

DTA-6、SOD_M 及 Cc 对马铃薯地下主茎生长及同化物代谢生理的影响

项洪涛^{1,2}, 孙巨峰^{1,3}, 冯乃杰¹, 杜吉到¹, 马光恕¹, 马凤鸣⁴, 郑殿峰^{1*}

(1. 黑龙江八一农垦大学农学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086;

3. 哈尔滨虹桥第一小学, 黑龙江 哈尔滨 150096; 4. 东北农业大学, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 大田栽培条件下, 以马铃薯荷兰 212 为材料, 叶面喷施植物生长物质 2-N,N-二乙氨基乙基己酸酯 (Diethyl aminoethyl hexanoate, 简称 DTA-6)、氯化胆碱 (Choline chloride, 简称 Cc) 以及 SOD 模拟物 (简称 SOD_M), 测定地下主茎鲜重、干重、蔗糖、蔗糖转化酶活性、淀粉、淀粉酶活性变化以及可溶性糖等含量的变化, 研究不同植物生长物质对马铃薯地下主茎生长及碳代谢生理指标的影响。结果表明: 从喷药后 16 d 开始, Cc 和 SOD_M 处理均能大幅提高地下主茎蔗糖的含量, 其中 Cc 处理平均比 CK 增加 36.68%, SOD_M 处理较 CK 高出 30.36%。同时喷施 Cc 后 40 d 和 48 d 淀粉酶活性提高, 平均增幅为 35.11%。从喷药后 32 d 开始, DTA-6 和 Cc 处理对转化酶活性也具有提高的效应, DTA-6 处理平均提高了 35.75%, Cc 处理平均提高了 34.79%, 但方差分析结果表明差异不显著。另外 SOD_M 处理能够极显著降低块茎膨大时期地下主茎内淀粉含量, 而 Cc 处理可极显著提高此时期地下主茎的可溶性糖含量。

关键词: 植物生长物质; 马铃薯; 地下主茎; 同化物; 生理指标

中图分类号: S143.8; S532 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)06-0134-06

Effects of DTA-6, SOD_M and Cc on growth and assimilate metabolism in underground stems of potato

XIANG Hong-tao^{1,2}, SUN Ju-feng^{1,3}, FENG Nai-jie¹, DU Ji-dao¹,

MA Guang-shu¹, MA Feng-ming⁴, ZHENG Dian-feng^{1*}

(1. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China;

2. Crop Tillage and Cultivation Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086, China;

3. Hongqiao NO.1 Primary School of Harbin, Harbin, Heilongjiang 150096, China;

4. Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: Using the potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivar 'Helan-212' as test material, three treatments of plant growth substances, including diethyl aminoethyl hexanoate (DTA-6), choline chloride (Cc) and SOD simulation material (SOD_M), were employed for foliar spray, and the fresh weight and dry weight of underground stems, the contents of sucrose, starch and soluble sugar, and the activities of invertase and amylase were measured, so as to compare the differences of growth of underground stems and physiological parameters of carbon metabolism in potato under different treatments. The results showed that, compared with CK, the content of sucrose was significantly increased by the treatments of Cc and SOD_M from the 16th day after spraying, with a rate of 36.68% and 30.36%, respectively. What's more, the activity of amylase was also significantly increased by the treatment of Cc at the 40th and 48th day after spraying, with a rate of 35.11% on average. The activity of invertase was increased by the treatment of Cc and DTA-6 from the 32nd day after spraying, but the analysis of variance showed that the difference was not significant. Furthermore, the treatment of SOD_M could reduce the starch content significantly, while the treatment of Cc could increase the content of soluble sugar significantly at tuber expansion period.

Keywords: plant growth substance; potato; underground stem; assimilate metabolism; physiological parameter

收稿日期: 2013-05-19

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目 (2006BAD21B01); 黑龙江省大庆市科技攻关项目 (SGG2007-054); 黑龙江省西部地区马铃薯综合高产栽培技术示范推广项目 (PC07B09)

作者简介: 项洪涛 (1982—), 男, 博士, 研究方向为作物化控及马铃薯生理。E-mail: xianght@163.com。

* 通信作者: 郑殿峰 (1969—), 男, 博士生导师, 教授, 主要从事作物化控及作物生理研究。E-mail: zhengdianfeng@hlau.cn。

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 是世界上继小麦、水稻、玉米之后第四大产量的作物^[1],它是人类食品及工业淀粉的重要来源作物^[2]。马铃薯地下主茎对地上部分具有很好的支撑作用,同时也是叶片向块茎运输同化物的必经之路,对马铃薯产量和品质的形成起到关键性作用。同化物代谢是植物体内有机物质的合成、转化和降解的代谢过程^[3],植物从环境吸收水分及 CO₂ 等,然后把这些简单的、低能量的无机物质合成复杂的、具有高能量的有机物质,并利用这些物质来建造自己的细胞、组织和器官,或作为呼吸消耗的底物,或作为贮存物质贮藏于果实、种子和延存器官基本的生理代谢,同化碳物质代谢在作物生育过程中的动态变化和强度对作物产量和品质的形成将产生重大影响^[4]。植物生长物质在调控植物碳水化合物代谢过程有极重要的作用^[5],有报道指出 DTA-6 处理能够明显提高花生根系还原力^[6],国外报道指出经过矮壮素处理的马铃薯的茎、匍匐茎和块茎的蔗糖转化酶活性大体上都较高^[7],也有研究表明 DTA-6 在低浓度下(1~40 mg·kg⁻¹)对多种植物有调节和促进生长的作用,可以促进碳水化合物代谢和物质积累,显著提高产量,并能改善作物品质^[8-9]。

SOD 模拟物(SOD_M)是一种以同源多肽为 SOD 酶的有机配体,经水解成为具有两亲分子的多肽水溶液与过渡金属反应,提纯制成高纯度多肽过渡金属盐的金属蛋白酶,再与其它金属蛋白酶复配成具有 SOD 活性的小分子化学物质——SOD_M,它在清除动植物体内过多的超氧化自由基的效果方面与 SOD 相同。试验发现 SOD_M 处理可提高马铃薯块茎中蔗糖含量^[10],也有试验指出 SOD_M 抑制大豆荚皮中淀粉的积累^[11]。氯化胆碱(Choline chloride, 简称 Cc)是一种季胺盐,在植物体内能够转化为甜菜碱或磷脂酰胆碱^[12],磷脂酰胆碱是生物膜的重要组成部分,可以作为酰基膜脂去饱和的底物,在调节膜脂的流动性方面起重要作用^[13-14]。有研究表明,氯化胆碱浸种处理油菜,可明显促进油菜地上部干物质积累^[15]。2-N,N-二乙氨基乙基己酸酯(Diethyl aminoethyl hexanoate, 简称 DTA-6),是一类新型、广谱性植物生长促进剂,具有高度安全性。相关研究指出 DTA-6 能够促进大豆生育后期叶片淀粉含量的增加^[16],也有报道表明 DTA-6 对马铃薯匍匐茎内淀粉含量具有显著影响^[17]。

本试验在前期的研究基础上,叶面喷施不同植物生长物质,测定了马铃薯地下主茎鲜重、干重以及同化物相关生理指标的变化,旨在研究喷施不同类型植物生长物质对马铃薯地下主茎生长发育的影

响,为进一步研究马铃薯有机物运输、积累及地下主茎建成提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于 2007—2008 年在黑龙江八一农垦大学林甸试验基地进行,试验田土壤含碱解氮 178.50 mg·kg⁻¹、速效磷 25.40 mg·kg⁻¹、速效钾 257.40 mg·kg⁻¹、有机质 3.08%, pH 值 7.88。供试马铃薯品种为荷兰-212,采用大田叶面喷施方式,以清水为对照(文中用 CK 表示),于块茎形成期进行喷施。植物生长物质分别为 SOD 模拟物(SOD_M)、氯化胆碱(Cc)和 2-N,N-二乙氨基乙基己酸酯(DTA-6),使用浓度分别为 6.67 ml·L⁻¹、200 mg·L⁻¹和 100 mg·L⁻¹,用液量均为 225 L·hm⁻²。小区为 8 行区,15 m 行长,行距为 65 cm,株距为 23 cm。试验随机区组设计,3 次重复。

1.2 测定项目与方法

喷施植物生长物质后每隔 7 d 取一次样,每个小区选取有代表性植株 10 株,取有代表性均匀度一致的植株主茎进行实验。采用称重法测定地下主茎的干重和鲜重(10 株测定取平均值);采用 3,5-二硝基水杨酸法测定蔗糖转化酶活性^[18];采用微量滴定法测定淀粉酶活性^[19];可溶性糖、蔗糖以及淀粉含量,使用硫酸蒽酮滴定法测定^[20]。

1.3 数据处理

试验所有数据处理采用 Excel 2003 和 DPSV 7.05 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 DTA-6、SOD_M及Cc对马铃薯地下主茎鲜重的影响

由图 1 可知,经过植物生长物质喷施处理以后,马铃薯地下主茎鲜重变化规律基本没有发生改变,前期表现为上升的趋势,末期略有下降。但各处理间变化幅度有所不同,在喷药后 8 d 到 16 d 之间各处理都表现为上升规律,但是上升比率不同,顺序为 Cc(111.49%)>CK(72.54%)>DTA-6(23.03%)>SOD_M(10.46%),说明 Cc 处理在此阶段对地下主茎鲜重的积累具有一定的促进作用,而 DTA-6 和 SOD_M 处理则具有较强的抑制作用。到喷药后 40 d,各处理鲜重的高低次序变为 SOD_M>Cc>DTA-6>CK,此时各处理都达到生育期鲜重峰值,随后各处理地下主茎鲜重开始下降,进入衰老脱水阶段。在喷药后 48 d,各处理鲜重高低顺序为 DTA-6>SOD_M>Cc>CK,说明在马铃薯进入衰老阶段后,植

物生长物质处理能够抑制地下主茎鲜重下降,延缓地下主茎衰老。

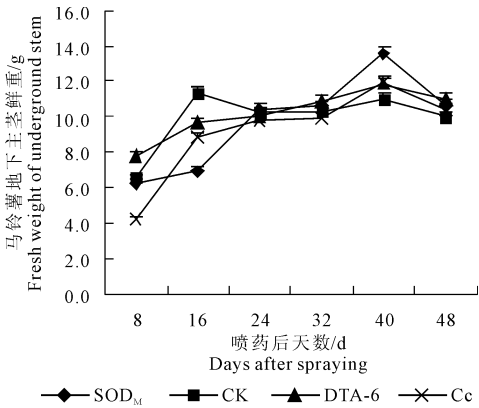


图 1 植物生长物质对马铃薯地下主茎鲜重的影响

Fig.1 Effects of plant growth substances on the fresh weight of underground stem

2.2 DTA-6、SOD_M 及 Cc 对马铃薯地下主茎干重的影响

地下主茎干重代表其干物质积累能力的强弱,一方面能够表明对地上光合有机物运载能力的高低,另一方面也能反映出其自身呼吸能力的高低。由图 2 可知,植物生长物质对马铃薯地下主茎干重具有一定的调控作用。各处理变化规律一致,在喷药后 40 d 之内表现为上升趋势,末期表现为下降趋势。在喷药后 8 d,各处理高低差距比较明显,其中 DTA-6 处理的干重最高,较对照高 61.95%,SOD_M 处理干重含量次之,较对照高出 28.35%,而 Cc 处理含量较低,较对照低 32.43%。到喷药后 40 d,各处理都达到干重含量的最高值,各处理在此时期干重含量的高低次序为 SOD_M > Cc > DTA-6 > CK,此时期之后各处理都表现为下降的变化规律,但下降幅度不同,高低顺序为 SOD_M (22.88%) > Cc (17.66%) > CK (15.02%) > DTA-6 (11.30%),说明在马铃薯生育后期 SOD_M 和 Cc 处理能够促进干物质的消耗,而 DTA-6 处理则延缓了地下主茎干物质的消耗。

2.3 DTA-6、SOD_M 及 Cc 对马铃薯地下主茎蔗糖含量的影响

植物生长物质对马铃薯地下主茎蔗糖含量的调控效应如图 3 所示。在喷药后 8 d,各处理含量高低顺序为 SOD_M > DTA-6 = CK > Cc,其中 SOD_M 处理较对照高出 7.41%,Cc 处理较对照低 3.71%,而 DTA-6 处理对地下主茎蔗糖含量没有影响。到喷药后 16 d,各处理间高低顺序变为 SOD_M > DTA-6 = Cc > CK,此时 SOD_M 处理较对照高 34.56%,而 DTA-6 和 Cc 处理较对照高 14.90%,说明植物生长

物质在此时期能够增加马铃薯地下主茎蔗糖含量,对其具有较好的促进效果。而从喷药后 24 d 开始,各处理都表现为下降的趋势,此期间,各处理之间的高低顺序变为 Cc > SOD_M > DTA-6 > CK,并且这种顺序一直稳定地持续到取样末期。到生育后期,各处理下降的幅度不相同,喷药后 40 d 与喷药后 32 d 相比较,各处理下降幅度的高低顺序为 CK (12.92%) > DTA-6 (8.78%) > Cc (3.52%) > SOD_M (2.64%),可以看出植物生长物质处理的下降幅度低于对照,说明各植物生长物质处理能够促进马铃薯生育后期地下主茎内蔗糖的形成。而到喷药后 48 d,对照下降的幅度加剧,Cc、SOD_M 和 DTA-6 处理分别较对照高出 83.75%,63.08%和 33.67%,且经过方差分析可知,此期间 Cc 和 SOD_M 处理与对照之间达到了极显著的差异水平,DTA-6 处理与对照之间也达到了显著差异,说明植物生长物质能够明显地影响到马铃薯生育后期地下主茎体内蔗糖的含量水平,能够明显延缓蔗糖分解趋势。

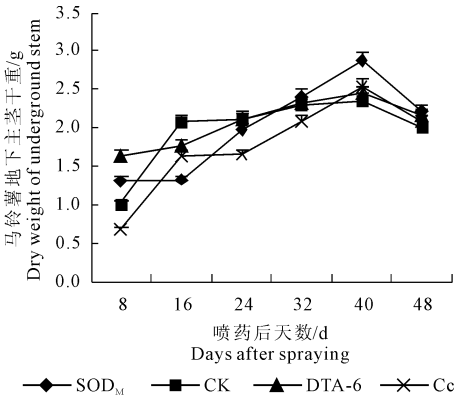


图 2 植物生长物质对马铃薯地下主茎干重的影响

Fig.2 Effects of plant growth substances on dry weight of underground stem

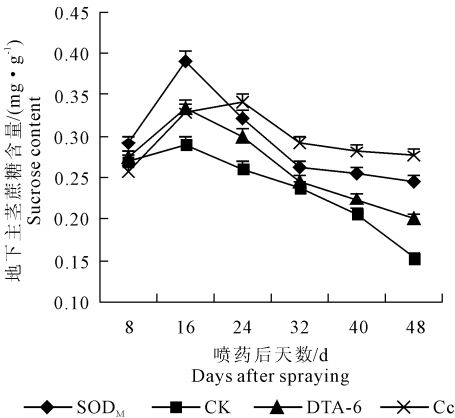


图 3 植物生长物质对马铃薯地下主茎蔗糖含量的影响

Fig.3 Effects of plant growth substances on content of sucrose in potato underground stem

2.4 DTA-6、SOD_M 及 Cc 对马铃薯地下主茎蔗糖转化酶活性的影响

由图 4 可知,植物生长物质对马铃薯地下主茎蔗糖转化酶活性具有一定的调控效果。喷药后 8 d,各处理间的蔗糖转化酶活性差异不大,而到了喷药后 16 d,各处理间差距即表现得比较明显,其中 Cc 和 DTA-6 处理高于 CK,而 SOD_M 处理则低于 CK。从喷药后 16 d 开始到生育末期,Cc 和 DTA-6 处理一直高于 CK,而 SOD_M 处理则一直低于 CK,说明植物生长物质处理对地下主茎蔗糖转化酶活性具有较明显的调控效果。综合来看,各处理都表现为“下降-上升-下降”的变化趋势,不同的是,SOD_M 处理在喷药后 16 d 达到最低值后开始上升,而其它处理则在喷药后 24 d 达到最低值后上升,说明 SOD_M 处理能够促进马铃薯地下主茎蔗糖转化酶活性谷值提前发生。在喷药后 40 d,DTA-6 和 Cc 处理达到全生育期最高值,分别较对照高 68.41% 和 49.30%,而在最后取样时期,各处理蔗糖转化酶活性均较前一时期降低,降低幅度的顺序为 DTA-6(32.79%)>Cc(16.21%)>SOD_M(15.32%)>CK(9.63%),说明各植物生长物质处理都能加快蔗糖转化酶活性的下降速率,但方差分析可知从喷药 32 d 以后各时期处理与对照之间差异都不显著。

2.5 DTA-6、SOD_M 及 Cc 对马铃薯地下主茎淀粉含量的影响

植物生长物质对马铃薯地下主茎淀粉含量具有一定的调控作用。如图 5 所示,各处理的变化趋势一致,表现为“双峰曲线”的变化规律。在喷药后 16 d 达到第一次峰值,此阶段各处理淀粉含量的高低顺序是 SOD_M>DTA-6>Cc>CK。经过第一次峰值后,各处理淀粉含量都开始下降,在喷药后 24 d 达到波谷,但是在此期间各处理下降的幅度不相同,高低顺序为 Cc(65.87%)>SOD_M(56.05%)>CK(30.85%)>DTA-6(22.40%),说明 Cc 和 SOD_M 处理能够提高地下主茎淀粉含量下降的速率,在此日期各处理含量高低顺序为 DTA-6>CK>SOD_M>Cc。此后各处理淀粉含量开始上升,在喷药后 40 d 到达第二次峰值,此时各处理高低的顺序为 DTA-6>CK>Cc>SOD_M,其中 DTA-6 处理较对照高 17.58%,而 Cc 和 SOD_M 处理分别较对照低 17.58% 和 11.56%,随后各处理又开始下降,经方差分析可知喷药后 32 d 时 Cc 和 SOD_M 处理极显著低于对照,而 DTA-6 处理与对照直接无显著差异,喷药后 40 d 时 SOD_M 处理极显著低于对照,其它处理与对照之间未达到显著差异水平。喷药后 48 d,地下主茎淀粉含量高低顺序为 Cc>DTA-6>SOD_M>CK,说明

此阶段各处理能够延缓马铃薯地下主茎淀粉含量的下降趋势,即植物生长物质处理对马铃薯生育后期地下主茎淀粉含量具有一定的调控效应。

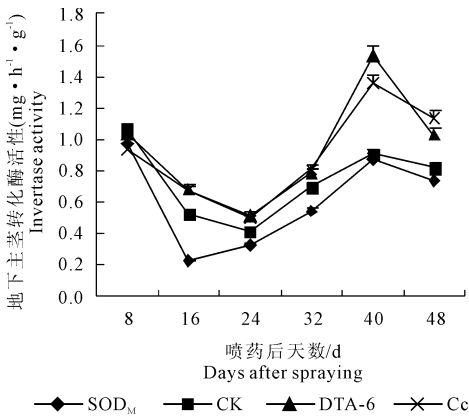


图 4 植物生长物质对马铃薯地下主茎蔗糖转化酶活性的影响

Fig.4 Effects of plant growth substances on invertase activity in potato underground stem

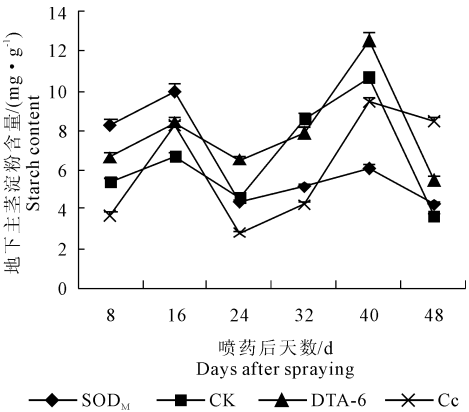


图 5 植物生长物质对马铃薯地下主茎淀粉含量的影响

Fig.5 Effects of plant growth substances on content of starch in potato underground stem

2.6 DTA-6、SOD_M 及 Cc 对马铃薯地下主茎淀粉酶的影响

由图 6 可知,植物生长物质对马铃薯地下主茎淀粉酶活性具有一定的调控作用。喷药后 8 d,各处理的活性高低顺序为 Cc>CK>DTA-6>SOD_M,但经过方差分析可知,各处理与对照之间的差异均未达到显著差异水平。至喷药后 24 d,各处理淀粉酶活性都达到最低值,其高低顺序为 CK>DTA-6>SOD_M>Cc,可以看出各植物生长物质处理都能够降低马铃薯地下主茎淀粉酶活性的最低值,经过方差分析可知各处理下降的幅度没有达到显著水平。而后各处理的活性值开始上升,到喷药后 32 d,各处理的活性值较前一时期都有明显的提高,其上升幅度

顺序为 SOD_M (133.35%) > Cc (96.21%) > CK (81.06%) > $DTA-6$ (79.43%)。但此时期各处理活性值的高低顺序为 SOD_M > CK > $DTA-6$ > Cc , 经过方差分析可知各处理与对照之间差异不明显。到喷药后 40 d, Cc 处理和对照达到了最高值, 之后开始表现为下降趋势, 而 $DTA-6$ 和 SOD_M 处理则表现为继续上升的趋势, 到喷药后 48 d, 各处理活性值高低顺序为 $DTA-6$ > Cc > SOD_M > CK , 且经过方差分析可知, 各处理都显著高于对照, 且达到了极显著差异水平, 但是各植物生长物质处理之间没有显著的差异, 说明各处理都能够显著影响马铃薯生育后期地下主茎内淀粉酶活性的强弱。

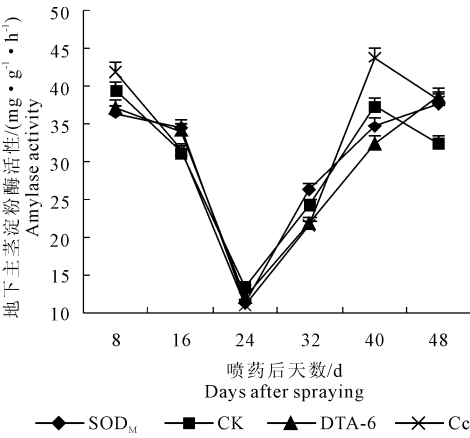


图 6 植物生长物质对马铃薯地下主茎淀粉酶活性的影响

Fig.6 Effects of plant growth substances on amylase activity in potato underground stem

2.7 DTA-6、 SOD_M 及 Cc 对马铃薯地下主茎可溶性糖的影响

由图 7 可知, 植物生长物质对马铃薯地下主茎可溶性糖含量具有调控作用。在喷药后 8 d, SOD_M 处理可溶性糖含量为对照的 1.42 倍, 而 Cc 和 $DTA-6$ 处理则分别为对照的 90.41% 和 82.13%, 且经过方差分析可知, SOD_M 处理极显著地增加了地下主茎可溶性糖的含量, 而 $DTA-6$ 处理则极显著地降低了可溶性糖的含量, 说明此两种植物生长物质在使用后即对地下主茎可溶性糖的积累产生了显著的调控作用, 而 Cc 处理在此时期虽然降低了可溶性糖的含量, 但是其未达到显著水平。而后各处理含量开始下降, 到喷药 24 d 时, 各处理达到全生育期最低值, 经过方差分析可知, Cc 处理与对照之间都达到了极显著的差异水平, 另外两种处理与对照之间达到了显著的差异水平。而后各处理与对照可溶性糖含量都开始提高, 在喷药后 32 d 时, Cc 处理含量仍未最高, 经过方差分析可知 Cc 处理极显著高于对

照, 另外两个处理与对照之间差异不显著, 说明 Cc 处理能够显著提高马铃薯地下主茎可溶性糖含量的最低值。在取样末期, 各处理可溶性糖含量都发生下降, 但各处理下降的幅度不同, 依次为 CK (53.27%) > SOD_M (39.25%) > Cc (23.84%) > $DTA-6$ (20.82%), 说明植物生长物质处理都能延缓马铃薯生育后期地下主茎内可溶性糖含量的下降, 对其具有一定的调控效应。

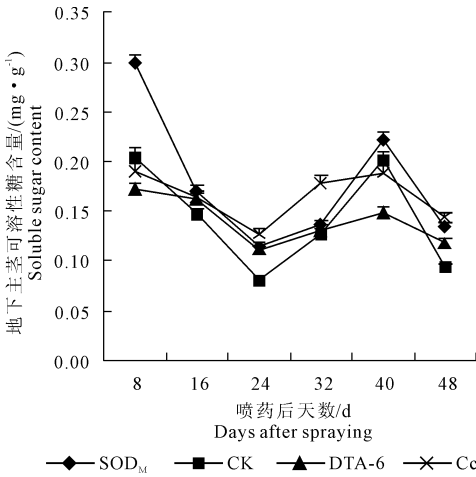


图 7 植物生长物质对马铃薯地下主茎可溶性糖含量的影响

Fig.7 Effects of plant growth substances on content of soluble sugar in potato underground stem

3 讨 论

本试验所采用的三种植物生长物质均不同程度地影响了马铃薯地下主茎同化物代谢生理指标, 进而改善了地下主茎的物质积累。

蔗糖是马铃薯光合产物运输到地下主茎的主要形式, 所以地下主茎中蔗糖含量的高低对地下主茎自身的建成及物质积累起到关键作用。本文所选各植物生长物质都能显著提高马铃薯块茎膨大时期的地下主茎蔗糖含量, 尤其是 $DTA-6$ 和 SOD_M 处理可以明显调控地下主茎蔗糖含量, 这和前人的研究结果相似。有研究表明 $DTA-6$ 处理对大豆子叶蔗糖和淀粉含量具有一定的调控效应^[21], 另外也有报道指出 $DTA-6$ 浸种处理可以提高大豆苗期叶片的蔗糖含量^[22]。通过植物生长物质调控马铃薯地下主茎内蔗糖含量的提高, 这对其自身建成奠定了良好的物质基础。

一般认为蔗糖的运输主要是由蔗糖梯度所致, 而在植物体内蔗糖梯度的形成与蔗糖转化酶有关^[23]。在蔗糖代谢中, 蔗糖转化酶催化其分解成果糖和葡萄糖, 一些具有快速生长能力的幼嫩器官中都存在高活性的转化酶^[24-26]。本试验所用的植物

生长物质对地下主茎内蔗糖转化酶活性的影响不大,这可能与地下主茎是运输器官而不是具有快速分化能力的幼嫩器官有关。

淀粉作为作物贮藏能量的重要形式,其在作物生育期为各器官的生命活动提供养分保障。淀粉含量的高低与器官建成有关,淀粉含量降低,可能是因其被分解,为其它组织的快速生长提供作为碳源的己糖。SOD_M 处理能够极显著降低块茎膨大时期地下主茎内淀粉含量,这可能与块茎此时快速膨大,为其提供充足的碳源有关。淀粉含量的高低是一个动态的平衡过程,它不仅受到各种淀粉合成酶活性高低的调控,而且还受到淀粉水解以及淀粉磷酸解相关酶活性的制约。大量研究都表明植物生长物质能够影响作物淀粉含量及淀粉酶活性,有研究指出 SOD_M 能显著提高马铃薯块茎淀粉含量^[27],也有研究指出 DTA-6 使用后 24 d 可显著降低马铃薯根系淀粉酶活性^[28],这也与本论文的研究结果相似,植物生长物质对马铃薯淀粉含量及淀粉酶活性具有不同的调控效应。

4 结 论

SOD_M、Cc 和 DTA-6 处理均能提高块茎膨大期地下主茎的淀粉酶活性和蔗糖的含量,但是各处理对地下主茎的蔗糖转化酶活性影响不大,另外 SOD_M 处理能够极显著降低块茎膨大时期地下主茎内淀粉含量,而 Cc 处理可极显著提高此时期地下主茎的可溶性糖含量。总体来看,SOD_M 处理对地下主茎碳代谢生理指标调控效应明显,进而对地下主茎物质积累产生影响。

参 考 文 献:

[1] Fabeiro C, Martin de Santa Olalla, F, J A de Juan. Yield and size of deficit irrigation potatoes[J]. Agricultural Water Management, 2001, 48:255-266.

[2] Sharma N, Kaur N, Gupta A K. Effects of gibberellic acid and chlorocholin chloride on tuberisation and growth of potato (*Solanum tuberosum* L.)[J]. J Sci Food Agric, 1998,78:466-470.

[3] 潘瑞炽.植物生理学(第五版)[M].北京:高等教育出版社,2004:125.

[4] 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.

[5] Poling S M, Hsu W J, Koehn F J. Chemical regulation of carotenoid biosynthesis, Part 10: Chemical induction of β carotene biosynthesis [J]. Photochemistry, 1977,16(5):551-555.

[6] 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[J].农药学报,2003,5(3):

47-52.

[7] Neerja Sharma, Narinder Kaur, Anil K Gupta. Effect of chlorocholine chloride sprays on the carbohydrate composition and activities of sucrose metabolising enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.)[J]. Plant Growth Regulation, 1998,26:97-103.

[8] Stephen M, Poling W J H. Synthetic bioregulators of poly-cis-carotenoid biosynthesis[J]. Phytochemistry, 1982,21(3):601-604.

[9] Brown R H. Influence of succinic acid 2, 2-dimethylhydrazide on yield and morphological characteristic of starve peanut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. Crop Sci, 1973,13(5):507-510.

[10] 张春娟,冯乃杰,郑殿峰.叶面喷施植物生长调节剂对马铃薯产量及品质的影响[J].中国蔬菜,2009,(14):43-48.

[11] 赵黎明,冯乃杰,郑殿峰.植物生长调节剂对大豆莢皮同化物代谢及糖分积累的影响[J].武汉植物学研究,2008,26(4):407-411.

[12] Che F S, Chou C, Hyeon S B. et al. Metabolism of cholinechloride and its analogs in wheat seedlings[J]. Plant Cell Physiol, 1990,31:45-50.

[13] Uemura M, Steponkus P L. A contrast of the plasma membrane lipid composition of oat and rye leaves in relation to freezing tolerance[J]. Plant Physiol, 1994,104:479-496.

[14] Uemura M, Joseph R A, Steponkus P L. Cold acclimation of *Arabidopsis thaliana*[J]. Plant Physiol, 1995,109:15-30.

[15] 黄少华,王增春,刘胜环.不同植物生长调节剂浸种对油菜壮苗的效果比较[J].江苏农业科学,2006,(3):49-51.

[16] 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.

[17] 宫占元,项洪涛,李 梅,等.植物生长调节剂对马铃薯还原糖及淀粉含量的影响[J].安徽农业科学,2011,39(1):107-110.

[18] 何钟佩.农作物化学控制实验指导[M].北京:中国农业出版社,1993:23-26.

[19] 门福义,刘梦芸.马铃薯栽培生理[M].北京:中国农业出版社,1995:318-326.

[20] 张志良,翟伟菁.植物生理学实验指导(第三版)[M].北京:高等教育出版社,2003:127-133.

[21] 冯亚楠,李 璨,冯乃杰,等.不同植物生长调节剂浸种对大豆子叶碳代谢影响[J].大豆科学,2009,28(6):1016-1020.

[22] 王艳杰,郑殿峰,张晓燕,等.DTA-6 浸种对大豆苗期叶片碳代谢的影响[J].安徽农学通报,2007,13(14):80-81.

[23] Roitsch T, Tanner W. Cell wall invertase: bridging the gap[J]. Bot Acta, 1996,109:93-96.

[24] Schmalstieg J G, Hitz W Z. Contributions of sucrose synthase and invertase to the metabolism of sucrose in developing leaves[J]. Plant Physiol, 1987,85:407-412.

[25] Xu D P, Sung S J, Black C C. Sucrose metabolism in lima bean seeds[J]. Plant Physiol, 1989,89:1106-1116.

[26] Krishnan H B, Pueppke S G. Cherry fruit invertase: partial purification, characterization and activity during fruit development [J]. J Plant Physiol, 1990,135:662-666.

[27] 宫占元,项洪涛.植物生长调节剂对马铃薯块茎淀粉含量及品质的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):187-192.

[28] 项洪涛,冯乃杰,杜吉到,等.植物生长调节剂对马铃薯根系理化特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(6):1481-1485.