

# 烯效唑 ( $S_{3307}$ ) 和胺鲜酯 (DTA-6) 对马铃薯叶与块茎糖代谢及产量的影响

齐德强<sup>1</sup> 赵晶晶<sup>1</sup> 冯乃杰<sup>1,2</sup> 郑殿峰<sup>1,2</sup> 梁晓艳<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 黑龙江八一农垦大学化控研究室/黑龙江省高校寒地作物种质改良与栽培重点实验室, 163319, 黑龙江大庆; <sup>2</sup> 广东海洋大学, 524000, 广东湛江)

**摘要** 在大田栽培条件下, 以马铃薯克新 1 号为试验材料, 在苗期叶面喷施调节剂烯效唑 ( $S_{3307}$ ) 和胺鲜酯 (DTA-6) 进行处理, 以清水作为对照 (CK), 研究不同植物生长调节剂对马铃薯叶和块茎间光合产物变化和产量的影响。结果表明:  $S_{3307}$  和 DTA-6 处理可以显著提高马铃薯产量, 增加前期叶片内蔗糖和淀粉含量; 喷施调节剂第 34 天 (块茎膨大期),  $S_{3307}$  和 DTA-6 处理促进叶片中淀粉含量向块茎中转运降低叶片内淀粉含量, 利于源器官的物质输出;  $S_{3307}$  和 DTA-6 显著增加各取样时期马铃薯块茎中淀粉含量;  $S_{3307}$  和 DTA-6 在喷施后第 18 和 34 天显著增加块茎可溶性糖含量; 马铃薯块茎内淀粉含量的变化与叶片内蔗糖和淀粉含量均呈极显著正相关, 与转化酶和淀粉酶活性呈极显著负相关。 $S_{3307}$  和 DTA-6 处理均显著促进单薯重, 同时 DTA-6 处理的单株薯数也显著高于 CK。

**关键词** 烯效唑; 胺鲜酯; 马铃薯; 生长发育; 产量

源强、库大是包括马铃薯在内所有作物高产的基础, 块茎是马铃薯主要的收获器官, 也是马铃薯的库器官, 其膨大过程伴随着淀粉的合成和积累, 淀粉合成的碳骨架由叶片光合产物提供, 并通过韧皮部以蔗糖形式运输至块茎。而蔗糖属于非还原糖, 由“源”器官运转到“库”器官后, 转化为己糖或磷酸己糖后才能进入细胞内的其他代谢过程, 否则将出现蔗糖积累<sup>[1]</sup>。Sturm 等<sup>[2]</sup>认为细胞壁转化酶可以控制蔗糖吸收速度以及调节蔗糖的外渗, 使源与库之间形成蔗糖梯度。源是库的能量供应者, 在源-库共同协调下, 源器官产生的同化物质向库器官的运输及分配效率最终影响产量高低。研究发现, 植物生长调节剂可以增加源端光合产物的输出和库端碳水化合物的输入, 进而促进作物库器官的生长和发育<sup>[3-4]</sup>。因此, 从源-库理论的角度挖掘植物生长调节剂对马铃薯叶与块茎间碳水化合物代谢及产量的影响机理具有重要意义。

相关报道指出, 应用烯效唑 ( $S_{3307}$ ) 后叶片中叶绿素含量和净光合速率明显提高, 而且还可以促

进淀粉在源器官内的积累<sup>[5-7]</sup>。杨文钰等<sup>[8]</sup>研究表明, 喷施烯效唑可以有效调控小麦植株生长, 增加茎秆强度, 从而达到增产增收的目的。郇舒蕊等<sup>[9]</sup>研究表明, 叶面喷施烯效唑可以调控丹参生物量的合理分配, 促进地下生物量积累, 从而促进其产量的增加。研究发现叶面喷施烯效唑可以增加马铃薯茎秆粗度, 提高植株抗倒伏能力, 并有效提高产量, 获得更高经济效益<sup>[10]</sup>。烯效唑处理甘薯可以有效调控甘薯的茎蔓生长, 具有促壮增产的作用<sup>[11]</sup>。杨国放等<sup>[12]</sup>研究发现, 叶面喷施烯效唑可以提高马铃薯地下块茎数量和干重, 增加块茎重量并降低地上部株高和鲜重。植物生长调节剂胺鲜酯 (DTA-6) 能够在低浓度下显著促进作物碳水化合物的代谢<sup>[13-14]</sup>。项洪涛等<sup>[15]</sup>研究表明, 应用 DTA-6 可以显著降低叶片中淀粉酶活性, 对地下主茎淀粉酶活性和蔗糖含量的提高有促进作用。此外, DTA-6 处理促进了马铃薯叶片净光合速率, 增加马铃薯产量并改善马铃薯品质<sup>[16]</sup>。宫占元<sup>[17]</sup>研究表明, 喷施 DTA-6 可以调控马铃薯根系生理代谢, 促进膨大期根系活力的提高, 最终促进马铃薯产量的提高。

前人研究已证实植物生长调节剂对作物光合产物的调控和产量具有显著的调控作用, 但前人的研究多集中在马铃薯单一器官对作物产量的影响, 尚未明确植物生长调节剂调控马铃薯叶与块茎间糖分

作者简介: 齐德强, 研究生, 从事化学调控技术研究; 赵晶晶为共同第一作者, 博士, 主要从事化学调控技术研究  
冯乃杰为通信作者, 教授, 从事作物化控技术研究  
基金项目: “十三五”国家重点研发计划 (2017YFD0201306); 复合型作物生长调节剂的研究与应用 (HNK12A-06-03); 研究生创新项目 (YJSCX2018-Y14)

收稿日期: 2019-01-21; 修回日期: 2019-06-08

变化及糖代谢关键酶活性变化与产量之间关系。因此, 本试验通过叶面喷施 S<sub>3307</sub> 和 DTA-6, 深度挖掘其对叶与块茎间糖分变化及糖代谢关键酶活性的影响, 为植物生长调节剂在马铃薯增产应用中提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 试验品种

供试马铃薯品种为克新 1 号, 由黑龙江省黑河市克山农场提供。

1.2 供试药剂

供试药剂为 DTA-6 和烯效唑 S<sub>3307</sub> (厂家: 郑州信联生化科技有限公司, 有效成分≥98%, 由黑龙江八一农垦大学化控研究中心提供)。经筛选试验, 设定试验浓度分别为 30 和 40mg/L。

1.3 试验方法

试验地点位于黑龙江农垦九三农场。试验地肥力均匀, 地势平坦, 0~20cm 耕层土壤基本养分情况为: 碱解氮 226mg/kg, 有效磷 31.8mg/kg, 速效钾 183mg/kg, 有机质 55.1g/kg, pH 6.25。小区采用随机区组排列, 6 垄区, 垄长 8.0m, 垄距 0.9m, 株距 20cm。于 2015 年 5 月 27 日播种。于苗期 (株高 10cm, 7 片叶左右) 采用大田叶面喷施方式, 以清水为对照 (CK), 调节剂 DTA-6 和 S<sub>3307</sub> 为处理, 用量均为 225L/hm<sup>2</sup>, 处理和 CK 各设 4 次重复。田间管理按当地常规方式, 于 9 月 6 日收获。

于喷施调节剂后第 2 天开始取样, 以后每隔 8d 取 1 次样, 整个生长过程中, 叶片取样 5 次、块茎取样 4 次 (因为叶片第一次取样时, 匍匐茎末端

尚未膨大, 块茎还没有形成), 每次取有代表性的 6 株的叶片和块茎用液氮速冻, 再移至 -40℃ 冰箱中保存备用。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 生理指标测定 采用间苯二酚法<sup>[18]</sup>测定蔗糖含量, 采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量<sup>[19]</sup>。用蔗糖和可溶性糖的提取残留物, 采取高氯酸水解法测定淀粉含量<sup>[20]</sup>。在 4℃ 条件下, 参照 Suksoon 等<sup>[21]</sup>方法进行转化酶和淀粉酶的提取及活性测定。

1.4.2 产量及产量构成因素的测定 在马铃薯成熟期考种测产, 各小区的测产面积为 2m<sup>2</sup>, 记下收获株数, 考察并计算单株薯数、单薯重和产量: 单株薯数 = 块茎总数/收获株数, 单薯重 (kg) = 总薯重/块茎总数, 产量 (kg/hm<sup>2</sup>) = 单株薯数 × 单薯重 × 密度。

1.5 数据分析

利用 Microsoft Excel 2015 进行数据整理, 用 SPSS 17.0 对数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 S<sub>3307</sub> 和 DTA-6 对马铃薯产量及其构成因素的影响

马铃薯产量由种植密度、单株薯数和单薯重三因素构成, 在种植密度一定的情况下, 单株薯数和单薯重决定了马铃薯产量的高低。如表 1 所示, DTA-6 和 S<sub>3307</sub> 处理的产量比 CK 分别增加了 31.05% 和 28.18%, 处理与 CK 之间差异极显著 ( $P < 0.01$ )。S<sub>3307</sub> 和 DTA-6 处理的单薯重分别比 CK 增加 33.33% 和 22.22%, 处理与 CK 之间差异达到极显

表 1 S<sub>3307</sub> 和 DTA-6 对马铃薯产量及产量构成因素的影响  
Table 1 Effects of S<sub>3307</sub> and DTA-6 on potato yield and yield components

处理 Treatment	单株薯数 Number of tuber per plant	单薯重 Weight per plant (kg)	产量 Yield (kg/hm <sup>2</sup> )	增产 Increase (%)
CK	4.61 ± 0.01Bb	0.09 ± 0.04Cc	28 705.89 ± 260.73Bb	—
S <sub>3307</sub>	4.52 ± 0.04Bb	0.12 ± 0.06Aa	36 796.16 ± 339.42Aa	28.18
DTA-6	4.83 ± 0.06Aa	0.11 ± 0.01Bb	37 618.78 ± 279.90Aa	31.05

注: 大写和小写字母分别表示不同处理间差异达极显著 ( $P < 0.01$ ) 和显著水平 ( $P < 0.05$ )。下同  
Note: Capital and lowercase letters show extremely significant difference ( $P < 0.01$ ) and significant difference ( $P < 0.05$ ) between different treatments, respectively. The same below

著水平。DTA-6 处理极显著增加了单株薯数。

2.2 S<sub>3307</sub> 和 DTA-6 对马铃薯叶片糖分变化及转化酶活性的影响

2.2.1 S<sub>3307</sub> 和 DTA-6 对马铃薯叶片淀粉含量的影响 由表 2 可以看出, 不同植物生长调节剂对马铃薯叶片淀粉含量影响不同。喷施 S<sub>3307</sub> 和 DTA-6

后 2 和 18d, 两个处理均极显著促进马铃薯叶片淀粉含量的积累, 其中 DTA-6 调控的效果优于 S<sub>3307</sub>。喷施调节剂后 26 和 34d, 两种调节剂处理均降低了叶片中淀粉含量, 此时块茎正处于膨大期, “库”器官的建成需要“源”器官提供充足的物质保障, 这说明调节剂处理对于叶片中淀粉的分解有促进作用

用，使马铃薯叶片通过光合作用所产生的蔗糖更多地运输到块茎中，为马铃薯块茎膨大奠定了基础。

表 2  $S_{3307}$  和 DTA-6 对叶片淀粉含量的影响  
Table 2 Effects of  $S_{3307}$  and DTA-6 on starch content in leaves %

处理 Treatment	2d	10d	18d	26d	34d
CK	5.96 ± 0.36Cc	5.13 ± 0.23Bb	3.93 ± 0.36Bb	5.13 ± 0.37Aa	43.24 ± 0.10Aa
DTA-6	13.37 ± 0.30Aa	9.82 ± 0.36Aa	8.69 ± 0.43Aa	2.81 ± 0.30Ab	38.90 ± 0.75Bc
$S_{3307}$	10.27 ± 0.26Bb	3.98 ± 0.39Bc	7.89 ± 0.47Aa	4.07 ± 1.08Aab	40.82 ± 0.68ABb

2.2.2  $S_{3307}$  和 DTA-6 对马铃薯叶片蔗糖含量的影响 由表 3 可以看出，在喷施调节剂后 26d 各处理及 CK 蔗糖含量均达最大值，其中 DTA-6 处理效果最佳，DTA-6 和  $S_{3307}$  处理分别比 CK 叶片蔗糖含量增加 18.40% 和 9.69%，差异达到极显著水平。喷施调节剂后 2 和 10d， $S_{3307}$  和 DTA-6 处理极显著增加了叶片蔗糖含量，其中  $S_{3307}$  处理对叶片蔗糖含量

积累的调控效果优于 DTA-6 处理，其处理的叶片蔗糖含量分别较 CK 高 62.05% 和 37.88%。叶片中形成的光合产物，主要以蔗糖形式运输到库器官，这说明此阶段调节剂有利于增加叶片蔗糖含量的积累，提高了“源”端同化物的供应能力，在“库”端输出蔗糖经转化酶水解，降解为还原糖，供“库”器官合成各种贮藏物质。

表 3  $S_{3307}$  和 DTA-6 对叶片蔗糖含量的影响  
Table 3 Effects of  $S_{3307}$  and DTA-6 on sucrose content in leaves %

处理 Treatment	2d	10d	18d	26d	34d
CK	12.28 ± 0.73Bb	13.28 ± 0.79Bb	20.52 ± 0.61Bb	23.42 ± 0.37Cc	20.52 ± 0.66Bab
DTA-6	19.58 ± 0.53Aa	16.74 ± 0.76Aa	19.38 ± 0.25Bb	27.73 ± 0.57Aa	19.38 ± 0.48Bb
$S_{3307}$	19.90 ± 0.34Aa	18.31 ± 0.06Aa	22.64 ± 0.10Aa	25.69 ± 0.15Bb	22.68 ± 0.59Aa

2.2.3  $S_{3307}$  和 DTA-6 对马铃薯叶片淀粉酶和转化酶活性的影响 从表 4 可以看出，喷施调节剂后 2、10 和 26d， $S_{3307}$  和 DTA-6 均极显著促进了叶片淀粉酶活性。喷施调节剂后 18d，DTA-6 处理的淀粉酶活性比 CK 降低了 3.57%，但差异并不显著， $S_{3307}$  处理淀粉酶活性下降 26.87%，与 CK 达到极显著差异水平。喷施调节剂后 2 和 26d，DTA-6 提高

了转化酶活性，分别较 CK 提高了 6.23% 和 6.92%，而  $S_{3307}$  处理却降低了转化酶活性，但与 CK 差异未达到显著水平。喷施调节剂后 10 和 18d， $S_{3307}$  和 DTA-6 处理转化酶活性较 CK 显著降低，下降幅度为 8.89%~23.11%，此时期叶片转化酶活性降低有利于“源”端同化物的积累，为后期的淀粉积累奠定了基础。

表 4  $S_{3307}$  和 DTA-6 对叶片淀粉酶和转化酶活性的影响  
Table 4 Effects of  $S_{3307}$  and DTA-6 on amylase and invertase activities in leaves mg/(g·h)

酶 Enzyme	处理 Treatment	2d	10d	18d	26d	34d
淀粉酶 Amylase	CK	9.23 ± 0.30Cc	8.89 ± 0.23Bb	14.85 ± 0.85Aa	9.85 ± 0.43Bc	6.43 ± 0.48Bb
	DTA-6	29.66 ± 1.01Aa	15.46 ± 0.65Aa	14.32 ± 1.06ABa	13.94 ± 0.77Ab	9.25 ± 0.46Aa
	$S_{3307}$	18.85 ± 0.83Bb	13.72 ± 0.84Aa	10.86 ± 0.33Bb	16.63 ± 0.61Aa	3.65 ± 0.10Cc
转化酶 Invertase	CK	6.42 ± 0.21Aa	6.19 ± 0.19Aa	6.88 ± 0.28Aa	5.35 ± 0.01Aab	4.49 ± 0.10Aa
	DTA-6	6.82 ± 0.10Aa	5.18 ± 0.13Bb	5.84 ± 0.06Bb	5.72 ± 0.20Aa	4.58 ± 0.09Aa
	$S_{3307}$	6.41 ± 0.15Aa	5.64 ± 0.14ABb	5.29 ± 0.02Bc	5.16 ± 0.04Ab	4.90 ± 0.25Aa

2.3  $S_{3307}$  和 DTA-6 对马铃薯块茎糖分的影响

2.3.1  $S_{3307}$  和 DTA-6 对马铃薯块茎淀粉含量的影响 由图 1 可知，随生育进程的推进，块茎淀粉含量逐渐升高。喷施调节剂后 10~34d， $S_{3307}$  处理的块茎淀粉含量始终高于 DTA-6 处理， $S_{3307}$  处理的块茎淀粉含量变化幅度为 17.59%~25.20%。经方差

分析可知，除喷药后 10d 外，其余各取样时间点内， $S_{3307}$  处理的块茎淀粉含量均与 CK 之间差异达显著水平。DTA-6 处理的块茎淀粉含量变化幅度为 8.12%~24.80%，但未与 CK 达到差异显著水平。

2.3.2  $S_{3307}$  和 DTA-6 对马铃薯块茎可溶性糖含量的影响 如图 2 所示，除喷药后 26d 外，其余时期

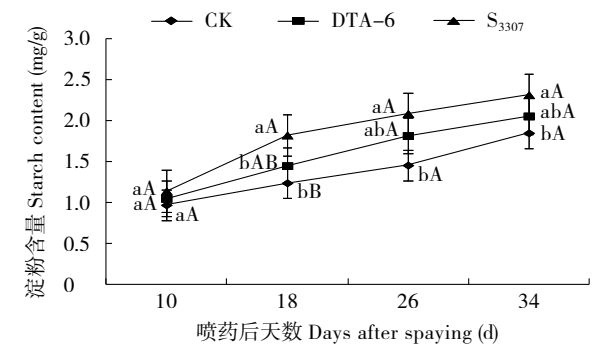


图1 S<sub>3307</sub>和DTA-6对块茎淀粉含量的影响  
Fig.1 Effects of S<sub>3307</sub> and DTA-6 on starch content in tubers

S<sub>3307</sub>和DTA-6处理对马铃薯块茎可溶性糖含量的调控效果相同。在喷施调节剂后10d，S<sub>3307</sub>和DTA-6均极显著降低了马铃薯块茎可溶性糖含量，分别比CK降低31.47%和58.49%。但喷施调节剂后期，即34d时，S<sub>3307</sub>和DTA-6处理均促进块茎中可溶性糖含量的积累，可溶性糖含量均高于CK，且与CK达到差异极显著水平。

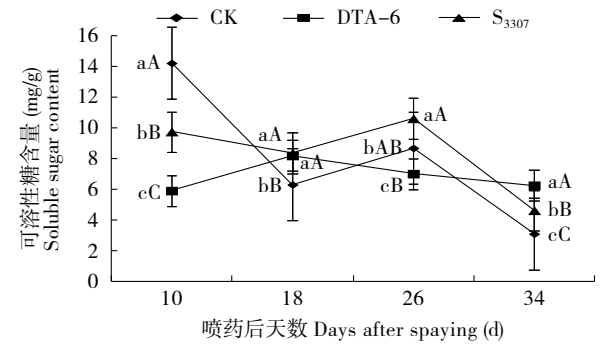


图2 S<sub>3307</sub>和DTA-6对块茎可溶性糖含量的影响  
Fig.2 Effects of S<sub>3307</sub> and DTA-6 on soluble sugar content in tubers

2.3.3 S<sub>3307</sub>和DTA-6对马铃薯块茎蔗糖含量的影响 块茎中淀粉的“碳”源主要来自“源”端所产

生的蔗糖，其生物合成的原材料来自蔗糖被还原后的还原糖，“库”器官中的蔗糖含量反映了淀粉合成底物的供应水平，植株前期积累的大量蔗糖最终大部分将转化为淀粉，才能进一步促进块茎的生长发育<sup>[22]</sup>。由图3可知，在整个变化过程中，块茎蔗糖含量呈“降低-升高-降低”的变化规律。喷施调节剂后18和26d，S<sub>3307</sub>和DTA-6处理的蔗糖含量均高于CK，经方差分析可知，除26d时DTA-6处理与CK间差异不显著外，其余处理与CK之间差异均达到极显著水平。可见，喷施调节剂对于块茎内蔗糖含量的积累具有促进作用，为后期淀粉的形成提供了物质保证。

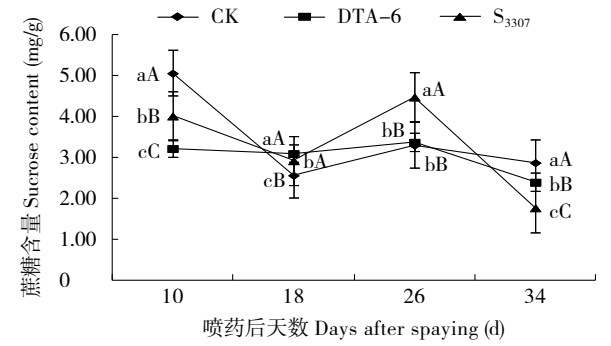


图3 S<sub>3307</sub>和DTA-6对块茎蔗糖含量的影响  
Fig.3 Effects of S<sub>3307</sub> and DTA-6 on sucrose content in tubers

2.4 马铃薯叶片和块茎间糖分和转化酶活性的相关性分析

分析表5可知，马铃薯块茎中淀粉含量与叶片淀粉和蔗糖含量呈极显著正相关，与叶片转化酶和淀粉酶活性呈显著负相关。而块茎蔗糖含量与叶片淀粉含量呈极显著负相关，与叶片蔗糖含量和淀粉酶活性呈极显著正相关，与叶片转化酶活性呈显著正相关。块茎可溶性糖含量与叶片淀粉和蔗糖含量呈极显著负相关，与叶片转化酶活性呈极显著正相关，与叶片淀粉酶活性呈显著正相关。

项目 Item		叶片 Leaf			
		淀粉含量 Starch content	蔗糖含量 Sucrose content	转化酶活性 Invertase activity	淀粉酶活性 Amylase activity
块茎 Tuber	淀粉含量 Starch content	0.536**	0.663**	-0.539**	-0.368*
	蔗糖含量 Sucrose content	-0.631**	0.670**	0.285*	0.434**
	可溶性糖含量 Soluble sugar content	-0.652**	-0.586**	0.420**	0.292*

注：“\*”表示相关性在0.05水平显著，“\*\*”表示相关性在0.01水平极显著  
Note: “\*”and “\*\*” indicate significant correlation at 0.05 level and 0.01 level, respectively

### 3 讨论

#### 3.1 $S_{3307}$ 和 DTA-6 对马铃薯产量及其构成因素的影响

产量是评价作物生产的关键性指标。李东等<sup>[23]</sup>研究表明, 喷施  $S_{3307}$  显著增加了玉米的穗重和粒重, 最终提高了玉米子粒产量。喷施植物生长调节剂对大豆产量构成因素有促进作用<sup>[24-27]</sup>。马铃薯产量由种植密度、单株薯数和单薯重三因素构成, 在种植密度一定的情况下, 单株薯数和单薯重决定了马铃薯产量的高低。本试验结果表明, DTA-6 可以增加单株薯数和单薯重, 从而促进块茎产量提高, 而  $S_{3307}$  处理的马铃薯单株薯数低于 CK。其原因可能是  $S_{3307}$  抑制赤霉素 (GA) 的合成, 并且降低内源 GA 和生长素吲哚乙酸 (IAA) 的水平<sup>[28]</sup>。内源 GA 在匍匐茎延伸过程中起到促进作用<sup>[29]</sup>, 而 IAA 促进匍匐茎顶端隆起则是通过诱导细胞膨大<sup>[30]</sup>, 推测喷施  $S_{3307}$  可能抑制了匍匐茎顶端膨大, 最终降低了马铃薯结薯数。

#### 3.2 $S_{3307}$ 和 DTA-6 对植株糖分变化及转化酶活性的影响

碳代谢是植物体内有机物质合成、转化和降解的代谢过程<sup>[22]</sup>, 其代谢强度在作物生长发育过程中的动态变化直接影响光合产物形成、运输及矿质营养的吸收等。多种酶参与碳水化合物合成和水解的过程<sup>[31]</sup>。转化酶作为蔗糖水解的关键酶在蔗糖水解为果糖和葡萄糖这一过程中起至关重要的作用<sup>[32]</sup>。大量试验表明, 外源植物生长调节剂对碳代谢及其相关酶活性的变化具有调控作用, 能显著提高马铃薯块茎淀粉含量<sup>[17]</sup>。王少君等<sup>[33]</sup>研究了外源调节剂对马铃薯不同部位还原糖代谢的作用, 结果表明, 调节剂对马铃薯块茎和叶片中糖分的积累和代谢有促进作用, 其中调节剂对马铃薯块茎糖分积累的调控效果更显著。本试验研究结果与前人研究结果相似, 喷施调节剂对苗期叶片中蔗糖和淀粉含量的积累起到重要作用, 显著促进叶片“源”器官的物质积累; 而  $S_{3307}$  和 DTA-6 在生长后期加快了叶片中淀粉的降解, 促进马铃薯“库”器官中淀粉和可溶性糖含量的积累。马铃薯产量的增加不仅与叶片、块茎糖分和转化酶活性变化存在相关性, 同时块茎细胞分裂和茎叶生物量的转移率对产量的变化也有影响, 调节剂对马铃薯产量增加的调控机理还

有待深入的研究。

### 4 结论

喷施调节剂  $S_{3307}$  和 DTA-6 可以促进马铃薯叶片与块茎间的糖代谢, 增加叶片内蔗糖和淀粉含量, 提高叶片转化酶活性, 促进块茎淀粉的积累, 提高产量。

#### 参考文献

- [1] 齐红岩, 李天来, 刘海涛, 等. 番茄不同部位中糖含量和相关酶活性的研究. 园艺学报, 2005, 32(2): 239-243.
- [2] Sturm A, Tang G Q. The sucrose-cleaving enzymes of plants are crucial for development, growth and carbon partitioning. Trends in Plant Science, 1999, 4(10): 401-407.
- [3] Devi K N, Vyas A K, Singh M S, et al. Effect of bioregulators on growth, yield and chemical constituents of soybean (*glycine max*). Journal of Agricultural Science, 2011, 3(4): 151-160.
- [4] Iqbal N, Nazar R, Khan M I R, et al. Role of gibberellins in regulation of source-sink relations under optimal and limiting environmental conditions. Current Science, 2011, 100(7): 998-1007.
- [5] 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(1): 57.
- [6] Huang M J, Fang Y, Liu Y, et al. Using proteomic analysis to investigate uniconazole-induced phytohormone variation and starch accumulation in duckweed (*Landoltia punctata*). BMC Biotechnology, 2015, 15(1): 1-13.
- [7] 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. 中国油料作物学报, 2016, 38(5): 611-618.
- [8] 杨文钰, 于振文, 于松烈. 烯效唑干拌种对小麦的增产作用. 作物学报, 2004, 30(4): 502-506.
- [9] 邵舒蕊, 赵志刚, 侯俊玲, 等. 植物生长延缓剂烯效唑对丹参植株形态及生物量分配的影响. 中国中药杂志, 2015, 40(10): 1925-1929.
- [10] 童相兵, 严飞龙, 王胜曼, 等. 烯效唑对马铃薯产量影响的探讨. 中国马铃薯, 1990(4): 221-222.
- [11] 李艳霞, 范建芝, 张敬敏, 等. 烯效唑不同喷施时期对烟薯25生长及产量的影响. 山东农业科学, 2013, 45(11): 39-41.
- [12] 杨国放, 姜河, 纪志雨, 等. 叶面喷施烯效唑对马铃薯生长及产量的影响. 辽宁农业科学, 2006(2): 81-82.
- [13] Brown R H. Influence of succinic acid 2, 2-dimethylhydrazide on yield and morphological characteristics of starr peanuts (*Arachis hypogaea*). Crop Science, 1973, 13(5): 507-510.
- [14] 张明才, 何钟佩, 田晓莉, 等. 植物生长调节剂DTA-6对花生产量、品质及其根系生理调控研究. 农药学报, 2003, 5(4): 47-52.
- [15] 项洪涛, 孙巨峰, 冯乃杰, 等. SODM、DTA-6及Cc对马铃薯叶片碳代谢相关生理指标的影响. 干旱地区农业研究, 2014, 32(1): 166-170.
- [16] 项洪涛, 孙巨峰, 冯乃杰, 等. DTA-6、SOD<sub>m</sub>及Cc对马铃薯地下主茎生长及同化物代谢生理的影响. 干旱地区农业研究, 2013, 31(6): 134-139.
- [17] 宫占元. 植物生长调节剂对马铃薯匍匐茎生理代谢及产量的影响. 黑龙江八一农垦大学学报, 2011, 23(4): 7-10.
- [18] Madore M A. Carbohydrate metabolism in photosynthetic and

- nonphotosynthetic tissues of variegated leaves of *Coleus blumei* Benth. *Plant Physiology*, 1990, 93(2): 617–622.
- [19]高俊凤. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [20]张志良, 李小方, 瞿伟青. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [21]Suksoon L, Jaehyeun K. Total sugars,  $\alpha$ -amylase activity, and germination after priming of normal and aged rice seeds. *Korean Journal of Crop Science*, 2000, 45(2): 108–111.
- [22]Morell M K, Rahman S, Abrahams S L. The biochemistry and molecular biology of starch synthesis in cereals. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1995, 22(4): 647–660.
- [23]李东, 郑殿峰, 冯乃杰, 等. 植物生长调节剂对玉米籽粒形态及鲜重产量的影响. *南方农业学报*, 2016, 47(8): 1285–1289.
- [24]冯乃杰, 赵黎明, 郑殿峰, 等. DTA-6和Ce对大豆生育中后期功能叶片生理特性的影响. *中国油料作物学报*, 2009, 31(1): 23–28.
- [25]孙福东, 冯乃杰, 郑殿峰, 等. 不同生长调节剂对无限结荚习性大豆蔗糖积累及转化酶活性的影响. *大豆科学*, 2015, 34(2): 271–276.
- [26]张伟, 邱强, 赵婧, 等. 不同化控调节剂对杂交大豆产量及产量相关性状的调控效应. *作物杂志*, 2015(4): 81–84.
- [27]张镨, 王宇, 李凯, 等. 植物生长调节剂Cabrio和Opera对大豆生长以及产量的影响. *大豆科学*, 2013, 32(3): 371–375.
- [28]王熹, 俞美玉, 陶兴龙. 烯效唑的生物学效应及农业应用研究//全国作物化控技术第8次研讨会论文集. 1997.
- [29]黄卫东, 张平, 李文清. 6-BA对葡萄果实生长及碳、氮同化物运输的影响. *园艺学报*, 2002, 29(4): 303–306.
- [30]Dragičević I, Konjević R, Vinterhalter B, et al. The effects of IAA and tetcyclac was on tuberization in potato (*Solanum tuberosum* L.) shoot cultures in vitro. *Plant Growth Regulation*, 2008, 54(3): 189–193.
- [31]唐秀梅, 刘超, 钟瑞春, 等. 多效唑、缩节胺和矮壮素对花生化学调控效应的比较研究. *南方农业学报*, 2011, 42(6): 603–605.
- [32]Arumugam G, Mohamed Sadiq A, Nagalingam M, et al. Production of invertase enzymes from *Saccharomyces cerevisiae* strain isolated from sugarcane and grape juices. *European Journal of Experimental Biology*, 2014, 4(5): 29–32.
- [33]王少君, 沈海铭. 月光花素对马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 糖代谢的影响. *绍兴文理学院学报*, 2002, 22(10): 26–29.

## Effects of $S_{3307}$ and DTA-6 on Sugar Metabolism and Yield of Potato Leaves and Tubers

Qi Deqiang<sup>1</sup>, Zhao Jingjing<sup>1</sup>, Feng Naijie<sup>1</sup>,  
Zheng Dianfeng<sup>1,2</sup>, Liang Xiaoyan<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Chemical Control Research Room/Key Laboratory of Crop Germplasm Improvement and Cultivation in Cold Land, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, Heilongjiang, China;

<sup>2</sup>Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524000, Guangdong, China)

**Abstract** Under field cultivation conditions, potato Kexin 1 was sprayed with regulators  $S_{3307}$  and DTA-6 at seedling stage. The effects of different growth regulators on photosynthate change and yield between potato leaves and tubers were studied with water as a control. The results showed that the treatment of  $S_{3307}$  and DTA-6 could significantly increase the yield of potato and the content of sucrose and starch in early leaves. At the 34th day after spraying,  $S_{3307}$  and DTA-6 treatment promoted the transfer of starch from leaves to tubers, reduced starch content in leaves, and facilitated the export of substances from source organs;  $S_{3307}$  and DTA-6 significantly increased starch content in potato tubers at different sampling stages.  $S_{3307}$  and DTA-6 significantly increased the soluble sugar content in tubers on the 18th and 34th days after spraying. The changes of starch content in potato tubers were positively correlated with sucrose and starch content in leaves, and negatively correlated with invertase and amylase activity. The treatment of  $S_{3307}$  and DTA-6 significantly increased the weight per plant, and number of tuber per plant in DTA-6 treatment was significantly higher than that in control.

**Key words**  $S_{3307}$ ; DTA-6; Potato; Growth and development; Yield