15]认为单位面积上的叶绿素与产量呈正相关。本研究表明:合丰 50 经过 AP₂和 CGR₃不同浓度浸种处理后,在 R2 期,不同浓度 AP₂处理的叶片 SPAD 值与同期 CK 无显著差异;随着生育进程的推进,在 R4 期,AP₂各处理的叶片 SPAD 值显著高于 CK,其中以 100 mg·L⁻¹处理为最好;另一种调节剂 CGR₃不同浓度浸种处理后,在 R2 期和 R4 期均呈直线上升的趋势,其中以 50 mg·L⁻¹为最好。进一步说明新型植物生长调节剂不同浓度浸种处理可以有效提高大豆叶片中叶绿素含量,有利于功能叶片光合产物的合成与积累,从而有利于籽粒产量的提高和品质的改善。

植物生长调节剂在调控植物的光合作用、物质分配及产量形成的过程中具有重要的作用^[16-18]。陈杭芳等^[19]研究表明,NaHSO₃浸种处理能提高茶树叶片的光合速率。本研究结果表明:两种植物生长调节剂浸种对大豆盛花期和盛荚期的光合特性影响不尽相同。在 R4 期,100 mg·L⁻¹的 AP₂处理和 50 mg·L⁻¹的 CGR₃处理大豆叶片净光合速率和叶片蒸腾速率均有所提高,这与前人研究结果类似。AP₂处理显著提高了叶片的气孔导度和胞间 CO₂浓度,而 CGR₃处理则整体表现为,叶片 CO₂浓度升高,叶片气孔导度下降。说明两种调节剂浸种能够促进大豆叶片的光合作用,这与李金才等^[20]在小麦上的研究结果一致。CGR₃处理使叶片气孔导度下降有可能与 CGR₃处理地势低洼、以及生育后期受到雨水天气影响有关。

产量是评价作物品种优劣的重要指标,孔庆全等^[21]认为,赤霉素对大豆产量的提高具有显著效果。本研究表明:两种植物生长调节剂浸种不同程度上增加了大豆单株粒数和单株荚数,同时提高了合丰 50 的产量,以 100 mg·L⁻¹的 AP₂处理和 50 mg·L⁻¹的 CGR₃处理对大豆产量提高效果最为显著,较 CK 分别增加了 18.90% 和 11.30%。两种调节剂处理均有增产的效应,说明两种调节剂浸种处理后,对大豆单株荚数和单株粒数具有一定的调控作用,这种调控作用有效提高了大豆产量。

4 结论

本试验通过浸种处理,初步筛选出了对大豆产量提高有较好效果的两种新型植物生长调节剂浓度分别为 100 mg·L⁻¹AP₂和 50 mg·L⁻¹CGR₃。两处

理均提高了大豆叶片的光合速率,促进了光合同化产物的积累,有利于产量的提高,证明了化学调控技术在提高大豆光合效应及其产量方面具有发展的潜力。关于这两种生长调节剂的施用方式对大豆光合生理过程及产量的影响研究有待进一步探索。

参考文献

[1] 冯乃杰,孙聪姝,宋柏权,等. 调节剂对大豆产量形成的影响及其机理研究[J]. 大豆科学,2007,26(5):700-704. (Feng N J, Sun C Z, Song B Q, et al. Effects of regulators on soybean yield and its mechanism [J]. Soybean Science, 2007, 26(5): 700-704.)

[2] 肖昌珍,吴明才,陈吾新. 多效唑对大豆的生理效应[J]. 中国油料,1990(4):51-54. (Xiao C Z, Wu M C, Chen W X. Physiological effects of paclobutrazol on soybean [J]. China Oil Press, 1990(4):51-54.)

[3] 俞美玉,陶龙兴,姚福德,等. MET 对大豆株型的调节作用及增产效果[J]. 浙江农业科学,1991(1):18-21. (Yu M Y, Tao L X, Yao F D, et al. Effects of MET on the regulation of soybean plant type and yield increase [J]. Zhejiang Agricultural Sciences, 1991(1): 18-21.)

[4] 白嵩,李德春,白宝璋,等. PP333 水培对大豆苗期生长的影响[J]. 大豆科学,1995,14(4):360-363. (Bai S, Li D C, Bai B Z, et al. Effect of hydroponics with PP333 on the growth of soybean seedlings [J]. Soybean Science, 1995, 14(4): 360-363.)

[5] 许艳丽,李兆林,韩晓增,等. 壮丰安对大豆生长发育及产量的调控研究[J]. 大豆科学,1999,18(4):355-360. (Xu Y L, Li Z L, Han X Z, et al. Study on regulation of growth, development and yield of soybean by Zhuangfeng'an [J]. Soybean Science, 1999, 18(4): 355-360.)

[6] 张保军,杨文平,梁明勤,等. 天达-2116 对冬小麦生长发育、产量和品质的调节效应[J]. 麦类作物学报,2003,23(1):75-78. (Zhang B J, Yang W P, Liang M Q, et al. Regulation effects of Tianda-2116 on growth, development, yield and quality of winter wheat [J]. Journal of Triticeae Crops, 2003, 23(1): 75-78.)

[7] 曹宏,张希彪,陈靠山. 天达 2116 浸种对小麦种子萌发及幼苗抗旱性的影响[J]. 中国农学通报,2001,17(6):24-27. (Cao H, Zhang X B, Chen K S. Effects of soaking seeds of Tianda 2116 on seed germination and seedling drought resistance of wheat [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2001, 17(6): 24-27.)

[8] 闫秋洁,刘再婕. 乙烯利浸种对聚乙二醇胁迫下玉米种子萌发的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(3):53-58. (Yan Q J, Liu Z J. Effects of seed soaking with ethylene on seed germination of maize under polyethylene glycol stress [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(3): 53-58.)

[9] 雷晓天,郭志刚,赵甫合,等. 新型植物生长调节剂“新丰王”应用效果及作用机理研究[J]. 河南职业技术学院报,1999,27(2):26-29. (Lei X T, Guo Z G, Zhao F H, et al. Application effect and mechanism of new plant growth regulator ‘Xinfeng Wang’ [J]. Journal of Henan Vocational Technical College, 1999, 27(2): 26-29.)

[10] 蒋莲芝,樊亚娟,刘俊环,等. 大豆应用多效唑试验效果初探[J]. 大豆科技,2001(5):6. (Jiang L Z, Fan Y J, Liu J H, et al. Preliminary studies of paclobutrazol in soybean[J]. Soybean Bulletin, 2001(5):6.)

[11] 张瑞鹏,杨德忠,傅连舜,等. 不同来源大豆品种光合速率日变化及其影响因子的研究[J]. 大豆科学,2007,26(4):490-496. (Zhang R P, Yang D Z, Fu L Y, et al. Diurnal changes of photosynthetic rate of soybean cultivars from different sources and their affecting factors[J]. Soybean Science, 2007, 26(4): 490-496.)

[12] 蔡光容,郑殿峰,李冰,等. 1-(3-氨基-[1,2,4]三唑-1-基)-3,3-二甲基-丁-2-酮的合成、晶体结构及植物生长调节活性研究[J]. 结构化学,2017,36(4):599-604. (Cai G R, Zheng D F, Li B, et al. Synthesis, crystal structure and plant growth regulation of 1-(3-amino-[1,2,4,] triazol-1-yl)-3,3-dimethyl-butan-2-one activity research[J]. Structural Chemistry, 2017, 36(4):599-604.)

[13] 曹娜,于海秋,王绍斌,等. 高产玉米群体的冠层结构及光合特性分析[J]. 玉米科学,2006,14(5):94-97. (Cao N, Yu H Q, Wang S B, et al. Canopy structure and photosynthetic characteristics of high-yield maize populations[J]. Corn Science, 2006, 14(5): 94-97.)

[14] 王宏伟,闫旭宇,李玲. 不同浓度的五种除草剂对枣树叶绿素含量的影响[J]. 安徽农学通报,2007,13(10):124-125. (Wang H W, Yan X Y, Li L. Effects of different concentrations of five herbicides on chlorophyll content of jujube leaves[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2007,13(10):124-125.)

[15] 杜吉到,郑殿峰,梁喜龙,等. 不同栽培条件下大豆主要叶部性状与产量关系的研究[J]. 中国农学通报,2006,22(8):183-183. (Du J D, Zheng D F, Liang X L, et al. Research of relativity between main traits of leaves and yield of soybean under different planting conditions[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(8):183-186.)

[16] 师生波,李惠梅,王学英,等. 青藏高原几种典型高山植物的光合特性比较[J]. 植物生态学报,2006,30(1):40-46. (Shi S B, Li H M, Wang X Y, et al. Comparison of photosynthetic characteristics of several typical alpine plants on the Tibetan Plateau[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2006, 30(1):40-46.)

[17] 刘厚诚,黄红星,孙光闻,等. 温光处理对节瓜幼苗光合作用的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2006,37(3):386-389. (Liu H C, Huang H X, Sun G W, et al. Effects of temperature-light treatment on photosynthesis of *Z. cucumis* seedlings[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2006, 37(3):386-389.)

[18] 黄少白,戴秋杰,王志霞,等. 紫外光 B 辐射对菠菜和小白菜叶片氮代谢的影响[J]. 江苏农业学报,1999,15(1):12-16. (Huang S B, Dai Q J, Wang Z X, et al. Effects of ultraviolet B radiation on nitrogen metabolism in leaves of spinach and pakchoi[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 1999, 15(1):12-16.)

[19] 陈杭芳,胡民强,杨勇,等. 喷布低浓度 NaHSO₃ 溶液对茶树抗寒性的影响[J]. 浙江农业学报,2007,19(3):184-187. (Chen H F, Hu M Q, Yang Y, et al. Effects of spraying low concentration of NaHSO₃ solution on cold resistance of tea plant[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2007, 19(3):184-187.)

[20] 李金才,董琦. 不同生育期根际土壤淹水对小麦品种光合作用和产量的影响[J]. 作物学报,2001,27(4):434-441. (Li J C, Dong Q. Effects of waterlogging in rhizosphere soil of different growth stages on photosynthesis and yield of wheat cultivars[J]. Acta Agronomica Sinica, 2001, 27(4):434-441.)

[21] 孔庆全. 赤霉素 CAU-2 对大豆的增产效果及其喷施方法[J]. 内蒙古农业科技,2000(5):22-23. (Kong Q Q. Effect of gibberellin CAU-2 on soybean yield and spraying methods[J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2000(5):22-23.)