

# 不同生态环境下雌雄同株黄瓜单性结实性遗传的比较<sup>\*</sup>

闫立英<sup>1,2</sup> 娄丽娜<sup>1</sup> 冯志红<sup>2</sup> 娄群峰<sup>1</sup> 李晓丽<sup>2</sup> 陈劲枫<sup>1\*\*</sup>

(<sup>1</sup>南京农业大学园艺学院作物遗传与种质资源创新国家重点实验室,南京 210095; <sup>2</sup>河北科技师范学院园艺园林系,河北昌黎 066600)

**摘要** 以两个单性结实性不同的雌雄同株黄瓜自交系构建的4世代群体为试材,采用植物数量性状主基因+多基因混合遗传模型联合分析方法,对南京江宁和河北昌黎两地雌雄同株黄瓜单性结实性遗传进行了比较研究。结果表明:不同生态环境下,雌雄同株黄瓜单性结实性遗传均符合E-1-1模型,受2对加性-显性-上位性主基因+加性-显性多基因控制,存在基因型与环境互作效应。但是,不同环境条件下F<sub>1</sub>的遗传倾向和遗传参数不同,F<sub>2</sub>的主基因遗传率为42.1%~97.5%,其遗传差异主要由黄瓜结果期两地日照和温度差异所致。强单性结实黄瓜品种选育以双亲均为强单性结实材料为宜,杂种后代宜在不同生态条件下选择鉴定。

**关键词** 黄瓜 单性结实性 主基因+多基因遗传 生态环境

**文章编号** 1001-9332(2010)01-0061-06 **中图分类号** S642.2 **文献标识码** A

**Inheritance of parthenocarpy in monoecious cucumber (*Cucumis sativus* L.) under different eco-environments** YAN Li-ying<sup>1,2</sup>, LOU Li-na<sup>1</sup>, FENG Zhi-hong<sup>2</sup>, LOU Qun-feng<sup>1</sup>, LI Xiao-li<sup>2</sup>, CHEN Jin-feng<sup>1</sup> (<sup>1</sup>State Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement, College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; <sup>2</sup>Department of Horticulture and Gardening, Hebei Normal University of Science & Technology, Changli 066600, Hebei, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2010, 21(1): 61-66.

**Abstract:** By using the mixed major gene plus polygene inheritance model of quantitative traits, a joint analysis of four-generations obtained after cross between two monoecious inbred lines was made to study the inheritance of parthenocarpy in monoecious cucumber in Jiangning (Nanjing) and Changli (Hebei). The interactions between genotype and environment were detected, and the inheritance of parthenocarpy in the monoecious cucumber was fitted in E-1-1 model and controlled by two additive-dominant-epistatic major genes and additive-dominant polygene under different eco-environments. The F<sub>1</sub> tendency and genetic parameters of the parthenocarpy were different, and the major gene heritability of F<sub>2</sub> ranged from 42.1% to 97.5%, which was mainly due to the differences in sunlight intensity and air temperature during fruit-setting period at the two locations. It was suggested that the parents should be highly parthenocarpic in breeding program, and the characterization of parthenocarpy should be conducted under different eco-environments.

**Key words:** cucumber; parthenocarpy; major gene plus polygene inheritance; eco-environment

低温、弱光是保护地黄瓜栽培中普遍存在的问题,严重制约着黄瓜的生长发育和正常结实,导致黄

瓜产量低、品质劣及设施利用效率低等<sup>[1-2]</sup>。为解决这一问题,一方面可通过对有关目标性状遗传特性进行研究,选育设施专用品种,另一方面可通过对逆境下黄瓜生理生态进行研究,采用外源物质处理诱导产生抗性 or 改善栽培环境条件,其中前者是根本途径。单性结实性,即子房不经授粉受精或其他刺激形成果实<sup>[3]</sup>,是设施黄瓜重要的经济性状,在冬季或早春低温、弱光、无虫媒授粉的棚室逆境生产条件

\*国家自然科学基金重点项目(30830079)、国家重点基础研究发展规划项目(2009CB119001-01)、国家科技支撑计划项目(2008BADB105)、国家高技术研究发展计划项目(2008AA102150)、江苏省科技支撑计划项目(BE2009310)和河北省自然科学基金项目(C2007000725)资助。

\*\*通讯作者, E-mail: jfchen@njau.edu.cn  
2009-03-10收稿, 2009-10-28接受。

下,具有强单性结实性的黄瓜品种无需人工授粉或任何生长调节剂处理就能正常结实,一般可提高产量 20%以上<sup>[4]</sup>。因此,深入研究分析黄瓜单性结实性遗传及其影响因素,选育强单性结实品种是解决这一问题的最经济有效的途径。国内外学者对黄瓜单性结实性遗传研究多集中于美国加工型<sup>[5-9]</sup>或欧洲温室型<sup>[10-12]</sup>全雌黄瓜,而且由于研究者所采用的试材、种植环境、评价指标、试验设计和方法的不同所得结论各不相同。黄瓜单性结实性属于兼性单性结实,易受环境影响,许多研究表明,温度和光照是影响黄瓜单性结实的主要因素,弱光、低夜温、短日照、冷凉生长季节有利于黄瓜单性结实<sup>[13-18]</sup>, Sun 等<sup>[18]</sup>对美国加工型全雌黄瓜单性结实性遗传研究认为,不同年份和季节条件下其均符合加性-显性模型。而雌雄同株黄瓜单性结实性遗传及其不同生态环境的影响至今仍不清楚<sup>[5,10]</sup>。

我国黄瓜生产主栽品种多为雌雄同株类型,研究雌雄同株黄瓜单性结实性遗传及其在不同生态环境下的差异,对指导我国保护地黄瓜育种实践具有重要的现实意义。本试验以两个单性结实性不同的雌雄同株黄瓜自交系构建的 4 世代联合群体为试材,采用数量性状主基因+多基因混合遗传模型<sup>[19]</sup>分析不同生态环境下雌雄同株黄瓜单性结实性的遗传表现,旨在为强单性结实保护地专用黄瓜新品种的选育提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

以河北科技师范学院课题组选育的强单性结实雌雄同株自交系 6457 为母本 ( $P_1$ ),与雌雄同株非单性结实自交系 '6429' ( $P_2$ ) 构建了两个 4 世代联合群体 ( $P_1$ 、 $P_2$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ )。

### 1.2 研究方法

试验于 2007 年分别在南京农业大学 (南京江

宁)塑料大棚和河北科技师范学院 (河北昌黎)日光温室内进行。两地 2007 年春季 4—6 月的气象资料见表 1 (由江苏省气象局和河北省昌黎县气象局提供)。南京江宁塑料大棚黄瓜结果期为 5—6 月,河北昌黎日光温室黄瓜结果期为 4—6 月。

于 3 月 10 日在南京农业大学 (南京江宁)塑料大棚内分别播种四世代群体,4 月 13 日定植,高畦地膜覆盖栽培,大行距 80 cm,小行距 50 cm,株距 20 cm,各世代样本容量分别为 28 ( $P_1$ )、20 ( $P_2$ )、32 ( $F_1$ )和 217 ( $F_2$ )株,单性结实鉴定工作于 5 月 8 日开始,6 月 20 日结束。同时,将同一组合的四世代群体于 3 月 5 日在河北科技师范学院 (河北昌黎)日光温室内分别播种,4 月 7 日定植,双高垄地膜覆盖栽培,大行距 80 cm,小行距 50 cm,株距 25 cm,各世代样本容量分别为 35 ( $P_1$ )、33 ( $P_2$ )、34 ( $F_1$ )和 144 ( $F_2$ )株,单性结实鉴定工作于 4 月 18 日开始,6 月 10 日结束。

单性结实性鉴定方法:每天下午逐株检查并对次日将开的雌花进行束花隔离,次日上午挂牌标记雌花节位及开花日期,花后 8~10 d 调查坐果情况,在标牌上注明日期及表现类型:正常瓜:花后 8~10 d 能够发育成具有正常商品瓜形状与大小的果实;化瓜:花后 5~7 d 子房表现为黄化,然后脱落或干枯成线状;僵瓜:表现为停滞生长或稍有生长而未化瓜的果实,对僵瓜持续观察至花后 15 d 左右,直至其成为化瓜或商品瓜;尖嘴瓜:瓜把处正常膨大而瓜顶部发育速度极慢而呈尖嘴状,失去商品性。

试验结束后,逐株逐牌调查登记单株单性结实坐果情况,计算单株单性结实坐果率 (正常瓜数/标记雌花数  $\times 100\%$ ),用单株单性结实坐果率表示单性结实性的强弱<sup>[10]</sup>。

### 1.3 数据处理

对各世代单株单性结实坐果率进行反正弦转换,采用植物数量性状主基因+多基因混合遗传模

表 1 南京江宁和河北昌黎 2007 年的气象资料

Tab 1 Meteorological data in Jiangning, Nanjing and Changli, Hebei (2007)

地点 Site	月份 Month	日均气温 Diurnal mean temperature ( $^{\circ}$ )	日均最高气温 Diurnal mean maximum temperature ( $^{\circ}$ )	日均最低气温 Diurnal mean minimum temperature ( $^{\circ}$ )	日照时数 Sunlight time (h)	太阳总辐射量 Gross solar radiation ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ )	降水量 Precipitation (mm)	日均总云量 Diurnal mean total cloudcover (%)
江宁	5	23.0	29.0	18.0	174.0	563.78	56.3	5.3
Jiangning	6	24.5	28.6	21.4	102.0	429.99	102.1	6.1
昌黎	4	12.6	17.9	7.6	280.1	549.70	15.5	4.5
Changli	5	20.4	25.6	15.4	319.8	632.29	84.9	4.3
	6	23.9	28.6	19.9	264.1	559.52	65.3	5.5

表 2 四世代单性结实性的次数分布

Tab 2 Frequency of parthenocarpy in four generations of the cross

地点 Site	世代 Generation	单性结实坐果率的次数分布 Frequency of the parthenocarpic fruit setting percentage (%)										总株数 Total number of plants	平均值 Average (%)
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90		
江宁 Jiangning	P <sub>1</sub>						6	8	6	2	6	28	72.9
	P <sub>2</sub>	20										20	0.0
	F <sub>1</sub>	16	7	5	2		2					32	12.7
	F <sub>2</sub>	171	23	8	5	2	4	2	1		1	217	6.9
昌黎 Changli	P <sub>1</sub>										35	35	100
	P <sub>2</sub>	33										33	0.0
	F <sub>1</sub>			1	2	3	5	9	5	9		34	64.0
	F <sub>2</sub>	13	5	15	14	9	0	1	16	33	38	144	62.8

型进行 4 世代联合分析<sup>[19]</sup>,通过极大似然法 (maximum likelihood method,指选择使事件发生概率最大的可能情况的参数估计方法)和 IECM 算法 (iterated expectation and conditional maximization)对混合分布中的有关成分分布参数做出估计;然后利用 AIC 准则 (akaike's information criterion,衡量模型拟合数据优良性的一种标准)选择 AIC 值最小或较小的 1 个或几个备选模型,再通过一组适合性测验 ( $U_1^2$ 、 $U_2^2$ 、 $U_3^2$ 、 $nW^2$  和  $D_n$ )选择统计量达到显著水平个数最少的模型作为最优模型;并估计遗传参数<sup>[20-25]</sup>.分析软件由南京农业大学国家大豆改良中心提供.

采用相关系数方法<sup>[26]</sup>估测遗传型与环境互作效应.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生态条件下黄瓜各世代单性结实性的遗传表现

由表 2 可知,不同生态环境下,各世代单性结实性差异明显,南京江宁点单性结实坐果率明显低于河北昌黎点.南京江宁生态环境下, F<sub>1</sub> 单性结实性趋向于非单性结实亲本;而河北昌黎生态环境下, F<sub>1</sub> 单性结实性趋向于单性结实亲本.不同生态环境下, F<sub>2</sub> 单株单性结实坐果率次数分布均表现为多峰分布,呈明显主基因 + 多基因遗传特征.

对两地各世代平均单株坐果率进行相关分析,结果表明,不同生态环境下单性结实性相关系数 ( $r$ )为 0.79,未达显著水平 ( $\alpha_{0.05} = 0.95$ ),说明黄瓜单性结实性遗传存在基因型与环境互作效应.

### 2.2 黄瓜单性结实性的主基因 + 多基因遗传分析

**2.2.1 主基因 + 多基因遗传模型的确定** 采用植物数量性状主基因 + 多基因混合遗传模型的多世代联合分析方法,对江宁和昌黎两地的 4 个世代群体单性结实性进行分析,获得 1 对主基因 (A)、2 对主基

因 (B)、多基因 (C)、1 对主基因 + 多基因 (D) 和 2 对主基因 + 多基因 (E) 等 5 类 24 种遗传模型的极大似然函数值和 AIC 值.根据 AIC 准则,选择 AIC 值较小且相近的为备选遗传模型 (表 3).由表 3 可知,不同环境条件下单性结实性的备选遗传模型均为 E-1-1 和 E-1-0.

对以上备选模型进行选优,即在一组 ( $U_1^2$ 、 $U_2^2$ 、 $U_3^2$ 、 $nW^2$  和  $D_n$ ) 适合性检验中,选择统计量达到显著水平个数最少的模型作为最适模型 (表 4).南京江宁和河北昌黎两地的最适模型均为 E-1-1,即雌雄同株黄瓜单性结实性受 2 对加性 + 显性 + 上位性主基因 + 加性 + 显性多基因控制.

**2.2.2 遗传参数的估计** 由表 5 可以看出,南京江宁生态环境条件下,控制雌雄同株黄瓜单性结实性的两对主基因表现为:加性效应 ( $d_a$ 、 $d_b$ ) 相等且较小,而负向显性效应 ( $h_a$ 、 $h_b$ ) 几乎相等且均较大.在两主基因互作效应中,加性 × 加性互作 ( $i$ ) 和显性 × 显性互作效应 ( $l$ ) 均较大,第 1 对主基因的加性效应 × 第 2 对主基因的显性互作效应 ( $j_{bb}$ )、第 2 对主基因的加性效应 × 第 1 对主基因的显性互作效应 ( $j_{ba}$ ) 较小.可见,两主基因作用相似,基因的非加性效应起主要作用, F<sub>2</sub> 的主基因遗传率为 42.1%.

河北昌黎生态环境条件下,控制黄瓜单性结实性遗传的第 1 对主基因的正向加性效应和显性效应

表 3 单性结实性不同遗传模型的 AIC 值

Tab 3 AIC values of different genetic models of parthenocarpy

地点 Site	模型 Model	极大似然值 Maximum likelihood value	AIC 值 AIC value
江宁	E-1-1	- 1175.21	2368.43
Jiangning	E-1-0	- 1174.93	2373.87
昌黎	E-1-0	- 914.52	1853.05
Changli	E-1-1	- 913.27	1844.55

表 4 E-1-1遗传模型的适合性检验

Tab 4 Test for goodness-of-fit about E-1-1 model of parthenocarpy

地点 Site	世代 Generation	$U_1^2$	$U_2^2$	$U_3^2$	$nW^2$	$D_n$
江宁	P <sub>1</sub>	1.543 (0.2141)	0.359 (0.5492)	5.835* (0.0157)	0.5119*	0.2820*
Jiangning	F <sub>1</sub>	0.010 (0.9197)	0.953 (0.3289)	18.455* (0.0000)	0.5576*	0.3347*
	P <sub>2</sub>	0.019 (0.8891)	1.241 (0.2654)	24.951* (0.0000)	1.6683*	0.5090*
	F <sub>2</sub>	1.367 (0.2423)	1.903 (0.1678)	0.977 (0.3229)	4.1914*	0.3443*
昌黎	P <sub>1</sub>	0.644 (0.4222)	0.716 (0.3975)	42.154* (0.0000)	2.9703*	0.5392*
Changli	F <sub>1</sub>	1.350 (0.2452)	7.732* (0.0054)	39.560* (0.0000)	0.8936*	0.3026*
	P <sub>2</sub>	0.683 (0.4086)	0.596 (0.4400)	39.560* (0.0000)	2.8069*	0.5415*
	F <sub>2</sub>	0.095 (0.7582)	0.180 (0.6713)	0.255 (0.6134)	0.3164*	0.1319*

\*  $P < 0.05$ , 括号内数据为概率 The data in the brackets are probability.

均大于第 2 对主基因相应的效应,除加性-显性互作效应较小外,其他互作效应值均较大.第 1 对主基因的主要作用中,基因的加性效应和非加性效应均重要, F<sub>2</sub> 的主基因遗传率为 97.5%.

### 2.3 生态因子对黄瓜单性结实性遗传的影响

在南京江宁和河北昌黎不同生态条件下,雌雄同株黄瓜单性结实性均表现为 2 对加性-显性-上位性主基因+加性-显性多基因遗传 (E-1-1). 但单性结实性及其遗传参数存在较大差异,南京江宁各世代单性结实坐果率整体低于河北昌黎各世代单性结实坐果率 (表 2),南京江宁 F<sub>1</sub> 单性结实性趋向非单性结实亲本,遗传率中等 (42.1%);而河北昌黎 F<sub>1</sub> 单性结实性趋向强单性结实亲本,具有较高的遗传率 (97.5%). 说明河北昌黎的生态环境更有利于雌雄同株黄瓜单性结实,这可能主要与两地的气候条件不同有关.

对两地的日照条件与黄瓜单性结实遗传的关系进行分析 (表 1) 发现,黄瓜结果期,南京江宁 5、6 月

的总日照时数分别为昌黎的 54.4% 和 36.8%,同期太阳总辐射量分别为昌黎的 89.2% 和 76.8%,阴雨天较多.南京江宁 5、6 月的日均日照时数分别为 5.6 h 和 3.4 h,而昌黎同期分别为 10.3 h 和 8.8 h 可见,南京江宁的寡日照不利于雌雄同株黄瓜单性结实,日照可能是造成两地单性结实遗传差异的关键因素.

进一步分析两地气温与黄瓜单性结实遗传的关系.由表 1 可以看出,5 月南京地区开始进入高温期,日均最高气温达 29,日均最低气温 18,其日均气温、日均最高气温、日均最低气温比河北昌黎同期高 3 左右;6 月昌黎地区也开始进入高温期,两地气温相差不大.而塑料大棚或日光温室中的温度比上述露地的还要高.可见黄瓜结果期,南京 5—6 月的高温尤其是高夜温不利于黄瓜单性结实,而昌黎地区 4—6 月尤其在结果前期的 4—5 月的低夜温更有利于黄瓜单性结实.

## 3 讨 论

### 3.1 不同生态环境下雌雄同株黄瓜单性结实性遗传的相对稳定性和一致性

近年来发展起来的植物数量性状主基因+多基因混合遗传模型分析方法在番茄<sup>[27-28]</sup>、辣椒<sup>[29-30]</sup>、甘蓝<sup>[31]</sup>、不结球白菜<sup>[32]</sup>、黄瓜<sup>[12,33-36]</sup>等蔬菜作物的重要经济性状遗传分析方面得到了广泛应用,其克服了经典数量遗传学方法只能估测基因总体效应,而不能区分主基因和多基因效应的不足.本研究采用此分析方法,明确了不同生态环境下雌雄同株黄瓜单性结实性遗传受 2 对加性-显性-上位性主基因+加性-显性多基因控制.说明雌雄同株黄瓜单性结实性遗传的相对稳定性和一致性,表现出基因的决定性作用,这与本课题组前期研究的全雌黄瓜单性结实性受 2 对加性-显性-上位性主基因+加性-显性

表 5 单性结实性遗传参数的估计值 (E-1-1)

Tab 5 Estimate values of the parameters of parthenocarpy (E-1-1)

一阶参数 1st order parameter	估计值 Estimate value		二阶参数 2nd order parameter	估计值 Estimate value	
	江宁	昌黎		江宁	昌黎
	Jiangning	Changli		Jiangning	Changli
$d_a$	5.47	29.86	$^2_p$	193.74	784.80
$d_b$	5.47	2.40	$^2_{mg}$	81.63	765.04
$h_a$	-16.96	14.52	$^2_e$	112.11	19.77
$h_b$	-16.94	11.45	$h^2_{mg} (\%)$	42.10	97.50
$i$	16.96	-14.51			
$j_{ab}$	-5.45	0.67			
$j_{ba}$	-5.47	25.05			
$l$	17.55	-10.03			

$^2_p$ : 表型方差 Phenotypic variance;  $^2_{mg}$ : 主基因方差 Major gene variance;  $^2_e$ : 环境方差 Environmental variance;  $h^2_{mg}$ : 主基因遗传率 Heritability of major gene (%).

多基因控制(E-1-1)遗传的结论一致<sup>[12]</sup>。Sun等<sup>[37]</sup>采用区间作图和复合区间作图方法检测到了控制美国加工型全雌黄瓜单性结实性的10个QTLs,主要分布在3个连锁群上,其遗传效应大小不同,其中区间作图检测到2个效应较大的QTLs,分别解释了表型变异的23.6%和16.7%,复合区间作图检测到3个效应较大的QTLs,分别解释了表型变异的25.5%、17.0%和16.5%,证实了控制黄瓜单性结实性遗传至少存在2个效应值较大的主基因,与本研究结果一致。

### 3.2 不同生态环境下雌雄同株黄瓜单性结实性遗传差异的比较

Sun等<sup>[8]</sup>采用经典数量遗传学方法,研究同一地区不同年份和季节对美国加工型全雌黄瓜单性结实性遗传的影响,其遗传均符合同一遗传模型(加性-显性模型),但 $F_1$ 遗传倾向和遗传参数不同。本试验也证实了不同生态环境下雌雄同株黄瓜单性结实性遗传相似,但检测到了主基因和基因上位性效应,与Sun等<sup>[8]</sup>的研究结果不同。本试验表明,雌雄同株黄瓜单性结实性不仅受遗传控制,而且受环境和基因型与环境互作效应的影响。南京江宁生态条件下, $F_1$ 单性结实性表现为趋向非单性结实亲本,遗传率中等(42.1%),低夜温、短日照是增加黄瓜雌雄同株品种单性结实的主要因素<sup>[15]</sup>,而黄瓜结果期江宁地区的高夜温、寡日照不利于黄瓜单性结实基因的表达,其中寡日照是主要生态因子。前人研究认为,短日照<sup>[16]</sup>、弱光<sup>[13]</sup>有利于单性结实,高夜温长光照(18 h, 16 h)、高夜温短光照(18 h, 11 h)、低夜温长光照(12 h, 16 h)、低夜温短光照(12 h, 11 h)4种温光周期处理下,可遗传的单性结实品系比非单性结实品系结果既早又多,18 h高夜温下表现更为明显,而12 h低夜温下单性结实产量最高<sup>[18]</sup>。本试验黄瓜结果期南京日照时数和太阳总辐射过低,而夜间温度较高,寡日照影响了植株光合作用,高温加剧了呼吸消耗,影响单性结实坐果及果实发育,从而影响其遗传倾向和遗传参数。可见,在温度和日照两个生态因子中,日照是造成两地遗传差异的主要因子。

综上所述,不同环境条件下的雌雄同株黄瓜单性结实性遗传表现具有相对一致性和稳定性,表现为2对加性-显性-上位性主基因+加性-显性多基因控制的数量性状遗传特点,存在基因型与环境互作效应,具有中等以上的遗传率。环境及其与基因型互作使遗传倾向和遗传参数产生一定差异。因此,育种

实践中,采用常规杂交育种或优势杂交育种途径对单性结实性进行遗传改良时,以双亲均为具有强单性结实材料为宜,不同生态条件下选择鉴定。

### 参考文献

- [1] Ai X-Z (艾希珍), Ma X-Z (马兴庄), Yu L-M (于立明), et al. Effect of long-term suboptimal temperature and short-term low temperature under low light density on cucumber growth and its photosynthesis. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2004, **15** (11): 2091-2094 (in Chinese)
- [2] Li W (李伟), Sui X-L (睢晓蕾), Zhang Z-X (张振贤). Effects of temperature regime on low light tolerance of *Cucumis sativus* seedling leaves in their photosynthesis. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2008, **19** (12): 2643-2650 (in Chinese)
- [3] Gustafson FG. The cause of natural parthenocarp. *American Journal of Botany*, 1939, **2**: 135-138
- [4] Chen X-H (陈学好), Tao J (陶俊), Cao B-S (曹碯生). The types of parthenocarp of horticulture crop. *Bulletin of Biology (生物学通报)*, 2001, **35** (9): 6-7 (in Chinese)
- [5] Pike LM, Peterson CE. Inheritance of parthenocarp in the cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Euphytica*, 1969, **18**: 101-105
- [6] El-Shawaf IIS, Baker LR. Inheritance of parthenocarpic yield in gynocarpic pickling cucumber for once-over mechanical harvest by diallel analysis of six gynocarpic lines. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 1981, **106**: 359-364
- [7] El-Shawaf IIS, Baker LR. Combining ability and genetic variances of  $G \times H$   $F_1$  hybrids for parthenocarpic yield in gynocarpic pickling cucumber for once-over mechanical harvest. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 1981, **106**: 365-370
- [8] Sun ZY, Lower RL, Staub JE. Analysis of generation means and components of variance for parthenocarp in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Breeding*, 2006, **125**: 277-280
- [9] Sun ZY, Lower RL, Staub JE. Variance component analysis of parthenocarp in elite U. S. processing type cucumber (*Cucumis sativus* L.) lines. *Euphytica*, 2006, **148**: 331-339
- [10] de Ponti OMB, Garretsen F. Inheritance of parthenocarp in pickling cucumbers (*Cucumis sativus* L.) and linkage with other characters. *Euphytica*, 1976, **25**: 633-642
- [11] Cao B-S (曹碯生), Chen X-H (陈学好), Xu Q (徐强), et al. The genetic effects of parthenocarpic generations of cucumber. *Acta Horticulturae Sinica (园艺学报)*, 1997, **24** (1): 53-56 (in Chinese)
- [12] Yan L-Y (闫立英), Lou L-N (娄丽娜), Lou Q-F (娄群峰), et al. Inheritance of parthenocarp in gynocarpic cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Acta Horticulturae Sinica (园艺学报)*, 2008, **35** (10): 1441-1446 (in Chinese)

- [13] Tiedjens AA. Sex ratios in cucumber flowers as affected by different conditions of soil and light *Journal of Agriculture Research*, 1928, **36**: 720-746
- [14] Gustafson FG. Parthenocapcy: Natural and artificial *Botanical Review*, 1942, **8**: 598-654
- [15] Nitsch JP. Plant hormones in the development of fruits *Quarterly Review of Biology*, 1952, **27**: 33-57
- [16] Rudich J, Halevy AH, Kedar N. The level of photoperiod and ethephon *Plant Physiology*, 1972, **50**: 585-590
- [17] Adana N. Growth regulator activity and parthenocapcy fruit production in snake melon and cucumber grown at high temperature *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1975, **100**: 406-409
- [18] Rudich J, Baker LR, Sell HM. Parthenocapcy in *Cucumis sativus* L. as affected by genetic parthenocapcy, the thermo-photoperiod, and femaleness *Journal of American Society for Horticultural Science*, 1977, **102**: 225-228
- [19] Gai J-Y (盖钧镒), Zhang Y-M (章元明), Wang J-K (王建康). Genetic System of Quantitative Traits in Plants Beijing: Science Press, 2003 (in Chinese)
- [20] Gai J-Y (盖钧镒). Experimentation Statistical Methods Beijing: China Agriculture Press, 2000 (in Chinese)
- [21] Gai J-Y (盖钧镒). Segregation analysis of genetic system of quantitative traits in plants *Hereditas (遗传)*, 2005, **27**(1): 130-136 (in Chinese)
- [22] Zhang Y-M (章元明), Gai J-Y (盖钧镒). The IECM algorithm for estimation of component distribution parameters in segregating analysis of quantitative traits *Acta Agronomica Sinica (作物学报)*, 2000, **26**(6): 699-706 (in Chinese)
- [23] Zhang Y-M (章元明), Gai J-Y (盖钧镒), Qi C-K (戚存扣). The precision of segregating analysis of quantitative trait and its improving methods *Acta Agronomica Sinica (作物学报)*, 2001, **27**(6): 787-793 (in Chinese)
- [24] Gai J-Y (盖钧镒), Zhang Y-M (章元明), Wang J-K (王建康). Identification of two major genes plus polygenes mixed inheritance model of quantitative traits in B1 and B2 and F2 *Journal of Biomathematics (生物数学学报)*, 2000, **15**(3): 358-366 (in Chinese)
- [25] Gai J-Y (盖钧镒), Zhang Y-M (章元明), Wang J-K (王建康). A joint analysis of multiple generations for QTL models extended to mixed two major genes plus polygenes *Acta Agronomica Sinica (作物学报)*, 2000, **26**(4): 385-391 (in Chinese)
- [26] Ma Y-H (马育华). The Principle of Quantitative Genetics in Plant Breeding Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1982 (in Chinese)
- [27] Feng H (冯辉), Wang W-H (王五宏), Xu N (徐娜), et al. Inheritance of several plant type characters in truss tomato *Scientia Agricultura Sinica (中国农业科学)*, 2008, **41**(12): 4134-4139 (in Chinese)
- [28] Li J-S (李纪锁), Shen H-L (沈火林), Shi Z-Q (石正强). Analysis on the major gene and polygene mixed inheritance of lycopene content in fresh consumptive tomato fruit *Hereditas (遗传)*, 2006, **28**(4): 458-462 (in Chinese)
- [29] Chen X-J (陈学军), Chen J-F (陈劲枫), Fang R (方荣), et al. Inheritance of the node for first flower in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Acta Horticulturae Sinica (园艺学报)*, 2006, **33**(1): 152-154 (in Chinese)
- [30] Chen X-J (陈学军), Chen J-F (陈劲枫). Genetic analysis of plant height in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica (西北植物学报)*, 2006, **26**(7): 1342-1345 (in Chinese)
- [31] Yan H-L (严慧玲), Fang Z-Y (方智远), Liu Y-M (刘玉梅), et al. Genetic effect of sterility of the dominant genic male sterile material (DGMS79239923) in cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). *Acta Horticulturae Sinica (园艺学报)*, 2007, **34**(1): 93-98 (in Chinese)
- [32] Han J-M (韩建明), Hou X-L (侯喜林), Shi G-J (史公军), et al. Genetic analysis of plant height using mixed major gene plus polygenes inheritance model in non-heading Chinese cabbage *Journal of Nanjing Agricultural University (南京农业大学学报)*, 2008, **31**(1): 23-26 (in Chinese)
- [33] Luo X-M (罗晓梅), Si L-T (司龙亭), Yin W-N (尹维娜). Inheritance on major gene plus polygenes of yellow line and fruit length ratio of cucumber *Acta Agronomica Boreali-Sinica (华北农学报)*, 2008, **23**(2): 288-291 (in Chinese)
- [34] Xin M (辛明), Qin Z-W (秦智伟), Zhou X-Y (周秀艳). Molecular marker and genetic analysis of plant height in cucumber *Journal of Northeast Agricultural University (东北农业大学学报)*, 2008, **39**(5): 34-38 (in Chinese)
- [35] Sun X-L (孙小镭), Wang Y-Q (王永强), Wang B (王冰), et al. Inheritance of the chlorophyll content in immature fruit color of cucumber *Acta Horticulturae Sinica (园艺学报)*, 2004, **31**(3): 327-331 (in Chinese)
- [36] Zhang S-Q (张素勤), Gu X-F (顾兴芳), Zhang S-P (张圣平), et al. The genetic mechanism of resistance to powdery mildew in cucumber *Acta Horticulturae Sinica (园艺学报)*, 2005, **32**(5): 899-901 (in Chinese)
- [37] Sun ZY, Lower RL, Staub JE. Identification and comparative analysis of quantitative trait loci (QTL) associated with parthenocapcy in processing cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Breeding*, 2006, **125**: 281-287

作者简介 闫立英,女,1966年生,博士研究生,教授.主要从事黄瓜遗传育种与生理生态研究. E-mail: yanliying66@126.com

责任编辑 张凤丽