

# 植物生长调节剂 S3307 对绿豆源库生理代谢的影响

张瑞浦<sup>1</sup> 王娜<sup>2</sup> 王可心<sup>1</sup> 刘晋东<sup>1</sup> 高小丽<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学农学院, 712100, 陕西杨陵; <sup>2</sup>渭南市农业科学研究所, 714000, 陕西渭南)

**摘要** 为从源、库的角度阐释植物生长调节剂 S3307 对绿豆碳水化合物代谢与氮素代谢的影响机制, 以冀 0816 毛-3 和安绿 7 号 2 个不同基因型的绿豆品种为试验材料, 在始花期叶面喷施 60 mg/L 植物生长调节剂烯效唑 (S3307), 以喷施等量清水作为对照 (CK)。结果表明, 始花期叶面喷施 S3307 后, 绿豆叶片与荚皮中叶绿素含量均显著增加。2 个参试绿豆品种叶片中蔗糖、还原糖和可溶性糖含量与荚皮中可溶性糖、淀粉和总糖含量均在籽粒建成中期比 CK 降低, 在后期增加。S3307 处理增加了参试绿豆品种籽粒中蔗糖、淀粉和总糖含量, 而对绿豆籽粒还原糖含量的调控存在基因型差异。针对氮代谢相关指标的结果表明, 叶片、荚皮与籽粒中可溶性蛋白和总氮含量在调节剂处理后籽粒建成时期整体增加。综上, S3307 可有效促进绿豆籽粒建成中期“源”端同化物的合成和输出, 增加“库”端同化物的积累, 同时增加了绿豆各器官氮素含量, 通过调控不同品种绿豆器官生理代谢实现增源扩库。

**关键词** 植物生长调节剂; S3307; 绿豆; 源与库; 代谢

植物“源”是同化物合成及输出的组织或器官, “库”是同化物输入, 即转化或贮藏同化物的组织或器官。碳、氮代谢是植物体内最基础的两大代谢途径。源与库器官中碳、氮代谢的正常进行有利于同化物的合成、分配与积累, 实现作物产量和品质的形成<sup>[1]</sup>。研究<sup>[2-3]</sup>表明, 植物生长调节剂可有效调节源、库器官生理代谢, 直接或间接调控有效态营养物合成与分配, 进而影响作物生长发育。其中烯效唑 (S3307) 作为一种效力高、毒性小、残留少的植物生长延缓剂, 一方面可显著增加植物绿色器官叶绿素含量, 增长叶片持绿时间, 加快无机碳转化为有机碳的速率, 增强“源”端<sup>[4-7]</sup>。另一方面, S3307 处理提高了源、库器官中碳水化合物含量, 推动更多“源”端光合产物流向“库”端, 同时有效调控植物各器官中碳水化合物的积累与降解<sup>[8-10]</sup>。除了叶片可进行光合作用外, 作物另一个重要的源器官——荚皮在碳代谢中也发挥重要作用。S3307 处理可有效降低大豆的次要源器官荚皮中可溶性糖含量, 增加淀粉积累量, 合理调控荚皮中同化物的转运与积累<sup>[11]</sup>。关于 S3307 处理对库器官代谢的研究表明, 马铃薯<sup>[12]</sup>、大豆<sup>[13-14]</sup>和苦荞<sup>[15]</sup>等作物收获部位中蔗糖、淀粉等同化物积累量在 S3307 处理下得到提高。此外, 施用 S3307 可促进大豆叶片与籽粒中氮素的积累, 调控源库间氮素转

运<sup>[16-17]</sup>, 叶片中可溶性蛋白、游离氨基酸等相关指标含量也明显提高<sup>[18]</sup>。由以往研究可知, 适度施用植物生长调节剂 S3307 调控“源”端同化物的合成装载和“库”端同化物的卸载利用, 有利于实现作物产量的提高。

绿豆作为我国重要的豆类作物, 具有较高的营养和经济价值, 具备很大的开发利用潜力<sup>[19]</sup>。而目前有关 S3307 作用于植物源、库生理代谢的研究对象主要为大豆、玉米等大宗作物, 另外作为源器官之一的荚皮也常被忽略, 关于 S3307 处理影响绿豆叶片、荚皮与籽粒碳、氮代谢的综合研究较少。因此, 本试验从源、库调控角度探讨了 S3307 对绿豆叶片、荚皮和籽粒碳水化合物代谢与氮素代谢相关指标的影响, 为 S3307 在绿豆增产栽培中的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试绿豆品种为冀 0816 毛-3 和安绿 7 号, 其农艺性状具有一定差异性。冀 0816 毛-3 结荚部位分散, 植株较低、节间较短, 植株较松散, 单株产量相对较高。安绿 7 号结荚部位集中向上, 植株较高、节间较长, 株型紧凑, 单株产量相对较低。2 个绿豆品种生育期相近, 可保证取样时植株发育时

作者简介: 张瑞浦, 主要从事小宗粮豆作物优质抗逆高效栽培生理研究, E-mail: 787008018@qq.com

高小丽为通信作者, 主要从事小宗粮豆作物优质抗逆、高效栽培生理及技术研究, E-mail: gao2123@nwsuaf.edu.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFD1600605-04); 陕西省豆类产业技术体系 (SNTX-36)

收稿日期: 2023-02-16; 修回日期: 2023-02-28; 网络出版日期: 2023-03-28

期的相对一致性。供试植物生长调节剂为 S3307，有效成分含量为 10%，由江苏剑牌农化股份有限公司生产。

试验于陕西省咸阳市杨陵区西北农林科技大学农作一站（108°4′E，34°14′N，海拔 523 m）进行。试验地 0~20 cm 耕层土壤的基础营养状况为 pH 7.9、有机质 19.69 mg/kg、全氮 1.29 g/kg、有效磷 42.00 mg/kg、速效钾 226.5 mg/kg。试验地前茬作物为小麦。

## 1.2 试验设计

试验于 2019–2020 年进行，在绿豆始花期采用大田叶面喷施方式，调节剂处理组（S）喷施浓度为 60 mg/L 的烯效唑（S3307），对照组（CK）喷施等量清水。2 个品种每个处理 4 次重复，小区面积 20 m<sup>2</sup>，行距 0.40 m，株距 0.15 m。

## 1.3 测定指标与方法

1.3.1 取样方法 绿豆始花期喷施 S3307 后第 5 天开始取主茎始花节位以上 2 个节位的功能叶片和荚果，之后每隔 5 d 取一次直至籽粒成熟。经液氮速冻后的叶片、荚皮与籽粒样品超低温保存，用于生

理代谢相关指标的测定。

1.3.2 叶绿素含量 采用丙酮法<sup>[20]</sup>提取并测定叶绿素含量。

1.3.3 碳代谢相关指标 参照蒽酮比色法<sup>[21]</sup>测定蔗糖、可溶性糖、淀粉和总糖含量。采用 3，5-二硝基水杨酸比色法<sup>[22]</sup>测定还原糖含量。

1.3.4 氮代谢相关指标 采用考马斯亮蓝法<sup>[23]</sup>测定可溶性蛋白含量。采用凯氏定氮法<sup>[24]</sup>测定总氮含量。

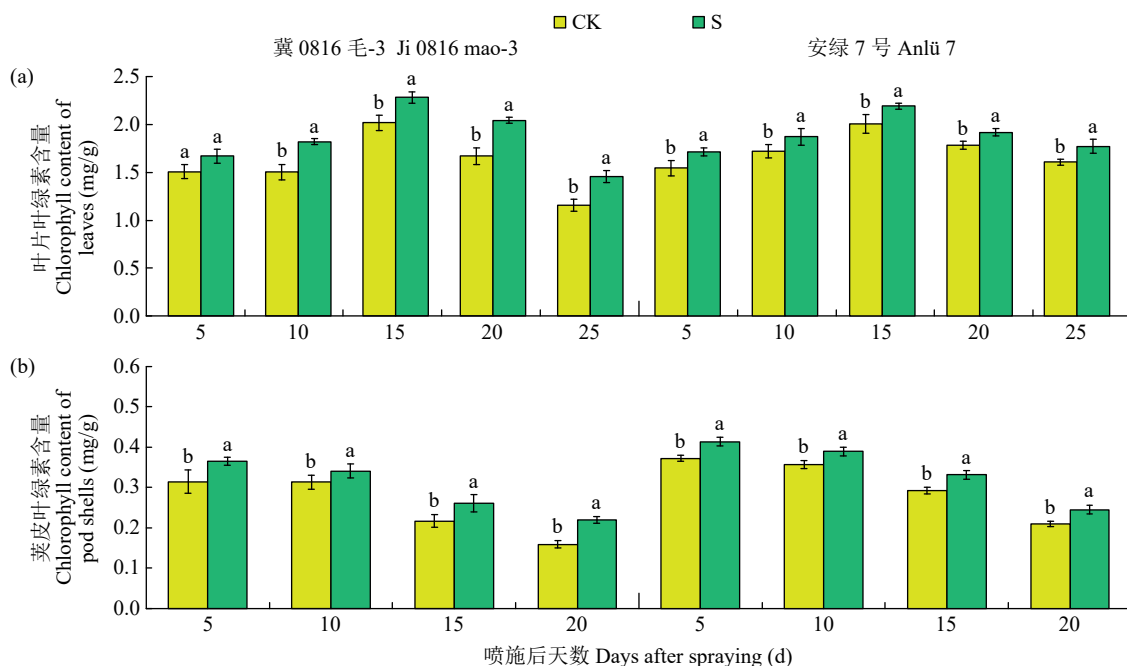
## 1.4 数据处理

利用 SPSS 对试验数据进行统计分析（显著性水平为 $\alpha=0.05$ ），利用 Origin 2018 作图。

# 2 结果与分析

## 2.1 S3307 对绿豆源器官叶绿素含量的影响

叶绿素含量可直接反映作物源器官的光合强度。由图 1 可知，随生育周期推进，S 与 CK 处理叶片中叶绿素含量均呈先上升后下降的趋势，在喷施 S3307 后第 15 天达到最高值，荚皮中叶绿素含量则不断降低。



不同小写字母表示差异达到 5% 水平，下同。

Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

图 1 S3307 对绿豆源器官叶绿素含量的影响

Fig.1 Effects of S3307 on chlorophyll contents of source organs of mung bean

显著性分析结果显示，冀 0816 毛-3 S 处理叶片和荚皮叶绿素含量在各时期均显著高于 CK，安绿 7 号 S 处理叶片与荚皮中叶绿素含量也相比于

CK 显著提高（ $P<0.05$ ）。在绿豆籽粒灌浆的重要时期（花后第 15 天），冀 0816 毛-3 S 处理叶片叶绿素含量相比于 CK 增加了 13.1%，安绿 7 号 S 处

理组叶片叶绿素含量相比于 CK 增加了 9.2%，有助于光合碳同化过程的加速进行。

综上，绿豆始花期叶面喷施植物生长调节剂 S3307 具有提高源器官叶绿素含量，延长叶片保绿时间的作用。

## 2.2 S3307 对绿豆源库器官碳代谢的影响

**2.2.1 蔗糖含量** 蔗糖作为植物体内碳素源、流、库转运的主要形式，其含量可反映出当前可用于生长发育的有效态碳水化合物水平。源器官光合碳同化的主要终产物之一是蔗糖。如图 2 所示，绿豆始

花期叶面喷施植物生长调节剂 S3307 后，冀 0816 毛-3 S 处理叶片蔗糖含量仅在喷后第 15 天明显低于 CK，其余时期均高于 CK。安绿 7 号在喷施 S3307 后其叶片蔗糖含量整体提高，增幅为 0.09~0.36 mg/g。叶面喷施 S3307 有利于绿豆籽粒建成后期荚皮蔗糖含量的提高。冀 0816 毛-3 S 处理荚皮蔗糖含量仅在喷后第 10 天明显低于 CK，而在其余时期均高于 CK。喷施 S3307 后整体提高了安绿 7 号荚皮蔗糖含量，在喷后第 25 天较 CK 增加了 13.8%。

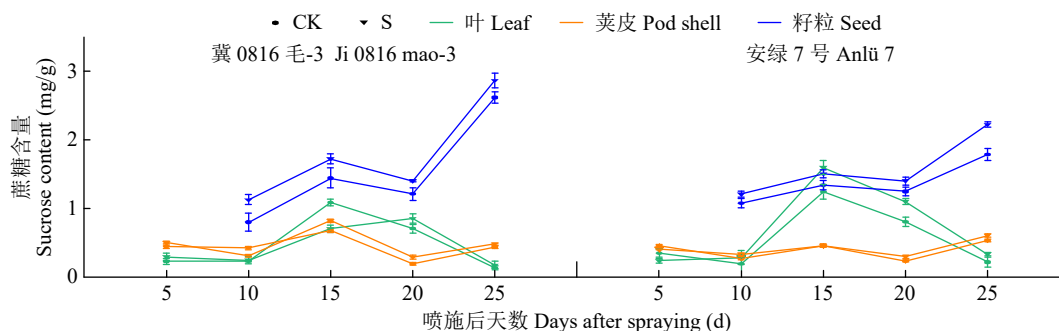


图 2 S3307 对绿豆源库器官蔗糖含量的影响

Fig.2 Effects of S3307 on sucrose contents of source and sink organs of mung bean

籽粒接收由“源”合成经韧皮部转运至“库”的蔗糖原料以合成各种物质。籽粒中蔗糖含量反映了“库”对同化物的接收水平以及籽粒中合成淀粉所需底物的供应水平。如图 2 所示，喷施生长调节剂后的 5~25 d 中，冀 0816 毛-3 和安绿 7 号籽粒中蔗糖含量均高于 CK。在籽粒建成后期蔗糖快速积累，成熟期籽粒中蔗糖含量分别为 2.86 和 2.22 mg/g，较 CK 分别增加了 95.0%和 24.8%。

结果分析说明，S3307 处理可增加冀 0816 毛-3 绿豆鼓粒中期源器官中蔗糖的输出量，一定程度上促进了参试 2 个品种绿豆鼓粒后期源器官中蔗糖的合成与积累，同时绿豆籽粒中蔗糖含量相比 CK 显著增加，为产量与品质的形成奠定充足的物质基础。

**2.2.2 可溶性糖含量** 叶片中可溶性糖含量可一定程度上反映出源器官向库器官供应同化物的能力，同时可参与逆境下植物体的渗透调节与修复。如图 3 所示，始花期叶面喷施 S3307 增加了冀 0816 毛-3 籽粒建成后期叶片中可溶性糖含量，而其籽粒建成中期叶片中可溶性糖含量显著下降，在喷后第 15 天相较于 CK 下降了 24.1%。安绿 7 号 S 处理整个生育时期叶片蔗糖含量均高于 CK。针对荚皮蔗糖含量的分析结果显示，叶面喷施 S3307 具有明显降低冀 0816 毛-3 与安绿 7 号鼓粒中期荚皮中可溶

性糖含量的作用，而在鼓粒后期荚皮中可溶性糖含量有一定提高。

始花期叶面喷施 S3307 可有效促进成熟期绿豆籽粒可溶性糖的积累。由图 3 所示，在喷后第 10 天，2 个品种 S 处理籽粒可溶性糖含量明显高于 CK。在喷后第 15~20 天，2 个品种 S 处理籽粒可溶性糖含量明显低于 CK。成熟期 2 个绿豆品种 S 处理籽粒可溶性糖含量均明显增加，分别达到 8.71 和 11.00 mg/g，较 CK 分别增加 8.8%和 6.6%。

籽粒建成中期源器官中可溶性糖含量明显降低，表明 S3307 可加快可溶性糖向外运输。生育后期籽粒中可溶性糖含量明显提高，说明更多的可溶性糖被运输、储存至库器官中。

**2.2.3 淀粉含量** 淀粉作为光合作用的主要终产物之一，是籽粒中碳积累的主要形式。始花期叶面喷施 S3307 对参试 2 个品种绿豆叶片与荚皮淀粉含量的调控作用具有品种间差异性。如图 4 所示，在喷施 S3307 后 5~20d，冀 0816 毛-3 S 处理叶片与荚皮淀粉含量均低于 CK；在喷后 10~15d，安绿 7 号 S 处理叶片淀粉含量明显高于 CK，在喷后第 20 天，S 处理荚皮淀粉含量低于 CK。籽粒成熟期冀 0816 毛-3 叶片与荚皮淀粉含量均明显高于 CK，分别增加了 75.1%和 27.1%，安绿 7 号分别增加了 58.6%

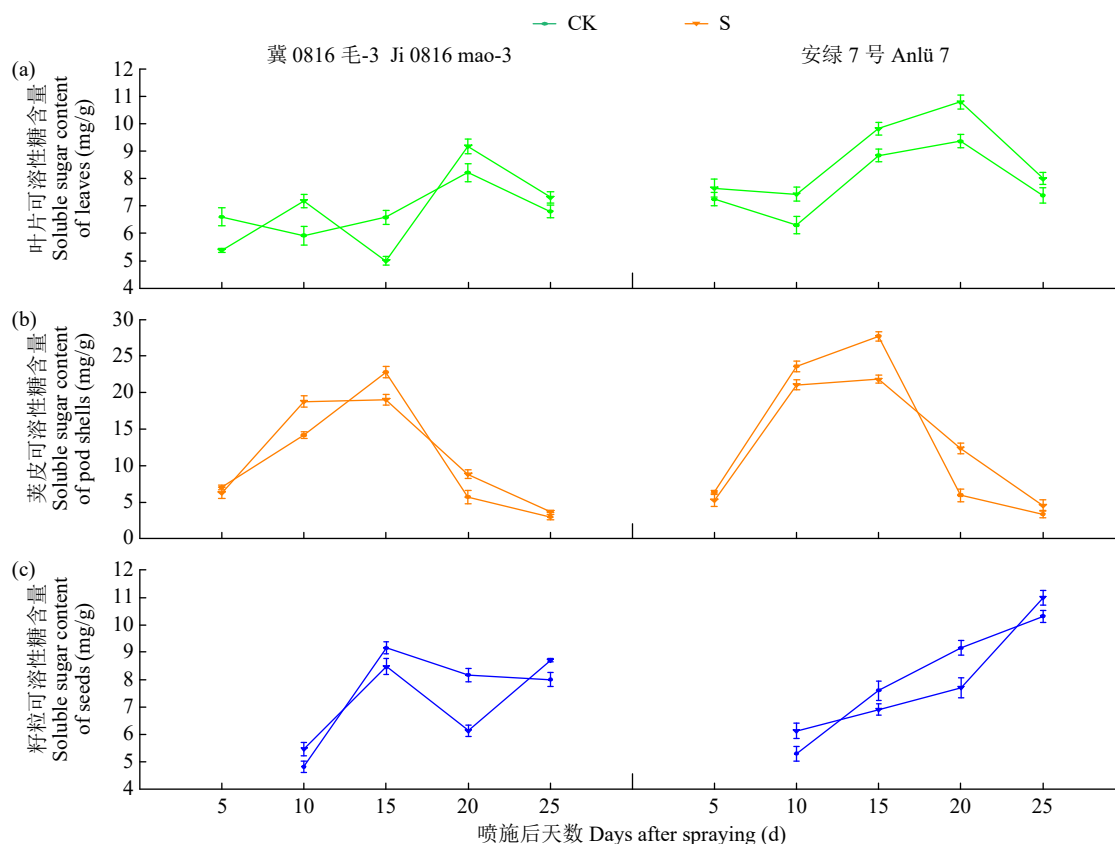


图 3 S3307 对绿豆源库器官可溶性糖含量的影响

Fig.3 Effects of S3307 on soluble sugar contents of source and sink organs of mung bean

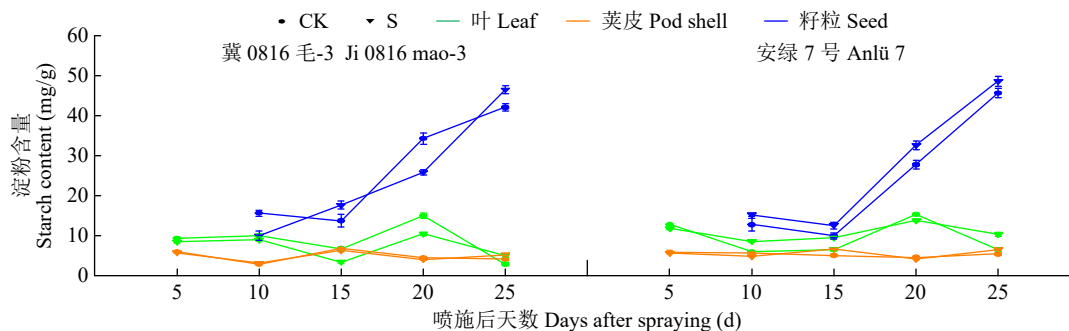


图 4 S3307 对绿豆源库器官淀粉含量的影响

Fig.4 Effects of S3307 on starch contents of source and sink organs of mung bean

和 21.1%。

叶面喷施植物生长调节剂可有效增加成熟期绿豆籽粒淀粉含量。如图 4 所示，冀 0816 毛-3 S 处理组籽粒淀粉含量在喷后第 15 和 25 天均高于 CK。对于安绿 7 号 S 处理籽粒淀粉含量在喷后第 10~25 天始终明显高于 CK。成熟期 2 个绿豆品种籽粒淀粉含量分别为 46.57 和 48.6 mg/g，分别较 CK 增加了 10.6% 和 6.4%。

**2.2.4 还原糖含量** 如图 5 所示，在喷后第 10 天，2 个品种 S 处理的叶片还原糖含量均低于相应 CK。在喷后 15~25d，2 个品种 S 处理叶片还原糖含量相

比于 CK 增加，最多分别增加了 32.9% 和 23.3%；对于冀 0816 毛-3，除喷后第 15 天外，其余时间 S 处理绿豆荚皮还原糖含量均高于 CK，相较于 CK 增加了 77.1%；对于安绿 7 号，在喷施 S3307 后 10~25d 中其荚皮还原糖含量高于 CK，在喷后第 25 天含量最高，相比 CK 增加了 185.2%。

S3307 处理降低了灌浆中期籽粒还原糖含量，并提高了后期籽粒还原糖含量（图 5）。冀 0816 毛-3 S 处理籽粒还原糖含量在喷后第 10 天明显低于 CK，而在喷后的 15~25d 中明显高于 CK，成熟期 S 处理籽粒还原糖含量相比于 CK 增加了 72.1%。

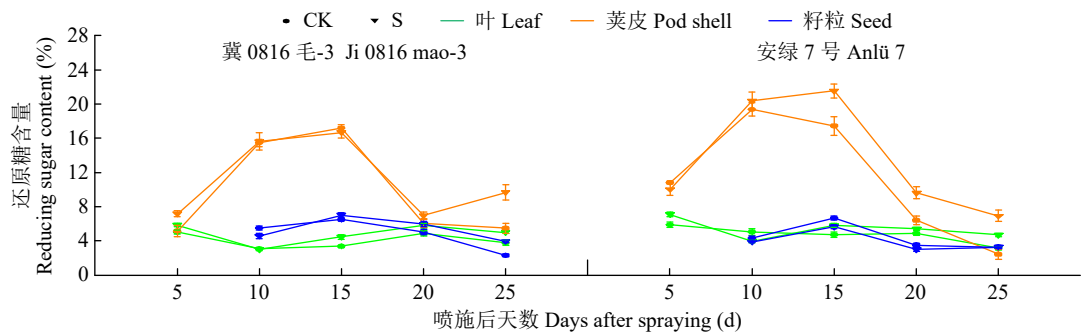


图 5 S3307 对绿豆源库器官还原糖含量的影响  
Fig.5 Effects of S3307 on reducing sugar content of source and sink organs of mung bean

不同于冀 0816 毛-3 籽粒还原糖含量的变化，安绿 7 号 S 处理籽粒还原糖含量仅在喷后第 25 天略高于 CK，为 3.27%。

2.2.5 总糖含量 整体而言，2 个绿豆品种叶片总糖含量呈下降—上升—下降的趋势，而荚皮总糖含量呈上升—下降趋势。如图 6 所示，冀 0816 毛-3 S 处

理叶片总糖含量比 CK 下降，在籽粒建成中期叶片总糖含量快速减少，最低值（喷后第 15 天）比 CK 减少了 37.1%，仅在成熟期高于 CK，而安绿 7 号叶片总糖含量在 S3307 处理后各时期整体高于 CK。说明叶面喷施 S3307 可促进绿豆鼓粒后期荚皮总糖的积累。在喷后第 20~25 天，参试 2 个绿豆

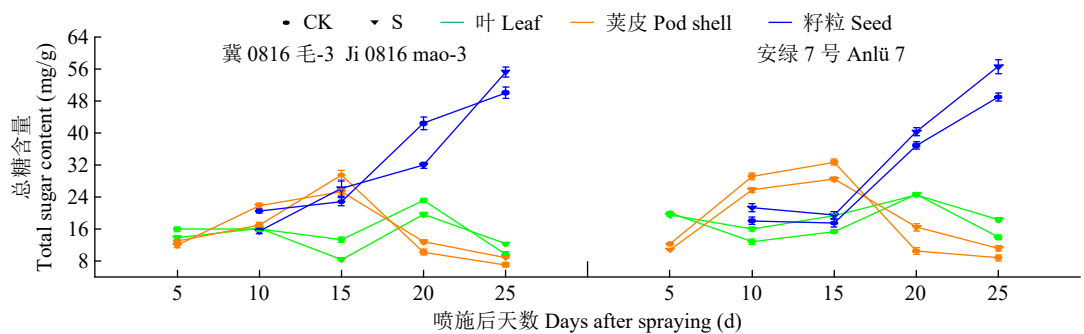


图 6 S3307 对绿豆源库器官总糖含量的影响  
Fig.6 Effects of S3307 on total sugar contents of source and sink organs of mung bean

品种荚皮总糖含量均明显高于相应 CK。

由图 6 可以看出，绿豆始花期叶面喷施 S3307 后籽粒总糖含量呈不断上升的趋势，与 CK 相比，明显提高了成熟期籽粒总糖含量。在喷施调节剂后第 10 和 20 天，冀 0816 毛-3 S 处理籽粒总糖含量明显低于 CK，而在喷后第 15 和 25 天籽粒总糖含量均高于 CK。安绿 7 号在喷后第 10~25 天 S 处理

籽粒总糖含量始终高于 CK。成熟期 2 个参试绿豆品种籽粒总糖含量分别相比于 CK 明显增加了 10.3%和 15.5%。

2.3 S3307 对绿豆源库器官氮代谢的影响

2.3.1 总氮 氮素是植物体生长发育所必需的基本元素，其含量反映了植物体器官固定氮素的能力。由图 7 可知，S3307 在一定程度上增加了叶

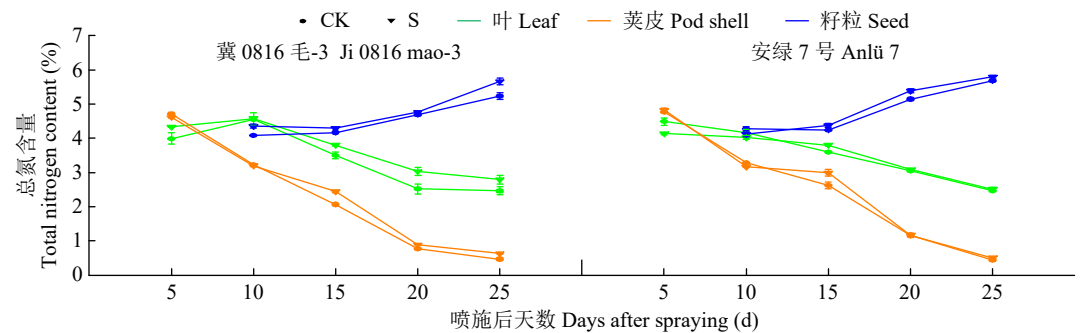


图 7 S3307 对绿豆源库器官总氮含量的影响  
Fig.7 Effects of S3307 on total nitrogen contents of source and sink organs of mung bean

片、荚皮与籽粒中总氮含量。整体而言，始花期叶面喷施 S3307 后绿豆叶片与荚皮总氮含量均呈逐渐下降的趋势，而籽粒总氮含量呈不断上升的趋势。

对于冀 0816 毛-3，S 处理在一定程度上可增加叶片总氮含量，增幅为 0.30%~0.52%；鼓粒中后期 S 处理荚皮中总氮含量也有一定程度的提高。对于安绿 7 号，S 处理一定程度上有利于后期叶片与荚皮中总氮含量的提高，S 处理叶片和荚皮总氮含量在喷后 15~25 d 最高，相比于 CK 分别增加了 5.6%和 15.2%。

叶面喷施 S3307 有利于籽粒总氮含量的提高，2 个品种 S 处理组成熟期籽粒总氮含量分别为 5.67%和 5.80%，较 CK 分别增加了 8.2%和 2.2%。

S 处理在一定程度上增加绿豆叶片、荚皮与籽粒中总氮含量。源器官中总氮含量的增加有利于更多的氮素向籽粒转移运输，籽粒作为主要的氮素储

存库，其总氮含量的提升更有利于库器官中蛋白质和氨基酸等重要含氮物质的合成与积累。

2.3.2 可溶性蛋白 作为重要的营养与渗透调节物质，可溶性蛋白是氮代谢相关蛋白组分中最活跃的部分，在整个生育后期保持较高的可溶性蛋白含量，能够更大程度上保持植株生理代谢活性。由图 8 可知，冀 0816 毛-3 始花期喷施 S3307 能够明显提高喷后 5~10 d 和 15~20 d 叶片可溶性蛋白含量，可有效提高荚皮中可溶性蛋白含量，在喷后第 15 天最高，较 CK 增加了 23.0%。对安绿 7 号而言，S 处理延缓了喷后 5~10 d 叶片可溶性蛋白含量的下降，却加速了喷后 10~15 d 叶片可溶性蛋白含量的减少，明显降低了叶片可溶性蛋白含量，降幅为 0.09~0.27 mg/g。安绿 7 号 S 处理荚皮可溶性蛋白含量在喷后 15~20 d 内的减少速率与 20~25 d 内的增加速率均得到提升，促进了中期荚皮可溶性蛋白

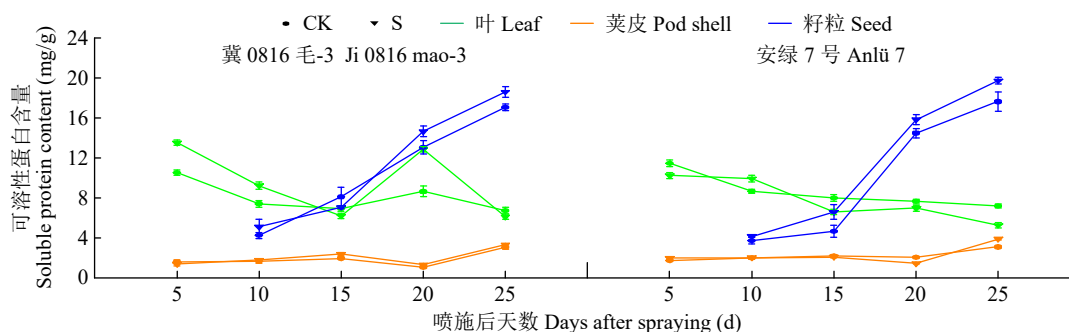


图 8 S3307 对绿豆源库器官可溶性蛋白含量的影响

Fig.8 Effects of S3307 on soluble protein content of source and sink organs of mung bean

的转化与后期荚皮可溶性蛋白的积累。

S 处理后，冀 0816 毛-3 绿豆成熟期籽粒可溶性蛋白含量较 CK 增加了 9.1%，达到 18.63 mg/g。安绿 7 号籽粒可溶性蛋白含量明显提高，在喷后第 15、20 与 25 天分别较 CK 增加了 41.3%、9.2 和 12.0%，成熟期籽粒可溶性蛋白含量达到 19.76 mg/g。

综上所述，在始花期进行叶面喷施植物生长调节剂 S3307 在一定程度上可增加绿豆荚皮与籽粒中可溶性蛋白含量，而对于叶片中可溶性蛋白含量的影响存在基因型差异。

### 3 讨论

#### 3.1 S3307 处理调节绿豆源库器官碳代谢

绿豆的叶片和荚皮是其主要的光合场所，以往多项研究<sup>[4,25]</sup>表明，S3307 的施用有利于植物叶绿素含量的增加。蔗糖是碳水化合物自源向库转运的主要形式，位于植物碳代谢网络的中心<sup>[26]</sup>。黄文

婷<sup>[6]</sup>研究表明，S3307 处理可提高大豆籽粒建成的关键时期（鼓粒期）叶片的蔗糖含量。刘春娟等<sup>[13]</sup>研究表明，S3307 处理降低了大豆籽粒建成初期叶片中蔗糖含量，增加了籽粒中蔗糖含量。而在中后期，叶片和籽粒中蔗糖大量积累，有利于籽粒产量和品质的形成。可溶性糖是植物可直接转运利用的碳形式，其含量能够直接反映“源”端对“库”端的同化物供应能力以及“库”端对“源”端同化物的转化与利用能力<sup>[27]</sup>。罗凯等<sup>[16]</sup>研究发现，初花期叶面喷施植物生长调节剂 S3307 能够提高始粒期叶片中可溶性糖含量，并促进籽粒中可溶性糖积累。淀粉是同化物积累的主要形式，喷施 S3307 后马铃薯叶片中淀粉大量积累，在生长后期叶片中淀粉加快降解以供块茎中淀粉和可溶性糖的大量积累<sup>[12]</sup>。同时生长期“库”中储存更多的糖类物质有利于大豆豆荚的建成<sup>[8]</sup>。

本研究中始花期叶面喷施 S3307 后，绿豆叶片

和荚皮中叶绿素含量明显增加。花后 15 d (鼓粒中期) 时绿豆籽粒灌浆速率达到最大, 是豆荚形成的关键时期, 在此时期调节剂处理组绿豆叶片中的蔗糖、还原糖和可溶性糖含量低于对照, 绿豆荚皮中可溶性糖、淀粉和总糖含量低于对照, 蔗糖与还原糖含量高于对照, 可知 S3307 处理后“源”端碳水化合物输出量增加, 而荚皮中的蔗糖与还原糖含量因其作为同化物由“源”转运至“库”的过渡器官而增加。在花后 20~25 d, 绿豆叶片与荚皮中蔗糖、还原糖和可溶性糖含量相比对照有所增加, 而叶片中淀粉和总糖含量变化存在基因型差异。

绿豆库器官(籽粒)中蔗糖、淀粉与总糖含量在 S3307 处理后均得到明显提高。此结果与前人<sup>[12-13,16]</sup>的研究结果相似。籽粒中可溶性糖含量在鼓粒中期减少, 推测是有更多的可溶性糖被用于淀粉等多种糖类物质的合成中。冀 0816 毛-3 籽粒还原糖含量在调节剂处理后增加, 而安绿 7 号的籽粒还原糖含量则减少, 说明 S3307 对籽粒还原糖含量的调节存在基因型差异。

由此可知, 植物生长调节剂 S3307 可促进中期“源”端同化物的合成、装载与输出, 增加后期源器官中同化物积累, 为“库”的形成奠定提供物质基础, 成为植物生长调节剂 S3307 促进绿豆增产的原因之一。

### 3.2 S3307 处理调节绿豆源库器官氮代谢

氮代谢是植物体内最基础、最重要的代谢途径之一<sup>[28-29]</sup>。前人<sup>[16-18]</sup>研究表明, S3307 可促进植物源器官中氮素的积累与转运, 使更多氮素随生育时期推进转移至库器官中进行积累利用。可溶性蛋白是氮代谢相关蛋白组分中最活跃的部分, 其含量是衡量植物体氮代谢速率的指标之一。丁凯鑫<sup>[9]</sup>试验发现, 始花期喷施 S3307 处理对大豆、芸豆和红小豆 3 种豆类叶片可溶性蛋白和总氮含量均有正向调控作用。相关性分析还证明了氮素含量与籽粒蛋白质含量呈极显著正相关关系, 说明调控氮代谢对籽粒品质形成具有积极作用<sup>[16]</sup>。

本试验结果表明, 绿豆叶片、荚皮与籽粒中总氮含量在调节剂处理下表现出增加趋势。始花期叶面喷施植物生长调节剂 S3307 在一定程度上可增加绿豆荚皮与籽粒中可溶性蛋白含量, 而对于叶片中可溶性蛋白含量的影响存在基因型差异。S3307 处理后叶片代谢活性的提高与氮素积累的增加为绿豆生长发育提供了有力保障。

在整个植物体代谢通路中, 有各种关键酶和关键物质参与调控植物代谢稳态。有研究<sup>[29-31]</sup>提出了碳代谢相关酶以及氮代谢相关酶在代谢通路中的重要作用, 有关 S3307 调节绿豆碳氮代谢, 协调源、库物质转运的具体分子机制还需进行深入研究。

## 4 结论

绿豆始花期叶面喷施 S3307 可显著增加绿豆叶片与荚皮中叶绿素含量, 通过调节不同籽粒建成时期绿豆叶片和荚皮中碳水化合物含量, 促进了鼓粒中期源器官中同化物的输出及其在鼓粒后期源器官中的积累, 增加了绿豆的库器官, 即籽粒中的蔗糖、淀粉和总糖含量, 同时 S3307 处理促进了绿豆地上部各器官的氮素积累, 提高了绿豆源库器官中可溶性蛋白含量。此外, 始花期叶面喷施 S3307 对绿豆碳氮代谢指标的调控存在一定的基因型差异。

### 参考文献

- [1] 李强强, 赵玥, 李璠, 等. 作物源库关系及其生理调控途径的研究进展. 江苏农业科学, 2020, 48(9): 50-56.
- [2] He J, Lin L J, Ma Q, et al. Uniconazole (S-3307) strengthens the growth and cadmium accumulation of accumulator plant *Malachium aquaticum*. International Journal of Phytoremediation, 2017, 19(4): 348-352.
- [3] 余明龙, 郑殿峰, 冯乃杰, 等. 烯效唑对低温胁迫下绿豆初花期碳代谢、抗氧化系统及产量的影响. 植物生理学报, 2021, 57(9): 1808-1818.
- [4] 宫香伟, 刘春娟, 冯乃杰, 等. S<sub>3307</sub> 和 DTA-6 对大豆不同冠层叶片光合特性及产量的影响. 植物生理学报, 2017, 53(10): 1867-1876.
- [5] 刘洋, 郑殿峰, 冯乃杰, 等. 鼓粒期叶施烯效唑和激动素对绿豆叶片碳代谢及籽粒产量的影响. 西南农业学报, 2016, 29(7): 1584-1589.
- [6] 黄文婷. DTA-6 与 S3307 对豆类作物花后碳代谢及产量的影响. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2020.
- [7] 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. 草业学报, 2018, 27(11): 162-170.
- [8] 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. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(2): 748-758.
- [9] 丁凯鑫. DTA-6 和 S3307 对三种豆类作物生长和碳氮代谢及产量的影响. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2021.
- [10] 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. 大豆科学, 2019, 38(2): 244-250.
- [11] 孙福东, 冯乃杰, 郑殿峰, 等. 植物生长调节剂 S3307 和 DTA-6 对大豆荚的生理代谢及 GmAC 的影响. 中国农业科学, 2016, 49(7): 1267-1276.
- [12] 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. 作物杂志, 2019(4): 148-153.

- [13] 刘春娟, 冯乃杰, 郑殿峰, 等. 植物生长调节剂 S3307 和 DTA-6 对大豆源库碳水化合物代谢及产量的影响. 中国农业科学, 2016, 49(4): 657-666.
- [14] Yan Y H, Wan Y, Liu W G, et al. Influence of seed treatment with uniconazole powder on soybean growth, photosynthesis, dry matter accumulation after flowering and yield in relay strip intercropping system. *Plant Production Science*, 2015, 18(3): 295-301.
- [15] 郭溶誉, 张余, 李振东, 等. 外源烯效唑对苦荞衰老及产量的影响. 分子植物育种. (2022-04-03)[2022-12-31]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220412.1252.013.html>.
- [16] 罗凯, 谢琛, 汪锦, 等. 外源喷施植物生长调节剂对套作大豆碳氮代谢和花荚脱落的影响. 作物学报, 2021, 47(4): 752-760.
- [17] Han H, Yang W. Influence of uniconazole and plant density on nitrogen content and grain quality in winter wheat in South China. *Plant Soil and Environment*, 2018, 55(4): 159-166.
- [18] 宋莉萍, 刘金辉, 郑殿峰, 等. 植物生长调节剂对大豆氮代谢相关指标及产量品质的调控. 干旱地区农业研究, 2011, 29(5): 50-54.
- [19] 王永霞, 王成菊, 周宇, 等. 有机小杂粮绿豆种植技术. 农业工程技术, 2018, 38(8): 51.
- [20] 陈毓荃. 生物化学实验方法和技术. 北京: 科学出版社, 2002.
- [21] 张志良. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [22] 崔辉梅, 石国亮, 安君和. 马铃薯还原糖含量测定方法的比较研究. 安徽农业科学, 2006(19): 4821-4823.
- [23] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [24] 邹琦. 植物生理实验指导. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [25] 赵晶晶. 烯效唑缓解绿豆 R1 期冷害对碳代谢损伤效应的研究. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2019.
- [26] 刘洋, 林希昊, 姚艳丽, 等. 高等植物蔗糖代谢研究进展. 中国农学通报, 2012, 28(6): 145-152.
- [27] 韩涛. 孕穗期冷水胁迫对水稻碳水化合物形成积累规律的影响. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
- [28] Cristian D C, Giuseppe B, Giovanna V, et al. Increased root growth and nitrogen accumulation in common wheat following PGPR inoculation: Assessment of plant-microbe interactions by ESEM. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2017, 247: 396-408.
- [29] 史作民, 唐敬超, 程瑞梅, 等. 植物叶片氮分配及其影响因子研究进展. 生态学报, 2015, 35(18): 5909-5919.
- [30] 李婷婷, 薛璟祺, 王顺利, 等. 植物非结构性碳水化合物代谢及体内转运研究进展. 植物生理学报, 2018, 54(1): 25-35.
- [31] Liu Y, Fang Y, Huang M J, et al. Uniconazole-induced starch accumulation in the bioenergy crop duckweed (*Landoltia punctata*) II: transcriptome alterations of pathways involved in carbohydrate metabolism and endogenous hormone crosstalk. *Biotechnology for Biofuels*, 2015, 8: 64.

## Effects of Plant Growth Regulator S3307 on Physiological Metabolism of Mung Bean

Zhang Ruipu<sup>1</sup>, Wang Na<sup>2</sup>, Wang Kexin<sup>1</sup>, Liu Jindong<sup>1</sup>, Gao Xiaoli<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Agronomy, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, Shaanxi, China;

<sup>2</sup>Weinan Academy of Agricultural Sciences, Weinan 714000, Shaanxi, China)

**Abstract** In order to explain the effect of plant growth regulator S3307 on carbohydrate metabolism and nitrogen metabolism of mung bean in the source-sink theory, “Ji 0816mao-3” and “Anlv 7”, two mung bean varieties with different genotypes, were used as experimental materials. At the first flowering stage of mung bean, 60 mg/L plant growth regulator uniconazole (S3307) was sprayed on leaf surface of mung bean, and the same amount of water was sprayed as the control (CK). The results showed that, the chlorophyll contents in the testing mung bean leaves and pod shells were significantly increased after foliar spraying of S3307 at the initial flowering stage. The contents of sucrose, reducing sugar and soluble sugar in the leaves and the contents of soluble sugar, starch and total sugar in the pod shells of the two varieties of mung bean decreased in the middle granulation period, and increased in the later granulation period compared with the CK. Spraying S3307 treatment increased the contents of sucrose, starch and total sugar in the testing mung bean seeds. The reducing sugar contents in the seeds of the two mung bean varieties with different genotypes changed differently after spraying. The results of related indicators of nitrogen metabolism showed that the contents of soluble protein and total nitrogen in the testing mung bean leaves, pod shells and seeds increased in the granulation stage. In conclusion, plant growth regulator S3307 could promote the synthesis and export of assimilates at the source organs in the mid granulation stage, increase the accumulation of assimilates at the sink organ, and at the same time increase the accumulation of nitrogen in various organs of mung bean. Plant growth regulator S3307 can increase the source and expand the sink by regulating the carbohydrate metabolism and nitrogen metabolism of mung bean.

**Key words** Plant growth regulator; S3307; Mung bean; Source and sink; Metabolism