

# 番茄温敏型核雄性不育系 T-4 生理生化指标间的相关及通径分析

于分弟<sup>1</sup>, 梁聪耀<sup>2</sup>, 邓廖芬<sup>1</sup>, 王先裕<sup>1,3</sup>, 国亚慧<sup>1</sup>, 杜永臣<sup>4</sup>

(1. 广西大学 农学院, 广西 南宁 530004; 2. 贺州市农业局, 广西 贺州 542808; 3. 国家大宗蔬菜产业技术体系桂林综合试验站, 广西 桂林 541004; 4. 中国农业科学院 蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

**摘 要:**以温敏型核雄性不育系 T-4 及对照 First 为试材, 花期观察花粉发芽率, 测定其可溶性糖、淀粉、游离脯氨酸和蛋白质, 结果期调查单果种子数, 从而分析各项生理指标的相关性。结果表明: 可溶性糖、淀粉、游离脯氨酸及蛋白质含量两两之间的相关性均达到了极显著水平; 可溶性糖、淀粉、游离脯氨酸和蛋白质含量与果实种子数和花粉发芽率的相关均达到极显著水平; 脯氨酸对花粉发芽率和果实种子数的直接通径系数都很高, 分别为 0.8341 和 0.9889。

**关键词:**番茄; 生理生化; 相关性; 通径分析

**中图分类号:**S 641.2; Q 946 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)12-0001-04

植物界普遍存在植物雄性不育现象, 在高等植物的 21 科近 200 种植物内发现了雄性不育材料<sup>[1]</sup>。植物育性是由基因控制的生理过程、生化反应和形态构建的最终结果, 表达过程包括一系列物质代谢和能量代谢, 涉及各种复杂的生理生化反应。小麦花粉、花药中的游离脯氨酸含量与花粉的育性和抗逆性有关<sup>[2]</sup>。对棉花、茄子、烟草、甜椒、水稻和小麦的研究均表明, 不育系花药内完全没有脯氨酸或脯氨酸含量明显低于保持系, 且花药内的游离脯氨酸含量与其雄性育性呈正相关<sup>[3-8]</sup>。与可育雄蕊相比, 从四分体时期以后番茄 *sl<sub>2</sub>* 雄蕊淀粉酶活性显著下降, 但淀粉含量在后期因可育雄蕊中降低, 不育雄蕊反而高; 正常雄蕊在发育过程中可溶性糖含量逐渐提高, 而不育雄蕊中各时期保持不变, 且显著低于可育雄蕊<sup>[9]</sup>。用赤霉素使突变体恢复可育的雄蕊中各时期淀粉酶活性、淀粉和可溶性糖含量均与正常雄蕊相当<sup>[10]</sup>。不育花粉蛋白质总量和可溶性蛋白含量均低于

可育花粉<sup>[7]</sup>。在番茄雄性不育突变体中, 可溶性蛋白质含量降低<sup>[11]</sup>。

珍珠豆型花生, 株型较矮、荚果小、籽仁小、壳薄饱满且单株结荚数多的品种脂肪含量较高; 株型稍高、荚果大、子仁大、夹壳较厚的品种蛋白质含量较高<sup>[12]</sup>。株型稍高、荚果适中、籽仁小、单株生产力适中、夹壳较厚的品种蛋白质含量较高<sup>[13]</sup>。甜玉米蛋白质含量与千粒重的通径系数最大<sup>[14]</sup>。玉米胚比、胚重及胚乳重三者对赖氨酸含量的直接影响力较大, 胚乳硬度等级、密度、油分、淀粉含量、粗蛋白和百粒重等的影响力依次变弱, 胚比对子粒赖氨酸含量起关键作用<sup>[15]</sup>。

随着对不育系的生理生化方面的研究不断深入, 关于不育机理不断得到验证, 但对番茄生理生化指标间相关性和通径分析的研究还未见有很多报道。现主要通过材料 T-4 的育性与各生理生化指标的相关性及各生理生化指标之间的相关性进行研究, 通过通径分析了解各生理生化指标对育性的影响程度, 为不育系的筛选和利用提供一定的理论基础, 更好地利用不育系服务于我国番茄的育种。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以温敏型核雄性不育系 T-4 和对照 First 为试材。T-4 是 First 用  $\gamma$  射线照射诱变产生, 由日本冈山大学农学部榊田正治教授提供。

### 1.2 试验方法

试验材料均于 2010 年 8 月在广西大学农学院实验玻璃室内播种, 当植株长到 2 片真叶后放入人工气候箱中进

**第一作者简介:**于分弟(1985-), 女, 在读硕士, 研究方向为蔬菜种质资源与遗传育种。E-mail: fengdi053@163.com。

**责任作者:**王先裕(1962-), 男, 硕士, 副教授, 现主要从事蔬菜育种工作。E-mail: wang12261962@yahoo.com.cn。

**基金项目:**国家科技部国际合作资助项目(2006DFA33380); 广西科技厅广西科学研究与技术开发计划资助项目(0718007B-38); 南宁市青秀区科学技术局科学研究与技术开发计划资助项目(20080211B); 桂林市科技局科学研究与技术开发计划资助项目(20100112-1); 国家大宗蔬菜产业技术体系桂林综合试验站资助项目(CARS-25-X-XX)。

**收稿日期:**2012-03-26

行控温处理,共设 3 个处理,处理的温度昼/夜为 28℃/24℃、28℃/18℃、28℃/12℃,每天光照 12 h(7:00~19:00),湿度为 70%。每个处理共 4 株,3 次重复。

### 1.3 项目测定

开花期,采集当天开放的花,进行花粉发芽的培养,测定花粉发芽率。并采用硫酸蒽酮比色法测定可溶性糖和淀粉,采用酸性茚三酮法<sup>[16]</sup>测定游离脯氨酸;采用考马斯亮蓝法测定蛋白质。结果期统计单果平均种子数。

## 2 结果与分析

### 2.1 3 个温度处理下各生理生化指标

表 1 为 3 个温度处理下的 T-4 与可育系 First 的生理生化指标的数据汇总,对表 1 各项生理生化指标与单果平均种子数和花粉发芽率的相关性分析得表 2。由表 2 可知,各项生理生化指标与单果平均种子数和花粉发

表 1 3 个温度处理下各生理生化指标

Table 1 Data summarization of physiology and biochemistry characters under three temperature treatments							
处理温度(昼/夜)	名称	脯氨酸	淀粉	蛋白质	可溶性糖	单果平均种子数	花粉发芽率
Treating temperature(Day/night)	Name	Proline/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	Starch/%	Protein/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	Soluble sugar/%	Seeds per fruit/粒	Pollen germination percentage/%
28℃/24℃	First	738.32	3.17	2.85	1.02	107.00	77.50
	T-4	44.16	1.67	1.67	0.71	6.67	26.50
28℃/18℃	First	550.27	2.82	2.75	1.21	111.00	66.90
	T-4	520.99	2.47	2.38	1.07	102.33	64.10
28℃/12℃	First	639.26	3.69	2.84	1.32	105.67	72.40
	T-4	60.11	1.85	1.43	0.74	5.00	23.40

表 2 各生理生化指标间的相关性分析

Table 2 Analysis of relationship among the physiology and biochemistry characters						
名称	脯氨酸	淀粉	蛋白质	可溶性糖	平均种子数	花粉发芽率
Name	Proline	Starch	Protein	Soluble sugar	Seeds per fruit	Pollen germination percentage
脯氨酸		0.91**	0.97**	0.85**	0.97**	1.00**
淀粉			0.92**	0.90**	0.85**	0.90**
蛋白质				0.90**	0.96**	0.98**
可溶性糖					0.91**	0.87**
平均种子数						0.98**
Seeds per fruit						

由表 3 可知,脯氨酸对花粉发芽率的直接途径系数最大,脯氨酸对番茄育性存在很高的相关性;表现为正直接途径相关系数分别还有蛋白质和可溶性糖;淀粉对花粉发芽率的直接途径为-0.1464。而间接作用中显示,淀粉、蛋白质和可溶性糖通过对脯氨酸间接作用于花粉发芽率的途径效应都表现出很高,分别为 0.7592、0.8114 和 0.7099,说明淀粉、蛋白质和可溶性糖对花粉发芽率的影响都是通过影响脯氨酸从而实现的,进而影响番茄育性的表现。而且决定系数为 0.99864,即所测定的指标脯氨酸、蛋白质、可溶性糖和淀粉对花粉发芽率的影响比重占到了 99.864%。

芽率的相关性均达到了极显著水平,说明脯氨酸、淀粉、蛋白质及可溶性糖含量均对番茄育性有关,随着育性的提高,各生化指标的含量也会随之增加;此外,各项生理生化指标间的相关性也达到了极显著的正相关,说明测定的各项指标的含量均会影响到彼此的含量,从而影响番茄育性的表现。

### 2.2 各生理生化指标与花粉发芽率的通径分析

利用 DPS 软件对番茄性状进行回归分析,以花粉发芽率为  $y$ ,其余 4 项生理生化指标为自变量逐步回归分析,建立最优回归方程。 $Y = 9.52666379 + 0.06652108702X_1 - 4.496087949X_2 + 8.019508942X_3 + 10.317380309X_4$ ;决定系数 = 0.99864,剩余途径系数 = 0.03689。

表 3 各生理生化指标与花粉发芽率的通径分析

Table 3 Path analysis between physiology and biochemistry characters and pollen germination percentage					
名称	直接途径	间接作用 Indirect effect			
Name	Direct path	→脯氨酸 →Proline	→淀粉 →Starch	→蛋白质 →Protein	→可溶性糖 →Soluble sugar
脯氨酸	0.8341	—	-0.1330	0.2045	0.0906
淀粉	-0.1461	0.7592	—	0.1932	0.0961
蛋白质	0.2102	0.8114	-0.1343	—	0.0957
可溶性糖	0.1064	0.7099	-0.1320	0.1890	—
Soluble sugar					

### 2.3 各生理生化指标与单果种子数的通径分析

回归方程为: $Y = -24.86383546 + 0.17214268433X_1 - 39.57402389X_2 + 2.5382315646X_3 + 120.61722816X_4$ ,决定系数 0.99999,剩余途径系数 0.00294。由表 4、5 可知,脯氨酸对单果种子数的直接途径达最大,为 0.9889,其次为可溶性糖,直接途径系数为 0.5701,淀粉对单果种子数为负的直接途径系数,为-0.5893。间接作用显示,淀粉、蛋白质和可溶性糖由脯氨酸间接作用于单果种子数的效应值都很高,分别为 0.9000、0.9619 和 0.8417。脯氨酸、蛋白质和可溶性糖通过淀粉间接作用于单果种子数均表现为较高的负向效应,效应值分别为-0.5364、-0.5417 和-0.5321;脯氨酸、淀粉和蛋白质通过可溶

性糖对单果种子数均表现出较高的间接效应。此外,决定系数达到了 0.99999。偏相关系数表明单果种子数与各项生理生化指标都存在很高的相关性。

表 4 各生理生化指标与单果种子数的通径分析

Table 4 Path analysis of between physiology and biochemistry characters and seeds per fruit

名称 Name	直接通径 Direct path	间接作用 Indirect effect			
		→脯氨酸 →Proline	→淀粉 →Starch	→蛋白质 →Protein	→可溶性糖 →Soluble sugar
脯氨酸 Proline	0.9889	—	—0.5364	0.03	0.4852
淀粉 Starch	—0.5893	0.9000	—	0.03	0.5148
蛋白质 Protein	0.0305	0.9619	—0.5417	—	0.5124
可溶性糖 Soluble sugar	0.5701	0.8417	—0.5321	0.03	—

表 5 各生理生化指标与单果种子数偏相关的  $t$  检测

Table 5 T-test of partial correlation between physiology and biochemistry characters and seeds per fruit

	偏相关 Partial correlation	$t$ 检验值 $t$ test value	$P$ 值 $P$ value
$r(y, X_1) =$	0.9999	72.0355	0.0002
$r(y, X_2) =$	—0.9999	67.1193	0.0002
$r(y, X_3) =$	0.8902	1.9540	0.1899
$r(y, X_4) =$	0.9999	71.4181	0.0002

## 2.4 各生理生化指标及单果平均种子数与花粉发芽率的通径分析

回归方程为:  $Y = 20.88840488 + 0.06117070281X_1 + 3.404859995X_4 + 0.07467933922X_5$ , 决定系数 1.00000, 剩余通径系数 0.00213。由表 6、7 可知, 脯氨酸对花粉发芽率的直接通径系数为 0.8102, 可溶性糖与单果种子数均通过脯氨酸间接作用于花粉发芽率, 间接效应值分别为 0.6341 和 0.7690, 决定系数为 1.0000。偏相关  $t$  检测可知, 脯氨酸、可溶性糖及单果种子数与花粉发芽率都达到了极显著的正相关, 与上面所得结论一致。

表 6 各生理生化指标及单果平均种子数与花粉发芽率的通径分析

Table 6 Path analysis of physiology and biochemistry characters, seeds per fruit and pollen germination percentage

名称 Name	直接通径 Direct path	间接作用 Indirect effect			
		→脯氨酸 →Proline	→淀粉 →Starch	→蛋白质 →Protein	→可溶性糖 →Soluble sugar
脯氨酸 Proline	0.8102	—	—	—	0.0305
淀粉 Starch	—	—	—	—	—
蛋白质 Protein	—	—	—	—	—
可溶性糖 Soluble sugar	0.0390	0.6341	—	—	—
单果种子数 Seeds per fruit	0.1653	0.7690	—	—	0.0338

表 7 各生理生化指标及单果种子数与花粉发芽率偏相关的  $t$  检测

Table 7 T-test of partial correlation between physiology and biochemistry characters, seeds per fruit and pollen germination percentage

	偏相关 Partial correlation	$t$ 检验值 $t$ test value	$P$ 值 $P$ value
$r(y, X_1) =$	1	115.8226	0.0001
$r(y, X_4) =$	0.9936	8.7966	0.0127
$r(y, X_5) =$	0.9986	18.8722	0.0028

## 3 结论

该试验结果表明, 脯氨酸、淀粉、蛋白质和可溶性糖之间的相关性均达到显著水平, 与花粉发芽率和果实种子数也表现为极显著的正相关。通径分析表明, 脯氨酸对花粉发芽率和果实种子数均表现为很高的直接通径效应, 而淀粉、蛋白质和可溶性糖均通过脯氨酸的间接作用达到影响花粉发芽率和果实种子数; 淀粉和可溶性糖对果实种子数也存在较高直接通径系数, 而淀粉表现为负的直接通径效应。即各项生理生化指标对番茄育性均存在影响, 通过不同的作用方式来实现。而对于脯氨酸的作用机制还有待进一步的研究, 从通径分析中, 各生理指标都间接通过脯氨酸对番茄育性起作用, 是否最终影响番茄不育的原因是脯氨酸的不足或缺失。

## 参考文献

- [1] 崔林, 范银燕, 徐惠云, 等. 中国首例燕麦雄性不育的发现及遗传鉴定[J]. 作物学报, 1999, 25(3): 296-300.
- [2] 朱广廉, 孙超, 曹宗巽. 太谷核不育小麦可育花药内游离脯氨酸的来源、利用及与不育花药败育的关系[J]. 植物生理与分子生物学学报, 1985, 11(2): 122-129.
- [3] 宋亮亮, 孙学振, 刘英欣. 棉花 ms5、ms6 核雄性不育花药中碳水化合物和游离氨基酸的变化[J]. 棉花学报, 2001, 13(6): 334-336.
- [4] 郭丽娟, 申书兴, 张成合, 等. 茄子雄性不育系的可溶性糖、淀粉、氨基酸分析[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(4): 34-36.
- [5] 刘齐元, 朱肖文, 刘飞虎, 等. 烟草游离脯氨酸含量与雄性不育性的关系[J]. 烟草科技, 2007, 12(5): 58-61.
- [6] 刘金兵, 侯喜林, 王述彬. 甜椒胞质雄性不育(CMS)系及其可育系花药中游离氨基酸含量[J]. 江苏农业学报, 2006, 22(1): 68-70.
- [7] 刘忠松, 官春云, 陈社员, 等. 植物雄性不育机理的研究及应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 43-68.
- [8] Kaul M L H. Male Sterility in Higher Plants [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1988.
- [9] 李胜国, 刘玉乐, 田波. 植物花粉发育的分子生物学研究进展[J]. 生物工程进展, 1997, 17(2): 17-22.
- [10] Bhadula S K, Sawhney V K. Protein analysis of floral organs of some members of Solanaceae [J]. The Botanical Magazine Tokyo, 1989(1): 85-91.
- [11] Singh S, Sawhney V K. Cytokinin and abscisic acid in roots of the normal and stamenless-mutants of tomato(R) [J]. Report of the Tomato Genetic Cooperative, 1992, 42: 34-35.
- [12] 廖小妹, 李丽容, 郑广柔, 等. 珍珠豆型花生脂肪、蛋白含量与农艺性状相关和通径分析[J]. 花生科技, 1992(3): 15-17.
- [13] 林金虎. 花生种子蛋白质含量与主要数量性状的相关及通径分析[J]. 江西农业学报, 2006, 18(4): 38-39.

# 土壤盐胁迫对葡萄光合作用特性的影响

马 帅, 冯金朝, 李熙盟, 关 越, 李征珍, 彭 羽

(中央民族大学 生命与环境科学学院, 北京 100081)

**摘 要:**在大田试验正常条件下,使用低盐(L, 0.1 mol/L)、中盐(M, 0.3 mol/L)和高盐(H, 0.5 mol/L)3个不同浓度的盐水对葡萄品种“摩尔多瓦”(‘Moldova’)进行灌溉,以清水灌溉设为对照(CK),测量了葡萄品种“摩尔多瓦”3 a 生叶片的气体交换特性、叶绿素荧光和相关生理指标(叶片水势)。结果表明:随着盐处理浓度的提高,植物净光合速率逐渐降低,高盐处理尤为明显。气体交换数据表明,净光合速率(Pn)的降低是由于非气孔因素降低造成的。试验表明,葡萄叶片的PSII光化学效率以及羧化效率(CE)均随着盐处理浓度的增加而降低,说明非气孔因素对葡萄光合效率的降低起决定性作用。通过对光响应和CO<sub>2</sub>响应以及荧光数据的分析表明,Pn降低的主要影响因素是活化的Rubisco酶含量不足。

**关键词:**葡萄;‘摩尔多瓦’;盐胁迫;光合作用;非气孔因素

**中图分类号:**S 663.107<sup>+</sup>.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)12-0004-05

盐胁迫是世界上最常见的制约作物生长和产量的因素之一<sup>[1]</sup>,事实上地球上1/4~1/3的可耕作土地都受

到了盐胁迫的影响。随着世界人口的增加,粮食压力迫使有些地区的人们使用盐水对作物进行灌溉,这种行为导致盐胁迫更加严峻。在我国西北地区,尤其是在宁夏省,土地盐渍化现象尤为严重。据2005年宁夏农业综合开发办公室的调查结果,宁夏灌区盐渍化耕地面积达14.8万hm<sup>2</sup>,占灌区耕地总面积的33.5%<sup>[2-4]</sup>。这使得向土壤盐渍地区引入一些适合种植的经济作物变得尤为必要。

**第一作者简介:**马帅(1986-),男,在读硕士,研究方向为植物生理生态学。E-mail: Mashuai512@163.com。

**责任作者:**冯金朝(1964-),男,博士,教授,现主要从事干旱和半干旱区植物生理生态学等的研究工作。E-mail: jchfeng@263.net。

**基金项目:**国家外专局-教育部“111工程”资助项目(2008-B08044)。

**收稿日期:**2012-03-15

[14] 胡颖敏,孙中华,朱亚萍,等.甜玉米蛋白质含量与农艺性状的通径分析[J].辽宁农业科学,2006(1):41-42.

[15] 赵刚,吴子恺,陈亮,等.玉米子粒性状和子粒赖氨酸含量的相关及通径分析[J].玉米科学,2011,19(1):70-73.

[16] 朱广廉,邓兴旺.植物体内游离脯氨酸的测定[J].植物生理学通讯,1983(2):35-37.

(该文作者还有刘政国,工作单位同第一作者。)

## Regression and Path Analysis on Physiological and Biochemical Characteristics of the Thermo-sensitive Genic Male-sterile Tomato T-4

YU Fen-di<sup>1</sup>, LIANG Cong-yao<sup>2</sup>, DENG Liao-fen<sup>1</sup>, WANG Xian-yu<sup>1,3</sup>, GUO Ya-hui<sup>1</sup>, DU Yong-cheng<sup>4</sup>, LIU Zheng-guo<sup>1</sup>

(1. College of Agriculture, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004; 2. Hezhou Agricultural Bureau, Hezhou, Guangxi 542808; 3. Guilin Comprehensive Experimental Station of National Staple Vegetable Industrial Technology Systems, Guilin, Guangxi 541004; 4. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** Taking T-4 and the control First as experimental material, Pollen germination percentage was calculated in anthesis and seeds per fruit was figured out also. Soluble sugar, starch, free proline and protein were tested, respectively. The aim was to research the relationships among the physiology and biochemistry characters. The results showed that the relationships among soluble sugar, starch, free proline and protein were significantly different level. And the four indexes were related to seed per fruit and pollen germination percentage significantly, respectively. The direct path coefficients of free proline was higher to pollen germination and seeds per fruit, 0.8341 and 0.9889 respectively.

**Key words:** tomato; physiology and biochemistry; relationship; path analysis