

印度南瓜梭形果突变体的发现及遗传分析

马海龙¹, 智海英¹, 韩红艳², 岳青¹, 梁燕平¹

(¹ 山西省农业科学院园艺研究所, 太原 030031; ² 晋中学院生命科学与技术系, 榆次 030600)

摘要: 从印度南瓜自交系 HL 中发现了一个梭形果突变体 HL-fu。该突变体的花、果、茎等多器官的生物学特性同时发生了明显变异: 雌花及雄花花器中异性花蕊的残存度较野生型高; 果实为梭形, 果形指数达野生型 5 倍; 节间呈现长短交替分布的排列状态, 叶序类似于对生。以突变体 HL-fu 与野生型 HL 杂交分别构建了正、反交 F₁, 正交 F₂, BC₁(P₁) F₁、BC₁(P₂) F₁ 群体进行遗传分析, 推测该变异类型为隐性多效单基因突变, 突变性状受 1 对隐性核基因 fu 控制。探讨了梭形果突变体在南瓜育种及相关基础研究方面的潜在价值。

关键词: 印度南瓜; 梭形果; 突变体; 遗传分析

Discovery and Genetic Analysis of a Fusiform Fruit Mutant in Winter Squash (*Cucurbita Maxima* Duch.)

MA Hai-long¹, ZHI Hai-ying¹, HAN Hong-yan², YUE Qing¹, LIANG Yan-ping¹

(¹ Institute of Horticulture, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031;

² Department of Life Science and Technology, College of Jinzhong, Yuci 030600)

Abstract: A fusiform fruit mutant HL-fu was found from inbred line HL of *Cucurbita maxima*. There was obvious biological characteristic variation on a lot of organs of the mutant, such as flower, fruit, stem. The residual degree of the stamen from female flower and the pistil from male flower of the mutant were more than the wild type one. Its fruit was fusiform, it was five times on the fruit shape index of the mutant than the wild type one. The arrangement status of the mutant internode was long short alternative distribution, the phyllotaxis was similar to the opposite phyllotaxis. The reciprocal cross F₁ was constructed by crossing mutant HL-fu and wild type HL, the genetics of the groups of cross F₂, BC₁(P₁) F₁ and BC₁(P₂) F₁ were analyzed. We speculated that the variation type was recessive multi-effect single gene mutant, the mutant character was controlled by a pair of recessive nuclear gene fu. We discussed the potential value of fusiform fruit mutant on the pumpkin breeding and the basic study.

Key words: *Cucurbita maxima* Duch.; Fusiform fruit; Mutant; Genetic analysis

南瓜属(*Cucurbita*) 共有 30 个种, 拥有十分丰富的基因库^[1], 其中印度南瓜的风味品质及营养价值在南瓜属栽培种中表现最优^[2-3], 目前以西洋南瓜为代表的果肉致密、口感好、风味佳、皮色各异的小型菜用印度南瓜果形均为近圆形或扁圆形, 果形变化远不及商品中国南瓜及美洲南瓜丰富。本研究于 2005 年从印度南瓜(*C. maxima*) 自交系红栗中发现了一个梭形果突变体。该变异株多器官的生物学特

性均发生了明显的变异: 在花器官性型分化、果实形态、茎节排列方式等方面都与野生型株及其他印度南瓜种质材料有所不同。

为了明确该突变体的变异类型, 发掘其潜在应用及研究价值, 本研究详细调查了突变体的生物学特性并进行了遗传分析, 初步认定该变异是由隐性多效单基因突变引起, 多个突变性状同时受 1 对隐性核基因 fu 控制, 该突变基因控制着印度南瓜的

收稿日期: 2011-01-09 修回日期: 2011-03-12

基金项目: 山西省科技攻关项目(2006031031-2); 山西省农业科学院青年基金项目(YQN0606, YQN0508)

作者简介: 马海龙, 助理, 主要从事南瓜属作物育种及种质资源研究。E-mail: mahl76@163.com

花、果、茎等多器官生物学特性的变异。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为印度南瓜自交系 HL(红栗)及其梭形突变 HL-fu, 来自山西省农业科学院园艺研究所。

1.2 试验方法

试验于 2005-2008 年在山西省农业科学院园艺研究所太原试验基地进行。2005 年将突变体 HL-fu 进行了自交; 2006 年将突变型与野生型进行了正交、反交; 2007 年经观察发现正交与反交 F_1 植株形态特征相同, 故将正交 F_1 与反交 F_1 归并为正交 F_1 进行进一步的自交、回交。适期调查植株形态数据, 随机抽取 10 株进行测量, 取平均值。节间长度值为整条主蔓中段部分连续 10 个节长度的平均值。

2007-2008 年调查梭形突变性状的后代分离比例, 通过卡平方适合性检测推断其遗传规律。用

Excel 软件进行数据计算, 公式为:

$$\chi^2 = \frac{\left(|A - ra| - \frac{r+1}{2} \right)^2}{rn}$$

2 结果与分析

2.1 印度南瓜梭形果突变体的发现

2005 年 6 月在山西省农业科学院园艺研究所试验基地(太原)南瓜试验田中, 发现 1 个印度南瓜自交系材料 HL(红栗)的变异单株。该植株雌花的子房呈梭形, 叶片着生状态近似于对生, 明显有别于同株系的其他 4 株单株。将该突变型编号为 HL-fu, 于花期单株自交留种。

2.2 梭形果突变株的植物学和生物学性状

变异单株的自交后代保持了该株的变异特征, 突变型与野生型之间存在着花、果、茎等多器官生物学特性的变异(表 1, 图版 I)。

表 1 突变型与野生型植株的果实及节间生物学特性比较

Table 1 Comparison of fruit and internode biological traits of mutant type and wild type plants

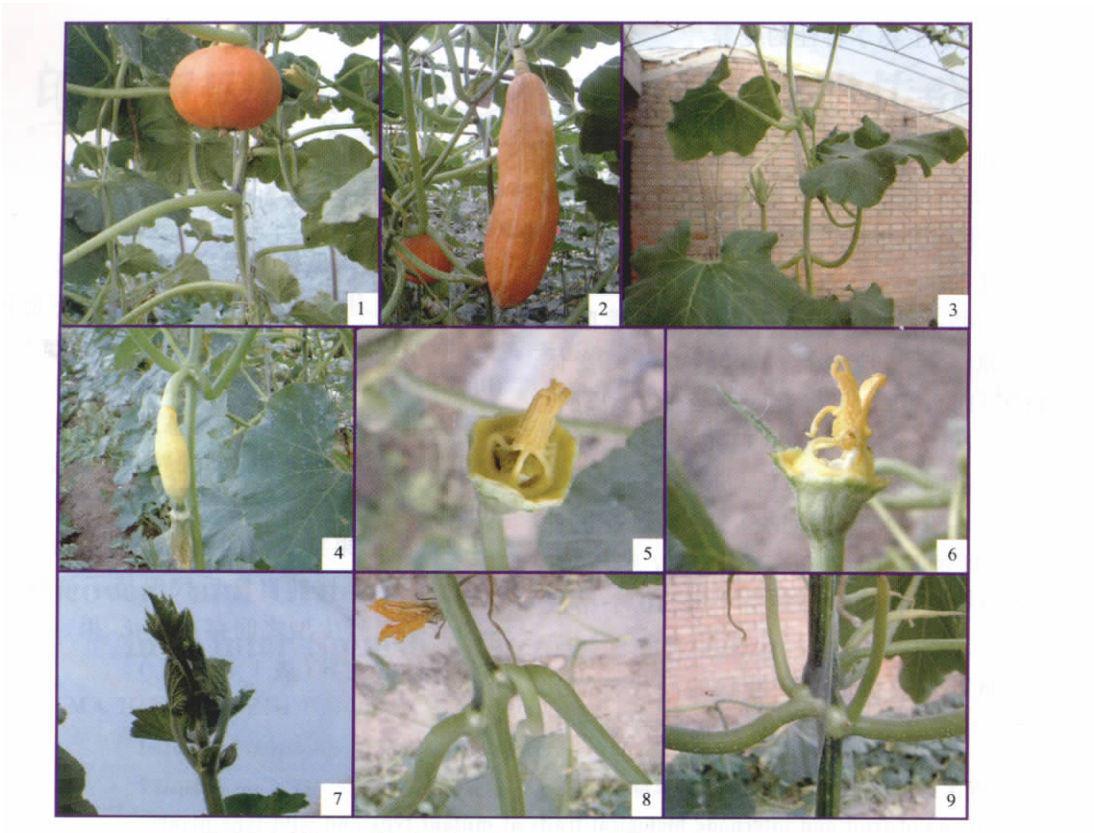
材料 Material	果形 Fruit shape	果实纵径(cm) Fruit length	果实横径(cm) Fruit diameter	果形指数 Fruit shape index	单果质量(kg) Fruit weight	节间长度(cm) Length of internode		
						短缩节 Short internode	伸长节 Long internode	总体 Population
HL-fu	长纺锤形	33.5	8.8	3.83	1.37	0.6	17.8	7.6
HL	扁圆形	10.4	13.8	0.76	1.12	-	-	14.2

突变型植株花器中异性花蕊的残存度较野生型高。雌花中具雄蕊残体或缺无, 残存雄蕊位于花冠与雌蕊之间, 5 枚离生, 花丝短小, 花药干瘪、个别花药具少量花粉。雄花花药合生, 花丝 5 枚离生或其中 1~2 枚由 2 个花丝合生而总数合并为 4 枚或 3 枚离生状态, 雌蕊残体位于花丝与花药包围中, 花柱短缩退化, 开花当日残存柱头表面有粘液分泌, 突变型雄花的花托较野生型大, 可能为下位子房残体所致。

突变型植株的果实长度比野生型明显变长, 呈中间粗两端渐细的梭形(长纺锤形), 果形指数 3.83, 为野生型的 5 倍左右。南瓜属作物果形变化多样, 其中中国南瓜及美洲南瓜种质资源材料及商品品种中长果形(果形指数 > 1.0) 种类均较为丰富, 果形多为葫芦形、筒形或长棒形。在我国的印度南瓜菜用商品品种及其亲本种质资源具有果肉粉质好、甜度高的优良特性, 果实形态则较为单一, 多为近圆形或扁圆形; 印度南瓜中的长果形种质资源则主要分布在非菜用种质材料中, 果形多为高圆形、椭

圆形或圆柱形, 果形指数多小于 3.0。通过比较发现, 印度南瓜梭形突变材料 HL-fu 的果实形态与现有的长果形印度南瓜完全不同。对比印度南瓜梭形果突变体与其同一种内的其他长果形种质资源材料, 可以发现突变体的果形指数明显大于其他长果形印度南瓜材料, 也说明了这一梭形突变性状有别于其他长果形印度南瓜材料的果形性状。中国南瓜、美洲南瓜种质材料的果形指数数值及其变异幅度均较印度南瓜更大, 而印度南瓜梭形果突变体的果形指数则较大, 已脱离了印度南瓜的区间分布范围却与中国南瓜及美洲南瓜种质材料有所重叠(表 2)。

突变型植株的节间排列方式呈现长、短间隔分布状态: 伸长节的节间形态与野生型相同, 节间长度为 10.8~22.7cm; 短缩节由 2 个节极度短缩而成, 亦有少数为 3 个节短缩而成, 短缩节的节间长度仅为 0~1.6cm。由于短缩节短缩程度较高, 使得叶片着生排列状态貌似对生形态。



图版 I 梭形果突变体 HL-fu 植株的形态变异

Plate I Morphological variation of the fusiform fruit mutant HL-fu

1: 野生型 HL 植株及果实; 2: 突变型 HL-fu 果实; 3: 突变型植株; 4: 突变株的幼果; 5~6: 突变株的雄花 (去花冠及萼片); 7: 突变株的茎尖; 8: 突变株的短缩节 (2 节短缩); 9: 突变株的短缩节 (3 节短缩)
1: Wild type HL plant and its fruit; 2: Mutant HL-fu fruit; 3: Mutant plant; 4: Young fruit of mutant plant;
5-6: Male flower of mutant plant (no corolla and sepal); 7: Stem apex of mutant strain;
8: Short node of mutant (two nodes shorten); 9: Short node of mutant (three nodes shorten)

表 2 HL-fu 与其他长果形南瓜种质材料的果形特征比较

Table 2 Fruit shape characterisitic comparision between HL-fu and other *Cucurbita* germplasm with long fruit shape

种 Species	果形 Fruit shape	果形指数 Fruit shape index	代表材料 Representative samples
印度南瓜 <i>C. maxima</i>	长纺锤形	3.5~4.5	HL-fu
印度南瓜 <i>C. maxima</i>	高圆形、椭圆形或圆柱形	1.5~3.0	饲用南瓜、某些砧用南瓜亲本、某些巨型南瓜
中国南瓜 <i>C. moschata</i>	葫芦形、筒形或长棒形	3.0~10.0	黄狼、金钩、狗腿、日本极早生、日本吊瓜、砍瓜
美洲南瓜 <i>C. pepo</i>	葫芦形、筒形或长棒形	2.0~6.0	阿尔及利亚花叶、黑龙江小白皮、太原大黑皮、一窝猴

2.3 梭形果突变基因的遗传分析

通过对突变体 HL-fu (P_1)、野生型 HL (P_2)，正交 F_1 、反交 F_1 ，正交 F_2 及 BC_1F_1 群体性状分离情况的调查比较 (表 3) 发现: 印度南瓜梭形果突变性状在 HL-fu $\times$ HL 正交 F_1 、反交 F_1 中均表现为完全隐性遗传，其 F_2 及 BC_1F_1 的性状分离比例经卡平方检测符合孟德尔遗传规律理论分离比例。认为印度南瓜果实的扁圆形与梭形是一对相对性状，梭形果变异型为隐性多效单基因突变，突变性状 (同时包括花、果、茎的变异) 受 1 对隐性核基因 *fu* (fusiform fruit) 控制。

3 讨论

3.1 梭形果材料的发现丰富了印度南瓜的果形种质资源

印度南瓜果实形态多样性远不及中国南瓜及美洲南瓜丰富，国家蔬菜种质资源中期库保存的 97 份印度南瓜 (笋瓜) 材料仅包含扁圆形、圆柱形、椭圆形及圆形等 4 种果形^[4]。生产上应用的主流品种更是以扁圆形居多^[5-6]。梭形果突变材料 HL-fu 的发现丰富了印度南瓜的果形种质资源。

表 3 HL-fu × HL 后代中突变性状的分离比例

Table 3 Segregation rate of HL-fu × HL progeny mutant traits

杂交世代 Cross generation	杂交组合 Cross combination	野生型株数: 突变型株数 Wide type: mutant type	理论分离比例 ($\chi^2_{0.05,1} = 3.841$) Theoretical segregate rate
正交 F ₁	HL-fu × HL	47:0	1:0
反交 F ₁	HL × HL-fu	43:0	1:0
F ₂	HL-fu × HL F ₁ ⊗	30:12	3:1 (0.127)
BC ₁ (P ₁) F ₁	(HL-fu × HL F ₁) × HL-fu	21:24	1:1 (0.089)
BC ₁ (P ₂) F ₁	(HL-fu × HL F ₁) × HL	49:0	1:0

3.2 梭形果材料的株型变异在南瓜育种领域的应用前景

某些株型变异材料常被用来选育作物高产品种^[7-11]。梭形果突变材料茎节的变异导致其叶片分布紧凑,因此可以作为南瓜株型育种的特异种质资源材料。含有控制苗期形态变异的单基因突变材料是珍贵的育种资源,以其作为母本(标记性状由隐性基因控制)或父本(标记性状由显性基因控制)选育的杂交一代作物品种,可以方便地进行苗期纯度鉴定^[12-13]。印度南瓜梭形果变异株的“拟对生叶”形态在苗期易于辨识,以含有纯合 *fu* 基因的亲本为母本选育南瓜杂交一代品种,可将其叶序变异作为标记性状,用于杂交种子纯度的苗期快速鉴定。

3.3 梭形果材料在植物学基础研究中的潜在价值

雌雄异花植物的花器官性型分化机理一直是相关研究者不断深入探索的课题^[16-17],梭形果突变体 HL-fu 的单性花中存留了异性花蕊残体,是南瓜植物花器官性型分化研究的有利材料。关于植物叶序的分类特征、形成机理、变异进化等奇妙现象也是相关学者很感兴趣的研究内容^[18-19],梭形果突变型植株的特殊叶序是否可以理解为从互生到对生甚至轮生形态变异过程中的过渡类型,以及这一特殊叶序发生的深层次原因都值得深入研究。前人研究发现,中国南瓜的矮生突变不属于激素缺陷型^[20],关于印度南瓜梭形果突变体节间排列呈现长、短间隔分布状态的基因调控表达及生理生化原因亦值得深入探究。

印度南瓜梭形果突变体 HL-fu 由于单个基因的改变,导致了植株从花、果实乃至株型都发生了非常明显的变异,这种现象在作物自发变异中发生的比例较小。本试验仅运用了生物学特性调查的方法为基础进行了遗传分析,推测该突变的类型为隐性多效单基因突变,还有待深入到以细胞生物学及分子

生物学的方法来证明该突变的发生确由核基因突变导致抑或是其他比如染色体变异等原因而导致,对突变基因 *fu* 的准确定位及其表达机理的研究也有待开展。

参考文献

- 王鸣. 南瓜属——多样性(diversity) 之最 [J]. 中国西瓜甜瓜, 2002(3): 42-45
- 林德佩, 华启衡, 房超. 印度南瓜及其杂种一代 [J]. 长江蔬菜, 1997(10): 30-33
- 王萍, 刘杰才, 赵清岩, 等. 南瓜果实营养成分分析及其利用研究 [J]. 内蒙古农业大学学报, 2002, 23(3): 52-54
- 中国作物种质信息网数据查询 [EB/OL]. [2011-05-11]. <http://icgr.caas.net.cn/>
- 包崇来, 毛伟海, 龚亚明, 等. 印度南瓜品种比较试验 [J]. 浙江农业科学, 2001(2): 81-83
- 张天明. 南瓜种质资源多样性及亲缘关系的 AFLP 分析 [J]. 北京: 中国农业科学院, 2005: 26
- 王益军, 邓德祥, 卞云龙. 多叶型玉米研究进展 [J]. 中国农学通报, 2010, 26(16): 129-133
- 陈凤真, 何启伟. 西葫芦株型性状主基因-多基因混合遗传分析 [J]. 中国蔬菜, 2010(22): 34-40
- 苗以农, 许守民, 石连旋, 等. 大豆杂交后代疯狂分离在株型育种上利用初探 [J]. 大豆通报, 2006(5): 41-45
- 石利娟, 邓启云, 刘国华, 等. 水稻理想株型育种研究进展 [J]. 杂交水稻, 2006, 21(4): 1-6
- 李成奇, 王清连, 董娜, 等. 陆地棉品种百棉 1 号主要株型性状的遗传研究 [J]. 棉花学报, 2010, 22(5): 415-421
- 马双武, 王吉明, 韦小敏. 我国西瓜特异种质资源研究利用进展 [J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(4): 484-487
- 刘卫东, 苏晓东, 王家训. 黄瓜黄绿叶标记性状自交系的选育及其应用价值 [J]. 江西农业学报, 2007, 19(1): 72
- 王惠林, 阿地里. 甜瓜茎蔓无刚毛突变体的选育及遗传分析 [J]. 中国西瓜甜瓜, 2003(6): 1-2
- 吴新杰, 陈凤祥, 胡宝成, 等. 甘蓝型油菜形态标记性状研究进展 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(12): 128-131
- 黄玉源, 缪汝槐, 张宏达. 南瓜两性花的形态与结构研究 [J]. 广西植物, 1999, 19(2): 136-142
- 苏立娟, 靳颖, 吕琳, 等. 植物有性生殖过程中的细胞程序性死亡 [J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2005, 26(2): 69-84
- 马庆, 程郢, 项艳, 等. 对生叶序与互生叶序玉米细胞分裂素调控基因差异分析 [J]. 中国农学通报, 2010, 26(9): 34-41
- 徐全乐, 胡鑫. 植物叶序的发生和影响因素 [J]. 植物生理学通讯, 2009, 45(4): 405-412
- 王深浩. 中国南瓜矮生基因 *Bu* 的比较定位及其矮生性状的生理研究 [J]. 北京: 中国农业科学院, 2010: 24