

## 细胞分裂素生产菌提高马铃薯抗旱性的生理生化特性研究

潘澈<sup>1a</sup>, 刘柯驿<sup>1b</sup>, 兰时乐<sup>1b</sup>, 王惠群<sup>1b,2\*</sup>, 陈亚波<sup>1a</sup>

(1.湖南农业大学 a.东方科学技术学院; b.生物科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2.植物激素与生长发育湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128)

**摘 要:**以马铃薯合作-88 为材料, 通过向土壤中分别加入巨大芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌溶液, 结合水分亏缺灌溉(DI)进行土壤盆栽试验, 比较水分亏缺状态下细胞分裂素生产菌处理对马铃薯幼苗农艺性状、生理生化特性的影响。结果表明: 加入细胞分裂素生产菌后, 马铃薯的水分利用率及其抗旱特性比对照均有显著提高, 加入枯草芽孢杆菌后, 马铃薯的根长、根干重、根系活力和干物质储存量均比加入巨大芽孢杆菌的要高。

**关 键 词:** 马铃薯; 细胞分裂素生产菌; 抗旱性

中图分类号: Q945.78

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2012)05-0501-05

### Physiological and biochemical characteristics of *Solanum tuberosum* L. with drought resistance improved by cytokinin-producing bacteria

PAN Che<sup>1a</sup>, LIU Ke-yi<sup>1b</sup>, LAN Shi-le<sup>1b</sup>, WANG Hui-qun<sup>1b,2\*</sup>, CHEN Ya-bo<sup>1a</sup>

(1.a.Orient Science & Technology College; b.College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.Hunan Provincial Key Laboratory of Phytohormones and Growth Development, Changsha 410128, China)

**Abstract:** Potato variety Hezuo-88 was used in pot experiment to compare the effects of different cytokinin-producing bacteria on agrochemical, physiological and biochemical characteristics of potato seedling under water deficit by adding *Bacillus megaterium* solution and *Bacillus subtilis* solution to soil combined with deficit irrigation. The results showed that water use efficiency and drought resistance of potato were improved significantly after adding cytokinin-producing bacteria compared to the control. The root length, root fresh weight, root activity and root dry matter storage of potato in the treatment added with *Bacillus subtilis* were higher than those in the treatment added with *Bacillus megaterium*.

**Key words:** *Solanum tuberosum* L.; cytokinin-producing bacteria; drought resistance

土壤中许多微生物如地衣芽孢杆菌(*Bacillus licheniformis*)<sup>[1]</sup>、巨大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*)<sup>[2]</sup>和枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)<sup>[3]</sup>都能合成细胞分裂素(CTK) 通过增加土壤溶液中和根系内外的 CTK 含量, 影响植物激素平衡。土壤中能够合成 CTK 的细菌称为细胞分裂素生产菌(cytokinin-producing bacteria, CPB)<sup>[4]</sup>。马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)根系较浅, 而且数量少, 植株的抗旱性较差, 灌溉用水需求量较大。英国剑桥大学进行的有关马铃薯品

种、灌溉方式和种植时间对其根系的长度、生长速率、生长期和密度的影响的研究表明, 马铃薯能够扎根到一定的深度(根长可达 59 ~ 140 cm)来获得大量的水分<sup>[5]</sup>。细胞分裂素生产菌假单胞菌(*Pseudomonas* sp.)能促进马铃薯幼苗根系生长、增强叶片保水力、影响植物激素平衡<sup>[6]</sup>。在马铃薯苗期用微生物制剂艾米乐(EM 菌肥)叶面喷施和灌根处理, 能提高马铃薯产量和淀粉含量<sup>[7]</sup>。细胞分裂素生产菌株 *Bacillus licheniformis* Am2, *Bacillus subtilis* BC1 和

收稿日期: 2011-10-17

基金项目: 湖南省科学技术厅项目(2010NK3022; 2011FJ3179); 湖南省教育厅项目(SCX1104)

作者简介: 潘澈(1990—), 男, 湖南长沙人, 主要从事植物生物技术研究; \*通信作者, wanghuiqun751@yahoo.com.cn

*Pseudomonas aeruginosa* E2 的菌液能增加鲜重和扩大子叶面积<sup>[8]</sup>。枯草芽孢杆菌 *B. subtilis* 能增加莖茎和根中的玉米素和玉米素核苷的含量<sup>[9-10]</sup>。细胞分裂素生产菌在完全灌溉和土壤干旱条件下增加植株中 CTK 含量、改变植物激素间的平衡来促进植株生长<sup>[11-13]</sup>。在干旱条件下根内 ABA 有效性升高和 CTK 有效性降低的适应性反应是提高植株抗旱性的主要原因<sup>[14-15]</sup>。笔者通过马铃薯苗期盆栽试验,在土壤中分别加入巨大芽孢杆菌(*B.acillus*)和枯草芽孢杆菌(*B.subtilis*)菌液,探究细胞分裂素生产菌与植株抗旱性有关的生理生化机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

马铃薯种薯合作-88 由云南农业大学东南亚薯类作物研究与控制中心提供。

巨大芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌由中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心提供。

试验土壤含河沙、草炭灰、锯木灰,各占 1/3,土壤有机质、全氮、全磷、全钾含量分别为 11.9、40.92、15.06、0.88 g/kg,碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为 182.7、88.41、58.58 mg/kg,pH 为 6.74。

### 1.2 试验设计

试验于 2011 年 4 月在湖南农业大学进行。在装有 7 kg 土壤的聚乙烯塑料盆钵(20 cm×15 cm)中,每盆植入 1 粒种薯,出苗后仅留 1 个顶芽。选择 27 株长势良好、形态一致的 3 叶期幼苗进行亏缺灌溉和菌种单因素试验:分别加入 100 mL 巨大芽孢杆菌溶液( $1.2 \times 10^{10}$  cfu/mL)和 100 mL 枯草芽孢杆菌溶液( $2.3 \times 10^{10}$  cfu/mL),共设亏缺灌溉(DI)、亏缺灌溉和巨大芽孢杆菌(DI-BM)、亏缺灌溉和枯草芽孢杆菌(DI-BS)3 个处理,3 次重复和 3 次取样(处理后 15、25 和 35 d)。从处理的第 2 天开始,每天 17:00 测定土壤水分含量,并补充浇水,使盆内土壤持水量维持在 35.6%的轻度水分亏缺。

### 1.3 马铃薯生理生化指标的测定

根系活力和相对电导率的测定依照文献[16]方法进行;叶绿体色素含量和叶片净光合速率的测定

依照文献[17]方法进行;植物激素生长素 IAA,脱落酸 ABA,玉米素 Z 的提取、纯化与测定依照文献[18]的方法进行;水分利用率的测定依照文献[12]的方法进行。

### 1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2007 和数据处理系统分析软件(DPS v7.55)对数据进行分析;采用 Duncan 进行多重比较分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 细胞分裂素生产菌对水分亏缺状态下马铃薯农艺性状的影响

对马铃薯农艺性状的测定结果(表 1)表明,加入细胞分裂素生产菌后,马铃薯幼苗在 15 d 时,株高比对照略矮,但至 25 d 后,都超过了对照,其中加入巨大芽孢杆菌的处理增长较多。

随着处理时间的延长,马铃薯植株干重都有所增加,均高于对照。

加入细胞分裂素生产菌后,马铃薯根干重在各处理时间都比对照有了增加。这些结果都说明,在土壤中加入细胞分裂素生产菌能够改善马铃薯苗期的农艺性状。

表 1 细胞分裂素生产菌处理后的马铃薯农艺性状  
Table 1 Agronomic traits of potato seedlings treated with cytokinin-producing bacteria

处理	时间/d	根干重/g	植株干重/g	株高/cm
DI	15	1.221±0.202	4.265±0.301	59.75±0.36
DI-BM		1.527±0.024	6.200±0.016	51.75±0.30
DI-BS		1.375±0.104	7.312±0.368	50.95±0.76
DI	25	1.474±0.034	6.299±0.072	75.10±2.26
DI-BM		1.663±0.113	9.312±0.127	74.90±2.80
DI-BS		1.558±0.031	7.799±0.433	71.65±3.70
DI	35	1.597±0.102	6.560±0.347	82.40±6.60
DI-BM		1.733±0.044	9.720±0.687	86.50±3.80
DI-BS		1.857±0.236	9.363±0.358	85.13±4.31

### 2.2 细胞分裂素生产菌对水分亏缺状态下马铃薯干物质积累的影响

由表 2 可知,至处理 35 d 时,马铃薯总干重比对照提高了 5 g,其中,根的增加量约为 0.5 g,茎的增加量约为 3 g,叶的增加量约为 1.5 g,马铃薯

干物质积累量基本在茎中，叶其次，根最少。但是加入细胞分裂素生产菌后的根中干物质分配率有所增加。这说明细胞分裂素生产菌能够促进光合产物在植株内的重新分配，特别是促进干物质在根中的积累。

表 2 细胞分裂素生产菌处理后 35 d 马铃薯干物重分配率

Table 2 Dry weight distribution rate of potato treated with cytokinin-producing bacteria in 35 days

处理	器官	干重/g	干重分配率/%
DI	根	1.297±0.021	8.10
	茎	6.860±0.052	43.00
	叶	7.817±0.064	48.90
DI-BM	根	1.733±0.022	8.60
	茎	9.720±0.023	48.24
	叶	8.697±0.075	43.16
DI-BS	根	1.857±0.019	8.82
	茎	9.363±0.081	44.50
	叶	9.823±0.086	46.68

### 2.3 细胞分裂素生产菌对水分亏缺状态下马铃薯光合作用的影响

由表 3 可知，细胞分裂素生产菌处理后，马铃薯第 3 叶顶小叶叶绿素和类胡萝卜素的含量比对照都有所提高。处理后 25 d 叶片的光合速率随叶绿素含量的增加同步增加。这说明细胞分裂素生产菌能够改善马铃薯幼苗的光合作用。

表 3 细胞分裂素生产菌处理的光合特性

Table 3 Photosynthetic parameters of potato treated with cytokinin-producing bacteria

处理	时间/d	叶绿素含量 ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	类胡萝卜素 含量( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	光合速率 ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )
DI	15	0.210±0.002	0.043±0.001	26.667±0.400
	25	0.220±0.012	0.048±0.002	21.678±1.059
	35	0.233±0.013	0.049±0.003	15.817±1.450
DI-BM	15	0.230±0.016	0.048±0.001	20.767±0.356
	25	0.261±0.001	0.050±0.001	25.722±0.607
	35	0.266±0.025	0.053±0.006	13.400±1.100
DI-BS	15	0.217±0.011	0.048±0.001	26.583±0.033
	25	0.270±0.013	0.050±0.002	25.056±0.741
	35	0.281±0.011	0.054±0.003	23.000±0.403

### 2.4 细胞分裂素生产菌对水分亏缺状态下马铃薯抗旱生理指标的影响

细胞分裂素生产菌处理后，随着马铃薯的生

长，其叶片的相对电导率比对照有一定的下降，提高了抗旱性，但没有显著差异(表 4)。这说明在水分亏缺状态下，细胞分裂素生产菌处理对马铃薯的抗旱性没有明显影响。

表 4 细胞分裂素生产菌处理后马铃薯叶片相对电导率和根系活力

Table 4 Leaf relative electric conductivity and root activity of potato treated with cytokinin-producing bacteria

处理	时间/d	相对电导率/%	根系活力/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1})$
DI	15	38.81±0.39	2 451.35±82.95
	25	39.98±2.00	2 830.83±160.55
	35	51.54±2.70	2 542.21±209.54
DI-BM	15	37.17±0.88	2 567.75±53.52
	25	34.43±2.15	3 360.89±280.69
	35	47.90±1.51	4 696.72±209.54
DI-BS	15	36.68±1.47	4 198.99±131.05
	25	35.14±1.19	2 980.49±120.87
	35	48.94±0.88	4 938.01±103.06

处理后 15 d ,DI-BS处理的马铃薯根系活力相比其他处理明显较高，25 d 时3种处理的差异不大，DI-BM处理的稍高，35 d 时加入细胞分裂素生产菌的比对照有了明显的增强，DI-BS处理的比DI-BM的更高。说明在水分亏缺状态下，细胞分裂素生产菌处理的马铃薯根系活力增强，提高了植株的抗旱性(表4)。

### 2.5 细胞分裂素生产菌对水分亏缺状态下马铃薯植物激素含量的影响

处理后 35 d ,DI-BS 处理，马铃薯根中生长素含量下降，但DI-BM处理的生长素含量增加；DI-BS处理的脱落酸含量最多，且为其他 2 组的 2 倍左右。在茎和叶中，对照的玉米素含量最多，DI-BS 处理次之，DI-BM 处理的最少。从 IAA/ABA、IAA/Z 和 ABA/Z 值来看，IAA/ABA 值和 IAA/Z 值的变化无规律可循，但是根、茎和叶的 ABA/Z 值，细胞分裂素生产菌处理的均高于对照(表 5)。这说明植株根、茎和叶中 ABA 含量的升高和 Z 含量的下降，特别是植株根、茎和叶中 ABA/Z 值的升高是细胞分裂素生产菌提高植株抗旱性的主要生理基础。

表5 细胞分裂素生产菌处理后35 d的马铃薯植物激素含量

Table 5 Phytohormones content of potato treated with cytokinin-producing bacteria in 35 days

器官	处 理	IAA 含量/(ng·g <sup>-1</sup> )	ABA 含量/(ng·g <sup>-1</sup> )	Z 含量/(ng·g <sup>-1</sup> )	IAA/ABA	IAA/Z	ABA/Z
根	DI	(2.57±0.02)b	(0.48±0.01)b	(18.45±0.21)a	5.34	0.14	0.03
	DI-BM	(4.78±0.03)a	(0.50±0.01)b	(3.80±0.02)c	9.65	1.26	0.13
	DI-BS	(1.44±0.01)c	(1.08±0.01)a	(13.12±0.20)b	1.33	0.11	0.08
茎	DI	(11.29±0.21)b	(1.80±0.02)c	(16.18±0.31)a	6.27	0.70	0.11
	DI-BM	(17.66±0.32)a	(2.11±0.02)b	(1.46±0.02)b	8.38	12.13	1.45
	DI-BS	(19.82±0.22)a	(2.74±0.02)a	(2.75±0.02)b	7.24	7.20	1.00
叶	DI	(3.28±0.03)a	(17.96±0.15)ab	(24.24±0.42)a	0.18	0.14	0.74
	DI-BM	(3.76±0.03)a	(18.09±0.24)ab	(6.10±0.02)b	0.21	0.62	2.97
	DI-BS	(3.62±0.02)a	(19.26±0.21)a	(8.36±0.02)b	0.19	0.43	2.30

## 2.6 细胞分裂素生产菌对水分亏缺状态下马铃薯水分利用率的影响

DI处理35 d的马铃薯水分利用率为3.555 g/kg, DI-BM处理的为4.903 g/kg, DI-BS处理的为4.905 g/kg。可见加入细胞分裂素生产菌后,马铃薯的水分利用率比对照有了明显的提高,但是2菌种之间的差别不显著。细胞分裂素生产菌能够提高马铃薯的水分利用率,增加植株的抗旱性。但同时加入这2种菌是否更能提高其水分利用率,有待于进一步的研究。

## 3 讨 论

本研究结果表明,在亏缺灌溉的情况下,在土壤中加入细胞分裂素生产菌,对马铃薯苗期生长有促进作用,马铃薯的农艺性状如株高、植株干重、根干重和干物质积累量得到改善,光合作用增强;加入细胞分裂素生产菌后,叶片电导率降低,植株的根系活力与水分利用率都有所增加;由于细胞分裂素生产菌使得植株各器官中 ABA/Z 的值有所增加,从而诱发植株内部 ABA 与 CTK 的双重调节机制<sup>[18]</sup>,因此植株的抗旱性也随着细胞分裂素生产菌的加入而提高。鉴于加入枯草芽孢杆菌,马铃薯幼苗根长、根干重、根系活力和干物质积累量均比加入巨大芽孢杆菌处理的要强,建议生产菌肥时考虑使用枯草芽孢杆菌。

## 参考文献:

- [1] 赵国纬,唐娟,夏海洋,等.地衣芽孢杆菌 L3 在玉米和水稻上的应用效果[J].湖北农业科学,2009,48(5):1076-1077.
- [2] Randy Ortiz-Castro, Eduardo Valencia-Cantero, Jose Lopez-Bucio. Plant growth promotion by *Bacillus megaterium* involves cytokinin signaling[J]. Plant Signaling & Behavior, 2008, 3(4): 263-265.
- [3] Arkhipova T N, Veselov S U, Melentiev A I, et al. Ability of bacterium *Bacillus subtilis* to produce cytokinins and to influence the growth and endogenous hormone content of lettuce plants[J]. Plant and Soil, 2005, 272: 201-209.
- [4] Marcos I Frommel, Nowak Jerzy, Lazarovits George. Growth enhancement and developmental modifications of *in vitro* grown potato (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum*) as affected by a nonfluorescent *Pseudomonas* sp.[J]. Plant Physiology, 1991, 96: 928-936.
- [5] Stalham M A, Allen E J. Effect of variety, irrigation regime and planting date on depth, rate, duration and density of root growth in the potato (*Solanum tuberosum*) crop[J]. Journal of Agricultural Science, 2001, 137: 251-270.
- [6] Arshad Muhammad, Frankenberger W T. Microbial production of plant hormones[J]. Plant and Soil, 1991, 133: 1-8.
- [7] 杜巍,张国峰,闫任沛,等.艾米乐在马铃薯栽培上的应用效果[J].内蒙古农业科技,2010(2):39-41.
- [8] Anwar Hussain, Shahida Hasnain. Cytokinin production by some bacteria: Its impact on cell division in cucumber cotyledons[J]. African Journal of Microbiology Research,

- 2009, 3(11): 704–712 .
- [9] Arkhipova T N , Prinsen E , Veselov S U , et al . Cytokinin producing bacteria enhance plant growth in drying soil[J] . *Plant and Soil* , 2007 , 292 : 305–315 .
- [10] Hare P D , Cress W A , van Staden J . The involvement of cytokinins in plant responses to environmental stress[J] . *Plant Growth Regulation* , 1997 , 23 : 79–103 .
- [11] William J Davies , Guzel Kudoyarova , Wolfram Hartung . Long-distance ABA signaling and its relation to other signaling pathways in the detection of soil drying and the mediation of the plant response to drought[J] . *Journal of Plant Growth Regulation* , 2005 , 24 : 285–295 .
- [12] Wang Huiqun , Liu Fulai , Mathias N Andersen , et al . Comparative effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on nitrogen uptake in potatoes (*Solanum tuberosum* L.) [J] . *Irrigation Science* , 2009 , 27 : 443–448 .
- [13] Jonathan I Watkinson , Lori Hendricks , Allan A Sioson , et al . Tuber development phenotypes in adapted and acclimated , drought-stressed *Solanum tuberosum* ssp. andigena have distinct expression profiles of genes associated with carbon metabolism[J] . *Plant Physiology and Biochemistry* , 2008 , 46 : 34–45 .
- [14] Dorji K , Behboudian M H , Zegbe-Dominguez J A . Water relations , growth , yield , and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying[J] . *Scientia Horticulturae* , 2005 , 104 : 137–149 .
- [15] J Kevin Vessey . Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers[J] . *Plant and Soil* , 2003 , 255 : 571–586 .
- [16] 康朵兰 , 王惠群 , 萧浪涛 , 等 . 马铃薯主要生理性状和产量性状相关性的研究[J] . *中国马铃薯* , 2007 , 21(3) : 149–152 .
- [17] 王惠群 , 萧浪涛 , 杨艳丽 , 等 . 不同加工型马铃薯品种光合特性的比较[J] . *中国马铃薯* , 2005 , 19(6) : 335–339 .
- [18] Wang Huiqun , Xiao Langtao . Effects of chlorocholine chloride on phytohormones and photosynthetic characteristics in potato(*Solanum tuberosum* L.)[J] . *Journal of Plant Growth Regulation* , 2009 , 28 : 21–27 .

责任编辑: 罗慧敏