



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

梁晓艳¹, 刘春娟¹, 冯乃杰^{1,2}, 郑殿峰^{1,2}, 卢洁春¹, 项洪涛³

(1. 黑龙江八一农垦大学 农学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 广东海洋大学 农学院, 广东 湛江 524000; 3. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为探究两种不同类型植物生长调节剂对大豆叶片昼夜同化物生理代谢的影响,以两个大豆品种合丰 50 和垦丰 16 为试验材料,于始花期叶面喷施烯效唑(S_{3307})和 2-N,N-二乙氨基乙基己酸酯(DTA-6),在鼓粒期的一昼夜内依次选取 9:30、17:30、21:30 和 5:30(次日)4 个时间点,测定功能叶片中蔗糖含量、淀粉含量、淀粉转化率、蔗糖代谢关键酶活性,并于成熟期测产。结果表明: S_{3307} 和 DTA-6 处理均能促进两品种叶片蔗糖和淀粉在白天的积累和夜间的降解,且 S_{3307} 对两品种叶片蔗糖的调控效果优于 DTA-6,DTA-6 调控两品种叶片淀粉的作用效果优于 S_{3307} 。在不同时间点 S_{3307} 和 DTA-6 处理均能够提高两品种叶片夜间蔗糖和淀粉转运率。 S_{3307} 和 DTA-6 处理能够提高两品种叶片蔗糖合酶和蔗糖磷酸合酶活性,且均在 17:30 达最大值; S_{3307} 和 DTA-6 在整个昼夜变化中提高两品种蔗糖转化酶的活性。 S_{3307} 和 DTA-6 能够有效调控两品种的单株荚数和单株粒数,提高产量, S_{3307} 和 DTA-6 处理合丰 50 产量与对照相比分别增加 17.76% 和 37.67%,垦丰 16 产量与对照相比分别增加 11.34% 和 32.49%。综上所述, S_{3307} 和 DTA-6 处理均能通过促进叶片昼夜同化物代谢,提高合丰 50 和垦丰 16 大豆品种产量。

关键词:植物生长调节剂;大豆;昼夜;蔗糖代谢;产量

The Effects of Two Growth Regulators on Diurnal Assimilate Physiological Metabolism Variation of Soybean Leaves and Yield

LIANG Xiao-yan¹, LIU Chun-juan¹, FENG Nai-jie^{1,2}, ZHENG Dian-feng^{1,2}, LU Jie-chun¹, XIANG Hong-tao³

(1. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2. Agricultural College, Guangdong Ocean University, Zhenjiang 524000, China; 3. Institute of Crop Cultivation and Tillage, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to investigate the effects of two different plant growth regulators on diurnal variation in physiological metabolism of assimilate in soybean leaves and yield, two soybean varieties, Hefeng 50 and Kenfeng 16, were used as experimental materials. The leaves were sprayed with uniconazole (S_{3307}) and 2-N,N-diethylamino ethylcaproate (DTA-6) in the field at early flowering stage, and the control was sprayed with water. Four time points, 9:30, 17:30, 21:30 and 5:30 (the next day), were selected in one day at seed filling stage. The functional leaves of soybean were taken at each treatment, and the contents of sucrose, starch and the activities of key enzymes in sucrose metabolism were determined. Then the yield was determined at maturation stage. The results showed that, both S_{3307} and DTA-6 could promote the accumulation of sucrose and starch in the leaves of the two cultivars during the day and the degradation at night. Moreover, the effect of S_{3307} on the regulation of leaf sucrose were better than that of DTA-6, and the effect of DTA-6 on the regulation of leaf starch of the two cultivars were better than that of S_{3307} . At different time points, S_{3307} and DTA-6 treatments increased the sucrose and starch transport rate in leaves of Hefeng 50 and Kenfeng 16 at night, S_{3307} and DTA-6 treatments increased the activities of sucrose synthase and sucrose phosphate synthase in leaves of two cultivars and reached the maximum at 17:30, which was propitious to the synthesis of sucrose during the day. S_{3307} and DTA-6 increased the activity of sucrose invertase during the day and night, S_{3307} and DTA-6 could effectively regulate the number of pods per plant and seed per plant, and finally increase the yield. The yield of Hefeng 50 treated with S_{3307} and DTA-6 increased 17.76% and 37.67% respectively compared with the control, and the yield of Kenfeng 16 increased 11.34% and 32.49% respectively compared with the control. It concluded that both S_{3307} and DTA-6 could increase the yield of Hefeng 50 and Kenfeng 16 soybean varieties by promoting leaf diurnal assimilate metabolism.

Keywords: Plant growth regulators (PGRs); Soybean; Diurnal variation; Carbohydrate metabolism; Yield

光合产物对作物产量贡献率高达 90% ~ 95%^[1],如最常见的蔗糖和淀粉,在作物产量建成中起到至关重要的作用。淀粉是大豆主要的光合

产物和主要贮藏形式,白天在叶绿体基质中合成,并暂时贮存,然后在夜间以蔗糖的形式输出到植株的其他部分^[2]。特别在大豆鼓粒期,淀粉昼积夜出

收稿日期:2018-10-23

基金项目:国家自然科学基金(31171503,31271652);国家重点研发计划(2017YFD0201306-03);黑龙江省自然科学基金(ZD2017003);黑龙江省杰出青年基金(JC201309);黑龙江农垦总局科技攻关(HNK12A-06-03,HNK12A-09-02)。

第一作者简介:梁晓艳(1992-),女,硕士,主要从事作物化控研究。E-mail:lx20124011105@126.com。

通讯作者:冯乃杰(1970-),女,博士,教授,主要从事作物化学调控研究。E-mail:byndfnj@126.com;

郑殿峰(1969-),男,博士,教授,主要从事作物化学调控研究。E-mail:byndzdf@126.com。

现象加重,用来供给籽粒建成。白天淀粉积累和夜间淀粉降解代表着碳净盈余与亏缺之间的交替。蔗糖是大多数植物碳的主要运输形式,作为碳代谢过程的核心物质,蔗糖是淀粉和果糖之间碳水化合物代谢和相互转化的来源,对源库中碳水化合物的合成和代谢具有重要意义。初级蔗糖代谢由几种酶控制,包括蔗糖转化酶(invertase, INV, E. C. 3. 2. 1. 26)、蔗糖合成酶(sucrose synthase, SS, E. C. 2. 4. 1. 13)和蔗糖磷酸合成酶(sucrose phosphate synthase, SPS, E. C. 2. 4. 1. 14)^[3-5]。转化酶是水解蔗糖的关键酶,可将蔗糖水解成相同量的果糖和葡萄糖,而 SS 主要是将运输到籽粒中的蔗糖降解进而合成淀粉等多糖^[6]。SPS 具有调节光合产物向蔗糖和淀粉分配比例的重要功能,与蔗糖合成具有极显著的相关性^[7]。

应用植物生长调节剂(plant growth regulators, PGRs)是提高植物同化物积累的有效途径之一。研究表明 DTA-6 和 S₃₃₀₇ 处理能够提高同化物在大豆荚内的代谢水平,有利于同化物的转运和积累,增加豆荚中的碳水化合物含量^[8-9]。相关研究报道,鼓粒期叶喷 S₃₃₀₇ 可调控绿豆光合特性,提高植株不同器官可溶性糖和蔗糖含量^[10]。应用 S₃₃₀₇ 后水稻叶片总糖含量和可溶性糖含量在灌浆前、中期提高,为籽粒内淀粉的合成奠定了物质基础^[11]。研究表明,低浓度的 DTA-6 可以促进碳水化合物代谢和物质积累,产量提高显著,叶喷 DTA-6 能提高马铃薯块茎膨大期地下主茎的转化酶活性和蔗糖的含量^[12]。以往关于植物生长调节剂对大豆碳水化合物代谢的影响的研究多是针对某一阶段或某一生育时期来研究的^[13-15],鼓粒期是大豆产量建成的关键时期,本研究选取鼓粒中期的一昼夜,探究两种植物生长调节剂对于大豆叶片昼夜碳水化合物代谢及关键酶活性的调控效应,为两种植物生长调节剂在大豆上的合理使用及大豆高效生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试品种 选用亚有限结荚习性品种合丰 50 和垦丰 16 为试验材料。

1.1.2 供试植物生长调节剂 供试植物生长调节剂为 S₃₃₀₇ (uniconazole) 和 DTA-6 (2-N, N-diethylamino ethylcaproate), 以上两种植物生长调节剂由黑龙江八一农垦大学化控中心提供。

1.2 试验设计

本试验在黑龙江省林甸县黑龙江八一农垦大

学试验基地(N47. 18°, E124. 87°) 进行。试验地土壤类型为草甸黑钙土,地势平坦、肥力均匀,0 ~ 20 cm 耕层土壤基本养分状况为碱解氮 136 mg·kg⁻¹;速效磷 13. 82 mg·kg⁻¹;速效钾 205 mg·kg⁻¹;有机质 33 g·kg⁻¹;pH7. 9。

试验采用随机区组设计,试验设 6 个处理:(1)合丰 50 喷施清水(H-CK);(2)合丰 50 喷施 DTA-6 (H-D);(3)合丰 50 喷施 S₃₃₀₇ (H-S);(4)垦丰 16 喷施清水(K-CK);(5)垦丰 16 喷施 DTA-6 (K-D);(6)垦丰 16 喷施 S₃₃₀₇ (K-S)。每个处理 4 次重复。DTA-6 浓度为 60 mg·L⁻¹, S₃₃₀₇ 浓度为 50 mg·L⁻¹,以喷施清水为对照(CK),于始花期(R1)进行叶面喷施,喷液量均为 225 L·hm⁻²。小区为 6 行区,行长 5 m,行距 0. 65 m,区间过道 1 m。

在鼓粒期的一昼夜(喷施植物生长调节剂后的 39 d),依次在 9:30、17:30、21:30 和 5:30(次日)4 个时间点取样。每个小区选取 10 株代表性植株,选取功能叶片速冻于液氮中,再转入 -40℃ 冰箱中保存。待样品全部收集完毕后,统一测定蔗糖、淀粉含量及蔗糖转化酶(INV)、蔗糖合成酶(SS)和蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性等指标。

1.3 测定项目与方法

蔗糖和淀粉提取及测定参照张志良等^[16]方法。夜间叶片蔗糖转运率(%) = (17:30 时蔗糖含量 - 5:30(次日)时蔗糖含量)/17:30 时蔗糖含量 × 100;淀粉同。

蔗糖转化酶、蔗糖合成酶和蔗糖磷酸合成酶活性的提取和测定参照 Yadav 等^[17]方法。

产量及产量构成因素:于成熟期,每小区选取 10 株大豆,统计其单株荚数、单株粒数和百粒重。按公式计算产量:产量(kg·hm⁻²) = 单株粒数 × 百粒重 × 公顷株数/1 × 10⁵

1.4 数据分析

试验采用 Excel 2007 软件进行数据的处理;采用软件 SPSS 19. 0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 植物生长调节剂对大豆叶片昼夜同化物生理代谢的影响

2.1.1 对大豆叶片昼夜蔗糖含量的影响 如图 1 显示,对合丰 50 来说,白天 9:30 ~ 17:30, H-S 和 H-D 处理的叶片蔗糖增加量分别比 H-CK 高 7. 46% 和 2. 85%;17:30 ~ 5:30(次日), H-CK、H-S 和 H-D 处理叶片蔗糖含量均下降, H-S 和 H-D 的叶片蔗糖下降量分别比 H-CK 高 19. 75% 和 12. 70%。对垦丰 16 来说,各测定时间 S₃₃₀₇ 和 DTA-6 处理的蔗糖含量

均高于CK。白天9:30~17:30,除K-CK处理叶片的蔗糖含量略有下降外,K-S和K-D处理的蔗糖含量均有所提高,其中K-S和K-D处理的叶片蔗糖增加量分别比K-CK高19.03%和21.13%;17:30~

5:30(次日),K-S和K-D处理的叶片蔗糖下降量分别比K-CK高18.71%和12.21%。总的来说,两种植物生长调节剂均能促进两大豆品种叶片蔗糖在白天的积累和夜间的降解,S₃₃₀₇作用效果较好。

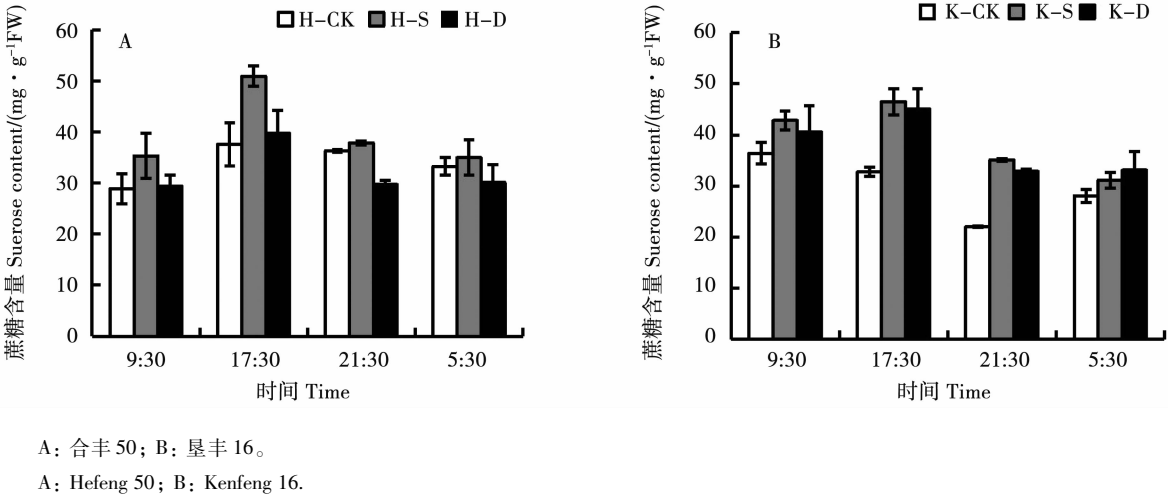


图1 植物生长调节剂对大豆叶片昼夜蔗糖含量的影响

Fig. 1 Effect of PGRs on sucrose content in soybean leaf during day and night

2.1.2 对大豆叶片昼夜淀粉含量影响 如图2所示:两品种各处理叶片中淀粉含量的变化趋势相同。对合丰50来说,白天9:30~17:30,H-S和H-D的叶片淀粉含量均高于H-CK,H-S和H-D处理的叶片淀粉增加量分别比H-CK高4.27%和24.87%;17:30~5:30(次日),H-CK、H-S和H-D处理叶片淀粉含量均下降,H-S和H-D的叶片蔗糖下降量分别比H-CK高14.12%和15.31%。对垦丰

16来说,各测定时间S₃₃₀₇处理的淀粉含量均高于CK。白天9:30~17:30,K-S和K-D处理的叶片淀粉增加量分别比K-CK高3.62%和15.62%;17:30~5:30(次日),K-CK、K-S和K-D处理叶片淀粉含量均下降,K-S和K-D的叶片淀粉下降量分别比K-CK高6.15%和7.92%。由此可以看出,两种植物生长调节剂均能促进两大豆品种叶片淀粉在白天的积累和夜间的降解,DTA-6的作用效果优于S₃₃₀₇。

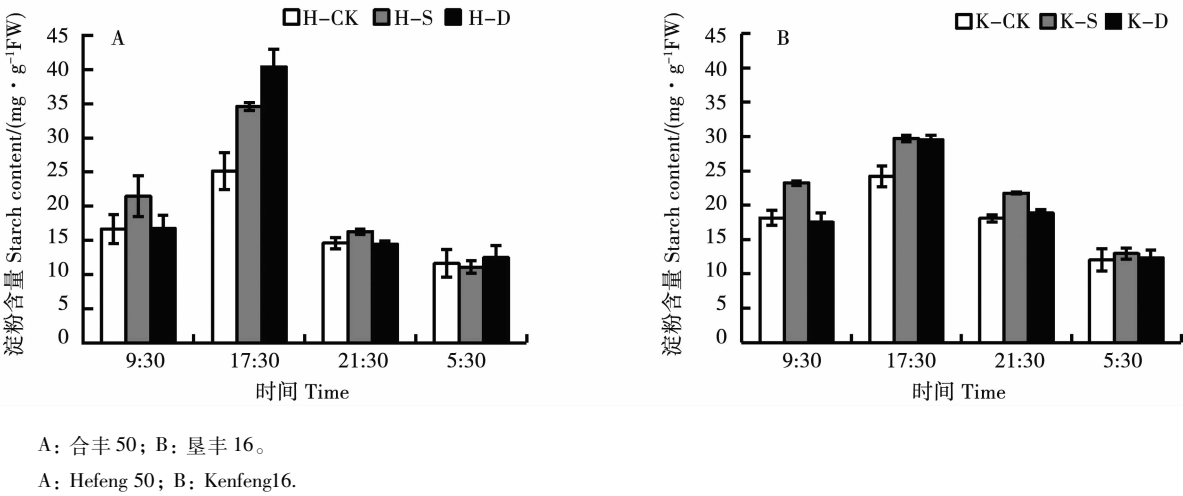


图2 植物生长调节剂对大豆叶片昼夜淀粉含量的影响

Fig. 2 Effect of PGRs on starch content in soybean leaf during day and night

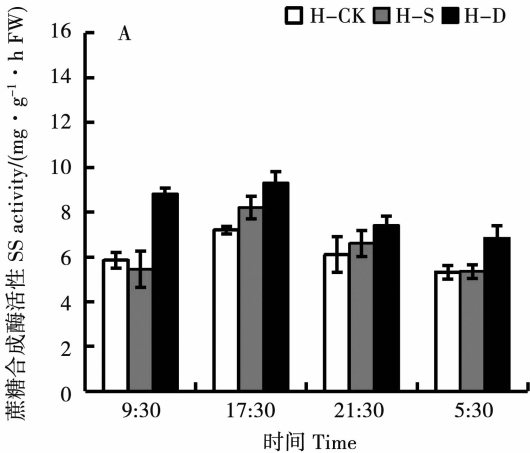
2.1.3 对夜间大豆叶片蔗糖和淀粉转运率影响 由表2可知,17:30~5:30(次日),S₃₃₀₇和DTA-6处理均提高了合丰50和垦丰16叶片夜间大豆叶片蔗糖和淀粉转运率。H-S和H-D的叶片蔗糖转运率分别比H-CK高16.32%和13.66%,淀粉转运率分别比H-CK高14.30%和15.52%;K-S和K-D的叶

片蔗糖转运率分别比K-CK高18.79%和11.93%,淀粉转运率分别比K-CK高6.16%和8.07%。说明S₃₃₀₇对夜间两品种叶片蔗糖转运率的调控效果较好,而DTA-6对于夜间两品种叶片淀粉转运率的调控效果较好;两种植物生长调节剂对夜间合丰50大豆叶片蔗糖和淀粉转运率的调控效果更好。

表 1 植物生长调节剂对夜间大豆叶片蔗糖和淀粉转运率影响
Table 1 Effects of PGRs on sucrose and starch transport rate in soybean leaf at night

处理 Treatment	夜间转运率 Night transport rate/%	
	蔗糖 Sucrose	淀粉 Starch
H-CK	15.09 ± 1.23 b	53.54 ± 4.29 b
H-S	31.41 ± 2.05 a	67.84 ± 0.67 a
H-D	28.75 ± 1.90 a	69.06 ± 0.77 a
K-CK	14.21 ± 0.95 b	50.00 ± 4.34 a
K-S	33.00 ± 0.61 a	56.16 ± 4.12 a
K-D	26.14 ± 4.92 a	58.07 ± 2.49 a

不同大小写字母分别表示处理间在 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 水平存在显著性差异。下同。
Different capital and lowercase mean there is significant difference at $P < 0.01$ and $P < 0.05$ level respectively. The same below.



A: 合丰 50; B: 垦丰 16。
A: Hefeng 50; B: Kenfeng16.

2.2 植物生长调节剂对大豆叶片昼夜同化物生理代谢相关酶活性的影响

2.2.1 大豆叶片昼夜蔗糖合成酶活性变化 如图 3 所示; S_{3307} 和 DTA-6 对两品种叶片的 SS 活性调控效果相同,均呈现先上升后下降的趋势,且均在 17:30 有最大值。除 9:30 外,其余各取样时间点合丰 50 各处理叶片 SS 活性均表现为 $H-D > H-S > H-CK$;在 17:30, $H-S$ 和 $H-D$ 的叶片 SS 活性分别比 $H-CK$ 高 13.89% 和 29.17%;17:30 ~ 5:30(次日),各处理叶片 SS 活性呈下降趋势,至 5:30 活性降至最低。垦丰 16 各处理叶片 SS 活性在所有取样时间点均表现 $K-D > K-S > K-CK$;在 17:30, $K-S$ 和 $K-D$ 叶片 SS 活性分别比 $K-CK$ 高 7.6% 和 40.18%;17:30 ~ 5:30(次日),各处理叶片 SS 活性至 5:30(次日)降至最低。说明植物生长调节剂能够提高两品种叶片的 SS 活性,有利于蔗糖的合成,DTA-6 的作用效果更好。

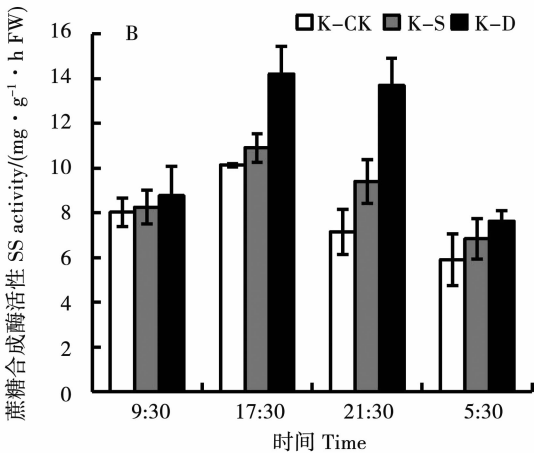


图 3 植物生长调节剂对大豆叶片昼夜蔗糖合成酶(SS)活性的影响
Fig. 3 Effect of PGRs on SS activity in soybean leaf during day and night

2.2.2 大豆叶片昼夜蔗糖磷酸合成酶活性变化 如图 4 所示, $H-S$ 和 $H-D$ 叶片 SPS 活性呈现先上升后下降的趋势,而 $H-CK$ 则表现为上升 - 下降 - 上升的趋势;在所有取样时间点,合丰 50 各处理叶片 SPS 活性均表现为 $H-D > H-S > H-CK$;9:30 ~ 17:30,合丰 50 各处理叶片 SPS 活性升高,至 17:30 达最大值,与 $H-CK$ 相比, $H-S$ 和 $H-D$ 叶片 SPS 活性分别升高 5.04% 和 30.47%。垦丰 16 各处理叶片 SPS 活性均呈先上升后下降的趋势;除 5:30(次日)外,其余各取样时间点各处理叶片 SPS 活性表现为 $K-S > K-D > K-CK$;在 17:30,各处理 SPS 活性达最大值, $K-S$ 和 $K-D$ 分别比 $K-CK$ 高 14.25% 和 9.46%;17:30 ~ 5:30(次日),SPS 活性呈下降趋势,至 5:30(次日)降至最低。总体来看植物生长调节剂可提高两品

种叶片 SPS 活性,有利于蔗糖的合成;DTA-6 在合丰 50 上的应用效果较好, S_{3307} 在垦丰 16 上的应用效果较好。
2.2.3 大豆叶片昼夜蔗糖转化酶活性变化 如图 5 所示,喷施 S_{3307} 和 DTA-6 对两品种叶片中 INV 活性有明显的调控作用。除 17:30,其余测定时间内合丰 50 各处理叶片 INV 活性表现为 $H-S > H-D > H-CK$;白天 9:30, $H-S$ 和 $H-D$ 处理的叶片 INV 活性与 $H-CK$ 相比达到最大差异,分别比 $H-CK$ 增加 37.10% 和 30.93%。夜间 17:30 ~ 5:30(次日), $H-S$ 和 $H-D$ 处理叶片 INV 均高于 $H-CK$,有利于叶片中同化物向籽粒的转运。除 5:30,其余测定时间内垦丰 16 各处理叶片 INV 活性表现为 $K-S > K-D > K-CK$;9:30 ~ 17:30,垦丰 16 各处理叶片 INV 活性呈

下降趋势,且在 9:30 达到峰值;17:30,处理与对照差异达最大值,K-S 和 K-D 与 K-CK 叶片 INV 活性分别增加 29.22% 和 24.00%。总体来说,S₃₃₀₇ 和

DTA-6 在整个昼夜变化中大部分时间促进了两品种 INV 活性的增加,加快了叶片中同化物转运。

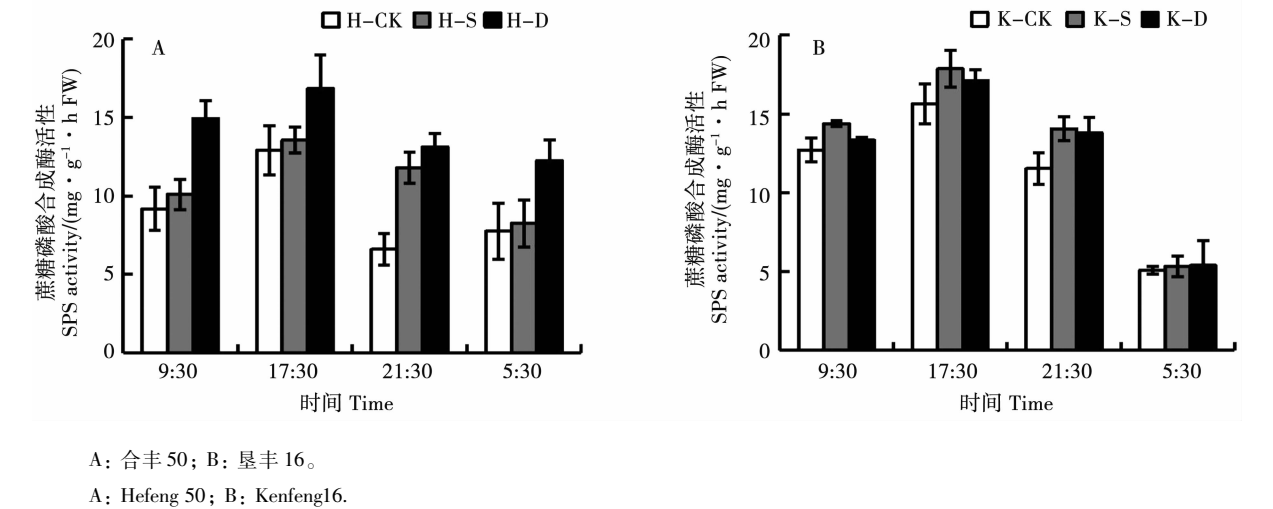


图 4 植物生长调节剂对大豆叶片昼夜蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 活性的影响
Fig. 4 Effect of PGRs on SPS activity in soybean leaf during day and night

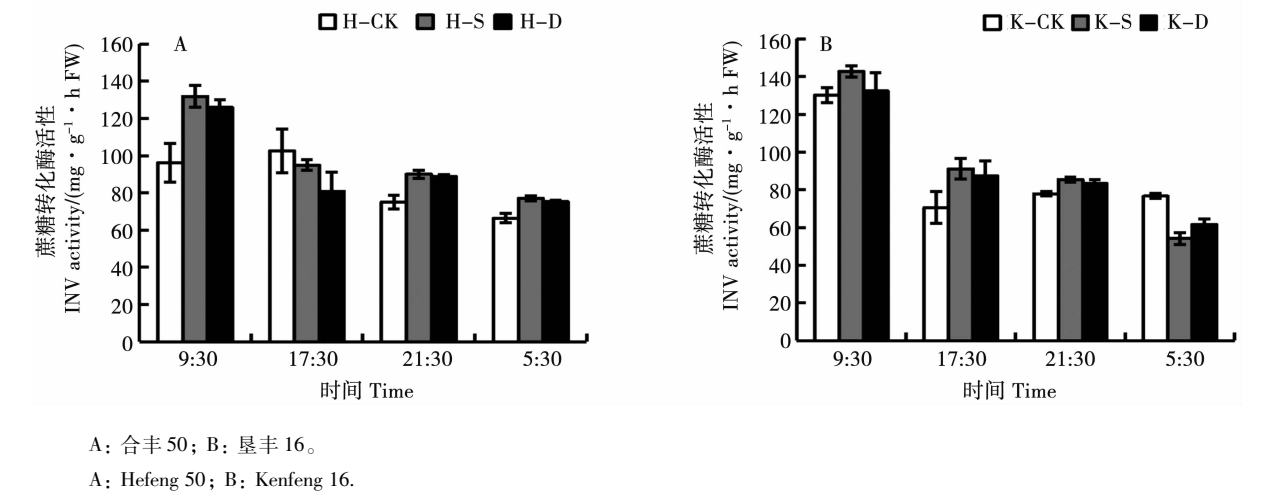


图 5 植物生长调节剂对大豆叶片昼夜蔗糖转化酶 (INV) 活性的影响
Fig. 5 Effect of PGRs on INV activity in soybean leaf during day and night

2.3 植物生长调节剂对大豆产量及产量构成因素的影响

如表 2 所示,S₃₃₀₇ 和 DTA-6 处理均有效改善了合丰 50 和垦丰 16 的产量构成因素。两处理极显著增加了两大豆品种的单荚粒数和单株粒数,而对大

豆百粒重的调控效果并不显著,最终均增加了大豆产量,H-S 和 H-D 与 H-CK 相比产量分别增加 17.76% 和 37.67%;K-S 和 K-D 与 K-CK 相比产量分别增加 11.34% 和 32.49%。

表 2 植物生长调节剂对大豆产量及产量构成因素的影响

Table 2 Effect of plant growth regulators on yield and yield components of soybean				
处理 Treatment	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)
H-CK	28.14 ± 1.19 cC	48.13 ± 0.54 cC	18.97 ± 0.55 aA	2556.47 ± 288.03 cB
H-S	31.58 ± 0.71 bB	56.08 ± 1.09 bB	18.87 ± 0.33 aA	3010.60 ± 291.67 bB
H-D	36.45 ± 0.97 aA	64.96 ± 0.52 aA	19.35 ± 0.70 aA	3519.53 ± 260.40 aA
K-CK	29.83 ± 0.50 cC	46.68 ± 3.34 cC	16.73 ± 0.54 aA	2186.68 ± 64.50 cC
K-S	35.06 ± 0.84 bB	51.27 ± 1.86 bB	16.96 ± 0.80 aA	2434.71 ± 162.89 bB
K-D	37.10 ± 1.11 aA	59.4 ± 1.01 aA	17.42 ± 0.38 aA	2897.29 ± 99.12 aA

3 讨 论

3.1 植物生长调节剂对大豆叶片昼夜同化物生理代谢的影响

作物叶片中的蔗糖含量与光照关系密切,有学者在对甜菜的研究中指出:在开始光照的几小时内,蔗糖含量较高,而达到黑暗前维持较低水平,淀粉作为暂时的碳水化合物存储在叶片中^[18-19]。大麦叶片碳水化合物含量的昼夜变化中,蔗糖是叶片中碳水化合物的主要存储形式,在夜间进行了物质的重新分配,而早晨和傍晚时叶片有较低的淀粉积累速率^[20]。前人研究表明,叶面喷施 S₃₃₀₇ 和 DTA-6 可促进灌浆期大豆叶片的生理代谢,增加叶片中蔗糖和淀粉含量,提高生育后期大豆叶片的生理活性,延缓了叶片衰老,进而提高了大豆产量^[21-22]。本研究中,9:30 ~ 17:30,蔗糖和淀粉含量一直处于上升阶段,到下午 17:30 时达到最大值,且 S₃₃₀₇ 和 DTA-6 处理的两大豆叶片蔗糖和淀粉含量高于对照,这与夏叔芳等^[23]在玉米叶片淀粉和蔗糖的昼夜变化规律一致。17:30 ~ 5:30(次日),蔗糖和淀粉含量呈下降的趋势,S₃₃₀₇ 和 DTA-6 加快了夜间淀粉和蔗糖的转运,至 5:30(次日),淀粉含量最低,说明调节剂促进了更多光合产物的输出,这与郑殿峰等^[24]的研究结果一致。

3.2 植物生长调节剂对大豆叶片昼夜同化物生理代谢相关酶活性的影响

Yadav 等^[17]研究表明,高等植物的叶片中,SPS 活性对昼夜变化信号以及终产物积累存在响应,调控蔗糖的合成。Jones 和 Rufty 等^[25]对番茄研究发现,SPS 活性变化有明显的昼夜节律性。郭金妹等^[26]对于番茄叶片糖含量与蔗糖代谢相关酶的活性日变化中发现,9:00 ~ 18:00,SPS 活性呈单峰曲线变化,至 18:00 出现最大峰值,随后下降。本研究结果与其类似,9:30 ~ 17:30,两品种叶片 SPS 活性呈上升趋势,并在 17:30 达最大值,随后下降。Kalttorres 等^[27]在玉米日变化中观察到蔗糖转化酶活性昼间高于夜间,与本文结果相一致。不同种类和不同生长季节的植物,其 SS 活性的昼夜变化规律有所不同,Jiang 等^[28]报道冬小麦中 SS 活性是白天低于夜间,本文研究结论与其不一致,推断其可能与冬小麦所处的昼夜温度条件有关。相关研究表明,应用 S₃₃₀₇ 和 DTA-6 能够在鼓粒期提高大豆叶片 SPS 和 SS 活性,进而调控不同大豆品种同化物的生理代谢,提高大豆产量^[29]。本研究中,S₃₃₀₇ 和 DTA-6 处理在整个昼夜周期中均能够提高两大豆品种的 SPS 和 SS 活性,与前人研究结果一致。而 S₃₃₀₇ 和 DTA-6

对于合丰 50 和垦丰 16 叶片 SS 和 SPS 的调控效果不同,这可能与品种特性有关,待进一步研究。

4 结 论

S₃₃₀₇ 和 DTA-6 处理均能不同程度促进合丰 50 和垦丰 16 大豆叶片蔗糖和淀粉的白天积累和夜间降解,加快夜间蔗糖和淀粉的转运速率,提高昼夜周期内两个大豆品种叶片 SPS、SS 和转化酶活性,改善产量构成因素,进而提高两个大豆品种的产量。

参考文献

[1] 郑殿峰, 张晓艳, 李建英, 等. 大豆群体光合特性的研究现状 [J]. 大豆科学, 2007, 26(3): 412-416. (Zheng D F, Zhang X Y, Li J Y, et al. The recent researth concerning photosynthetic characters in soybean population[J]. Soybean Science, 2007, 26 (3): 412-416.)

[2] Zeeman S C, Smith S M, Smith A M. The diurnal metabolism of leaf starch[J]. Biochemical Journal, 2007, 401(1): 13-28.

[3] Hashida Y, Hirose T, Okamura M, et al. A reduction of sucrose phosphate synthase (SPS) activity affects sucrose/starch ratio in leaves but does not inhibit normal plant growth in rice[J]. Plant Science, 2016, 253: 40-49.

[4] Dattir S, Joshi S. The contribution of sucrose metabolism enzymes to sucrose accumulation in sugarcane (*Saccharum, officinarum* L.) genotypes[J]. Indian Journal of Plant Physiology, 2016, 21 (1): 76-82.

[5] 柴静, 张会, 姚丽丽, 等. 蔗糖合酶在植物生长发育中的作用研究[J]. 生命科学, 2012, 24(1): 81-88. (Chai J, Zhang H, Yao L L, et al. The function of sucrose synthase in plant growth and development[J]. Chinese Bulletin of Life Sciences, 2012, 24 (1): 81-88.)

[6] Arumugam G, Mohamed S A, Nagalingam M, et al. Production of invertase enzymes from *Saccharomyces cerevisiae* strain isolated from sugarcaneand grape juices[J]. European Journal of Experimental Biology, 2014, 4(5): 29-32.

[7] Jain R, Chandra A, Solomon S. Impact of exogenously applied enzymes effectors on sucrose metabolizing enzymes (SPS, SS and SAI) and sucrose content in sugarcane [J]. Sugar Technology, 2013, 15(4): 370-378.

[8] 孙福东, 冯乃杰, 郑殿峰, 等. 植物生长调节剂 S₃₃₀₇ 和 DTA-6 对大豆莢的生理代谢及 *GmAC* 的影响 [J]. 中国农业科学, 2016, 49(7): 1267-1276. (Sun F D, Feng N J, Zheng D F, et al. Effects of plant growth regulators S₃₃₀₇ and DTA-6 on physiological metabolism and *GmAC* gene expression in soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(7): 1267-1276.)

[9] 闫艳红, 杨文钰, 张静, 等. 叶面喷施烯效唑对大豆产量及品质的影响[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 251-254. (Yan Y H, Yang W Y, Zhang J, et al. Effect of spraying uniconazole on soybean yield and quality[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19 (4): 251-254.)

[10] 刘洋, 郑殿峰, 冯乃杰, 等. 鼓粒期叶施烯效唑对绿豆各器官糖分积累及籽粒产量的影响 [J]. 中国农学通报, 2015, 31

- (30): 143-148. (Liu Y, Zheng D F, Feng N J, et al. Effects of foliar spraying uniconazole in seed filling period on sugar accumulation in various organs and grain yield of mung bean[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(30): 143-148.)
- [11] 项祖芬, 杨文钰, 任万君, 等. 烯效唑对水稻后期源、库调节及其产量的影响[J]. 西南农业学报, 2004, 17(5): 604-608. (Xiang Z F, Yang W Y, Ren W J, et al. Manipulation of S_{3307} to rice source and sink after anthesis and its effect on rice yield[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2004, 17(5): 604-608.)
- [12] 项洪涛, 孙巨峰, 冯乃杰, 等. DTA-6、SODM 及 Cc 对马铃薯地下主茎生长及同化物代谢生理的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013(6): 134-139. (Xiang H T, Sun J F, Feng N J, et al. Effects of DTA-6, SODM and Cc on growth and assimilate metabolism in underground stems of potato[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2013(6): 134-139.)
- [13] 宋春艳, 冯乃杰, 郑殿峰, 等. 植物生长调节剂对大豆叶片碳代谢相关生理指标的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(3): 91-95. (Song C Y, Feng N J, Zheng D F, et al. Effects of plant growth regulators(PGRs) on carbon metabolism related indicators in soybean leaves[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(3): 91-95.)
- [14] 郑旭. 不同浓度 6-BA 对大豆叶片碳代谢相关生理指标的影响[J]. 大豆科学, 2013, 32(6): 858-861. (Zheng X. Effects of Different Concentrations of 6-BA on Carbon Metabolism Related Indicators in Soybean Leaves[J]. Soybean Science, 2013, 32(6): 858-861.)
- [15] 冯亚楠, 李璨, 冯乃杰, 等. 不同植物生长调节剂浸种对大豆幼苗子叶碳代谢的影响[J]. 大豆科学, 2009, 28(6): 1016-1020. (Feng Y N, Li C, Feng N J, et al. Effects of seed soaking with plant growth regulators(PGRs) on the carbon metabolism of soybean seedling cotyledon[J]. Soybean Science, 2009, 28(6): 1016-1020.)
- [16] 张志良, 瞿伟青, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 4 版. 北京: 北京高等教育出版社, 2009. (Zhang Z L, Qu W Q, Li X F. Experiment guide of plant physiology[M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2009.)
- [17] Yadav S K, Singh V, Lakshmi N J, et al. Carbohydrates and sucrose metabolizing enzymes in the leaves of *Vigna mungo* genotypes as influenced by elevated CO_2 concentration[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(6): 1107-1120.
- [18] Stitt M, Gibon Y, Lunn J E, et al. Multilevel genomics analysis of carbon signalling during low carbon availability: Coordinating the supply and utilisation of carbon in a fluctuating environment[J]. Functional Plant Biology, 2007, 34(6): 400-414.
- [19] Ruckle M, Meier M, Frey L, et al. Diurnal leaf starch content: An orphan trait in forage legumes[J]. Agronomy, 2017, 7(1): 16.
- [20] Sicher R C, Kremer D F, Harris W G. Diurnal carbohydrate metabolism of barley primary leaves[J]. Plant Physiology, 1984, 76(1): 165-169.
- [21] 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. Effect of plant growth regulator on dry matter accumulation in upper and central parts and yield of soybean[J]. Journal of Southern Agriculture, 2015, 46(9): 1567-1573.)
- [22] Liu C, Feng N, Zheng D, et al. Uniconazole and diethyl amin-oethyl hexanoate increase soybean pod setting and yield by regulating sucrose and starch content: S_{3307} and DA-6 increase soybean pod setting and yield[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018. DOI: 10.1002/jsfa.9243.
- [23] 夏叔芳, 张振清, 於新建. 玉米叶片淀粉和蔗糖的昼夜变化与光合产物的输出[J]. 植物生理学报, 1982(2): 43-50. (Xia S F, Zhang Z Q, Yu X J. The diurnal variation in carbohydrate contents and in photosynthate export in zeamays leaves[J]. Plant Physiology Journal, 1982(2): 43-50.)
- [24] 郑殿峰, 赵玖香, 赵黎明. 植物生长调节剂对大豆光合作用和同化物分配的影响[J]. 西南农业学报, 2008, 21(5): 1265-1269. (Zheng D F, Zhao J X, Zhao L M. Effect of plant growth regulator(PGRs) on photosynthesis and assimilate distribution of soybean[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2008, 21(5): 1265-1269.)
- [25] Jones T L, Tucker D E, Ort D R. Chilling delays circadian pattern of sucrose phosphate synthase and nitrate reductase activity in tomato[J]. Plant Physiology, 1998, 118(1): 149-158.
- [26] 郭金妹, 李天来, 姜晶, 等. 昼间亚高温下番茄叶中糖含量与蔗糖代谢相关酶的活性日变化[J]. 植物生理学报, 2007, 43(2): 231-234. (Guo J M, Li T L, Jiang J, et al. Diurnal changes in sugar contents and enzymes activities involving sucrose metabolism in tomato(*Lycopersicon esculentum mill*) leaves under sub-high temperature by day[J]. Plant Physiology Journal, 2007, 43(2): 231-234.)
- [27] Kalt-Torres W, Huber S C. Diurnal changes in maize leaf photosynthesis: III. Leaf elongation rate in relation to carbohydrates and activities of sucrose metabolizing enzymes in elongating leaf tissue[J]. Plant Physiology, 1987, 83(2): 294-298.
- [28] Jiang D, Cao W, Dai T, et al. Diurnal changes in activities of related enzymes to starch synthesis in grains of winter wheat[J]. Acta Botanica Sinica, 2004, 46(1): 51-57.
- [29] 刘春娟, 冯乃杰, 郑殿峰, 等. 植物生长调节剂 S_{3307} 和 DTA-6 对大豆源库碳水化合物代谢及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(4): 657-666. (Liu C J, Feng N J, Zheng D F, et al. Effects of plant growth regulators S_{3307} and DTA-6 on carbohydrate content and yield in soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(4): 657-666.)