

黄瓜品系 WIS2757 对黄瓜枯萎病生理小种 4 和黑星病的抗性遗传与连锁分析

毛爱军, 张峰, 张丽蓉, 王永健

(北京市农林科学院蔬菜研究中心, 北京 100097)

摘要: 【目的】黄瓜枯萎病和黑星病是危害中国黄瓜生产的两种主要病害, 明确黄瓜品系 WIS2757 对黄瓜枯萎病生理小种 4 和黑星病的抗性基因遗传与连锁关系, 为黄瓜抗病育种提供重要依据。【方法】以抗枯萎病生理小种 4 和黑星病的黄瓜材料 WIS2757 和感病材料津研 2 号为亲本, 获得 98 个 F₃ 代株系, 分别对双亲、F₁ 和 F₃ 代株系进行苗期抗枯萎病和黑星病接种鉴定, 并根据鉴定结果对枯萎病与黑星病的抗性遗传及两个抗病基因的连锁关系进行分析。【结果】亲本 WIS2757 抗枯萎病生理小种 4 和黑星病, 津研 2 号高感两种病害。F₁ 群体抗两种病害。根据 F₃ 株系对两种病害的抗病表现推断 F₂ 对应株的抗病基因型并进行卡方测验, 结果表明, F₂ 群体对枯萎病和黑星病的抗性分离均符合 1 : 2 : 1 的理论比例, 而两对等位抗病基因的遗传不符合 9 : 3 : 3 : 1 的理论分离比例。连锁分析表明, 黄瓜抗枯萎病生理小种 4 和黑星病的两对等位基因位于同一连锁群, 两者的遗传距离为 17.5 cM。

【结论】WIS2757 对枯萎病和黑星病的抗性均由单显性基因控制, 将抗枯萎病生理小种 4 的基因暂定名为 *Foc-4*。*Foc-4* 和抗黑星病基因 *Ccu* 间存在遗传连锁关系。

关键词: 黄瓜; 枯萎病生理小种 4; 黑星病; 遗传; 连锁

Analysis on the Inheritance of Resistance to Fusarium Wilt Race 4 and Cucumber Scab and Their Linkage in Cucumber WIS2757

MAO Ai-jun, ZHANG Feng, ZHANG Li-rong, WANG Yong-jian

(Beijing Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Science, Beijing 100097)

Abstract: 【Objective】Fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *Cucumerinum* Owen.) and cucumber scab (*Cladosporium cucumerinum* Ellis & Arthur) are two major diseases that cause significant disease losses in cucumber. It is useful for cucumber disease resistance breeding to study on the inheritance of resistance to Fusarium wilt race 4 and cucumber scab and their linkage.

【Method】The cucumber line WIS2757 (parent 1) and Jinyan No.2 (parent 2) and 98 F₃ lines from the cross of both parents were employed for evaluation of the resistance to Fusarium wilt race 4 and cucumber scab. The inheritance and the linkage of the resistance to Fusarium wilt race 4 and cucumber scab were analysed based on the genotype of F₂ population which was deduced according to the disease resistance phenotype of the F₃ lines. 【Result】Parent WIS2757 plants and F₁ plants were resistant to both Fusarium wilt race 4 and cucumber scab, while parent Jinyan No.2 was susceptible to both diseases. The observed segregating results of resistance to Fusarium wilt race 4 and cucumber scab in F₂ did not differ from the 1 : 2 : 1 ratio at the 5% level of probability. However, the segregation ratio of two alleles of the resistance gene was different from the 9 : 3 : 3 : 1 ratio at 1% level of probability and linkage analysis indicated that the gene resistance to Fusarium wilt race 4 linked with the gene resistance to cucumber scab with 17.5 cM distance. 【Conclusion】The above results showed that the resistance of WIS2757 to Fusarium wilt race 4 is controlled by a single dominant gene *Foc-4* and the resistance to cucumber scab is also controlled by a single dominant gene *Ccu*. The resistance genes *Foc-4* and *Ccu* were linked.

Key words: Cucumber; Fusarium wilt race 4; Cucumber scab; Inheritance; Linkage

收稿日期: 2007-03-15; 接受日期: 2007-07-10

基金项目: 北京市自然科学基金项目 (5062009), 国家自然科学基金项目 (30471186), 北京市优秀人才项目 (20081D0200500054), 国家“863”项目 (2006AA100108) 和北京市外包项目 (Z0708050150702)

作者简介: 毛爱军 (1969-), 女, 北京人, 副研究员, 硕士, 研究方向为黄瓜抗病育种。E-mail: maoaijun@nervc.org。通讯作者王永健 (1941-), 男, 江苏南通人, 研究员, 研究方向为黄瓜遗传育种与分子生物学。E-mail: wangyongjian@nervc.org

0 引言

【研究意义】由尖孢镰刀菌黄瓜专化型(*Fusarium oxysporum* f. sp. *Cucumerinum* Owen.)引起的黄瓜枯萎病和由黄瓜芽枝霉(*Cladosporium cucumerinum* Ellis & Arthur)引起的黄瓜黑星病是危害黄瓜生产的两种世界性病害,在许多国家和地区都有严重发生的报道,大大影响黄瓜的产量和品质,甚至造成绝产。黄瓜黑星病从 20 世纪 80 年代开始在中国东北三省的保护地黄瓜上普遍发生,后蔓延到内蒙古、山东、北京、河北、山西、海南等省市。黄瓜枯萎病一直是威胁中国保护地和露地黄瓜生产的重要土传病害。这两种病害每年都使中国黄瓜生产遭受严重损失。开展抗病品种的选育是解决这一问题的有效途径。【前人研究进展】目前,各国学者在枯萎病的生理小种分化^[1,2]、抗病机制^[3-6]、抗性鉴定^[7-10]和遗传规律^[1,11,12]等方面开展了大量的研究工作,并取得了不少成果。目前已发现枯萎病黄瓜专化型有 4 个生理小种。来自美国、以色列和日本的 3 个菌株被分别鉴定命名为生理小种 1~3 号。中国普遍流行的黄瓜枯萎病菌与生理小种 1~3 号不同,经鉴定命名为生理小种 4^[1,2]。Netzer 等^[11]最早对黄瓜枯萎病的遗传规律进行了研究,他认为枯萎病抗性由显性单基因 *Fcu-1* (后定名为 *Foc*) 控制。Vakalounakis^[12]的研究结果也表明该抗病性受 1 对显性基因控制,并且还证明黄瓜品系 WIS-248 对黄瓜枯萎病生理小种 1 号和 2 号的抗性基因完全连锁,在回交群体中没有发现重组体。Toshimitsu^[3]认为黄瓜抗病亲本青节成抗性由 3 对同义基因决定。侯安福^[1]等认为中国黄瓜枯萎病抗性为数量遗传,控制抗性的主效基因为显性。在黑星病研究方面,中国学者先后对黑星病的人工接种鉴定方法^[14,15]、致病性^[16]、抗病机制^[17]、防治方法^[18]等进行了深入研究。黄瓜对黑星病的抗性普遍认为主要由 1 对显性单基因 *Ccu* 控制。Bailey 等 1934 年首先发现。其后,Andeweg 等和 Abul-Hayja 等的研究也取得相同的研究结果^[19-21]。Vakalounakis^[22]曾利用测验杂交种的自交分离群体 (BC₁F₂) 为材料对黄瓜枯萎病生理小种 1 和黑星病的抗病基因进行了遗传分析,发现二者完全连锁。【本研究切入点】本课题组前期研究结果表明,美国威斯康辛大学育成的 WIS2757 黄瓜抗病品系抗中国流行的黄瓜枯萎病生理小种 4 和黑星病,但该材料对这两种病害的抗性是否存在连锁关系尚未确定。【拟解决的关键问题】在已有研究工作基础上,根据中国黄瓜

育种需要,开展抗源 WIS2757 对黄瓜枯萎病生理小种 4 和黑星病的抗性遗传研究,重点分析两种病害抗病性之间可能存在的连锁关系,为有效利用该抗病材料,选育黄瓜复合抗病新种质材料和农艺性状优良的抗病骨干亲本自交系以及不同生态类型的多抗黄瓜新品种提供重要依据。

1 材料与方法

1.1 材料

母本 WIS2757 由美国威斯康辛大学育成,已知带有抗黄瓜枯萎病生理小种 1、2 的 *Fcu* 基因和抗黑星病的 *Ccu* 基因。前期的接种鉴定试验确认该材料抗黑星病,同时发现兼抗黄瓜枯萎病生理小种 4。父本系从津研 2 号获得的自交系,由北京蔬菜研究中心黄瓜育种组提供,感这两种病害。从它们的杂交后代 F₂ 群体中随机抽样自交,获得 100 个 F₃ 代株系。从中选取种子量较多、能保证所需试验群体 (60 株以上) 的 98 个株系,用作黑星病和枯萎病的鉴定。

1.2 病原菌繁殖

以中国流行的黄瓜枯萎病菌(*Fusarium oxysporum* f.sp.*cucumerinum* Owen.) 生理小种 4 和黑星病菌 (*Cladosporium cucumerinum* Ellis & Arthur) 为供试菌源,均由中国农业科学院蔬菜花卉所植保室提供并确认。采用翁祖信等^[23]的方法制备黄瓜枯萎病菌接种液,许勇等^[14]的方法制备黄瓜黑星病菌接种液。

1.3 苗期接种鉴定和病情调查

接种鉴定于 2005 年 5~7 月实施。供试的黄瓜材料种子经 55℃ 温汤浸种和催芽后,播于装有灭菌草炭的 50 孔穴盘中,在温室育苗,常规方法管理。每个黄瓜株系重复 3 次,每重复 10 株苗。枯萎病接种方法采用浸根法。在黄瓜子叶展平期,用水洗净幼苗根部,在 $5 \times 10^5 \sim 5 \times 10^6$ 孢子/ml 的接种液中浸根,之后将幼苗移入装有灭菌草炭的营养钵中,置于白天 (26±2)℃,夜间 (20±2)℃ 的温室内诱病。接种后 7~10 d 进行病情调查。病情分级标准按 Martyn 等^[24]的标准进行。

0 级: 无症状; 1 级: 1 片子叶黄化; 2 级: 2 片子叶黄化或萎蔫; 3 级: 1 片真叶轻度萎蔫; 4 级: 1~2 片真叶明显萎蔫; 5 级: 全株严重萎蔫或枯死。

黑星病的接种参照许勇等^[13]的离体子叶点滴法进行苗期人工接种。当黄瓜子叶展平时剪下子叶,用移液枪点滴浓度为 $1 \times 10^6 \sim 5 \times 10^6$ 孢子/ml 的接种液 1 滴 (约 0.02 ml) 于子叶中央,置于培养皿中保湿, 20℃

培养箱中培养。接种后 7~10 d 进行抗性评价。

病情调查与分级标准：0 级：无症状；1 级：接种点产生很小坏死斑点；2 级：接种点形成未扩展坏死斑；3 级：接种点形成扩展坏死斑，扩展斑被黄色晕圈包围；4 级：接种点形成扩展斑，且病斑上有大量霉层产生；5 级：子叶溃烂。

根据上述分级调查结果，计算病情指数。需要说明的是，在 F_3 群体中，有明显的抗感分离的株系，大多数抗感分离的比例接近 3 : 1，但小部分株系的抗感比例偏离较大（30 株的小群体经常出现的问题），因此这一类株系病情指数差异幅度较大，低者在 10 左右，而高者近 45。尽管如此，采用后裔（ F_3 株系）测验的方法推断上代 F_2 各对应株的抗病基因型还是比较可靠的。根据 F_3 病情指数和株系内的分离情况来推断 F_2 基因型的划分标准是：AA 或 BB 的病指小于 10，系内未见明显分离；Aa 或 Bb，系内可见明显分离，病情指数在 10~45；aa 或 bb，系内未见明显抗感分离，病情指数 > 50。

1.4 卡方测验

对 F_2 代各基因型的分离观察次数用下列公式计算 χ^2 值。 χ^2 检验， $\chi^2 = \sum (|O-E|)^2/E$ ，O 为观察值，E 为理论值^[25]。

1.5 数据记录、标记命名与连锁分析

采用 JoinMap3.0 软件^[26]对黄瓜枯萎病和黑星病抗性基因之间的连锁关系进行分析。

按照 JoinMap3.0 软件的规定进行命名： F_2 基因型为 AA 或 BB 记作 a， F_2 基因型为 Aa 或 Bb 记作 h， F_2 基因型为 aa 或 bb 记作 b。最终计算出两个抗病基因的连锁距离，分析抗性基因间的连锁关系。

2 结果与分析

2.1 黄瓜各世代抗枯萎病生理小种 4 和黑星病菌的接种鉴定结果

对双亲 WIS2757、津研 2 号以及 F_1 和 98 个 F_3 代单株系进行枯萎病和黑星病的苗期接种抗病性鉴定，鉴定结果见表 1。

2.2 抗病亲本 WIS2757 对黄瓜枯萎病生理小种 4 和黑星病的单一抗性遗传分析

表 1 表明，WIS2757 高抗黄瓜枯萎病生理小种 4 和黑星病，而津研 2 号高感两种病害； F_1 抗两种病害。 F_2 分离群体对黄瓜枯萎病生理小种 4 和黑星病的单一病害抗病基因型分离的数据见表 1。 χ^2 检测结果表明， F_2 代对这两种病害的抗性符合 1 : 2 : 1 的分离比例

（表 2）。由此推断 WIS2757 对枯萎病生理小种 4 和黑星病的抗性均由显性单基因控制，将抗枯萎病生理小种 4 的基因暂定名为 *Foc-4*。

2.3 枯萎病生理小种 4 和黑星病抗性的连锁关系分析

F_2 分离群体对黄瓜枯萎病生理小种 4 和黑星病两种病害抗病基因型分组的统计数见表 1。

χ^2 检测的结果表明， χ^2 达 32.41，由试验误差导致 F_2 群体的分离比例产生如此大的 χ^2 值的几率小于 1%，因此 F_2 群体对枯萎病生理小种 4 和黑星病两种病害抗性基因型的遗传分离不符合 9 : 3 : 3 : 1 的理论比例（表 3），说明这两个抗性基因的遗传不符合独立遗传规律。运用 JoinMap3.0 软件对黄瓜枯萎病生理小种 4 和黑星病两种病害的抗性遗传进行连锁分析（图 1），结果表明，黄瓜抗枯萎病生理小种 4 和黑星病两个抗性基因位于同一连锁群，二者的遗传距离为 17.5 cM。

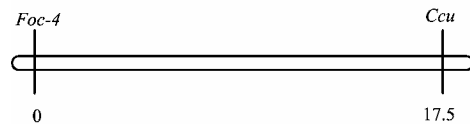


图 1 WIS2757 抗枯萎病生理小种 4 基因 *Foc-4* 和抗黑星病基因 *Ccu* 的连锁图

Fig. 1 Linkage map of resistance genes of *Foc-4* and *Ccu* in WIS2757

3 讨论

3.1 关于黄瓜黑星病接种方法

已有研究表明，采用离体子叶接种法进行黄瓜抗黑星病鉴定，与活体接种抗病性表现一致，该方法与第一真叶期接种法比较有很多优点：一是鉴定周期短，从播种到鉴定完成仅需 15 d 左右，而第一真叶期接种约需 30 d；二是鉴定在培养箱中进行，温湿度条件好，重复性好，占地小，在一年中的任何时候都可进行鉴定，且适合大群体鉴定；三是接种症状明显，便于分级调查。这些已经在笔者前期的试验中证明。为此，本研究采用了离体子叶接种法进行黄瓜抗黑星病的鉴定。

3.2 关于黄瓜枯萎病菌和黑星病菌专化型分化及其抗性遗传与连锁

如前所述，目前已发现枯萎病黄瓜专化型有 4 个

表 1 双亲、F₁ 和 98 个 F₃ 株系的病情指数及由 F₃ 株系推断的 F₂ 代群体的基因型Table 1 The disease resistance evaluation results to Fusarium wilt race 4 and cucumber scab in WIS2757, Jinyan No.2, F₁, 98 F₃ lines and F₂ population genotype deduced by F₃ lines phenotype

试验材料 Material	枯萎病 病情指数 Fusarium wilt DI	F ₂ 基因型 F ₂ genotype	黑星病 病情指数 Cucumber scab DI	F ₂ 基因型 F ₂ genotype	试验材料 Material	枯萎病病 情指数 Fusarium wilt DI	F ₂ 基因型 F ₂ genotyp	黑星病 病情指数 Cucumber scab DI	F ₂ 基因型 F ₂ genotype
P ₁ (WIS2757)	0.0	AA	0.0	BB	48	0.0	AA	22.0	Bb
P ₂ (津研2号 Jinyan No.2)	95.6	aa	84.5	bb	49	28.9	Aa	44.3	Bb
F ₁	13.3	Aa	8.9	Bb	50	0.0	AA	0.0	BB
F ₃ 株系 F ₃ lines					51	10.0	Aa	31.3	Bb
1	18.2	Aa	31.6	Bb	52	0.0	AA	0.0	BB
2	82.0	aa	90.8	bb	53	0.0	AA	0.0	BB
3	80.0	aa	42.0	Bb	54	0.0	AA	0.0	BB
4	20.0	Aa	43.3	Bb	55	0.0	AA	34.2	Bb
5	27.3	Aa	22.0	Bb	56	10.0	Aa	17.0	Bb
6	66.7	aa	77.0	bb	57	10.0	Aa	28.6	Bb
7	0.0	AA	5.0	BB	58	30.0	Aa	29.0	Bb
8	20.0	Aa	54.0	bb	59	6.0	Aa	28.3	Bb
9	84.0	aa	74.0	bb	60	22.0	Aa	43.3	Bb
10	36.0	Aa	22.0	Bb	61	30.0	Aa	19.0	Bb
11	13.3	Aa	19.0	Bb	62	62.0	aa	100.0	bb
12	21.8	Aa	22.7	Bb	63	16.0	Aa	22.2	Bb
13	0.0	AA	1.0	BB	64	30.0	Aa	95.6	bb
14	29.1	Aa	0.0	BB	65	0.0	AA	24.3	Bb
15	92.0	aa	41.0	Bb	66	0.0	AA	35.4	Bb
16	80.0	aa	54.0	bb	67	10.0	Aa	26.6	Bb
17	36.0	Aa	18.0	Bb	68	34.0	Aa	20.9	Bb
18	28.0	Aa	18.0	Bb	69	56.0	aa	81.9	bb
19	24.0	Aa	22.9	Bb	70	59.1	aa	33.0	Bb
20	8.9	Aa	17.1	Bb	71	55.3	Aa	42.7	Bb
21	16.0	Aa	25.3	Bb	72	71.7	aa	90.4	bb
22	0.0	AA	58.0	bb	73	42.2	Aa	19.0	Bb
23	20.0	Aa	29.0	Bb	74	72.3	aa	80.7	bb
24	24.0	Aa	40.0	Bb	75	86.0	aa	89.6	bb
25	18.0	Aa	0.0	BB	76	0.0	AA	18.7	Bb
26	5.5	AA	9.3	BB	77	0.0	AA	0.0	BB
27	94.0	aa	50.8	bb	78	16.0	Aa	6.0	BB
28	72.0	aa	14.3	Bb	79	24.0	Aa	37.2	Bb
29	2.0	AA	6.0	BB	80	28.0	Aa	31.5	Bb
30	1.8	AA	2.0	BB	81	0.0	AA	0.0	BB
31	0.0	AA	23.0	Bb	82	36.0	Aa	85.3	bb
32	86.0	aa	85.7	bb	83	28.0	Aa	23.0	Bb
33	0.0	AA	35.7	Bb	84	11.1	Aa	35.1	Bb
34	0.0	AA	26.9	Bb	85	10.0	Aa	1.0	BB
35	10.0	Aa	0.0	BB	86	0.0	AA	26.0	Bb
36	0.0	AA	0.0	BB	87	2.0	AA	0.0	BB
37	16.0	Aa	37.5	Bb	88	18.0	Aa	42.1	Bb
38	68.0	aa	96.0	bb	89	0.0	AA	3.0	BB
39	0.0	AA	22.9	Bb	90	56.0	aa	72.0	bb
40	34.0	Aa	43.3	Bb	91	0.0	AA	0.0	BB
41	0.0	AA	20.8	Bb	92	30.0	Aa	32.7	Bb
42	15.6	Aa	98.0	bb	93	2.0	AA	0.0	BB
43	16.0	Aa	18.0	Bb	94	4.0	AA	34.7	Bb
44	15.6	Aa	21.3	Bb	95	10.0	Aa	72.4	bb
45	0.0	AA	0.0	BB	96	18.0	Aa	21.0	Bb
46	26.0	Aa	66.7	bb	97	0.0	AA	4.2	BB
47	58.0	aa	93.0	bb	98	31.1	Aa	95.5	bb

表 2 WIS2757 对枯萎病生理小种 4 和黑星病两种病害抗性分离的卡方测验结果

Table 2 χ^2 test results of the resistance segregation to Fusarium wilt race 4 and cucumber scab in WIS2757

病害 Disease	试验材料 Material	纯合抗病 Homozygous resistant No.	杂合抗病 Heterozygous resistant No.	纯合感病 Homozygous susceptible No.	理论比例 Expected ratio	χ^2 ($\chi^2_{0.05,2}=5.99$)
枯萎病生理 小种 4 Fusarium wilt 4	WIS2757	30	-	-		
	Jinyan No.2	-	-	30		
	F ₁	30	-	-		
	F ₂	31	49	18	1 : 2 : 1	3.45
黑星病 Cucumber scab	WIS2757	30	-	-		
	Jinyan No.2	-	-	30		
	F ₁	30	-	-		
	F ₂	23	53	22	1 : 2 : 1	0.67

表 3 WIS2757 对枯萎病生理小种 4 和黑星病两种病害抗性基因的连锁分析

Table 3 The linkage analysis of the resistance genes to Fusarium wilt race 4 and cucumber scab in WIS2757

基因型 Genotype	A_B_	A_bb	aa B_	aa bb	理论比例 Expected ratio	χ^2 ($\chi^2_{0.01,3}=11.35$)
	72	8	4	14	9 : 3 : 3 : 1	32.41

A_: 抗枯萎病生理小种 4; aa: 感枯萎病生理小种 4。B_: 抗黑星病; bb: 感黑星病

A_: Resistance to Fusarium wilt race 4; aa : Susceptible to Fusarium wilt race 4; B_: Resistance to cucumber scab; bb: Susceptible to cucumber scab

生理小种, 中国黄瓜枯萎病经鉴定为生理小种 4。由于采用的抗病材料不同, 抗病遗传呈现多样性。既有显性单基因、寡基因抗性, 又有多基因抗性。欧美的黄瓜以单基因抗性为主; 中国黄瓜抗病性呈现多基因遗传的特点, 且主效基因为显性。黄瓜对黑星病的抗性相当稳定, 有的品种保持抗性长达 30 年之久。目前未发现黑星病菌生理小种有分化, 已有研究认为中国黑星病菌与国外的报道是一致的^[27]。本研究对黄瓜抗源 WIS2757 的 F₃ 株系分别接种枯萎病生理小种 4 和黑星病, 其结果表明, 该抗源对黄瓜枯萎病生理小种 4 和黑星病的抗性均符合显性单基因抗性遗传模式。

Vakalounakis^[22]曾对黄瓜枯萎病生理小种 1 和黑星病的抗病基因进行了连锁遗传分析, 其研究结果表明黄瓜枯萎病生理小种 1 和黑星病的抗病基因完全连锁。本文的研究结果表明 WIS2757 对中国流行的黄瓜枯萎病生理小种 4 和黑星病的抗病基因虽然也是连锁的, 但遗传距离较大, 达 17.5 cM。其原因可能是所使用的抗源材料和黄瓜枯萎病生理小种不同。

3.3 关于根据 F₃ 株系表现型推断 F₂ 群体基因型, 进行连锁分析的问题

F₁ 与双隐性亲本回交所得到的测验杂交组合通常是检测是否存在连锁和估算重组率的好材料。其它分

离世代如 F₂、F₃ 等亦可作为检测连锁的材料, 但所估算的重组率不如测验杂交组合的估算值精确。由于技术上的原因, 目前无法对 F₂ 或测验杂交组合单株同时接种两种病害, 仅能用 F₃ 株系或 BC₁F₂ 材料取代。由于工作量比较大, 故本试验仅以 F₃ 株系为材料, 分别接种枯萎病和黑星病, 根据 F₃ 株系的表现推断其对应的 F₂ 代单株的抗、感基因型, 再采用 JoinMap3.0 软件, 进行黄瓜枯萎病和黑星病两个抗性基因之间的连锁遗传分析。采用 F₃ 株系作试验材料的好处是, 可以根据各株系的表现型来推断 F₂ 各对应单株的基因型, 能区分纯合抗性和杂合抗性, 但是另一方面, 在产生 F₃ 株系的繁殖过程中, 经过了两次减数分裂, 也就是发生了两次交换。因此, 所估算的交换值, 要大于实际交换值。

3.4 黄瓜抗源 WIS2757 的在黄瓜抗枯萎病和黑星病遗传育种中的应用

本试验结果表明, WIS2757 对枯萎病生理小种 4 和黑星病抗性之间存在连锁关系, 据此, 以 WIS2757 为抗病基因供体亲本的低世代的分离材料, 可以只进行黑星病的抗性选择, 在充分估计重组的可能性的前提下, 选留足够的抗黑星病的优良株系, 供下一代选择; 进入高世代后, 再对两种病害进行鉴定, 以确认兼抗两种病害的优良自交系。这样, 既可解决难以对

同一单株同时进行两种病害鉴定的难题, 又可显著地减化育种程序, 减轻工作量。

中国华北露地型和华北温室型黄瓜品种普遍缺乏对黑星病和枯萎病的高水平抗性。WIS2757 兼抗黄瓜枯萎病生理小种 4 和黑星病。因此, 本课题已将其作为两种抗病基因的供体, 拟通过饱和回交, 将中国华北露地型和华北温室型的优良自交系转育成高抗上述两种病害的近等位基因系。该项研究工作已进入高回交世代的选择阶段。

4 结论

4.1 黄瓜品系 WIS2757 抗中国黄瓜枯萎病生理小种 4 和黄瓜黑星病。

4.2 黄瓜品系 WIS2757 对中国黄瓜枯萎病生理小种 4 和黄瓜黑星病两种病害的抗性均为显性单基因遗传。

4.3 黄瓜品系 WIS2757 对中国黄瓜枯萎病生理小种 4 和黄瓜黑星病间存在连锁遗传关系, 遗传距离为 17.5 cM。

References

- [1] 侯安福, 尹彦. 黄瓜枯萎病抗性遗传规律的研究. 中国主要蔬菜抗病育种进展. 北京: 科学出版社, 1995: 439-444.
Hou A F, Yin Y. Research on genetic law of the resistance to *Fusarium* wilt in cucumber. In: *Advances in Major Vegetable Disease Resistance Breeding*. Beijing: China Agricultural Press, 1995: 439-444. (in Chinese)
- [2] 黄仲生, 杨玉茹, 朱晓丹. 中国黄瓜枯萎病菌生理小种鉴定及防治. 华北农学报, 1994, 9(4): 81-86.
Huang Z S, Yang Y R, Zhu X D. Identification of *Fusarium* wilt race and its control in cucumber. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1994, 9(4): 81-86. (in Chinese)
- [3] 徐建华, 利容千, 王建波. 黄瓜不同抗病品种感染镰刀菌枯萎病菌后几种酶活性的变化. 植物病理学报, 1995, 25(3): 239-242.
Xu J H, Li R Q, Wang J B. Changes of a few enzymes activity infected by *Fusarium* wilt in different cucumber varieties. *Acta Phytopathologica Sinica*, 1995, 25(3): 239-242. (in Chinese)
- [4] 史娟, 邱艳, 王红玲, 王华荣, 宋金秀. 黄瓜几丁酶活性与其对枯萎病抗性的关系. 宁夏农学院学报, 2001, 22(4): 4-5.
Shi J, Qu Y, Wang H L, Wang H R, Song J X. Relationship between chitinase activity and disease resistance to *Fusarium* wilt in cucumber. *Journal of Ningxia Agricultural College*, 2001, 22(4): 4-5. (in Chinese)
- [5] 徐建华, 王建波, 利容千. 黄瓜感染枯萎病后病理组织学的研究. 植物病理学报, 1997, 27(4): 349-352.
Xu J H, Wang J B, Li R Q. Study on pathological histology infected by *Fusarium* wilt in cucumber. *Acta Phytopathologica Sinica*, 1997, 27(4): 349-352. (in Chinese)
- [6] 陈珉, 汪国平, 吴定华, 程玉瑾. 黄瓜枯萎病抗、感品种在病菌入侵后的病理组织学差异研究. 华南农业大学学报, 2003, 24(4): 110-112.
Cheng M, Wang G P, Wu D H, Cheng Y J. Study on difference of pathological histology between cucumber resistance and susceptible variety infected by *Fusarium* wilt. *Journal of South China Agricultural University*, 2003, 24(4): 110-112. (in Chinese)
- [7] Owen J H. *Fusarium* wilt of cucumber. *Phytopathology*, 1955(45): 435-439.
- [8] Owen J H. Cucumber wilt, Caused by *Fusarium oxysporum* f. *cucumerinum* N F. *Phytopathology*, 1956, (46): 153-157.
- [9] Armstrong G M, Armstrong J K, Netzer D. Pathogenic races of the cucumber-*Fusarium* wilt. *Plant Disease Report*, 1978(62): 824-828.
- [10] 翁祖信, 蒋兴祥, 肖小文. 黄瓜枯萎病抗病性鉴定方法研究—胚根接种法. 中国蔬菜, 1985, 2: 30-33.
Weng Z X, Jiang X X, Xiao X W. Study on identification method of resistance to *Fusarium* wilt in cucumber—Radicle inoculation method. *China Vegetables*, 1985, 2: 30-33. (in Chinese)
- [11] Netzer D S, Niegro, Galun F. A dominant gene conferring resistance to *Fusarium* wilt in cucumber. *Phytopathology*, 1977, 67: 525-527.
- [12] Vakalounakis D J. Inheritance and linkage of resistance in cucumber line SMR-18 to races 1 and 2 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*. *Plant Pathology*, 1995, 44: 169-172.
- [13] Toshimitsu Y, Noguchi T. Inheritance of resistance to *Fusarium* wilt in cucumber. *Proceedings of the Meeting of the Japanese Horticultural Society*, 1975, 150-151. (in Japanese)
- [14] 许勇, 朱其杰. 黄瓜黑星病抗病性离体子叶接种鉴定方法. 北京农业大学学报, 1994, 1: 30-34.
Xu Y, Zhu Q J. Resistance identification method on scab resistance by inoculation excised cotyledon in cucumber. *Journal of China Agricultural University*, 1994, 1: 30-34. (in Chinese)
- [15] 李宝栋, 冯东昕. 黄瓜品种抗黑星病筛选初报. 植物保护, 1994, (1): 20-23.
Li B D, Feng D X. Primary resistance screening report to scab in cucumber varieties. *Plant Protection*, 1994, (1): 20-23. (in Chinese)
- [16] 李保聚, 李凤云, 苗则彦, 王克, 郝晓莉. 黄瓜黑星病菌致病性研究. 辽宁农业科学, 1997, (5): 21-23.
Li B J, Li F Y, Miao Z Y, Wang K, Hao X L. Study on pathogenicity of

- scab pathogen in cucumber. *Liaoning Agricultural Sciences*, 1997, (5): 21-23. (in Chinese)
- [17] 李宝聚, 周长力, 赵奎华, 李风云, 黄国坤. 黄瓜黑星病菌致病机理的研究III. 植物病理学报, 2001, 31(1): 62-69. (in Chinese)
- Li B J, Zhou C L, Zhao K H, LI F Y, Hong G K. Pathogenic mechanism of scab of cucumber caused by *Cladosporium cucumerinum* III. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2001, 31(1): 62-69. (in Chinese)
- [18] 李风云, 李保聚, 苗则彦, 董宝英, 王 英, 王金香, 刘春涛. 黄瓜黑星病防治技术研究. 辽宁农业科学, 1998, (1): 8-10.
- Li F Y, Li B J, Miao Z Y, Dong B Y, Wang Y, Wang J X, Liu C T. Study on control technic to scab in cucumber. *Liaoning Agricultural Sciences*, 1998, (1): 8-10. (in Chinese)
- [19] Andeweg J M. The breeding of scab-resistant frame cucumbers in the Netherlands. *Euphytica*, 1956, 5: 185-195.
- [20] Abul-Hayja Z, Williams P H, Whelan E D P. Independence of scab and bacterial wilt resistance and ten seedling markers in cucumber. *Hortscience*, 1975, 10: 423-424.
- [21] Xie J H, Wehner T C. Gene list 2001 for cucumber. *Cucurbit Genetics Cooperative Report*, 2001, 24: 110-136.
- [22] Vakalounakis D J. Inheritance and genetic linkage of *Fusarium* wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* race 1) and scab (*Cladosporium cucumerium*) resistance genes in cucumber (*Cucumis sativus*). *Annals of Applied Biology*, 1993, 123: 359-365.
- [23] 翁祖信, 蒋兴祥, 冯东昕. 黄瓜病原及抗病性鉴定. 中国主要蔬菜抗病育种进展. 北京: 科学出版社, 1995: 378-380.
- Weng Z X, Jiang X X, Feng D X. Cucumber pathogen and disease resistance identification. In: *Advances in Major Vegetable Disease Resistance Breeding*. Beijing: China Agricultural Press, 1995: 378-380. (in Chinese)
- [24] Martyn R D. An aggressive race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* new to the United States. *Plant Disease*, 1985, 69: 1007.
- [25] 西南农业大学. 蔬菜研究法. 河南: 河南科学技术出版社, 1989: 52-54.
- Southwest Agricultural University. *Vegetable Research Method*. Henan: Henan Science Technology Press in China, 1989: 52-54. (in Chinese)
- [26] Van Ooijen J W, Voorrips R E. JoinMap3.0, Software for the calculation of genetic linkage maps. Plant Research International, Wageningen, the Netherlands, 2001.
- [27] 许 勇, 周 强. 黄瓜黑星病的研究. 中国蔬菜, 1994, (6): 54-57.
- Xu Y, Zhu Q. Study on cucumber scab. *China Vegetables*, 1994, (6): 54-57. (in Chinese)

(责任编辑 赵利辉, 毕京翠)