

马铃薯块茎创伤木栓化过程中形态生理指标及内源激素的变化

杨芳, 李俊, 郭华春*

云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明650201

摘要: 本试验以马铃薯(*Solanum tuberosum*)完整块茎为对照, 马铃薯块茎纵切为创伤处理, 主要研究马铃薯块茎创伤愈合过程中块茎内源激素、木质素合成关键酶(苯丙氨酸解氨酶、过氧化物酶)及创伤周皮形态解剖结构的变化。实验结果表明马铃薯块茎受创后苯丙氨酸解氨酶(PAL)和过氧化物酶(POD)酶活明显增加, 内源激素脱落酸(ABA)和玉米素核苷(ZR)含量明显增加, 而赤霉素(GA)含量降低。块茎创伤处理后创面在第4天形成木栓形成层, 在第10天进入创伤周皮稳定增长的时期。同时, 在处理块茎的未创伤处, 其周皮厚度和层数均优于对照。实验结果表明马铃薯块茎创伤后由于ABA、ZR和GA等内源激素协同调控及POD、PAL酶活增加, 促进了创伤周皮的形成, 使受创的马铃薯块茎完成创伤木栓化。

关键词: 马铃薯; 创伤木栓化; 内源激素; 苯丙氨酸解氨酶; 创伤周皮

马铃薯(*Solanum tuberosum*)与小麦(*Triticum aestivum*)、水稻(*Oryza sativa*)、玉米(*Zea mays*)统称为世界四大粮食作物。由于云南海拔高度差异较大和生态垂直变化的立体农业特点, 可以多季栽培, 周年生产; 发展马铃薯产业对于发展高原特色农业、增加农民收入具有较好的促进作用。但是马铃薯块茎在收获、运输和储藏等过程中均易受到损害, 如果不及时修复, 创伤会造成含水量下降、易感病, 加速马铃薯块茎品质的退化(Lulai 2007), 造成较大的经济损失。

马铃薯块茎创口处细胞的木栓化和防水层的快速累积是块茎防止感染和皱缩的重要防护反应(Schreiber等2005; Lulai和Orr 1995)。木栓层的形成与木质素有关, 木栓质中的芳香类化合物成分来源于苯丙烷类代谢。苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia-lyase, PAL)是连接初级代谢和次生代谢、催化苯丙烷类代谢第一步反应的酶, 是苯丙烷途径的关键酶和限速酶, 参与包括木质素、香豆酸酯类和类黄酮等多个次生代谢物质的合成(Diallinas和Kanellis 1994; Kato等2000), 过氧化物酶(peroxidase, POD)则是催化木质素单体脱氢聚合最终形成木质素的重要酶(Arrieta-Baez和Stark 2006)。前人研究表明乙烯和脱落酸(abscisic acid, ABA)参与了对创伤部位的应激反应(Lulai和Suttle 2009; Bostock 2005)。有研究表明马铃薯块茎受到创伤会诱导乙烯的产生, 但乙烯并不参与木栓化的形成(Lulai和Suttle 2004)。前人研究表明赤霉素(gibberellic acid, GA)在参与调节马铃薯块茎休眠方面起着重要作用。内源GA在块茎休眠期间含量很低, 在顶芽即将萌发时含量较高(Claassens和

Vreugdenhil 2000)。目前对马铃薯创伤后块茎中内源ABA量化、GA和玉米素核苷(zeatin riboside, ZR)等内源激素的含量变化及它们之间的协调机制未见报道。因此, 本研究针对马铃薯块茎创伤愈合过程的ABA、ZR和GA等内源激素变化、PAL和POD活性及创伤周皮的发生展开研究, 为后期主动调控马铃薯种薯的木栓化, 安全储存运输提供理论参考。

材料与方法

1 材料

试验材料为云南农业大学薯类所雾培生产的脱毒马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)种薯, 品种为云南主栽品种‘宣薯2号’。将约5 g左右的微型种薯‘宣薯2号’种植于云南农业大学后山, 成熟期收获同天收获150 g左右的马铃薯块茎进行去泥清洗, 置于室温(20°C)下14 d, 完成周皮后熟后贮存于4°C、相对湿度为95%的黑暗环境中防止块茎退化及发芽。在实验处理前3 d, 将材料取出, 放置于室温(20°C)中。试验设对照(CK, 不切块)和处理(块茎纵切), 材料置于20°C、相对湿度80%的环境中, 自处理第2天开始取样, 以后每隔1 d取一次样。实验取约76个马铃薯种薯(对照为38个完整块茎, 处理为38个块茎纵切成的76个薯块), 对照取样时随机取4个完整块茎分别进行测定, 创伤处理取样时

收稿 2017-02-24 修定 2017-05-15
资助 国家自然科学基金(31660355)和国家现代农业产业技术体系(CARS-10-P21)。

* 通讯作者(E-mail: ynghc@126.com)。

石蜡切片、激素和酶活测定取同一个块茎切成的两个薯块,共8个薯块,并做好标记。

2 测定指标与方法

2.1 创伤周皮的解剖学研究

分别在处理后各时段取样固定,分别在块茎表面和创面切取面积约1 cm²见方的组织,用甲醛-乙酸-乙醇(FAA)固定液固定。用常规石蜡切片法经乙醇和二甲苯系列脱水、透明、浸蜡、石蜡包埋,苏木精染色,中性树胶封片。切片的厚度为15 μm。在Olympus BH2型植物显微成像分析系统下观察,拍照及测量。

2.2 木质化关键酶活性测定

2.2.1 POD测定

创伤处理块茎在创面处取样,取1.0 g马铃薯块茎放入研钵中,加10 mL pH 7.8的磷酸缓冲液,冰浴研磨,匀浆倒入离心管中,冷冻离心30 min (10 000×g),取上清液冷藏备用。采用愈创木酚法(Yu等2005)测定POD的活性,以470 nm下每分钟增加0.1为一个酶活单位(U),每个样品重复测定3次。

2.2.2 PAL酶活测定

参照Liu等(2005)的方法并修改。创伤处理块茎在创面处取样,取1 g马铃薯块茎加入3 mL pH 8.8、0.1 mol·L⁻¹的硼酸缓冲液[内含10% (m/V)聚乙烯吡咯烷酮(polyvinylpyrrolidone, PVPP)、1 mmol·L⁻¹乙二胺四乙酸(ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA)和50 mmol·L⁻¹ β-巯基乙醇],冰浴条件下充分研磨,然后于4°C、15 000×g条件下离心30 min,收集上清液并立即用于酶活性测定。反应体系为:3 mL底物混合液(0.02 mol·L⁻¹ L-苯丙氨酸溶液,用硼酸缓冲液配制),500 μL粗酶液,30°C下反应30 min,

立即加入500 μL 6 mol·L⁻¹ HCl终止反应。在290 nm处测定吸光度值,空白加200 μL蒸馏水,不加酶液,其余同反应体系。以每小时内吸光度变化0.01为1个酶活性单位(U)。每个样品重复测定3次。

2.3 内源激素测定

根据张敏等(2013)方法并略作修改。用间接酶联免疫法测定ABA、GA和ZR。试剂盒由中国农业大学作物化学控制研究中心提供。操作步骤如下:称取马铃薯块茎1.000 g,创伤处理块茎在创面处取样,液氮冷冻后迅速放入-80°C保存,待所有样品取完后集中测定。加入4 mL提取液[80%甲醇,内含1 mmol·L⁻¹二叔丁基对甲苯酚(butylated hydroxytoluene, BHT)],冰浴下研磨成匀浆,放入4°C冰箱中提取4 h。收集提取液并在5 000×g下离心8 min,收集上清液转移至另一离心管中。在剩余的沉淀中再加入2 mL提取液,4°C冰箱中再提取1 h,离心收集上清液,合并2次上清液并记录体积,残渣弃去。上清液过C-18固相萃取柱,过滤液氮气吹干后用磷酸盐缓冲液溶解,用免疫法测定。每个样品重复测定3次。

2.4 数据处理

测定数据取各次重复的平均数。采用Microsoft Excel软件对数据进行处理及绘图,采用DPS统计软件对平均数用LSD极差法进行多重比较。

实验结果

1 马铃薯块茎创伤木栓化过程中创伤周皮的解剖学研究

由表1可见,块茎受到创伤处理后创面在第4天形成木栓形成层,在第8天创伤周皮为4层,在第

表1 处理后不同时期周皮厚度及细胞层数比较

Table 1 Comparison of the thickness and cell layers of the periderm in different periods after treatment

处理时间/d	周皮厚度/μm			周皮层数		
	对照	处理周皮	创伤周皮	对照	处理周皮	创伤周皮
2	143.72±3.42 ^{aA}	144.67±3.34 ^{aA}	—	5~6	5~6	—
4	144.67±4.24 ^{aA}	148.33±3.44 ^{bB}	产生形成层	6~7	6~7	产生
6	145.82±5.64 ^{aB}	150.36±5.37 ^{cB}	125.17±3.64 ^{aA}	6~7	6~7	2~3
8	147.28±3.57 ^{bB}	152.21±4.43 ^{cC}	132.45±3.27 ^{aA}	6~7	7~8	3~4
10	148.84±3.66 ^{bB}	153.89±4.67 ^{cdC}	138.60±4.35 ^{bB}	6~7	7~8	5~6
12	150.21±4.72 ^{cC}	155.12±5.11 ^{dC}	142.05±5.64 ^{bC}	7~8	7~8	6~7

数据间用不同小写和大写字母标识分别表示差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)。

10天创伤周皮厚度迅速增加,周皮厚度增加幅度11.2%,创伤周皮为5~6层,进入创伤周皮稳定增长的时期。同时,在处理块茎的未创伤处,其周皮厚度和层数均优于对照,在第10天,其周皮厚度与第2天比增加7.8%,而对照周皮在第10天与第2天相

比木栓层厚度增加幅度为3.5%,在第12天处理块茎未创伤处周皮厚度高于对照周皮5.9%。结果显示块茎创伤后创伤周皮的形成可促进受创块茎的木栓形成层细胞的分裂活动。

由图1可见,对照的周皮细胞层数均在6~7层

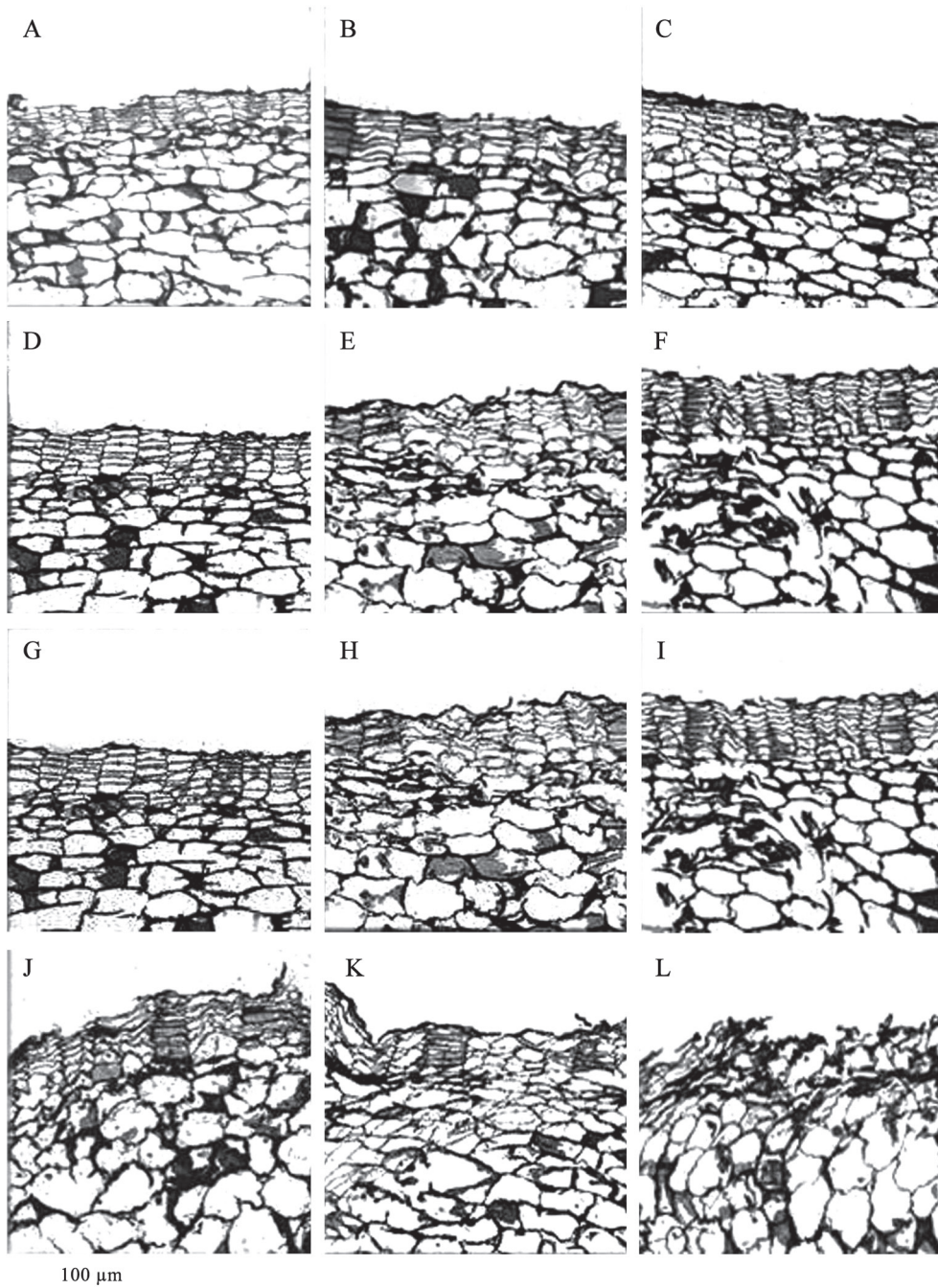


图1 不同时期各处理的周皮

Fig.1 Periderms of different treated days

A: 对照第6天周皮; B: 对照第8天周皮; C: 对照第10天周皮; D: 对照第12天周皮; E: 处理第6天周皮; F: 处理第8天周皮; G: 处理第10天周皮; H: 处理第12天周皮; I: 处理第6天创面; J: 处理第8天创面; K: 处理第10天创面; L: 处理第12天创面。

左右, 木栓层厚度较稳定; 处理块茎未创伤处的周皮相对于同时期的对照材料, 木栓层厚度、细胞层数均有增加。马铃薯块茎受到创伤后创伤面在第6天开始产生木栓形成层(图1-I), 在第8天已经形成较为完整的3~4层木栓层细胞(图1-J), 在创伤后10天可见创伤后新形成的木栓形成层与块茎原有周皮的木栓形成层连在一起, 继续分裂形成连续的周皮。第12天的创伤面木栓层的细胞层数基本稳定, 达到6~7层细胞(图1-L)。

2 马铃薯块茎创伤木栓化过程中木栓化关键酶活性变化

从图2可以看出, 马铃薯块茎受到创伤后POD、PAL酶活均表现出明显升高的趋势。对照PAL酶活保持平稳的状态, 在第8天达到高峰[28.85 U·mg⁻¹ (蛋白)]。创伤处理的PAL酶活在第8天达到高峰[50.32 U·mg⁻¹ (蛋白)], 之后缓慢下降含量较稳定, 并保持较对照高的酶活。处理PAL酶活第4天比对照升高87%, 第8天比对照增加74.4%, 实验后期第18天, 处理PAL活性比对照PAL活性高71.1%。

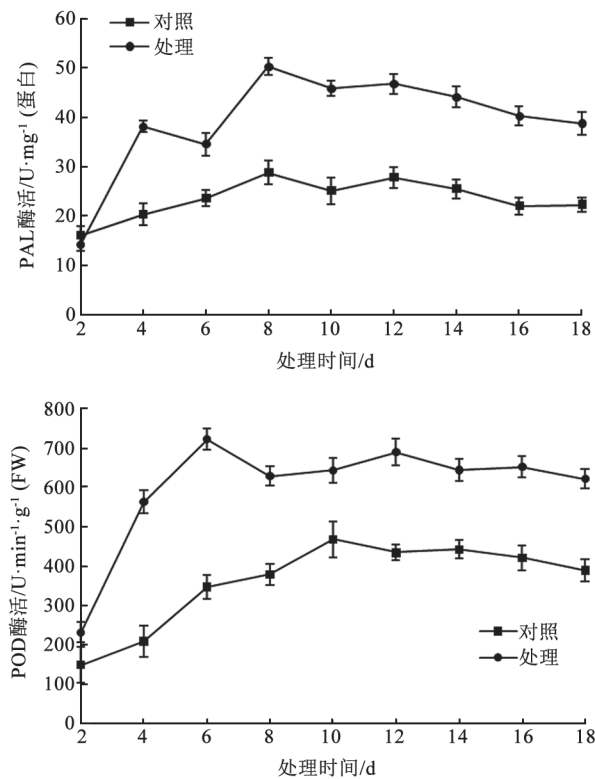


图2 马铃薯块茎创伤木栓化过程中PAL和POD酶活变化
Fig.2 Change of PAL and POD activities during tuber wound-healing suberization

创伤处理的POD酶活在第4天显著升高, 在第6天达到高峰[721.23 U·min⁻¹·g⁻¹ (FW)], 之后缓慢下降; 而对照POD酶活基本趋于稳定, 在第10天达到高峰[467.13 U·min⁻¹·g⁻¹ (FW)]。创伤后第6天创伤处理的POD活性比对照增加107.2%; 到第18天时处理材料POD活性比对照材料POD活性高59.55%。

图2可见创伤处理后PAL和POD酶活均高于对照, 并且酶活高峰均早于对照出现。

3 马铃薯块茎创伤木栓化过程中内源激素的变化

由图3可见, 马铃薯块茎创伤处理后ABA含量

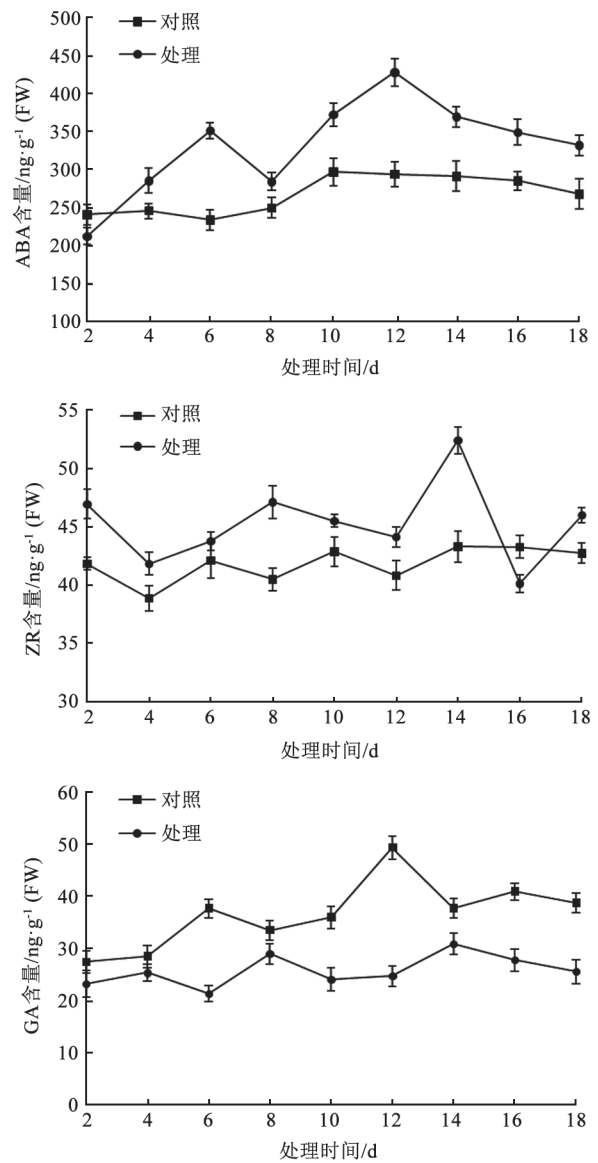


图3 马铃薯块茎创伤木栓化过程中内源激素的变化
Fig.3 Changes of the contents of hormones during tuber wound-healing suberization

显著增高, 在处理第12天[472.21 ng·g⁻¹ (FW)]达到高峰, 之后逐渐下降, 并保持比对照高的含量。而对照ABA含量在第10天达到高峰[294.47 ng·g⁻¹ (FW)], 但对照ABA含量增幅不大。在处理后期第18天处理ABA含量比对照增高20.37%。

创伤处理后ZR含量始终保持比对照高的含量, 对照的ZR含量总体相对稳定, 在第10天[42.77 ng·g⁻¹ (FW)]达到高峰, 创伤处理在第14天[52.36 ng·g⁻¹ (FW)]达到高峰后下降, 在第18天创伤处理的ZR含量比对照高7.65%。

与ABA和ZR不同, GA含量在创伤处理后则表现出低于对照的趋势。对照GA含量在第6天[37.73 ng·g⁻¹ (FW)]和第12天[42.38 ng·g⁻¹ (FW)]出现2个高峰, 创伤处理在第8天[29.05 ng·g⁻¹ (FW)]和第14天[31.91 ng·g⁻¹ (FW)]也出现2个含量高峰, 之后逐渐降低, 但始终保持比对照低的趋势。

讨 论

试验结果表明马铃薯块茎在受创后在第4天形成木栓形成层, 在第8天观察到明显的周皮形成, 第10天创伤周皮进入稳定增长时期, 同时, 在处理块茎的未创伤处, 其周皮厚度和层数均优于对照, 暗示马铃薯块茎创伤后引发相关机制加速木栓形成层细胞的分裂活动, 而创伤周皮的形成使得细胞木栓化过程中伴随蜡被的累积, 避免受创细胞脱水而死亡(Lulai 2007; Vogt等1983)。

前人研究结果表明PAL可被不同的生物和非生物逆境胁迫如干旱、低温和创伤所激活(Pociecha等2009; Bernards等2000; Kato等2000)。本实验结果表明马铃薯块茎受创后POD、PAL酶活性均显著升高, 创伤第4天PAL迅速升高, 同时创伤周皮中观察到木栓形成层的形成, 在创伤第8天创伤周皮已形成3~4层木栓层, PAL酶活达到高峰, 创伤周皮的形成和PAL高峰出现时间一致, 表明PAL能促进创伤周皮的形成发育, 说明PAL在马铃薯块茎创伤愈合过程中扮演着重要角色(Kumar等2010; Kumar和Knowles 2003)。创伤处理POD酶活在第6天达到高峰, 而对照POD酶活在第10天达到高峰。创伤处理的PAL和POD酶活高峰早于对照酶活高峰, 表明创伤刺激有效激活PAL和POD活性, 与前人研究结果一致, 说明PAL、POD酶活升高有可能

促进马铃薯块茎创伤周皮中木质素和木栓质的积累(Lulai等2008)。

有研究表明植物叶片创伤后几分钟至几小时内, 创伤导致乙烯和茉莉酸(jasmonic acid, JA)合成增加(Leon等2001)。创伤后4~6 h内, 可检测到ABA合成增加。说明在创伤应激反应中乙烯、ABA和JA合成与信号传导间存在着必要的关联机制(Lulai和Suttle 2009; Bostock 2005)。有研究发现创伤会诱导马铃薯块茎中乙烯的产生, 但乙烯并不影响木栓化的形成(Lulai和Suttle 2004), 而可能是参加其他的伤害应激反应如糖苷生物碱的积累(Lulai和Suttle 2009)。ABA在成熟番茄(*Solanum lycopersicum*)采摘果柄后的创伤愈合过程中起关键作用(Leide等2012)。本实验中马铃薯块茎创伤后ABA含量明显高于同时期的对照, 说明创伤刺激可诱导ABA的合成, 这与Lulai等(2008)等结果一致。有研究发现ABA与水孔蛋白基因表达相关, 并可促进拟南芥根系软木脂的累积(Efetova等2007)。在马铃薯正常周皮和创伤周皮蛋白质组分中均出现负阴离子过氧化物酶(Chaves等2009; Barei和Ginzberg 2008)。本实验结果表明创伤处理的ABA含量和POD酶活均表现出比对照高的情况, 暗示ABA与POD酶活间存在调控机制, 从而促进创伤块茎创面细胞形成防水层、降低水分蒸腾和促进促进创伤周皮的发育。

本实验中创伤处理的ZR含量高于对照, 而GA含量低于对照。在创伤处理第8天ZR、GA升高, 此时PAL酶活达到高峰, 并已在创伤周皮中形成4层木栓层。实验结果暗示PAL酶活与ZR、GA含量协同调控, 共同促进块茎的创伤木栓化。前人研究表明内源GA在块茎休眠期间含量很低(Claasens和Vreugdenhil 2000), 块茎受创后GA含量低于对照, 有可能与促进受创块茎加快休眠有关。

综合本实验结果, 马铃薯块茎创伤木栓化过程中PAL、POD及ABA、ZR、GA等内源激素共同参与、协同调控, 说明马铃薯块茎创伤愈合反应是一个比较复杂的过程, 不同植物激素和信号分子参与了创伤反应的协调机制(Wu和Baldwin 2010; Schillmiller和Howe 2005; Cheong等2002)。

参考文献

Arrieta-Baez D, Stark RE (2006). Modeling suberization with per-

- oxidase-catalyzed polymerization of hydroxycinnamic acids: cross-coupling and dimerization reactions. *Phytochemistry*, 67 (7): 743–753
- Barel G, Ginzberg I (2008). Potato skin proteome is enriched with plant defence components. *J Exp Bot*, 59 (12): 3347–3357
- Bernards MA, Susag LM, Bedgar DL, Anterola AM, Lewis NG (2000). Induced phenylpropanoid metabolism during suberization and lignification: a comparative analysis. *J Plant Physiol*, 157 (6): 601–607
- Bostock RM (2005). Signal crosstalk and induced resistance: straddling the line between cost and benefit. *Annu Rev Phytopathol*, 43: 545–580
- Chaves I, Pinheiro C, Paiva JAP, Planchon S, Sergeant K, Renaut J, Graça JA, Costa G, Coelho AV, Ricardo CPP (2009). Proteomic evaluation of wound-healing processes in potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber tissue. *Proteomics*, 9 (17): 4154–4175
- Cheong YH, Chang HS, Gupta R, Wang X, Zhu T, Luan S (2002). Transcriptional profiling reveals novel interactions between wounding, pathogen, abiotic stress, and hormonal responses in *Arabidopsis*. *Plant Physiol*, 129 (2): 661–677
- Claassens MMJ, Vreugdenhil D (2000). Is dormancy breaking of potato tubers the reverse of tuber initiation? *Potato Res*, 43 (4): 347–369
- Diallinas G, Kanellis AK (1994). A phenylalanine ammonia-lyase gene from melon fruit: cDNA cloning, sequence and expression in response to development and wounding. *Plant Mol Biol*, 26: 473–479
- Efetova M, Zeier J, Riederer M, Lee CW, Stingl N, Mueller M, Hartung W, Hedrich R, Deeken R (2007). A central role of abscisic acid in drought stress protection of *Agrobacterium*-induced tumors on *Arabidopsis*. *Plant Physiol*, 145 (3): 853–862
- Kato M, Hayakawa Y, Hyodo H, Ikoma Y, Yano M (2000). Wound-induced ethylene synthesis and expression and formation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) synthase, ACC oxidase, phenylalanine ammonia-lyase, and peroxidase in wounded mesocarp tissue of *Cucurbita maxima*. *Plant Cell Physiol*, 41 (4): 440–447
- Kumar GN, Lulai EC, Suttle JC, Knowles NR (2010). Age-induced loss of wound-healing ability in potato tubers is partly regulated by ABA. *Planta*, 232 (6): 1433–1445
- Kumar GNM, Knowles NR (2003). Wound-induced superoxide production and PAL activity decline with potato tuber age and wound healing ability. *Physiol Plant*, 117: 108–117
- Leide J, Hildebrandt U, Hartung W, Riederer M, Vogg G (2012). Abscisic acid mediates the formation of a suberized stem scar tissue in tomato fruits. *New Phytol*, 194 (2): 402–415
- León J, Rojo E, Sánchez-Serrano JJ (2001). Wound signaling in plants. *J Exp Bot*, 52 (354): 1–9
- Liu HX, Jiang WB, Bi Y, Luo YB (2005). Postharvest BTH treatment induces resistance of peach (*Prunus persica* L. cv. Jiubao) fruit to infection by *Penicillium expansum* and enhances activity of fruit defense mechanisms. *Postharvest Biol Tec*, 35 (3): 263–269
- Lulai EC (2007). The canon of potato science: 43. skin-set and wound-healing/suberization. *Potato Res*, 50 (3): 387–390
- Lulai EC, Orr PH (1995). Porometric measurements indicate wound severity and tuber maturity affect the early stages of wound-healing. *Am J Potato Res*, 72 (4): 225–241
- Lulai EC, Suttle JC (2004). The involvement of ethylene in wound induced suberization of potato tuber (*Solanum tuberosum* L.): a critical assessment. *Postharvest Biol Tec*, 34: 105–112
- Lulai EC, Suttle JC (2009). Signals involved in tuber wound-healing. *Plant Sign Behav*, 4 (7): 620–622
- Lulai EC, Suttle JC, Pederson SM (2008). Regulatory involvement of abscisic acid in potato tuber wound-healing. *J Exp Bot*, 59 (6): 1175–1186
- Pociecha E, Płażek A, Janowiak F, Waligórski P, Zwierzykowski Z (2009). Changes in abscisic acid, salicylic acid and phenylpropanoid concentrations during cold acclimation of androgenic forms of *Festulolium* (*Festuca pratensis* × *Lolium multiflorum*) in relation to resistance to pink snow mould (*Microdochium nivale*). *Plant Breeding*, 128 (4): 397–403
- Schilmiller AL, Howe GA (2005). Systemic signaling in the wound response. *Curr Opin Plant Biol*, 8 (4): 369–377
- Schreiber L, Franke R, Hartmann K (2005). Wax and suberin development of native and wound periderm of potato (*Solanum tuberosum* L.) and its relation to peridermal transpirations. *Planta*, 220 (4): 520–530
- Vogt E, Schönherr J, Schmidt HW (1983). Water permeability of periderm membranes isolated enzymatically from potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Planta*, 158 (4): 294–301
- Wu J, Baldwin IT (2010). New insights into plant responses to attack from insect herbivores. *Annu Rev Genet*, 44: 1–24.
- Yu SX, Song MZ, Fan SL, Wang W, Yuan RH (2005). Biochemical genetics of short-season cotton cultivars that express early maturity without senescence. *J Integr Plant Biol*, 47 (3): 334–342
- Zhang M, Jiang CH, Cui XM (2013). Effects of exogenous nitric oxide donor SNP on physiological and biochemical indexes in tomato seedlings under copper stress. *Plant Physiol J*, 49 (2): 144–152 (in Chinese with English abstract) [张敏, 姜春辉, 崔秀敏(2013). 外源NO供体硝普钠(SNP)对铜胁迫下番茄幼苗生理生化指标的影响. *植物生理学报*, 49 (2): 144–152]

Changes of morphological and physiological indices and endogenous hormones during potato tuber wound-healing suberization

YANG Fang, LI Jun, GUO Hua-Chun*

College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agriculture University, Kunming 650201, China

Abstract: In this study, we investigated the changes of endogenous hormones, the activities of relevant enzymes of lignin synthesis including phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and peroxidase (POD), and the anatomical structure of the wound periderm during potato (*Solanum tuberosum*) wound-healing suberization. After wound treatment PAL and POD activities were significantly increased and the contents of abscisic acid (ABA) and zeatin riboside (ZR) were higher than untreated control tubers, but the content of gibberellic acid (GA) was lower than untreated ones. During the day 3–4, phellogen formed on the hurt side of the tubers. The cell layers of periderm was 6 and the periderm increased steadily in day 10. Meanwhile the thickness and layers of periderm in the unharmed areas of treated tuber were higher than the control. The experimental results show that the regulation of some endogenous hormones and the increase of PAL and POD activities promoted the wound-healing suberization.

Key words: *Solanum tuberosum*; wound-healing suberization; endogenous hormone; phenylalanine ammonia-lyase; wound-healing periderm

Received 2017-02-24 Accepted 2017-05-15

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 31660355), and China Agriculture Research System (Grant No. CARS-10-P21).

*Corresponding author (E-mail: ynghc@126.com).