

# 施肥水平对马铃薯块茎发育过程中 PAs、GA<sub>3</sub> 和 JAs 含量的影响

郑顺林, 程红, 李世林, 袁继超\*

(四川农业大学农学院马铃薯研究开发中心, 四川温江 611130)

**摘要:** 为探讨肥力水平对马铃薯块茎发育影响的机理, 以‘台湾红皮’(Cardinal)马铃薯为试验材料, 采用反相高效液相色谱(HPLC)技术, 研究了低、中、高肥力水平对块茎发育过程中多胺(PAs)、赤霉素(GA<sub>3</sub>)和茉莉酸(JAs)含量的影响。研究表明: (1) 腐胺(Put)、精胺(Spm)和亚精胺(Spd)含量在块茎发育过程中呈降低—升高—降低的变化趋势, 但对不同肥力水平的响应有差异, 中肥力水平下块茎发育中期(播种后 60 ~ 68 d) PAs 含量高于低肥力和高肥力水平含量, 高肥力水平使 Put 含量降低, 含量峰值出现时间提前, 而使 Spd 和 Spm 峰值出现时间延后。Put/Spd 呈现随肥力水平的提高, 峰值不断降低, 峰值出现时间提前的趋势。(2) 低肥力水平下 GA<sub>3</sub> 含量在中期高, 中肥力水平下在中期含量最低。低肥力水平下 JAs 含量在块茎发育的各阶段都比较低, 中肥力水平下在中期含量高于低肥力和高肥力水平。低、高肥力水平下 GA<sub>3</sub>/JAs 有先升高后降低的变化趋势, 与中肥力水平变化相反。(3) JAs 与 PAs 的相关性较大, 其中与 Put 为正相关, 与 Spm、Spd 显著负相关, Spm 和 Spd 极显著正相关。合理的肥力水平提高了块茎发育中期 PAs、JAs 的含量, 降低了 GA<sub>3</sub> 的含量, 有利于块茎的发育和膨大。

**关键词:** 马铃薯; 施肥水平; 块茎发育; 多胺; 内源激素

**中图分类号:** S 634.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2013) 08-1487-07

## The Influence of Fertility on PAs, GA<sub>3</sub> and JAs in the Process of Tuber Development in Potato

ZHENG Shun-lin, CHENG Hong, LI Shi-lin, and YUAN Ji-chao\*

(Research and Development Center of Potato, College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Wenjiang, Sichuan 611130, China)

**Abstract:** In order to reveal the mechanism of fertility promoting the tuber development, the potato landrace Cardinal (*Solanum tuberosum* L.) was sampled as material, and the changes of polyamines (PAs), gibberellin (GA<sub>3</sub>) and jasmines (JAs) in the process of the tuber development under different fertility levels were analyzed by HPLC. The result of the experiment follows: (1) The contents of three kinds of PAs (Put, Spm, and Spd) had two peak values at primary and middle stage in the tuber development respectively comforting with the trend of decrease-increase-decrease. But the contents had different respondents to different fertility levels. In middle stage of tuberization PAs contents under moderate

收稿日期: 2013 - 03 - 27; 修回日期: 2013 - 07 - 05

基金项目: 四川科技支撑计划项目 (2012NZ0017); 四川省育种攻关配套项目 (2012YZGG-26)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: yuanjichao5@163.com)

fertility level were higher than that under low and high fertility levels. High fertility made the Put content decrease, the peak time of Put advance, and the peak time of Spm and Spd postpone. With the increase of fertility the peak value of Put/Spd reduced continuously and the peak time advanced. (2) In the middle stage GA<sub>3</sub> was the highest under low fertility level and lowest under moderate fertility level. Under low fertility level JAs content was low in all stage. And in the middle stage the JAs content under moderate level was higher than that under low and high fertility levels. The GA<sub>3</sub>/JAs under low and high fertility levels increased firstly and then decreased. The change trend is reverse to that under the moderate fertility level. (3) JAs content had significant positive correlation with the content of Put, and significant negative correlation with the contents of Spd and Spm. The reasonable fertility level could improve the contents of PAs and JAs, reduce the content of GA<sub>3</sub> in the middle stage of tuberization and favor the tuber development of potato.

**Key words:** potato; *Solanum tuberosum* L.; fertility; tuber development; polyamine; endogenous hormone

赤霉素 (GA<sub>3</sub>) 和茉莉酸 (JAs) 对马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 块茎的发育具有重要影响。GA<sub>3</sub> 可以促进马铃薯匍匐茎的形成 (Okazawa, 1976; Vreugdenhil & Struik, 1989), JAs 可诱导和促进块茎的发生和膨大 (Pelacho & Mingo-Castel, 1991; Kiyoshi et al., 1994), 二者含量的变化对块茎的发育起着重要的调控作用。多胺 (PAs) 是生物体内一类含氮物质 (刘林德和姚敦义, 2002), 参与植物细胞的分裂、分化、胚胎发育、坐果、果实成熟、开花等生长发育过程 (李建勇 等, 2005; 陈杰忠 等, 2006; 段辉国 等, 2006), 已有的研究证明多胺代谢与合成对籽粒充实、果实发育、块根和块茎膨大等起着重要的调节作用 (杨建昌 等, 1997; Omar Franco-Mora et al., 2005; 李良俊 等, 2006; 郭印山 等, 2007; 王明祖 等, 2011)。施肥影响一些作物叶片以及根系多胺的含量 (王晓云 等, 2001; 施木田和陈如凯, 2004; 陆新华和孙光明, 2008; 张雪芹 等, 2008)。吉晓佳等 (2004) 的研究表明, 马铃薯块茎中也含有丰富的多胺物质, 但是它对马铃薯块茎发育有何影响, 对肥力水平有什么样的反应, 与 GA<sub>3</sub>、JAs 等有什么样的关系, 目前还未见报道。笔者对马铃薯块茎发育过程中的多胺含量变化, 肥力水平对块茎中多胺含量的影响做了初步研究, 以期明确马铃薯块茎发育中的多胺变化规律、对肥力水平的反应, 为生产上进行合理的肥力运筹, 促进马铃薯块茎发育提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试验设计

试验在四川农业大学张家坪农场进行。试验地土壤肥力中等, 有机质含量 21.56 g · kg<sup>-1</sup>, 全氮 1.67 g · kg<sup>-1</sup>, 碱解氮 74.42 mg · kg<sup>-1</sup>, 全磷 354.3 mg · kg<sup>-1</sup>, 速效磷 7.67 mg · kg<sup>-1</sup>, 速效钾 325.2 mg · kg<sup>-1</sup>, pH 值 6.8。

以鲜食马铃薯品种 ‘台湾红皮’ (Cardinal) 为试验材料, 设低、中、高 3 个肥力水平 (中肥力水平是根据生产实际及马铃薯的需肥规律确定的高产合理施肥水平, 保证 N:P:K = 2:1:3), 肥料用量分别为纯氮 0、90.0、135.0 kg · hm<sup>-2</sup>, 氧化钾 0、135.0、202.5 kg · hm<sup>-2</sup>, 五氧化二磷 0、45.0、67.5 kg · hm<sup>-2</sup>, 其中氮肥为尿素 (含 N 46%), 钾肥为硫酸钾 (含 K<sub>2</sub>O 50%), 磷肥为过磷酸钙 (含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)。施肥方式按照播种密度折算到每株称量定施, 低施肥水平处理不施肥, 中施肥水平每株

施尿素、硫酸钾、过磷酸钙分别为 2.35 g、3.24 g、4.50 g, 高施肥水平每株为 3.52 g、4.86 g、6.75 g。按随机区组设计, 小区面积 12 m<sup>2</sup> (3 m × 4 m), 3 次重复, 每重复 100 株。按株行距 20 cm × 60 cm 播种, 氮、磷、钾肥以基肥方式一次性施用, 然后用地膜覆盖, 防止降雨影响肥效, 块茎膨大期定量灌溉, 其它栽培管理同大田生产。

## 1.2 取样及测定

在播种后 44 d, 开始结薯时进行第 1 次取样, 以后每隔 8 d 取样 1 次, 每次随机取样 5 株, 选取每处理中最大的 5 个块茎制样(块茎大小随不同施肥处理而有较大差异), 每个块茎按顶部、中部、基部取样 3 片, 切成 0.2 cm 左右的小颗粒, 混合后准确称样 1.000 g, 于液氮中速冻 30 s, -70 °C 的冰箱中保存。

多胺和 GA<sub>3</sub>、JAs 采用反相高效液相色谱(HPLC)测定。多胺测定参照 Liu 等(2006)的方法, 在样品中加入 5 mL(分次加入)5%预冷的高氯酸(PCA, 分析纯), 冰浴匀浆, 倒入 10 mL 离心管, 冰浴 1 h。然后 15 000 r·min<sup>-1</sup>, 4 °C 离心 30 min, 取上清液 500 μL, 依次加入 7 μL 苯甲酰氯(分析纯)、1 mL 2 mol·L<sup>-1</sup> NaOH, 涡旋混匀 10 s, 于 37 °C 恒温水浴遮光培养 25 min。培养后, 加入 2 mL 饱和 NaCl 溶液, 摇匀, 再加入 2 mL 乙醚, 摇匀; 4 °C, 1 500 r·min<sup>-1</sup> 离心 5 min, 用移液枪(或者注射器)取上层乙醚相 1.5 mL 于 2 mL 刻度离心管中, 置于可调控人工气候箱中, 35 °C 抽风直到液体挥发完。在已干燥的离心管中加入 200 μL 色谱甲醇, 溶解, 摇匀, 过 0.45 μm 有机系超微滤膜, 取 20 μL 样液进样。

GA<sub>3</sub>、JAs 参照曾庆钱(2006)的测定方法并加以适当改进。将提取液加入 0.2 g/g PVPP 吸附酚类物质及色素, 在摇床上 4 °C 振荡 60 min, 充分摇匀后离心, 取上清液缓慢过 C<sub>18</sub> 小柱, 流出液倒入培养皿中, 在 4 °C 温室培养箱中黑暗阴干, 液体挥发完后取出加入 5 mL 色谱甲醇溶解, 过 0.45 μm 有机系超微滤膜, 作为供试液, 整个过程都在弱光下完成。每处理设 3 次重复, 以平均值作分析。数据在 Excel、DPS9.50 上进行处理与分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 肥力水平对马铃薯块茎膨大过程中多胺含量的影响

试验结果(图 1)显示, 马铃薯块茎中的多胺以腐胺(Put)含量最多, 亚精胺(Spd)次之, 精胺(Spm)最少。每种多胺在块茎发育的初期含量较高, 之后下降, 在块茎快速膨大期(播种后 52~68 d)又迅速上升, 块茎发育末期(播种后 68~76 d)又下降, 呈现下降—上升—下降的变化趋势。但是每种多胺在块茎发育中对不同肥力水平的响应表现出显著差异。

高肥力水平有降低腐胺含量的趋势, 而且腐胺含量峰值出现的时间提前到播种后 60 d 左右, 而低肥力与中肥力水平下峰值出现在 68 d 左右(图 1, A)。腐胺含量峰值以中肥力水平最高, 为 351.08 μg·g<sup>-1</sup> FW, 比低肥力水平高 6.6%, 比高肥力水平高 34.9%, 差异极显著( $P < 0.01$ ), 表明合理的中肥力水平提高了块茎发育中期(播种后 60~68 d)腐胺的含量。

Spd 的含量在块茎发育初期最高, 之后起伏下降, 峰值比较低。中肥力水平下 Spd 的变化比较平缓, 但在块茎发育中期(播种后 60 d)的含量高于低肥力和高肥力水平处理。低肥力水平与中肥力水平下 Spd 峰值出现时间均在播后 60 d, 而高肥力水平出现的时间在播种后 68 d 左右(图 1, B), 这可能是由于过多的肥力供应促进了营养生长, 延缓了块茎发育。

Spm 的含量(图 1, C)在块茎发育的初期最高, 之后下降并呈 S 型变化, 但峰值比较低。低

肥力和中肥力水平下峰值出现时间均在播种后 60 d 左右, 而高肥力水平峰值出现时间延后到播种后 68 d 左右。中肥力水平下 Spm 的含量除块茎发育初期较低外, 其它时期均高于同期低肥力水平下的。高肥力水平下 Spm 含量在初期最高, 之后迅速下降, 且持续时间长。

PA<sub>s</sub> 总量 (图 1, D) 在块茎发育前期, 低、高肥力水平下较高, 而在中肥力水平下较低, 在块茎发育中期 (播种后 60 ~ 68 d), 中肥力水平下 PA<sub>s</sub> 的含量均明显高于低、高肥力水平, 峰值比低肥力水平高 16.5%, 比高肥力水平高 28.4%, 差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 而末期迅速下降。总之, 中肥力水平下增加了块茎发育中期多胺的合成, 满足了块茎膨大对多胺的需求, 有利于块茎的发育和膨大。

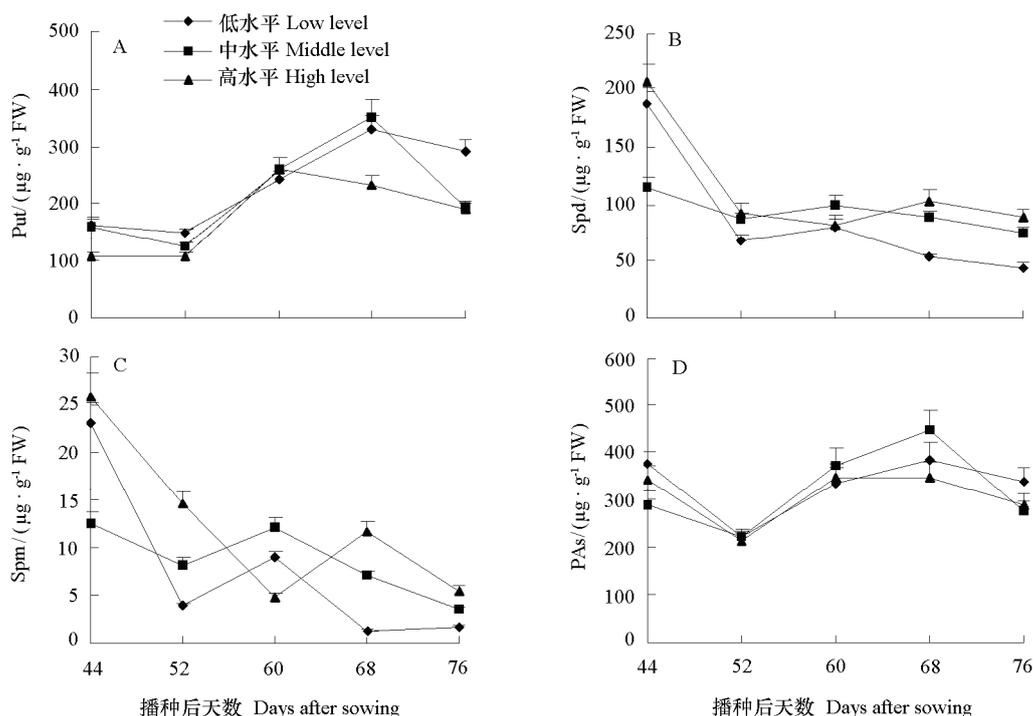


图 1 肥力水平对马铃薯块茎发育中多胺的影响

Fig. 1 Effects of fertility level on polyamines in the process of tuber formation in potato

## 2.2 肥力水平对马铃薯块茎中 GA<sub>3</sub>、JAs 含量及其比值的影响

### 2.2.1 对 GA<sub>3</sub> 和 JAs 含量的影响

GA<sub>3</sub> 含量 (图 2, A), 在中、高肥力水平下的变化较低肥力水平下有很大的差异, 低肥力水平下在 52 ~ 68 d 期间不断上升, 而中、高肥力水平下不断下降, 且中肥力水平下降迅速。块茎发育初期 (播种后 44 d) 以中肥力水平下 GA<sub>3</sub> 含量最高 ( $50.547 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ), 分别为低、高肥力水平的 111.6% 和 151.6%, 差异极显著 ( $P < 0.01$ )。而在块茎发育中期的 68 d, 中肥力水平下 GA<sub>3</sub> 含量最低 ( $4.471 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ), 分别只有高、低肥力水平的 23.1% 和 4.3%。说明合理的肥力水平能显著增加块茎发育初期 GA<sub>3</sub> 的含量, 降低中期 GA<sub>3</sub> 的含量。

JAs 含量 (图 2, B), 在低肥力水平下块茎发育的各阶段均比较低, 中肥力水平下在块茎快速膨大期 (52 ~ 68 d) 含量较高, 高肥力水平下在中期较低, 在后期迅速增长, 这可能是由于随肥力

水平提高, 促进了前期地上部营养生长, 块茎发生后延, 块茎膨大期推迟。不同肥力水平下 JAs 变化趋势也存在差异, 中肥力水平下前期和后期较低, 块茎快速膨大期含量较高, 低肥力和高肥力水平下在前期较低, 后期较高, 高肥力水平上升迅速, 低肥力水平上升平缓。

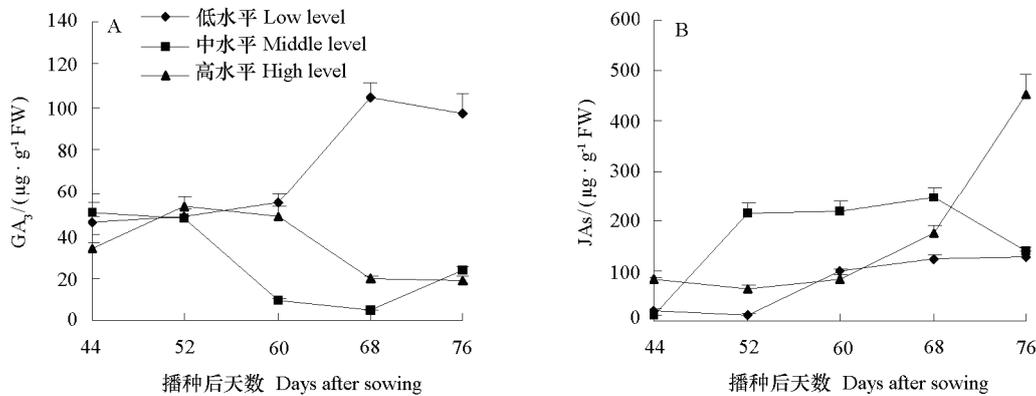


图 2 肥力水平对马铃薯块茎发育中 GA<sub>3</sub> 和 JAs 的影响

Fig. 2 Effects of fertility level on GA<sub>3</sub> and JAs in the process of tuber formation in potato

### 2.2.2 对 GA<sub>3</sub>/JAs 的影响

GA<sub>3</sub>/JAs 值在一定程度上反映了特定时期匍匐茎和块茎发生的情况。

从本试验结果 (图 3) 看, 高、低肥力水平下 GA<sub>3</sub>/JAs 变化趋势一致, 呈先升高, 后降低的变化趋势, 而中肥力水平下呈先降低后升高的变化趋势, 在块茎快速膨大的中期 (52 ~ 68 d) 最低。说明合理的中肥力水平, 保证了块茎发育中期较低的 GA<sub>3</sub>/JAs 比值, 有利于块茎的发育和膨大。另外在前期低肥力和高肥力水平下 GA<sub>3</sub>/JAs 值有一个升高再降低的过程, 主要是由于过高、过低的肥力延缓了匍匐茎的发生, 与实际调查的结果相符。

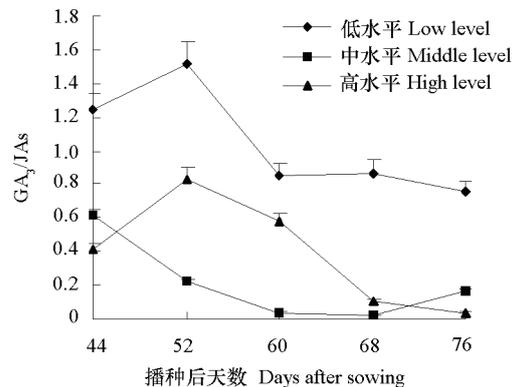


图 3 肥力水平对马铃薯块茎发育中 GA<sub>3</sub>/JAs 的影响

Fig. 3 Effects of fertility level on GA<sub>3</sub>/JAs in the process of tuber formation in potato

### 2.3 块茎发育过程中多胺与 GA<sub>3</sub> 和 JAs 的关系

多胺和激素中的 GA<sub>3</sub>、JAs 对马铃薯块茎发育具有重要的促控作用, 本试验中对块茎发育各时期不同处理的多胺与 GA<sub>3</sub> 和 JAs 的相关性进行分析。

结果如表 1 所示, Spm 和 Spd 分别与 JAs 呈极显著和显著负相关, 说明其相互之间可能存在着促控关系。3 种多胺与 GA<sub>3</sub> 均未达显著水平。

表 1 马铃薯块茎发育过程中多胺与 GA<sub>3</sub> 和 JAs 之间相关性分析  
Table 1 Correlation coefficient between polyamines and GA<sub>3</sub> or JAs

多胺 Polyamines	GA <sub>3</sub>	JAs
Put	-0.65519	0.67119
Spd	-0.23857	-0.87846*
Spm	-0.06345	-0.96430**

注: \*为  $P < 0.05$  显著水平, \*\*为  $P < 0.01$  显著水平。

Note: \* indicates significant difference at the  $P < 0.05$  level, \*\* indicates significant difference at the  $P < 0.01$  level.

### 3 讨论

众多研究表明,多胺有利于刺激细胞分裂,促进生长,可作为植物生长调节剂或“第二信使”对某些植物器官,特别是果实的发育起重要的调节作用(李建勇等,2005)。利用转基因技术获得了S-腺苷-蛋氨酸脱氧酶含量增加的马铃薯转基因植株,研究发现随着多胺含量增加,块茎数量增加而块茎体积缩小(Pedros et al., 1999),这一结果表明多胺在块茎发育中确实起到了一定作用。本试验结果表明:在马铃薯块茎发育过程中,块茎发育初期多胺含量较高,随后下降,到块茎膨大期又上升,块茎发育末期又下降,可见块茎发育可能对多胺有两个需求高峰,第一个是启动块茎发育时需要较高含量的多胺刺激,第二个是块茎发育中期,即块茎迅速膨大期,需要有较高含量的多胺刺激,但需要做进一步研究。已有研究认为锌肥、硼肥的施用提高了苦瓜叶片中多胺的含量,但提高的程度因施用量不同而有差异(施木田等,2004),氮肥影响着花生叶片多胺代谢及衰老(王晓云等,2001),而不同肥料处理影响剑麻叶片内源多胺的合成(陆新华和孙光明,2008),说明肥料对于植物叶片内多胺形成具有普遍影响。本研究中发现马铃薯块茎发育过程中多胺变化对不同的肥力水平响应存在差异,主要表现为含量峰值的大小和峰值出现时间的差异,这可能是由于不同肥力水平影响了块茎的发育进程,进而影响了多胺含量在块茎发育过程中的变化。

多胺在马铃薯块茎发育中起到重要的调控作用(Pedros et al., 1999),并能与植物激素相互作用,直接影响许多由植物激素控制的生长发育过程,外施IAA, GA和CTK均促进多胺的生物合成(朱大恒等,1993)。从本试验结果看,3种多胺和JAs在块茎发育中期,即块茎快速增长期(52~68 d)保持较高的含量,共同促进块茎细胞分裂和膨大,二者具有类似的功能。从其相关分析看,JAs与Spm、Spd呈显著负相关,可能JAs通过影响多胺合成酶或其它途径影响组织的多胺代谢,而多胺也可能通过各种途径影响JAs水平。但JAs及多胺的代谢相当复杂,受多种因素的影响,因此它们之间通过什么具体途径来产生相互影响,影响的机制是什么,仍不清楚,需要做进一步作研究。

### References

- Chen Jie-zhong, Liu Yun-chun, Ye Zi-xing, Hu You-li, Feng Qi-rui. 2006. Changes in endogenous polyamine contents during fruit development of longan (*Dimocarpus longan* Lour.). *Chinese Journal of Tropical Crops*, 27 (2): 18 - 23. (in Chinese)
- 陈杰忠, 刘运春, 叶自行, 胡又厘, 冯奇瑞. 2006. 龙眼果实发育过程中内源多胺含量的变化. *热带作物学报*, 27 (2): 18 - 23.
- Duan Hui-guo, Huang Zuo-xi, Lin Hong-hui. 2006. The role of polyamines in the ontogeny of higher plants. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 15 (2): 190 - 194. (in Chinese)
- 段辉国, 黄作喜, 林宏辉. 2006. 多胺在高等植物个体发育中的作用. *西北农业学报*, 15 (2): 190 - 194.
- Guo Yin-shan, Guo Xiu-wu, Zhang Hai-e. 2007. Changes in polyamine contents of ovules during grape (*Vitis vinifera* L.) embryo development and abortion. *Plant Physiology Communications*, 43 (1): 53 - 56. (in Chinese)
- 郭印山, 郭修武, 张海娥. 2007. 葡萄胚胎发育与败育过程中胚珠的多胺含量变化. *植物生理学通讯*, 43 (1): 53 - 56.
- Ji Xiao-jia, Zhang Da-dong, Liu You-Liang, Yu Bing-jun. 2004. The effect of different process method on the contents and components of polyamines in potato foods. *Food Science*, 25 (2): 50 - 52. (in Chinese)
- 吉晓佳, 张大栋, 刘友良, 於丙军. 2004. 加工方法对马铃薯食品多胺含量与组成的影响. *食品科学*, 25 (2): 50 - 52.
- Kiyoshi T, Kaie F, Yoshio K, Yasunori K. 1994. Expansion of potato cells in response to jasmonic acid. *Plant Science*, 100 (1): 3 - 8.
- Li Jian-yong, Lu Gang, Ren Yan. 2005. Advances in research on effects of polyamines on fruit growth and development of fruit trees. *Journal of Fruit Science*, 22 (3): 256 - 260. (in Chinese)
- 李建勇, 卢刚, 任彦. 2005. 多胺在果实生长发育中的作用研究进展. *果树学报*, 22 (3): 256 - 260.
- Li Liang-jun, Pan En-chao, Xu Chao, Ye Zhi-rong, Cao Bei-sheng. 2006. Changes of endogenous hormones, polyamines and salicylic acid content

- during rhizome development of *Nelumbo nucifera* Gaertn. *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (5): 1106 - 1108. (in Chinese)
- 李俊良, 潘恩超, 许超, 叶枝荣, 曹磊生. 2006. 莲藕膨大过程中内源激素、水杨酸和多胺含量的变化. *园艺学报*, 33 (5): 1106 - 1108.
- Liu Ji-hong, Kazuyoshi Nada, Pang Xiao-ming, Chikako Honda, Hiroyasu Kitashiba, Takaya Moriguchi. 2006. Role of polyamines in peach fruit development and storage. *Tree Physiology*, 26: 791 - 798.
- Liu Lin-de, Yao Dun-yi. 2002. The conception and new compounds of plant hormones. *Bulletin of Biology*, 37 (8): 18 - 20. (in Chinese)
- 刘林德, 姚敦义. 2002. 植物激素的概念及其新成员. *生物学通报*, 37 (8): 18 - 20.
- Lu Xin-hua, Sun Guang-ming. 2008. Effects of different fertilizer supply on growth and the contents of endogenous polyamines in sisal hemp. *Plant Fibers and Products*, 30 (2): 89 - 93. (in Chinese)
- 陆新华, 孙光明. 2008. 不同肥料处理对剑麻叶片内源多胺的影响研究. *中国麻业科学*, 30 (2): 89 - 93.
- Okazawa Y. 1976. Physiological studies on the tuberization of potato plants. *J Fac Agric Hokkaido Univ*, 55: 267 - 347.
- Omar Franco-Mora, Kenji Tanabe, Akihiro Itai, Fumio Tamura, Hiroyuki Itamura. 2005. Relationship between endogenous free polyamine content and ethylene evolution during fruit growth and ripening of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai). *J Japan Soc Hort Sci*, 74 (3): 221 - 227.
- Pedros A R, Maclepd M R, Ross H A, Merae D, Tiburcio A F, Davies H V, Taylor M A. 1999. Manipulation of S-adenosylmethionine decarboxylase activity in potato tubers: An increase in activity leads to an increase in tuber number and a change in tuber size distribution. *Planta*, 209: 153 - 160.
- Pelacho A M, Mingo-Castel A M. 1991. Jasmonic acid induces tuberisation of potato stolons cultured *in vitro*. *Plant Physiol*, 97: 1253 - 1255.
- Shi Mu-tian, Chen Ru-kai. 2004. Effects of zinc and boron nutrition on balsam pear (*Momordica charantia*) yield and quality and polyamines, hormone, and senescence of its leaves. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 15 (1): 77 - 80. (in Chinese)
- 施木田, 陈如凯. 2004. 锌硼营养对苦瓜产量品质与叶片多胺、激素及衰老的影响. *应用生态学报*, 15 (1): 77 - 80.
- Vreugdenhil D, Struik P C. 1989. An integrated view of the hormonal regulation of tuber formation in potato (*Solanum tuberosum*). *Physiol Plant*, 75: 525 - 531.
- Wang Ming-zu, Yang Xian, He Sheng-gen, Li Gong-ke. 2011. Changes in polyamine oxidase activity and polyamine contents during fruit development of kidney bean. *Journal of Zhongkai Agrotechnical College*, 24 (4): 12 - 15. (in Chinese)
- 王明祖, 杨暹, 何生根, 李攻科. 2011. 菜豆果实发育过程中多胺氧化酶活性与多胺含量的变化. *仲恺农业工程学院学报*, 24 (4): 12 - 15.
- Wang Xiao-yun, Li Xiang-dong, Zou Qi. 2001. Regulation effects of nitrogen application on the polyamine metabolism and senescence of peanut leaves. *Acta Agronomica Sinica*, 27 (4): 442 - 446. (in Chinese)
- 王晓云, 李向东, 邹琦. 2001. 施氮对花生叶片多胺代谢及衰老的调控作用. *作物学报*, 27 (4): 442 - 446.
- Yang Jian-chang, Zhu Qing-sen, Wang Zhi-qin, Cao Xian-zu. 1997. Polyamines in rice grains and their relations with grain plumpness and grain weight. *Acta Agronomica Sinica*, 23 (4): 385 - 392. (in Chinese)
- 杨建昌, 朱庆森, 王志琴, 曹显祖. 1997. 水稻籽粒中内源多胺及其与籽粒充实和粒重的关系. *作物学报*, 23 (4): 385 - 392.
- Zeng Qing-qian, Chen Hou-bin, Lu Cai-hao, Li Jian-guo. 2006. An optimized HPLC procedure for analyzing endogenous hormones in different organs of litchi. *Journal of Fruit Science*, 23 (1): 145 - 148. (in Chinese)
- 曾庆钱, 陈厚彬, 鲁才浩, 李建国. 2006. HPLC 测定荔枝不同器官中内源激素流程的优化. *果树学报*, 23 (1): 145 - 148.
- Zhang Xue-qin, Peng Ke-qin, Wang Shao-xian, Xiao Lang-tao, Li Zai-jun, Ku Wen-zhen, Tong Jian-hua. 2008. Effect of tobacco formulated fertilizer synergist on the contents of endogenous phytohormones and polyamine in flue-cured tobacco root system. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 16 (5): 1116 - 1121. (in Chinese)
- 张雪芹, 彭克勤, 王少先, 萧浪涛, 李再军, 库文珍, 童建华. 2008. 烟草配方肥增效剂对烤烟根系内源激素和多胺含量的影响. *中国生态农业学报*, 16 (5): 1116 - 1121.
- Zhu Da-heng, Han Jin-feng, Lin Xue-wu, Zheng Ying. 1993. Relations of polyamines and plant hormones. *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis*, 27 (1): 10 - 15. (in Chinese)
- 朱大恒, 韩锦峰, 林学梧, 郑英. 1993. 多胺与植物激素的关系. *河南农业大学学报*, 27 (1): 10 - 15.