

# 嫁接对低氧胁迫下黄瓜生长和生理代谢的影响

樊怀福 郭世荣\* 张润花 栗娜娜 崔聪聪 杜长霞

(南京农业大学园艺学院, 江苏南京 210095)

**摘要:**采用营养液水培, 以丝瓜为砧木, 研究了嫁接对黄瓜植株生长、生理代谢和低氧耐性的影响。结果表明, 以丝瓜嫁接黄瓜可明显提高黄瓜植株的低氧耐性, 在低氧胁迫 8 d后, 嫁接苗的株高、茎粗、鲜样质量、干样质量、叶绿素含量、根系活力、超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT)、抗坏血酸过氧化物酶 (APX)、净光合速率 ( $Pn$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $Ci$ )、气孔导度 ( $Gs$ )、蒸腾速率 ( $Tr$ ) 均显著高于自根苗, 而根系和叶片中超氧阴离子 ( $\text{O}_2^-$ ) 产生速率显著低于自根苗。表明嫁接可明显提高黄瓜植株的低氧耐性, 耐低氧性的提高与嫁接苗植株较高的抗氧化能力和光合速率密切相关。

**关键词:** 黄瓜; 嫁接; 低氧胁迫; 活性氧; 光合特性

**中图分类号:** S 642.2    **文献标识码:** A    **文章编号:** 0513-353X (2006) 06-1225-06

## Effects of Grafting on Growth and Physiological Metabolism in Cucumber Seedlings under Hypoxia Stress

Fan Huaifu, Guo Shirong\*, Zhang Runhua, Li Nana, Cui Congcong, and Du Changxia  
(College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

**Abstract:** Effects of grafting on growth, physiological metabolism and hypoxia tolerance were studied in cucumber (*Cucumis sativus* L.) grafted on smooth luffa (*Luffa cylindrica* Roem.) and grown in nutrient solution. The results showed that grafting significantly increased hypoxia tolerance of grafted cucumber seedlings. Plant height, stem thickness, fresh mass, dry mass of grafted seedlings and the activity of SOD, POD, CAT and APX in both leaves and roots of grafted seedlings were markedly higher than those grown on own-roots after 8 days of hydroponic hypoxia stress. Similarly, root activity, the content of chlorophyll, net photosynthetic rate, stomatal conductance, intercellular  $\text{CO}_2$  concentration and transpiration rate were significantly higher than those grown on own-roots under hypoxia stress. However, the rate of  $\text{O}_2^-$  production of grafted seedlings was lower than that grown on own-roots after 8 days of hydroponic hypoxia stress. The higher levels of antioxidation and higher photosynthetic rate may be involved in higher hypoxia tolerance of grafted seedlings.

**Key words:** Cucumber; Graft; Hypoxia stress; Reactive oxygen; Photosynthetic characteristics

无土栽培技术的广泛采用是现代设施蔬菜发展的趋势之一, 但在生产实践中, 常常由于水培营养液溶氧浓度低、根系耗氧快、基质培根垫的形成使根系供氧状况恶化, 形成根际低氧逆境, 对栽培作物生长发育、生理代谢等产生不利影响。因此无土栽培的关键在于如何解决好介质中供液与供氧的矛盾<sup>[1]</sup>。据 FAO 及国际土壤研究会估算, 水分过多的土壤约占 12%。低氧胁迫已成为影响植物生长的重要逆境因子之一<sup>[2,3]</sup>, 是目前逆境生理研究的热点之一。

黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 是无土栽培的主栽蔬菜作物之一, 具有喜温不耐高温, 喜湿不耐涝的特点。利用嫁接换根栽培可提高黄瓜的耐低温<sup>[4]</sup>、耐盐<sup>[5]</sup>、吸水<sup>[6]</sup>、吸肥<sup>[7]</sup>和抗病虫害能力<sup>[8]</sup>, 以黑籽南瓜嫁接黄瓜已在生产上广泛应用, 但在湿度大的环境中, 南瓜根系会发生沤根<sup>[9]</sup>。丝瓜 (*Luffa cylindrica* Roem.) 起源于亚洲南部热带多雨地区, 在瓜类中耐潮湿能力最强。但有关丝瓜嫁接

收稿日期: 2006-03-16; 修回日期: 2006-06-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30170645)

\*通讯作者 Author for correspondence (E-mail: srguo@njau.edu.cn)

提高黄瓜低氧耐性的研究未见报道。

作者利用丝瓜做砧木和黄瓜进行嫁接，研究嫁接对根际低氧胁迫下黄瓜植株生长、根系活力、叶绿素含量、活性氧代谢、光合特性的影响，探讨丝瓜嫁接提高黄瓜低氧耐性的生理机制，为实际应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料及处理

黄瓜接穗为不耐低氧的品种‘中农8号’，4个丝瓜砧木分别为‘蛇形丝瓜’、‘江蔬1号’、‘早杂2号’和‘白肉丝瓜’。

试验于2005年4~6月在南京农业大学玻璃温室内进行。待砧木长到一叶一心、接穗子叶展平时进行嫁接，采用劈接法。待幼苗长到三叶一心时，选长势一致的幼苗定植于盛有20 L营养液的塑料周转箱中，营养液采用山崎黄瓜专用配方。预培养2 d后，开始低氧处理。

试验分两个阶段进行。阶段（砧木的筛选）：所设处理分别为‘中农8号’自根苗的通气对照、低氧对照、中农8号4种嫁接苗（均低氧），低氧处理用溶氧调节仪（美国QUANTUM公司生产，Q25型）控制营养液溶氧浓度（dissolved oxygen, DO）在 $(1 \pm 0.2) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ；通气对照用气泵正常通气 $(40 \text{ min} \cdot \text{h}^{-1})$ ，维持DO值在 $8.0 \sim 8.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。处理8 d后，测定幼苗的株高、茎粗、鲜样质量、干样质量。

阶段（生理测定）：所设处理为‘中农8号’自根苗（低氧对照）、中农8号与白肉丝瓜嫁接苗（低氧），在低氧处理前（0 d）和处理后（8 d）取根系和生长点下第2片展开真叶测定各项生理指标。

每水箱（小区）栽培12株，每次取样3~5株，试验设3次重复。

### 1.2 测定

用直尺和游标卡尺测量株高（茎基部到生长点）、茎粗（茎基部）：取单株鲜样先用自来水冲洗2~3次，再用蒸馏水冲洗2次，用吸水纸吸干后称量鲜样质量，105杀青15 min，75烘干至恒重，称干样质量。

根系活力采用TTC还原法<sup>[10]</sup>测定。

叶绿素含量采用丙酮乙醇混合液法<sup>[11]</sup>测定。

超氧化物歧化酶（SOD）活性采用Giannopolitis等<sup>[12]</sup>的方法，过氧化物酶（POD）活性按曾韶西等<sup>[13]</sup>的方法，过氧化氢酶（CAT）活性采用Dhindsa等<sup>[14]</sup>的方法，抗坏血酸过氧化物酶（APX）采用Nakano等<sup>[15]</sup>的方法测定。超氧阴离子 $(\text{O}_2^-)$ 产生速率按照王爱国等<sup>[16]</sup>的方法测定。

用便携式光合测定仪（6400型，美国Li-Cor公司）测定生长点下第2片展开真叶的净光合速率（Pn）、气孔导度（Gs）、胞间二氧化碳浓度（Ci）、蒸腾速率（Tr），测定条件为：光强 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，CO<sub>2</sub>气体采自相对稳定的3~4 m高的空气层，叶室温度为25°。

用SAS软件进行单因素方差分析，并对平均数用Duncan's新复极差法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 嫁接对植株生长的影响

由表1可知，低氧胁迫处理后8 d，显著抑制了黄瓜自根苗的生长，而嫁接苗受抑制程度显著降低，表现出较强的耐低氧特性。中农8号+白肉丝瓜、中农8号+早杂2号、中农8号+江蔬1号、中农8号+蛇形丝瓜的株高依次为低氧条件下自根苗的167%、155%、151%、133%，茎粗依次为139%、119%、114%、114%，鲜样质量依次为173%、161%、153%、149%，干样质量依次为147%、143%、140%、138%。综合比较各生长指标，以白肉丝瓜为砧木的嫁接苗表现最好。

表 1 嫁接对低氧胁迫下黄瓜植株生长的影响

Table 1 Effects of grafting on plant growth of cucumber seedlings under hypoxia stress

处理 Treatment	植株 Plant	株高 height(cm)	茎粗 thickness(mm)	鲜样质量 Fresh mass(g)	干样质量 Dry mass(g)
通气 Aerate	中农 8号 Zhongnong 8	49.5a	6.78b	19.38a	1.70a
低氧 Hypoxia	中农 8号 Zhongnong 8	27.5e	5.08e	11.31c	1.16e
	中农 8号 +白肉丝瓜 Zhongnong 8 +Baiou luffa	46.0b	7.04a	19.56a	1.70a
	中农 8号 +早杂 2号 Zhongnong 8 +Zaoza 2	42.5c	6.03c	18.19ab	1.65b
	中农 8号 +江蔬 1号 Zhongnong 8 +Jiangshu 1	41.5c	5.79d	17.34b	1.62c
	中农 8号 +蛇形丝瓜 Zhongnong 8 +Shexing luffa	36.5d	5.81d	16.81b	1.60d

注：同列数值不同字母表示差异达 5% 显著水平。

Note: Different letters within the same column indicate significant difference at 5% level

## 2.2 嫁接对植株活性氧代谢的影响

由表 2 可知，低氧胁迫前嫁接苗的 SOD、POD、CAT、APX 活性均显著高于自根苗，低氧胁迫 8 d 后，嫁接苗和自根苗叶、根内的 SOD、POD、CAT 活性均降低，其中在叶片中 SOD 活性和根中 CAT 活性下降幅度最大，而 APX 活性升高，但嫁接苗各种保护酶活性仍显著高于自根苗，叶片和根中 SOD、POD、CAT、APX 活性分别为自根苗的 117%、139%、158%、127% 和 133%、106%、178%、140%。

$\text{O}_2^-$  伤害植物的机理之一在于参与启动膜脂过氧化或膜脂脱脂作用。从表 2 可以看出，在低氧胁迫前，嫁接苗与自根苗叶和根中的  $\text{O}_2^-$  产生速率差异不显著，在低氧胁迫 8 d 后，嫁接苗与自根苗叶和根中的  $\text{O}_2^-$  产生速率有显著升高，分别为胁迫前的 3.20、3.72 倍和 6.87、8.52 倍，但嫁接苗的  $\text{O}_2^-$  产生速率不论叶片还是根系均显著低于自根苗，表明嫁接苗受低氧胁迫伤害的程度较轻。

表 2 嫁接对低氧胁迫下黄瓜植株活性氧代谢的影响

Table 2 Effects of grafting on reactive oxygen metabolism of cucumber seedlings under hypoxia stress

处理 Treatment	SOD (U · g <sup>-1</sup> FM)		POD (U · g <sup>-1</sup> FM)		CAT (U · g <sup>-1</sup> FM)		APX (ASA μmol · s <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup> FM)		$\text{O}_2^-$ (nmol · min <sup>-1</sup> · g <sup>-1</sup> FM)		
	天数 Days	嫁接 Graft	叶片 Leaf	根系 Root	叶片 Leaf	根系 Root	叶片 Leaf	根系 Root	叶片 Leaf	根系 Root	
			Leaf	Root	Leaf	Root	Leaf	Root	Leaf	Root	
0	中农 8号 Zhongnong 8	251.66b	324.06b	40.23b	213.67b	276.88b	38.81b	18.21b	7.54b	11.04a	8.75a
	中农 8号 +白肉丝瓜 Zhongnong 8 +Baiou luffa	273.45a	353.87a	55.21a	226.25a	309.62a	42.04a	25.71a	10.71a	9.69a	8.12a
8	中农 8号 Zhongnong 8	144.40b	156.40b	31.33b	150.91b	177.72b	10.83b	41.79b	20.36b	41.03a	74.51a
	中农 8号 +白肉丝瓜 Zhongnong 8 +Baiou luffa	168.78a	208.16a	43.62a	159.78a	279.29a	19.26a	53.04a	28.39a	31.03b	55.67b

注：同列数值不同字母表示差异达 5% 显著水平。

Note: Different letters within the same column indicate significant difference at 5% level

## 2.3 嫁接对根系活力、叶片叶绿素含量和光合特性的影响

根系活力直接影响植株的生长状况。由表 3 可知，嫁接苗与自根苗根系活力相比较，嫁接苗优势明显，不论是在胁迫前还是低氧胁迫 8 d 后，嫁接苗的根系活力都显著高于自根苗，低氧胁迫 0 d 时为自根苗的 128.6%，低氧胁迫 8 d 后为自根苗的 163.3%。

从表 3 可以看出，低氧胁迫前嫁接苗的 Chl a、Chl b、Chl (a+b) 含量均显著高于自根苗，低氧胁迫 8 d 后，两处理叶绿素含量均下降，但嫁接苗各种叶绿素含量仍显著高于自根苗；低氧胁迫前，嫁接苗的 Pn、Gs、Ci、Tr 显著高于自根苗。

低氧胁迫 8 d 后，两者的各项光合指标均下降，但嫁接苗仍显著高于自根苗，Pn、Gs、Ci、Tr 分别为自根苗的 1.94、1.73、1.66 和 2.31 倍。

表3 嫁接对低氧胁迫下黄瓜植株根系活力、叶绿素含量和光合特性的影响

Table 3 Effects of grafting on root activity, content of chlorophyll and photosynthetic characteristics of cucumber seedlings under hypoxia stress

处理 天数 Days	Treatment Graft	根系活力 Root activity (mg · h⁻¹ · g⁻¹ FM)	叶绿素 Chl (mg · g⁻¹ FM)		Pn (μmol · m⁻² · s⁻¹)	Gs (μmol · m⁻² · s⁻¹)	Ci (μL · L⁻¹)	Tr (μmol · m⁻² · s⁻¹)
			a	b				
0	中农 8号 Zhongnong 8	0.042b	11.70b	3.80b	15.49b	15.73b	0.54b	250.33b
	中农 8号 +白肉丝瓜 Zhongnong 8 +Bairou luffa	0.054a	14.60a	5.66a	20.25a	22.10a	0.61a	315.33a
	中农 8号 Zhongnong 8	0.030b	10.35b	2.99b	13.34b	7.30b	0.15b	141.33b
8	中农 8号 +白肉丝瓜 Zhongnong 8 +Bairou luffa	0.049a	13.91a	4.27a	18.18a	14.20a	0.26a	234.00a
								3.93a

注：同列数值不同字母表示差异达 5% 显著水平。

Note: Different letters within the same column indicate significant difference at 5% level

### 3 讨论

#### 3.1 丝瓜嫁接可促进黄瓜植株生长，增强植株低氧耐性

嫁接换根可提高叶片叶绿素含量和光合速率，对水分和氮、磷、钾等矿质营养的吸收能力增强，促进植株生长。本试验丝瓜嫁接后，嫁接苗发达的根系和根系活力的提高，增强了植株生长势，减少了活性氧等对植株地上部叶片造成的伤害，促进黄瓜植株生长；而嫁接苗叶片中较高的叶绿素含量和光合速率使得地上部干物质积累量增高，为根系的生长提供了充足的有机物质。

低氧胁迫明显抑制植物的生长发育，在 1~2 mg · L⁻¹ 溶存氧条件下，番茄整株干物质含量下降 50% 左右<sup>[17]</sup>。本试验结果可以看出，低氧胁迫下黄瓜植株生长同样受到显著抑制，株高和鲜样质量仅为对照的 55.6% 和 58.4%，但丝瓜嫁接苗的株高、茎粗、鲜样质量和干样质量显著提高，表明嫁接可显著提高黄瓜植株的低氧耐性。在 4 个丝瓜砧木中，以白肉丝瓜嫁接苗表现最好。

#### 3.2 丝瓜嫁接提高植株耐低氧性的生理基础

低氧胁迫下，嫁接苗比自根苗具有较高的根系活力（即琥珀酸脱氢酶的活性）。琥珀酸脱氢酶是三羧酸循环中的重要酶，较高的活性说明根系的代谢水平高，有利于维持根系相对稳定的吸收功能，可为植株生理代谢和生长发育提供充足的物质基础，是嫁接苗耐低氧性较强的重要生理基础之一。

大量研究表明，环境污染、低温、干旱等逆境以及植物体的衰老、损伤均涉及到活性氧的伤害问题，这些活性氧对膜、光合器官及许多生物功能分子均有破坏作用<sup>[18]</sup>。SOD、POD、CAT、APX 等是植物体内主要的抗氧化酶，正常条件下，植物体活性氧产生与消除之间处于动态平衡之中，但是低氧胁迫阻断了植物线粒体电子传递，有害的 Fe<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup> 等低价离子过剩<sup>[19]</sup>，这些因素促进了 O<sub>2</sub><sup>-</sup>、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 等活性氧的产生，引起膜脂过氧化和脱酰化作用，细胞膜的结构和功能遭到破坏<sup>[20]</sup>，而且活性氧与蛋白质、核酸等活性大分子物质交联，干扰细胞正常的生理代谢，对植物体造成伤害<sup>[21]</sup>，影响植物体活性氧代谢系统的动态平衡。本试验研究结果表明，黄瓜嫁接苗叶片和根系的 SOD、POD、CAT、APX 活性均显著高于自根苗，说明清除活性氧的能力增强，O<sub>2</sub><sup>-</sup> 的产生速率嫁接苗要低于自根苗，说明其体内活性氧清除系统受到的伤害小于自根苗，遭到的氧化胁迫较小。因此，抗氧化酶活性的提高是嫁接苗耐低氧较强的又一重要生理基础。

低氧胁迫使植物叶片蛋白质、叶绿素、类胡萝卜素含量降低<sup>[22]</sup>，叶绿体淀粉粒大量降解<sup>[23]</sup>，叶片的气孔扩散阻力增加，Gs 降低，吸收 CO<sub>2</sub> 减少，导致植物 Pn 和净同化率降低<sup>[24]</sup>。本研究中，低氧胁迫 8 d 后，自根苗和嫁接苗的 Pn、Gs、Ci、Tr 均下降，气孔限制是主要的原因，但嫁接苗的各项光合指标均显著高于自根苗，嫁接苗比自根苗较高的 Pn 是其在低氧条件下仍有较高生物学产量的生理基础；同时，嫁接苗在低氧胁迫下较自根苗具有较高的叶绿素含量也说明了嫁接苗有较高的转化光能的基础，较高的光合速率正是其真实的反映。

综上所述，丝瓜嫁接显著缓解了低氧胁迫对黄瓜幼苗生长的抑制，嫁接苗较高的根系活力、抗氧

化酶活性、叶绿素含量和光合速率等是其低氧耐性较强的重要生理基础。

## 参考文献：

- 1 郭世荣. 无土栽培学. 北京: 中国农业出版社, 2003. 125 ~ 126  
Guo S R. Soilless culture science. Beijing: China Agricultural Press, 2003. 125 ~ 126 (in Chinese)
- 2 Smit B, Stachowiak M. Effects of hypoxia and elevated carbon dioxide concentration on water flux through populus roots. Tree Physiol., 1998, 4: 153 ~ 165
- 3 Avijie D, Uchimiya H, Das A. Oxygen stress and adaptation of semi-aquatic plant rice (*Oryza sativa L.*). Journal Plant Research, 2002, 115: 315 ~ 320
- 4 李志英, 卢育华, 徐立. 土壤低温对嫁接黄瓜生理生化特性的影响. 园艺学报, 1998, 25 (3): 258 ~ 263  
Li Z Y, Lu Y H, Xu L. Effects of low soil temperature on physiological and biochemical characteristics of grafted cucumber. Acta Horticulturae Sinica, 1998, 25 (3): 258 ~ 263 (in Chinese)
- 5 郁继华, 杨秀玲, 许耀照, 张国斌. NaCl胁迫对黄瓜自根苗和嫁接苗光合速率的影响. 植物营养与肥料学报, 2003, 10 (5): 554 ~ 556  
Yu J H, Yang X L, Xu Y Z, Zhang G B. Effect of salt stress on photosynthesis characteristics in grafted and own-rooted cucumber seedlings. Plant Nutrition and Fertilizer Sciences, 2003, 10 (5): 554 ~ 556 (in Chinese)
- 6 张宪法, 于贤昌, 张振贤. 土壤水分对温室嫁接和非嫁接黄瓜生长与生理特性的影响. 应用生态学报, 2002, 13 (11): 1399 ~ 1402  
Zhang X F, Yu X C, Zhang Z X. Effect of water on the growth and physiological characteristics of grafted and no-grafted cucumber in greenhouse. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13 (11): 1399 ~ 1402 (in Chinese)
- 7 孙艳, 黄炜, 田宵鸿, 吴瑛, 丁勤, 周存田. 黄瓜嫁接苗生长状况、光合特性及养分吸收特性的研究. 植物营养与肥料学报, 2002, 8 (2): 181 ~ 185  
Sun Y, Huang W, Tian X H, Wu Y, Ding Q, Zhou C T. Study on growth situation, photosynthetic characteristics and nutrient absorption characteristics of grafted cucumber seedlings. Plant Nutrition and Fertilizer Sciences, 2002, 8 (2): 181 ~ 185 (in Chinese)
- 8 刘文, 尤丽群, 毛建让. 日光温室黄瓜嫁接技术试验报告. 石河子农学院学报, 1996, 14 (3): 60 ~ 64  
Liu W, You L Q, Mao J R. The experimental reports about grafting techniques of cucumber in sunlight greenhouse. Journal of Shihezi Agricultural College, 1996, 14 (3): 60 ~ 64 (in Chinese)
- 9 张健, 刘美艳, 肖炜. 丝瓜作砧木提高黄瓜耐涝性的研究. 植物学通报, 2003, 20 (1): 85 ~ 89  
Zhang J, Liu M Y, Xiao W. Study on enhancement of waterlogging tolerance of cucumber seedlings with luffa as stock. Chinese Bulletin of Botany, 2003, 20 (1): 85 ~ 89 (in Chinese)
- 10 李合生. 植物生理生化实验技术. 北京: 高等教育出版社, 2002. 119 ~ 120  
Li H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment. Beijing: Higher Education Press, 2002. 119 ~ 120 (in Chinese)
- 11 於丙军, 李锁娜, 刘友良. 大豆苗期盐害离子效应的研究. 南京农业大学学报, 2002, 25 (1): 5 ~ 9  
Yu B J, Li S N, Liu Y L. Comparison of ion effects of salt injury in soybean seedlings. Journal of Nanjing Agricultural University, 2002, 25 (1): 5 ~ 9 (in Chinese)
- 12 Giannopolitis C N, Ries S K. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedling. Plant physiol., 1977, 59: 315 ~ 318
- 13 曾韶西, 王以柔, 李美如. 不同胁迫预处理提高水稻苗抗寒期间膜保护系统的变化比较. 植物学报, 1997, 39 (4): 308 ~ 314  
Zeng S X, Wang Y R, Li M R. Comparison of changes of membrane protective system in rice seedlings during enhancement of chilling resistance by different stress pretreatment. Acta Botanica Sinica, 1997, 39 (4): 308 ~ 314 (in Chinese)
- 14 Dhindsa R S, Plumb-Dhindsa P, Thorpe T A. Leaf senescence correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation and decreased levels of catalase and glutathione peroxidase. J. Exp. Bot., 1982, 32: 91 ~ 101
- 15 Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant Cell Physiol., 1981, 22: 867 ~ 880
- 16 王爱国, 罗广华. 植物超氧自由基与羟基的反应. 植物生理学通讯, 1990, 26 (6): 55 ~ 57  
Wang A G, Luo G H. Quantitative relation between the reaction of hydroxylamine and superoxide anion radicals in plant. Plant Physiol. Commun., 1990, 26 (6): 55 ~ 57 (in Chinese)
- 17 Guo S R, Tachibana S. Effect of dissolved O<sub>2</sub> levels in a nutrient of tomato and mineral nutrition of tomato and cucumber seedlings. J. Japan Soc. Hort. Sci., 1997, 66 (2): 331 ~ 337
- 18 刘慧英, 朱祝军, 吕国华, 钱琼秋. 低温胁迫下西瓜嫁接苗的生理变化与耐冷性关系的研究. 中国农业科学, 2003, 36 (11): 1325 ~ 1329  
Liu H Y, Zhu Z J, Lu G H, Qian Q Q. Study on relationship between physiological changes and chilling tolerance in grafted watermelon seedlings under low temperature stress. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36 (11): 1325 ~ 1329 (in Chinese)
- 19 Guo S R, Nada K, Katoh H, Tachibana S. Differences between tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) in ethanol, lactate and malate metabolism and cell sap pH of roots under hypoxia. J. Japan Soc. Hort. Sci., 1999, 68 (1): 152 ~ 159

- 20 van Toai T T, Bolles C S, Berenice R. Postanoxic injury in soybean (*Glycine max*) seedlings. *Plant Physiol.*, 1991, 97: 588~592
- 21 Blokhina O B, Virolainen E, Fagerstedt K V, Hoikkala A, Wahala K, Chirkova T V. Antioxidant status of anoxia-tolerant and intolerant plant species under anoxia and reaeration. *Plant Physiol.*, 2000, 129: 396~403
- 22 Bennicelli R P, Stepniewski W, Zakrzhevsky D A, Balakhnina T I, Stepniewska Z, Lipiec J. The effect of soil aeration on superoxide dismutase activity, malondialdehyde level, pigment content and stomatal diffusive resistance in maize seedlings. *Environ. Exp. Bot.*, 1998, 39: 203~211
- 23 Daugherty C J, Mathews S W, Musgrave M E. Structure changes in rapid-cycling *B. ramosa* selected for different water and waterlogging tolerance. *Can. J. Bot.*, 1994, 72 (90): 1322~1328
- 24 Bragina T V, Drozdova I S, Alekhin V Z, Ponomareva Y V, Grineva G M. The rates of photosynthesis, respiration, and transpiration in young maize plant under hypoxia. *Doklady Biol. Sci.*, 2001, 380: 482~485

## 加工型甜椒不同品种硝酸盐含量的差异

殷学贵<sup>1,2</sup> 王勤礼<sup>2</sup> 陈修斌<sup>2</sup> 鄂利峰<sup>2</sup> 刘玉环<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>广东海洋大学农学院, 广东湛江 524088; <sup>2</sup>河西学院园艺系, 甘肃张掖 734000)

### Variation Analysis on Nitrate Content of Pepper Suitable for Processing between Different Genotypes

Yin Xuegui<sup>1,2</sup>, Wang Qinli<sup>2</sup>, Chen Xiubin<sup>2</sup>, E Lifeng<sup>2</sup>, and Liu Yuhuan<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Agronomy College of Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; <sup>2</sup>Department of Horticulture, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China)

关键词: 辣椒; 品种; 硝酸盐

中图分类号: S 641.3 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2006) 06-1230-01

对不同加工型甜椒硝酸盐含量的差异进行研究, 可为研究其硝酸盐含量遗传规律和选育低硝酸盐含量品种提供依据。收集了国内外 28 份加工型甜椒品种(自交系), 随机区组排列, 3 次重复, 小区面积 6 m<sup>2</sup>, 行距 0.5 m, 株距 0.3 m, 双株定植。硝酸盐含量采用碘基水杨酸比色法测定。2004 年 9 月 10 日 8:00~8:30 取样, 每小区取 3 个样点, 每个样随机取 10 个果混合取样测定, 求平均值。

结果显示, 不同试材间硝酸盐含量(表 1)存在广泛变异。28 份试材硝酸盐含量的平均值为 66.41 mg·kg<sup>-1</sup>, 标准差为 24.93 mg·kg<sup>-1</sup>, 变异系数 35.56%。自交系 HYZ-1 硝酸盐含量最高, 达 91 mg·kg<sup>-1</sup>, 自交系 HYZ-7 硝酸盐含量最低, 仅为 10.16 mg·kg<sup>-1</sup>, 极差达 80.84 mg·kg<sup>-1</sup>。方差分析结果表明, 硝酸盐含量在品种间存在极显著差异。

表 1 加工型甜椒不同品种(自交系)硝酸盐含量

Table 1 Nitrate content in different varieties (selfing line) (mg·kg<sup>-1</sup>)

品种 Variety	硝酸盐 Nitrate	品种 Variety	硝酸盐 Nitrate
HYZ-1	91.00 aA	HYZ-15	63.79 bcd
HYZ-2	32.54 ghiFGH II	HYZ-16	59.00 bcdCDE
HYZ-3	27.38 hijH IIK	HYZ-17	10.16 kK
HYZ-4	47.00 defgDEFGH	HYZ-18	32.85 fghiFGH II
HYZ-5	24.00 hijkIJK	HYZ-19	51.32 cdeCDEFG
HYZ-6	70.00 bBC	朝研 11 号 Chaoyan 11	17.67 ijkIIK
HYZ-7	90.27 aA	朝研 12 号 Chaoyan 12	10.67 kK
HYZ-8	32.68 ghiFGH II	农发 Nongfa	46.67 defgDEFGH
HYZ-9	67.19 bBCD	美国大圆椒 Meiguo Dayuanjiao	32.67 ghiFGH II
HYZ-10	67.50 bBCD	特大甜王 Teda Tianwang	12.00 jkJK
HYZ-11	84.21 aAB	沈研 10 号 Shenyan 10	27.00 hijH IIK
HYZ-12	46.06 defgDEFGH	茄门甜椒 Qiemen Pimiento	46.00 defgDEFGH
HYZ-13	29.67 hiGH IIK	德国 6 号 Gemeny 6	39.00 efgEFGH I
HYZ-14	54.41 bcdeCDEF	宝大甜椒 Baoda Pimiento	49.00 cdefgCDEFGH

收稿日期: 2006-01-10; 修回日期: 2006-08-07

基金项目: 甘肃省教育厅资助项目 (028-01)