



# 烯效唑和胺鲜酯对大豆叶片光合特性与碳代谢的调控效应

黄文婷<sup>1</sup>,冯乃杰<sup>1,2</sup>,郑殿峰<sup>1,2</sup>,靳 丹<sup>1</sup>,牟保民<sup>1</sup>,丁凯鑫<sup>1</sup>

(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 524088)

**摘 要:**为探究化控技术对大豆盛花、盛荚和鼓粒期光合特性与碳代谢的调控效果,采用大田试验,于垦丰 41 初花期叶面喷施烯效唑( $S_{3307}$ )和胺鲜酯(DTA-6),以喷施清水作为对照,测定各生育时期光合参数、碳代谢产物及其相关酶、干物质和产量构成因素。结果表明:烯效唑和胺鲜酯能显著提高各生育时期的水分利用效率、净光合速率、SPAD、蔗糖与淀粉含量、及盛花期和盛荚期的气孔导度和蒸腾速率。胺鲜酯显著降低各生育时期转化酶活性,提高蔗糖合成酶与蔗糖磷酸合成酶活性,在盛荚期效果尤为显著,烯效唑可提高各生育时期蔗糖合成酶与蔗糖磷酸合成酶活性并降低花期转化酶活性。与对照相比,胺鲜酯和烯效唑提高盛花期叶和茎分配率,降低叶柄分配率,胺鲜酯显著提高各生育时期的单株干物质积累并降低盛荚期叶分配率,烯效唑显著提高盛花期单株干物质积累和盛荚期荚分配率。胺鲜酯和烯效唑可不同程度调控单株荚数、单株粒数和百粒重,提高产量,胺鲜酯和烯效唑的增产率分别达到 8.78% 和 7.16%。说明烯效唑和胺鲜酯能够有效提高大豆各生育时期光合作用能力,促进碳代谢产物及相关酶的合成,有利于提高产量,且胺鲜酯作用效果最佳,增产率最高。

**关键词:**烯效唑;胺鲜酯;大豆;光合特性;碳代谢

## Effects of Uniconazole and Diethyl Aminoethyl Hexanoate on Photosynthetic Characteristics and Carbon Metabolism of Soybean Leaves

HUANG Wen-ting<sup>1</sup>, FENG Nai-jie<sup>1,2</sup>, ZHENG Dian-feng<sup>1,2</sup>, JIN Dan<sup>1</sup>, MU Bao-min<sup>1</sup>, DING Kai-xin<sup>1</sup>

(1. College of Agricultural, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2. College of Agricultural, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of chemical control technology on photosynthetic characteristics and carbon metabolism of soybean in flowering, podding and seed-filling stages, Kenfeng 41 was used as material to spray uniconazole ( $S_{3307}$ ) and diethyl aminoethyl hexanoate (DTA-6) on the leaves of soybean in early flowering stage, and clean water was sprayed as control. Photosynthetic parameters, carbon metabolites and their related enzymes, dry matter and yield components were measured at different growth stages. The results showed that: Uniconazole and diethyl aminoethyl hexanoate could significantly increase the water use efficiency, net photosynthetic rate, SPAD, the content of sucrose and starch in different growth stages and stomatal conductance and transpiration rate in flowering and podding stages. Diethyl aminoethyl hexanoate significantly decreased invertase activity and increased sucrose synthase and sucrose phosphate synthase activity at different growth stages, especially at podding stage. Uniconazole could increase sucrose synthase and sucrose phosphate synthase activity at different growth stages and reduce invertase activity at flowering stage. Compared with the control, uniconazole and diethyl aminoethyl hexanoate increased the distribution rate of leaves and stems, decreased the distribution rate of petioles at flowering stage, diethyl aminoethyl hexanoate significantly increased the dry matter accumulation per plant in different growth stages and decreased the distribution rate of leaves at podding stage, uniconazole significantly increased the dry matter accumulation per plant and the distribution rate of pods at podding stage. Uniconazole and diethyl aminoethyl hexanoate could regulate pod number per plant, seed number per plant and 100-seed weight in varying degrees to increase yield. The yields of diethyl aminoethyl hexanoate and uniconazole increased by 8.78% and 7.16%, respectively. In conclusion, uniconazole and diethyl aminoethyl hexanoate can effectively improve the photosynthetic capacity of soybean at different growth stages, promote the synthesis of carbon metabolites and related enzymes, and it's help for improving yield. Diethyl aminoethyl hexanoate has the best effect and the highest yield.

**Keywords:** Uniconazole; Diethyl aminoethyl hexanoate; Soybean; Photosynthetic characteristics; Carbon metabolism

大豆营养价值丰富,具有人体所需的植物蛋白,其中的膳食纤维与胰蛋白酶抑制剂对人体健康十分重要<sup>[1]</sup>。糖类物质和光合作用是碳代谢影响

作物生长发育的重要因素<sup>[2]</sup>。植物生长调节剂在改善植株光合作用、调控植物生理代谢和提高产量方面起到重要作用<sup>[3-5]</sup>。喷施烯效唑( $S_{3307}$ )和胺鲜

收稿日期:2019-09-10

基金项目:中央引导地方科技发展项目(ZY16C07)。

第一作者简介:黄文婷(1993-),女,硕士,主要从事豆类作物化学控制原理与技术研究。E-mail:byndhwt@126.com。

通讯作者:冯乃杰(1970-),女,博士,教授,博导,主要从事作物化学控制原理与技术研究。E-mail:byndfnj@126.com。

酯(DTA-6)能显著提高马铃薯产量,增加前期叶片内蔗糖和淀粉含量,促进叶片中淀粉含量向茎中转运,利于源器官的物质输出<sup>[6]</sup>。矮壮素能够促进淮山药块茎的物质合成与积累,改善淮山药中后期生长的光合作用<sup>[7]</sup>。烯效唑可提高荚粒期的叶绿素含量,胺鲜酯可降低花期至鼓粒期的分解速率<sup>[8]</sup>。胺鲜酯能够有效调控源库系统碳水化合物代谢平衡<sup>[9]</sup>,并且能显著提高甜玉米籽粒灌浆期穗位叶叶绿素含量和光合速率<sup>[10]</sup>。氯化胆碱会明显促进大豆生育后期叶片水分利用效率,增加叶片中蔗糖、淀粉含量<sup>[11]</sup>。叶面喷施多效唑能够明显地增加叶绿素含量,延长叶片功能期,提高光合效率,进而对产量的提高具有重要的意义<sup>[12]</sup>。TPK可促进大豆碳代谢进程,使单株荚数增加,瘪荚数下降,百粒重增加<sup>[13]</sup>。天然芸苔素能促使大豆健壮生长,加快灌浆速度,提高光合速度,增加糖分积累速率<sup>[14]</sup>。

关于植物生长调节剂对大豆某一生育时期生理代谢影响的报道已有很多,但关于化控技术对大豆各生育时期的光合特性与碳代谢相结合的研究尚不全面。由于盛花期至盛荚期是大豆养分积累的最大期,鼓粒期是产量形成的关键时期,本研究采用田间试验方法,研究调节剂对大豆盛花期、盛荚期和鼓粒期叶片光合特性及碳代谢的影响,旨在为化控技术的提质增效提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种为垦丰41。

供试调节剂为胺鲜酯和烯效唑,由黑龙江八一农垦大学化控研究室提供。

1.2 试验设计

试验于2017年5月26日在黑龙江省大庆市林甸县吉祥村进行,供试土壤类型为草甸黑钙土,0~20 cm耕层土壤基础养分状况为:碱解氮 189 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 18.32 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 250 mg·kg<sup>-1</sup>,有机质为 33 g·kg<sup>-1</sup>,pH8.03。小区行长 7 m,8 行区,行距 0.65 m,小区面积 36.4 m<sup>2</sup>,播种密度为 25 万株·hm<sup>-2</sup>。整个生育期间的田间管理与当地生产一致。试验采用随机区组设计,在初花期(7月21日)叶面喷施浓度均为 50 mg·L<sup>-1</sup>的胺鲜酯和烯效唑,以喷施清水作为对照,喷液量均为 225 L·hm<sup>-2</sup>,4 次重复。于大豆盛花期(7月26日)、盛荚期(8月5日)和鼓粒期(8月26日)取样。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 光合参数 采用 Li-6400 便携式光合作用

测定仪(Li-6400,USA)测定大豆倒三功能叶片的蒸腾速率(*Tr*),净光合速率(*Pn*)和气孔导度(*Gs*)。

1.3.2 SPAD 采用美国 OPTI-science CCM-200PLUS 叶绿素测定仪测定,于倒三功能叶片完全展开叶最宽处测定 SPAD 值。

1.3.3 碳代谢产物及相关酶活性 选取长势一致的大豆倒三功能叶片,用-40℃液氮速冻。测量淀粉含量<sup>[15]</sup>、蔗糖含量<sup>[16]</sup>、蔗糖转化酶、蔗糖合成酶和蔗糖磷酸合成酶活性<sup>[17]</sup>。

1.3.4 干物质 选取长势一致大豆植株 8 株,按茎、叶、叶柄、荚分开,按照王畅等<sup>[8]</sup>方法测定单株和茎、叶、叶柄、荚的干物质积累量。

1.3.5 产量及产量构成因素 于大豆成熟期,按照王畅等<sup>[8]</sup>的方法测定产量及其构成因素。

1.4 数据分析

采用 Excel 2016 处理数据,采用 SPSS 17.0 软件进行方差分析,采用 Duncan 检验法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 调节剂对光合参数的影响

2.1.1 净光合速率 随生育期的推进,大豆各处理的净光合速率呈逐渐升高趋势。与 CK 相比,DTA-6 与 S<sub>3307</sub>在盛花期分别显著提高 7.03% 和 5.33%;在盛荚期分别显著提高 13.69% 和 14.01%;在鼓粒期分别显著提高 11.66% 和 3.55%,且两调节剂处理间也达到差异显著水平(表 1)。由此可知,喷施 DTA-6 和 S<sub>3307</sub>能够有效调控盛花、盛荚和鼓粒期大豆叶片净光合速率,有助于光合作用的进行与碳水化合物的合成。

2.1.2 气孔导度 大豆各处理气孔导度呈先升高后降低趋势,调节剂处理对大豆不同生育时期的气孔导度有一定调控作用。与 CK 相比,DTA-6 处理显著提高盛花期气孔导度,达 5.57%,S<sub>3307</sub>处理可提高 2.10%,但差异不显著;在盛荚期分别显著提高 7.77% 和 9.26%;两调节剂处理均可略微提高大豆鼓粒期的气孔导度,但未达到差异显著水平(表 1)。由此可知,调节剂处理有助于提高大豆各生育时期叶片气孔张开程度,促进气体交换与水分散失。

2.1.3 蒸腾速率 大豆各处理蒸腾速率呈先升高后降低趋势,调节剂处理促进大豆各时期的蒸腾速率。与 CK 相比,DTA-6 和 S<sub>3307</sub>在盛花期分别提高 5.59% 和 3.07%;在盛荚期分别显著提高 7.43% 和 10.88%;两调节剂处理均可提高大豆鼓粒期的蒸腾

速率,但未达到差异显著水平(表1)。由此可知,调节剂处理可通过提高大豆的蒸腾速率促进蒸腾作用,有利于叶片对无机物的吸收。

2.1.4 水分利用效率 大豆各处理的水分利用效率呈逐渐升高趋势,在鼓粒期达到峰值。调节剂处理对大豆盛花期水分利用效率无显著影响;与CK

相比,DTA-6 与 S<sub>3307</sub> 在盛荚期分别提高 5.84% 和 2.68%;在鼓粒期,DTA-6 处理较 CK 显著提高 8.76%,S<sub>3307</sub> 对大豆水分利用效率有所提高,但差异不显著(表1)。说明调节剂处理能在一定程度上提高大豆水分利用效率,有助于提高产量。

表 1 S<sub>3307</sub> 和 DTA-6 对大豆光合参数的影响  
Table 1 Effects of S<sub>3307</sub> and DTA-6 on photosynthetic parameter of soybean

生育时期 Growth stage	处理 Treatment	$P_n$ /( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	$G_s$ /( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	$Tr$ /( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	水分利用效率 Water use efficiency /( $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ )
盛花期 Flowering stage	CK	13.51 ± 0.11 b	447.93 ± 0.88 b	3.58 ± 0.03 b	3.77 ± 0.01 a
	DTA-6	14.46 ± 0.03 a	472.90 ± 2.88 a	3.78 ± 0.05 a	3.83 ± 0.04 a
	S <sub>3307</sub>	14.23 ± 0.05 a	457.32 ± 5.43 b	3.69 ± 0.02 ab	3.85 ± 0.01 a
盛荚期 Podding stage	CK	15.49 ± 0.23 b	460.99 ± 7.88 b	3.77 ± 0.10 b	4.11 ± 0.06 b
	DTA-6	17.61 ± 0.17 a	496.83 ± 4.05 a	4.05 ± 0.06 a	4.35 ± 0.02 a
	S <sub>3307</sub>	17.66 ± 0.06 a	503.66 ± 2.39 a	4.18 ± 0.03 a	4.22 ± 0.02 ab
鼓粒期 Seed filling stage	CK	17.16 ± 0.08 c	458.25 ± 0.86 a	3.66 ± 0.06 a	4.68 ± 0.05 b
	DTA-6	19.16 ± 0.07 a	468.60 ± 5.24 a	3.77 ± 0.06 a	5.09 ± 0.07 a
	S <sub>3307</sub>	17.77 ± 0.03 b	462.26 ± 2.96 a	3.70 ± 0.04 a	4.80 ± 0.04 b

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

2.2 调节剂对 SPAD 的影响

叶片 SPAD 值由盛花期至鼓粒期呈逐渐升高趋势。与 CK 相比,DTA-6 和 S<sub>3307</sub> 在盛花期分别显著提高 7.83% 和 4.91%;在盛荚期分别显著提高 9.82% 和 3.41%;在鼓粒期分别显著提高 7.77% 和

2.04%,且在 3 个生育时期 DTA-6 处理的 SPAD 值均高于 S<sub>3307</sub> 处理,处理间达到差异显著水平(图1)。说明叶面喷施调节剂能提高大豆各生育时期的叶绿素含量,且 DTA-6 作用效果显著优于 S<sub>3307</sub>。

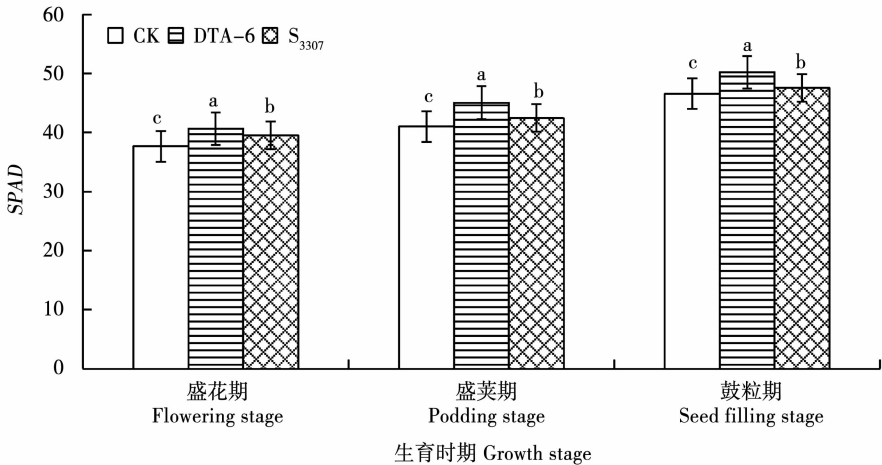


图 1 S<sub>3307</sub> 和 DTA-6 对大豆 SPAD 的影响  
Fig. 1 Effects of S<sub>3307</sub> and DTA-6 on SPAD of soybean

2.3 调节剂对碳代谢产物及相关酶的影响

2.3.1 蔗糖含量 随生育时期的延长,叶片蔗糖含量表现为先增加后降低的趋势,在鼓粒期达到峰值。与CK相比,植物生长调节剂处理的叶片蔗糖含量在盛花、盛荚和鼓粒期均有提高。DTA-6与S<sub>3307</sub>处理的盛花期蔗糖含量较CK分别显著提高25.15%和12.91%;在盛荚期分别显著提高

30.89%和34.41%;在鼓粒期分别显著提高30.52%和23.58%。且在3个生育时期调节剂处理间均达到差异显著水平,在盛花和鼓粒期DTA-6处理明显高于S<sub>3307</sub>,在盛荚期S<sub>3307</sub>处理高于DTA-6(图2)。说明调节剂促进大豆叶片蔗糖含量积累,便于运输光合产物,S<sub>3307</sub>对盛荚期作用效果最好,DTA-6对盛花期和鼓粒期作用效果较好。

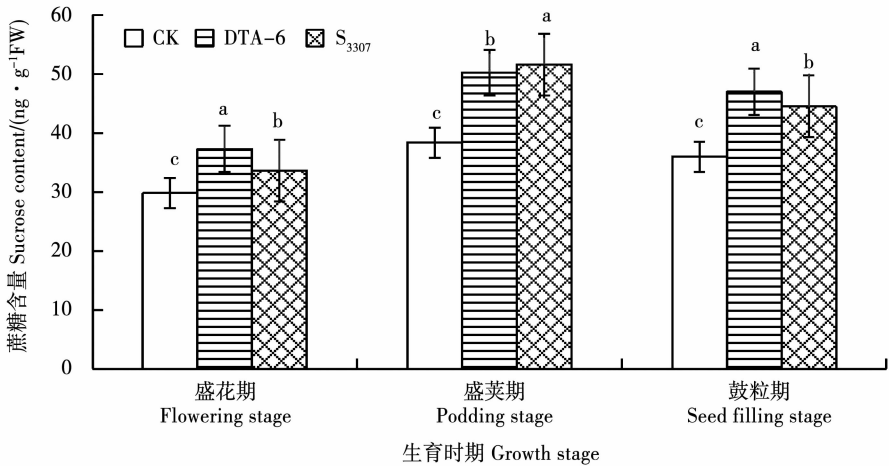


图2 S<sub>3307</sub>和DTA-6对大豆蔗糖含量的影响  
Fig. 2 Effects of S<sub>3307</sub> and DTA-6 on sucrose content of soybean

2.3.2 淀粉含量

随生育时期的延长,各处理叶片淀粉含量变化表现为逐渐增加的趋势。与CK相比,DTA-6与S<sub>3307</sub>处理显著提高盛花、盛荚和鼓粒期淀粉含量,DTA-6分别提高达7.36%、21.38%、18.45%,S<sub>3307</sub>处理分别提高15.95%、4.84%和5.93%。在盛花期S<sub>3307</sub>处理的淀粉含量显著高于DTA-6,在盛荚和

鼓粒期DTA-6处理的淀粉含量显著高于S<sub>3307</sub>(图3)。由此可知,不同植物生长调节剂处理对大豆叶片淀粉含量影响程度不同,DTA-6有效促进大豆盛荚期和鼓粒期淀粉含量的增加,S<sub>3307</sub>对大豆盛花期作用效果更显著,DTA-6和S<sub>3307</sub>有效提高叶片淀粉含量,促进“源”的积累,为后期“源”向“库”的运输奠定基础。

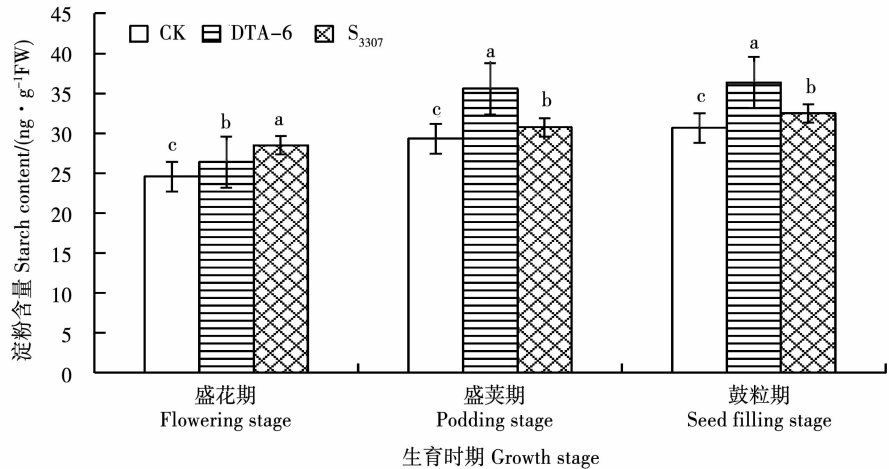


图3 S<sub>3307</sub>和DTA-6对大豆淀粉含量的影响  
Fig. 3 Effects of S<sub>3307</sub> and DTA-6 on starch content of soybean

2.3.3 总转化酶活性

随生育期进行,各处理叶片总转化酶活性均呈先升高后降低趋势。DTA-6和S<sub>3307</sub>在不同生育时期

的作用效果不同,在盛花期,DTA-6处理较CK略微降低,但差异不显著,S<sub>3307</sub>处理较CK显著降低11.86%;在盛荚期和鼓粒期,两调节剂的作用效果

一致,DTA-6 较 CK 分别显著降低 18.47% 和 21.31%, $S_{3307}$  较 CK 分别显著升高 2.34% 和 28.47% (图 4)。说明 DTA-6 对大豆各生育期转化

酶的活性起到抑制作用,在盛荚期和鼓粒期效果尤为显著, $S_{3307}$  抑制了大豆盛花期总转化酶活性,促进大豆盛荚期和鼓粒期总转化酶活性。

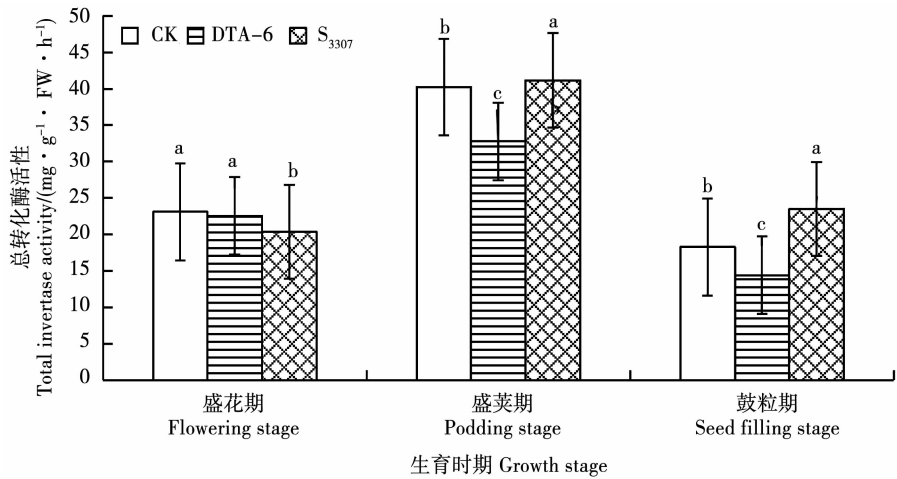


图 4  $S_{3307}$  和 DTA-6 对大豆总转化酶活性的影响

Fig. 4 Effects of  $S_{3307}$  and DTA-6 on total invertase activity of soybean

2.3.4 蔗糖合成酶活性 蔗糖合成酶活性随生育时期的延长呈逐渐升高趋势。与 CK 相比,DTA-6 与  $S_{3307}$  在盛荚期分别显著增加 86.70% 和 91.41%,此时各处理蔗糖合成酶活性表现为: $S_{3307}$  > DTA-6 > CK;在盛花期和鼓粒期,DTA-6 较 CK 分别显著升高

75.85% 和 55.35%, $S_{3307}$  较 CK 分别显著升高 17.06% 和 46.76%,此时各处理蔗糖合成酶活性表现为:DTA-6 >  $S_{3307}$  > CK。DTA-6 与  $S_{3307}$  对大豆盛荚期作用效果最好,促进叶片蔗糖合成(图 5)。

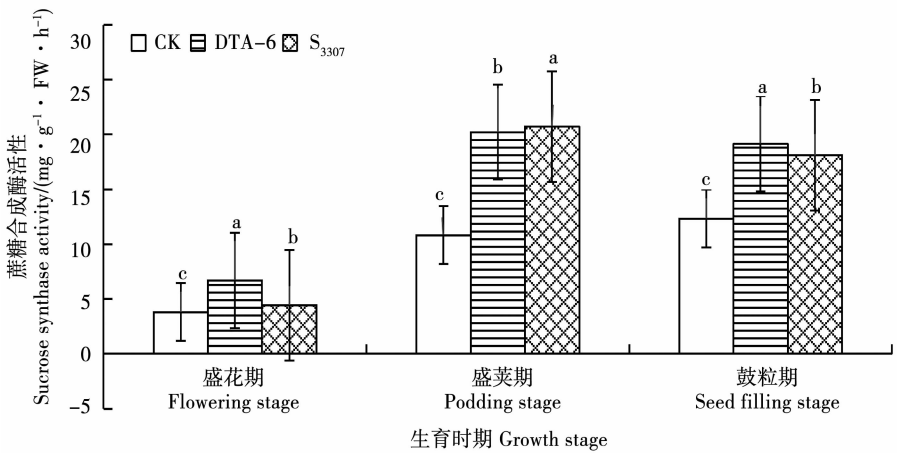


图 5  $S_{3307}$  和 DTA-6 对大豆蔗糖合成酶活性的影响

Fig. 5 Effects of  $S_{3307}$  and DTA-6 on sucrose synthase activity of soybean

2.3.5 蔗糖磷酸合成酶活性 蔗糖磷酸合成酶随生育时期的延长呈先升高后降低趋势。在盛花期和鼓粒期,DTA-6 较 CK 分别显著升高 38.77% 和 6.44%, $S_{3307}$  较 CK 分别显著升高 27.19% 和 4.11%,此时各处理蔗糖磷酸合成酶活性表现为:DTA-6 >  $S_{3307}$  > CK。在盛荚期,DTA-6 与  $S_{3307}$  较 CK 显著升高 2.02% 和 4.98%,此时各处理蔗糖磷酸合成酶活性表现为: $S_{3307}$  > DTA-6 > CK(图 6)。两种调节剂对大豆盛花期作用效果最好,有助于叶片蔗

糖含量积累。

2.4 调节剂对干物质的影响

2.4.1 干物质积累 DTA-6 和  $S_{3307}$  提高大豆各生育期单株干物质积累。与 CK 相比,在盛花期,DTA-6 与  $S_{3307}$  分别显著增加 26.83% 和 26.19%;在盛荚期和鼓粒期,DTA-6 处理较 CK 分别显著增加 10.76% 和 6.17%, $S_{3307}$  处理可以提高单株干物质,但无显著差异(图 7)。

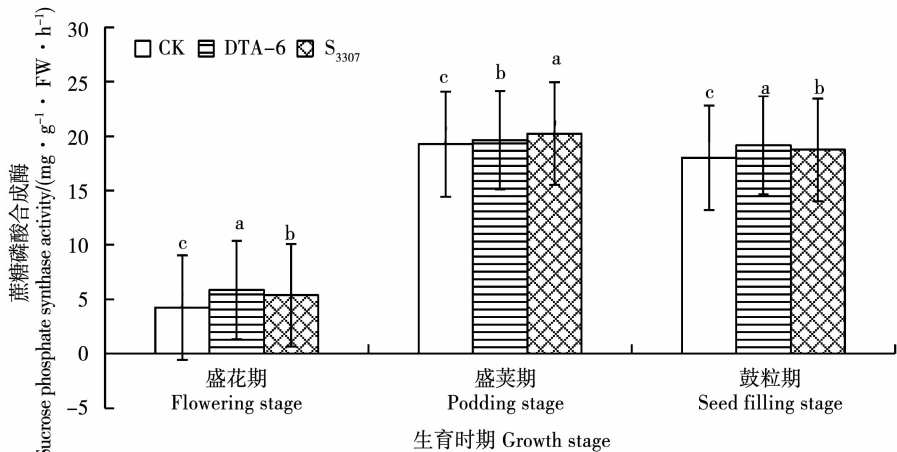


图 6 S<sub>3307</sub> 和 DTA-6 对大豆蔗糖磷酸合成酶活性的影响

Fig 6 Effects of S<sub>3307</sub> and DTA-6 on sucrose phosphate synthase activity of soybean

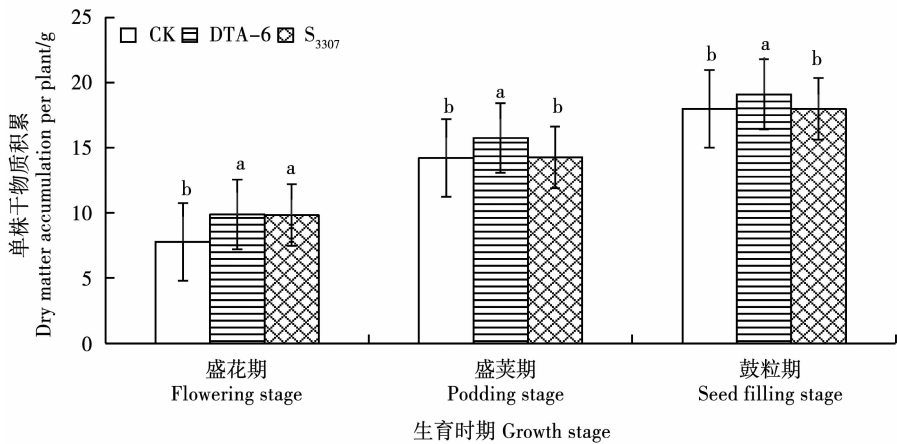


图 7 S<sub>3307</sub> 和 DTA-6 对大豆单株干物质积累的影响

Fig 7 Effects of S<sub>3307</sub> and DTA-6 on dry matter accumulation per plant of soybean

2.4.2 干物质分配 随生育时期的延长,干物质对茎、叶和叶柄的分配整体呈下降趋势,对荚的分配呈升高趋势。DTA-6 和 S<sub>3307</sub>处理可以提高盛花期叶和茎分配率并降低叶柄分配率,叶分配率分别增加 1.79% 和 0.76%,茎分配率分别增加 0.99% 和 0.58%,叶柄分配率分别降低 3.40% 和 1.62%,但未达到差异显著水平。在盛荚期,与 CK 相比,茎和

叶分配率有所降低,叶柄和荚分配率有所增加,DTA-6 显著降低叶分配率,达 2.92%,S<sub>3307</sub> 显著降低茎分配率并提高荚分配率,分别达 4.51% 和 4.69%。DTA-6 与 S<sub>3307</sub>处理均能提高鼓粒期荚分配率,但差异并不显著(表 2)。说明调节剂处理对同时期的大豆器官分配率有一定作用效果,可以促进单株物质积累,S<sub>3307</sub>有效促进盛荚期对荚的分配。

表 2 S<sub>3307</sub> 和 DTA-6 对大豆器官分配率的影响

Table 2 Effects of S<sub>3307</sub> and DTA-6 on organ distribution rate of soybean (%)

生育时期 Growth stage	器官 Organ	处理 Treatment		
		CK	DTA-6	S <sub>3307</sub>
盛花期 Flowering stage	叶 Leaf	40.51 ± 1.35 a	42.30 ± 0.64 a	41.27 ± 1.87 a
	茎 Stem	28.94 ± 1.07 a	29.93 ± 0.92 a	29.52 ± 2.08 a
	叶柄 Stipe	17.40 ± 1.01 a	14.00 ± 1.05 a	15.78 ± 1.30 a
盛荚期 Podding stage	叶 Leaf	33.99 ± 0.93 a	31.07 ± 0.79 b	33.80 ± 1.04 a
	茎 Stem	29.98 ± 0.59 a	29.54 ± 0.86 a	25.47 ± 1.63 b

续表 2

生育时期 Growth stage	器官 Organ	处理 Treatment		
		CK	DTA-6	S <sub>3307</sub>
鼓粒期 Seed filling stage	叶柄 Stipe	15.47 ± 0.37 a	15.72 ± 1.15 a	15.74 ± 0.43 a
	荚 Pod	8.09 ± 0.76 b	10.08 ± 1.03 b	12.78 ± 0.61 a
	叶 Leaf	24.68 ± 0.56 a	23.60 ± 1.09 a	23.13 ± 0.64 a
	茎 Stem	23.80 ± 0.97 a	23.58 ± 0.90 a	22.54 ± 0.77 a
	叶柄 Stipe	11.05 ± 0.23 a	11.39 ± 0.74 a	11.05 ± 0.32 a
	荚 Pod	29.83 ± 1.08 a	32.45 ± 1.95 a	31.62 ± 1.59 a

2.5 调节剂对产量及产量构成因素的影响

叶面喷施两种调节剂可不同程度地改善大豆产量构成因素并提高产量。与 CK 相比,在 DTA-6 与 S<sub>3307</sub> 处理下,单株荚数提高 4.74% 和显著提高 8.50%;单株粒数增加 10.63% 和显著增加 7.14%;

单株粒重提高 12.55% 和显著提高 7.43%,百粒重显著增加 3.09% 和 1.45% (表 3)。说明叶面喷施 S<sub>3307</sub> 与 DTA-6 能通过改善各项产量构成因素来提高产量,且 DTA-6 增产率最高。

表 3 S<sub>3307</sub> 和 DTA-6 对大豆产量及产量构成因素的影响  
Table 3 Effects of S<sub>3307</sub> and DTA-6 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	单株粒重 Seed weight per plant/g	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield/(kg·hm <sup>-2</sup> )	增产率 Yield increased rate/%
CK	25.30 ± 0.76 b	63.05 ± 1.61 b	9.56 ± 0.19 b	15.22 ± 0.06 b	2364.09 ± 66.39 b	—
DTA-6	26.50 ± 0.54 ab	69.75 ± 1.48 a	10.76 ± 0.35 a	15.69 ± 0.10 a	2571.74 ± 46.50 a	8.78
S <sub>3307</sub>	27.45 ± 0.58 a	67.55 ± 1.54 a	10.27 ± 0.25 ab	15.44 ± 0.12 ab	2533.47 ± 62.26 ab	7.16

3 讨 论

光合作用产生的有机物占植株所需 90% ~ 95%,是决定产量的最重要因素。叶片是光合作用进行的主要器官<sup>[18-19]</sup>。植物生长调节剂通过调节大豆叶片的光合作用和生理代谢来达到高产,烯效唑能提高叶片中叶绿素含量,延长叶绿素含量的缓降期<sup>[20]</sup>,提高光合参数<sup>[21]</sup>。胺鲜酯可以促进芸豆生殖生长阶段的净光合速率和叶绿素含量<sup>[8]</sup>。本研究表明,胺鲜酯提高了盛花期和鼓粒期的净光合速率,对盛花期的蒸腾速率及气孔导度、盛荚期和鼓粒期的水分利用效率有显著促进作用。烯效唑有效调控大豆盛荚期的光合作用,对各光合参数均有提高。气孔导度的增大,便于二氧化碳进入植物体进行气体交换,提高光合作用效率。蒸腾作用的提高,不仅促进叶片水分散失,避免植株过热,而且提高叶肉细胞渗透压,并降低水势,产生叶片对水的吸引力。光合作用与叶绿素含量呈正相关<sup>[22]</sup>。本研究表明,两种调节剂均增加了大豆各生育期叶绿素含量,这与人关于植物生长调节剂提高光合作用方面的研究相一致。

提高作物产量,不但需要增强功能叶片的光合作用,而且需要充足积累并合理分配以蔗糖为主的光合产物运输到作物的生长中心<sup>[23-24]</sup>。研究表明,胺鲜酯和烯效唑不仅促进大豆各时期单株物质积累,而且在降低叶、茎分配率的同时,提高了荚粒期对荚分配率,促进同化物由“源”器官向“库”器官的高效分配,与人研究保持一致<sup>[25-26]</sup>。

淀粉和蔗糖是植株生理代谢过程中主要碳水化合物。淀粉是大豆主要光合产物,白天进行合成并贮存,夜晚以蔗糖的形式在植物体内运输<sup>[27]</sup>。蔗糖的合成受诸多因素的影响,蔗糖合成酶影响蔗糖合成速度,蔗糖磷酸合成酶影响蔗糖水解,两者是蔗糖合成过程中的关键性调节酶,前者主要促进蔗糖的合成,后者促进其运输到籽粒等库器官<sup>[28]</sup>。蔗糖磷酸合成酶活性与植物干物质积累有关<sup>[29]</sup>,作物的蔗糖合成能力越强,其功能叶和籽粒中蔗糖磷酸合成酶活性在生育后期越高,光合产物运转越快<sup>[30]</sup>。前人研究表明,不同浓度的胺鲜酯浸种能有效调控糜子的光合特性,提高叶片蔗糖含量,使其健壮生长,以 50 mg·L<sup>-1</sup> 浓度调控效果最好<sup>[31]</sup>。烯效唑改善作物碳代谢相关生理指标,在大豆鼓粒期

作用效果显著<sup>[32-33]</sup>。而且,鼓粒期对大豆产量形成十分关键<sup>[8]</sup>,本研究表明,胺鲜酯明显促进了大豆鼓粒期蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶的活性并提高蔗糖和淀粉的含量,能高效调控大豆生理代谢进程。本研究中胺鲜酯和烯效唑促使大豆盛花期和盛荚期蔗糖磷酸合成酶和蔗糖合成酶活性升高,不但促进大豆生育前期叶片中蔗糖的积累与转运,使叶片中蔗糖含量显著增加,而且促进淀粉的积累,有利于叶片光合同化产物的生产。由此推断植物生长调节剂不仅对大豆鼓粒期的光合作用和生理代谢作用效果显著,也有效调控了大豆花荚期的碳代谢进程,在生育前期进行了充足的物质贮藏。关于烯效唑和胺鲜酯对大豆碳代谢调控作用还可以从显微结构的角度继续深入挖掘。

4 结 论

农业生产中采用化控技术可以有效调控大豆各时期碳代谢进程,初花期喷施烯效唑和胺鲜酯能够增加各生育时期的叶片叶绿素含量,提高净光合速率,改善光合作用,此外,胺鲜酯还可以提高盛荚期和鼓粒期水分利用效率。烯效唑主要促进盛荚期与鼓粒期的蔗糖合成酶活性升高,促进蔗糖含量的增加,增加盛荚期荚分配率,降低茎分配率;胺鲜酯主要促进各生育时期蔗糖合成酶活性升高,以及盛花期与鼓粒期蔗糖磷酸合成酶活性升高,促进盛荚期和鼓粒期蔗糖与淀粉含量的增加,增加各生育时期单株干物质积累,促进“碳源”的积累,有助于“源”向“库”的转移,从而提高大豆最终产量。综上,胺鲜酯作用效果更好,增产率更高。

参考文献

[1] Athow K L. Soybean pest management[J]. Journal of The American Oil Chemists' Society,1981,58(3):130-135.

[2] 文莲莲,李岩,张聘丘,等. 冬季温室补光时长对番茄幼苗生长、光合特性及碳代谢的影响[J]. 植物生理学报,2018,54(9):1490-1498. (Wen L L, Li Y, Zhang D Q, et al. Effects of supplemental light duration on the growth, photosynthetic characteristic and carbon metabolism of tomato seedlings in winter under solar greenhouse[J]. Plant Physiology Journal, 2018, 54(9): 1490-1498. )

[3] Hamed K, Ghorban K. The role of uniconazole in improving physiological and biochemical attributes of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) subjected to drought stress[J]. Journal of Crop Science and Biotechnology, 2019, 22(2): 161-168.

[4] Yuan L, Xu D Q. Stimulatory effect of exogenous GA<sub>3</sub> on photosynthesis and the level of endogenous GA<sub>1+3</sub> in soybean leaf[J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2002, 28(4): 317-320.

[5] Ahmad I, Kamran M, Yang X N, et al. Effects of applying uniconazole alone or combined with manganese on the photosynthetic efficiency, antioxidant defense system, and yield in wheat in semi-arid regions[J]. Agricultural Water Management,2019,25(2): 400-414.

[6] 齐德强,赵晶晶,冯乃杰,等. 烯效唑(S<sub>3307</sub>)和胺鲜酯(DTA-6)对马铃薯叶与块茎糖代谢及产量的影响[J]. 作物杂志, 2019(4):148-153. (Qi D Q, Zhao J J, Feng N J, et al. Effects of S<sub>3307</sub> and DTA-6 on sugar metabolism and yield of potato leaves and tubers[J]. Crops, 2019(4): 148-153. )

[7] 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,2017,29(7): 1590-1594. (Wen G Q, Liu Y X, Nong M L, et al. Effects of plant growth regulators (combination) on leaf photosynthesis of Yam in South China[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 29(7): 1590-1594. )

[8] 王畅,赵海东,冯乃杰,等. S<sub>3307</sub>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<sub>3307</sub> and DTA-6 on the photosynthetic characteristics and yield of kidney bean plants in the reproductive stage[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2018, 27(11): 162-170. )

[9] 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.

[10] 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. (Pan B R, Yue G H, Liu Y A, et al. Regulation effects of diethyl aminoethyl hexanoate on the leaf photosynthetic characteristics, the grain sugar accumulation and the yield of sweet corn[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2015, 17(6): 660-666. )

[11] 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. )

[12] 蒋莲芝,樊亚娟,刘俊环,等. 大豆应用多效唑试验效果初探[J]. 大豆通报, 2001(5):6. ( Jiang L Z, Fan Y J, Liu J H, et al. Preliminary study on the effect of paclobutrazol application in soybean[J]. Soybean Bulletin,2001(5):6. )

[13] 周天,胡勇军,周晓梅,等. 三十烷基磷酸酯钾对大豆的生理功能及产量的影响[J]. 东北师大学报(自然科学),2004,36(2): 31-33. (Zhou T, Hu Y J, Zhou X M, et al. Effect of potas-



sium hydrogen 1-triacontyl phosphate (TPK) on the physiological function and yield of soybean[J]. Journal of Northeast Normal University (Natural Science), 2004, 36(2): 31-33. )

[14] 王永锋,裴桂英,张跃进,等. 不同微生物肥和调节剂在大豆上的施用效果[J]. 安徽农业科学,2001,29(4):509-510. (Wang Y F,Pei G Y,Zhang Y J,et al. Preliminary report on micro-fertilizer and moderator applied in soybean[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2001,29(4):509-510. )

[15] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京:农业出版社,1992. (Zhang X Z. Crop physiology research method[M]. Beijing: Agricultural Press, 1992. )

[16] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2001. (Zhang Z L. Guidance of plant physiology experiments[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001. )

[17] Yadav S K, Singh V, Jyothi L N, et al. Carbohydrates and sucrose metabolizing enzymes in the leaves of Vigna mungo genotypes as influenced by elevated CO<sub>2</sub> concentration[J]. Journal of Agricultural Science and Technology,2013,15(6):1107-1120.

[18] Rodriguez R E, Debernardi J M, Palatnik J F. Morphogenesis of simple leaves: Regulation of leaf size and shape[J]. Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology, 2014, 3(1): 41-57.

[19] 叶子飘,胡文海,闫小红,等. 基于光响应机理模型的不同植物光合特性[J]. 生态学杂志, 2016, 35(9): 2544-2552. (Ye Z P, Hu W H, Yan X H, et al. Photosynthetic characteristics of different plant species based on a mechanistic model of light-response of photosynthesis[J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(9): 2544-2552. )

[20] 杨文钰,樊高琼,任万君,等. 烯效唑拌种对小麦光合作用和14C同化物分配的影响[J]. 作物学报,2005,31(9):1173-1178. (Yang W Y, Fan G Q, Ren W J, et al. The effects of uniconazole waterless seed dressing on photosynthesis and 14C assimilate distribution in wheat[J]. Acta Agronomica Sinica,2005,31(9):1173-1178. )

[21] 许淑娟,孙周平,王志鑫. 烯效唑对雾培马铃薯光合特性及荧光的影响[J]. 西北农业学报,2009,18(3):127-130. (Xu S J, Sun Z P,Wang Z X. Effects of uniconazole treatments on photosynthetic and physiological indices of aeroponic potato[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica,2009,18(3):127-130. )

[22] 郭会君,靳文奎,赵林妹,等. 实践八号卫星飞行环境中不同因素对小麦的诱变效应[J]. 作物学报,2010(5): 764-770. (Guo H J, Jin W K, Zhao L S, et al. Mutagenic effects of different factors in spaceflight environment of Shijian-8 satellite in wheat[J]. Acta Agronomica Sinica,2010(5): 764-770. )

[23] 许乃霞,杨益花,苏祖芳. 抽穗后水稻株型与高光效群体形成关系的研究[J]. 耕作与栽培,2009(5): 17-19. (Xu N X,Yang Y H,Su Z F. Study on the relation between plant type and population formation of high photosynthetic efficiency in rice after heading[J]. Tillage and Cultivation,2009(5): 17-19. )

[24] 夏淑芳,沈允钢,李德耀,等. 光合作用及其产物的转化、积累与输出[C]. 中国科学院植物生理研究所,中国科学院植物研究所. 光合作用研究进展(第三卷). 北京:科学出版社,1984: 156. (Xia S F, Shen R G, Li D Y, et al. Photosynthesis and the transformation, accumulation and export of its products[C]. Institute of Plant Physiology, Chinese Academy of Sciences, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. Advances In Photosynthesis (Volume 3). Beijing: Science Press, 1984:156. )

[25] 邓忠,白丹,翟国亮,等. 不同植物生长调节剂对新疆棉花干物质积累、产量和品质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(3):122-127. (Deng Z, Bai D, Zhai G L, et al. Study on the effect of plant growth regulators on dry matter accumulation, yield and quality of cotton in Xinjiang[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2011,29(3):122-127. )

[26] 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. )

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

[28] 郑绍辉,赵鑫, Md. Matiul Islam. 大豆鼓粒期的氮积累及转移对产量的影响[J]. 土壤与作物,2017,6(1): 1-8. (Zheng S H, Zhao X, Md. Matiul Islam. Influence of nitrogen accumulation and redistribution on seed yield in soybean during seed filling[J]. Soils and Crops,2017,6(1):1-8. )

[29] Jones T L. Chilling delays circadian pattern of sucrose phosphate synthase and nitrate reductase activity in tomato[J]. Plant Physiology,1998,118:149-158.

[30] Sarquís J I, Gonzalez H, de Jiménez E S, et al. Physiological traits associated with mass selection for improved yield in a maize population[J]. Field Crops Research,1998,56:239-246.

[31] 张玉平,刘强,荣湘民,等. 不同水稻品种(组合)碳代谢关键酶活性比较[J]. 中国稻米,2007(4):15-19. (Zhang Y P, Liu Q, Rong X M, et al. Comparison of key enzyme activities in carbon metabolism of different rice varieties ( combinations ) [J]. China Rice,2007(4):15-19. )

[32] 张盼盼,王小林,郭亚宁,等. 胺鲜酯浸种对苗期糜子形态和叶片生理特性的影响[J]. 草业学报,2018,27(9):77-84. (Zhang P P,Wang X L,Guo Y N,et al. Effects of DTA-6 seed soaking on morphological and leaf physiological characteristics in proso millet at seedling stage[J]. Acta Prataculturae Sinica,2018,27(9): 77-84. )

[33] 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. )