

甜瓜果实中乙烯生产量及一些相关性状的遗传分析

刘莉¹, 柿原文香², 加藤正弘²

(1. 天津大学 农业与生物工程学院, 天津 300072; 2. 爱媛大学 农学部, 日本 松山 790-8566)

摘要:为改进甜瓜货架期, 利用成熟果实乙烯释放量及变化速率存在显著差异的3个甜瓜变种为亲本, 配制了皇后×9-8(非跃变类型材料间)和皇后×Charentais(非跃变类型与跃变类型材料间)两个组合, 对各组合F₁, F₂及回交世代BC果实中乙烯的生成变化及果实脱落性、外果皮迅速黄化等相关性状的遗传变化进行了分析。结果表明, 甜瓜果实中乙烯生成量为不完全显性遗传, 受两对以上基因控制。在皇后×Charentais组合的F₁中, 内源乙烯含量在采收1d后表现出急剧升高, 同时伴随着外果皮迅速黄化及果柄脱落的发生, 根据这些性状在F₂及分别与父母本回交世代中的不同分离比率指出, 乙烯的跃变类型、外果皮迅速黄化及果柄脱落在甜瓜果实中为显性遗传。

关键词: *Cucumis melo* L.; 变种; 货架期; 乙烯; 呼吸跃变; 遗传分析

中图分类号: S652.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2005)03-0025-05

Inheritance Analysis of Ethylene and Related Fruit Characters in *Cucumis melo* L.

LIU Li¹, KAKIHARA Fumika², KATO Masahiro²

(1. College of Agricultural and Bioengineering, Tianjin University 300072, China;

2. Plant Breeding Laboratory, Faculty of Agriculture, Ehime University, Matsuyama, 790-8566, Japan)

Abstract: For improving the shelf-life of melon fruit, the experiment was conducted to evaluate the inheritances of ethylene production, abscission of peduncle and rapid yellowing of epidermis in melons. Queen × 9-8 (within non-climacteric melons) and Queen × Charentais (among non-climacteric and climacteric melons) including their F₁, F₂ and BC generations were obtained from these three varieties with contrasting ethylene production and rate of change. Results showed that inheritance of ethylene production in melon was of incomplete dominance mode, and controlled by more than two genes. Internal ethylene concentration in F₁ generation of Queen × Charentais displayed a great rise at one day after harvest and companied with abscission of peduncle and rapid yellowing of epidermis. The different segregation ratios in F₂ and BC generations suggested that the inheritances of these characters were of dominance mode. Shelf-life of melons can be improved by back-crossing with low ethylene parent at early stages.

Key words: *Cucumis melo* L.; Varieties; Shelf life; Ethylene; Climacteric; Inheritance

甜瓜(*Cucumis melo* L.)作为一种重要的水果, 对于其商品性状, 不仅要求外观漂亮、品质好, 货架期较长也已成为现代新品种不可缺少的一个重要目标。甜瓜是甜瓜属中变异最大的一个种, 不同变种间不仅在形态学上, 而且在生理生化包括贮藏性上都存在着丰富的遗传变异^[1,2]。*C. melo* var. *reticulatus* 和 *C. melo* var. *cantalupensis* 是日本和欧美

市场商品生产中的主要类型, 但这两个变种的贮藏性较差, 采后损失严重, 为此, 众多研究者对影响贮藏性状的最重要因素——内源乙烯的变化规律进行了大量的研究^[3~9]。证实了乙烯释放量及变化速率在甜瓜不同变种之间存在着显著的差异, 大部分

收稿日期: 2004-11-6

基金项目: 日本爱媛大学基金; 天津大学青年基金(5110102)

作者简介: 刘莉(1963-), 女, 重庆人, 讲师, 博士, 主要从事蔬菜及瓜类种质资源及育种研究工作。

C. melo var. *cantalupensis* 的品种在成熟前后很短的时间内乙烯释放量会发生剧烈的变化,同时伴随着果皮迅速黄化和果实脱落^[4,7]。原产于新疆的哈密瓜(*C. melo* var. *saccharinus*) 在果实发育及贮藏期间的乙烯生成变化曲线及其他相关性状显著不同于前面两个变种,具有很好的贮藏性,被认为是改进甜瓜货架期的一个重要资源^[7,8]。本试验对这 3 个变种之间杂交及回交后代的乙烯生成、果实脱落性、外果皮黄化速度等相关性状的遗传表现进行了分析,并通过对后代的选择以改进 *reticulatus* 和 *cantalupensis* 两个变种类型的贮藏性。

表 1 试验材料及其特征

Tab. 1 Materials and their main characters

世代 Generation	变种 <i>C. melo</i> L. var.	货架期 (d) Shelf-life	样本数 No. of individuals	成熟期 (d) Maturity	果实质量 (g) Fruit mass	网纹程度 Netting degree	果皮色 Rind color	果型指数 Fruit shape	含糖量 (%) Brix value
皇后 Queen	<i>saccharinus</i> Naud	24~ 37	9	51.2±2.2	2 064±380	2.0	浓绿黄	2.0	14.8±1.4
9- 8	<i>reticulatus</i> Naud	8~ 14	8	46.0±1.5	1 178±203	3.9	灰黄绿	1.0	13.7±1.3
Charentais	<i>cantalupensis</i> Naud	2~ 5	8	30.3±1.0	1 128±237	0.0	灰黄绿	1.0	11.2±1.7
皇后×9- 8 Queen×9- 8									
F ₁			10	49.2±1.6	2 374±496	3.4	中黄绿	1.5	13.2±2.2
F ₂			43	47.5±4.7	2 004±612	2.7	杂合	1.4	12.5±2.0
F ₁ ×皇后 F ₁ ×Queen			19	47.6±2.3	1 930±419	1.7	杂合	1.7	11.7±2.2
F ₁ ×9- 8			19	44.9±1.9	1 745±279	3.6	灰黄绿	1.1	12.9±1.8
皇后×Charentais Queen×Charentais									
F ₁			10	33.8±1.0	2 050±225	1.5	黄绿	1.5	11.9±2.0
F ₂			42	33.3±6.9	1 617±495	0.7	杂合	1.4	10.3±2.1
F ₁ ×皇后 F ₁ ×Queen			18	38.6±7.1	1 566±498	0.9	杂合	1.8	10.4±3.1
F ₁ ×Charentais			19	33.3±1.8	1 455±286	0.8	灰黄绿	1.2	10.6±1.8

3 个供试材料为亲本配制两个组合:皇后×9-8、皇后×Charentais, F₁ 分别与各自父母本回交(表 1)。所有材料于 2003 年 5 月播种在日本爱媛大学农学部的温室中,箱式立体搭架栽培,人工授粉标记开花期,每株仅留一个果实。达到园艺成熟期的果实于每天 7:00 采收,放置在室内 25℃条件下,记载可贮藏天数,并分析测定相关性状。

1.2 相关性状的调查

成熟期:为开花至成熟的天数。网纹程度:0 级= 光皮;1 级= 网纹稀少;2 级= 部分网纹;3 级= 全网纹;4 级= 粗密网纹。果柄脱落程度:0 级= 不脱落;3 级= 半脱落;5 级= 脱落。果皮色根据《日本园艺植物标准色》来测定。外果皮的迅速黄化分为不发生和发生。

1.3 乙烯的测定

本试验中用了 2 个指标值来表示甜瓜果实中乙烯生成量,即果实子房内部乙烯含量和果肉的乙烯

1 材料和方法

1.1 材料

供试材料为哈密瓜类型皇后、日本网纹甜瓜类型 9- 8 和欧洲类型的 Charentais。这 3 个品种果实的内源乙烯变化存在着极大的差异:皇后的果实成熟时乙烯释放量极低,且变化速率极缓慢;Charentais 是典型的呼吸跃变类型,成熟后约 48 h 内源乙烯含量可增加 100 倍左右;9- 8 为高代自交系,乙烯的释放量及变化速率远低于 Charentais,却又明显高于皇后^[7,8]。

释放速率。用带有 10 cm 长针头的注射器抽取甜瓜果实子房内部气体样本 1 mL,以分析内源乙烯浓度(μL/L)。同时从果实中部切取 100 g 果肉,密封于 1 L 大小的塑料容器中,在 25℃下放置 24 h 后,抽取容器顶部气体样本,测定乙烯浓度,并计算乙烯释放速率(nmol/(g·d))。用 Yanaco G2800-F 型气相色谱仪来分析抽取的气体样本。分别测定了采收当日(0DAH)和 1 d 后(1DAH)果实的内源乙烯浓度,以观察不同材料采收后乙烯的变化率。

2 结果与分析

2.1 不同组合不同世代中乙烯生成量的表现

虽然乙烯生成量是随着果实的生长发育而不断地变化着,但 1999,2001 和 2002 年 3 年测定的结果表明,3 个供试品种在达到园艺成熟阶段时内源乙烯含量及乙烯释放速率在年度间均呈现出相同而稳定的变化趋势^[7,8]。证实我们的取样时机把握准

确,不同亲本遗传型在这一时期的乙烯生成量存在着真实稳定的差异。

各世代中乙烯生成量的变化见表 2。表现较为特殊的是皇后×9-8 组合,其 F₁ 世代的内源乙烯含量仅为 0.02 μL/L,甚至低于低亲本(皇后)平均

值(0.22 μL/L),并且在 F₂ 及 F₁×皇后的回交世代果实中也有一半以上个体的内源乙烯含量在 0.10 μL/L 以下(图 1)。由于本试验中组合数较少,该现象是否是皇后和 9-8 这 2 个乙烯非跃变类型材料的特殊配合力的具体表现,有待于进一步的研究。

表 2 2 个组合各世代乙烯生成量及变化表现

世代 Generation	内源乙烯含量(μL/L) Internal ethylene concentration				乙烯释放速率 Ethylene production rate		
	0 DAH	中亲值 Mid- parents	1DAH	变化率(%) Change rate	(nmol/(g·d))	中亲值 Mid- parents	
皇后 Queen	0.22±0.19	ab	0.20±0.15	-9.1	0.88±0.53	a	-
9-8	1.96±2.49	c	2.81±2.08	43.4	10.28±5.12	c	-
Charentais	68.46±32.16	c	117.24±34.31	71.3	92.07±24.42	c	-
皇后×9-8 Queen×9-8							
F ₁	0.02±0.02	a	0.01±0.01	-50.0	1.92±0.89	ab	5.58
F ₂	0.85±2.40	-	0.96±2.86	12.9	3.55±4.27	-	-
F ₁ ×皇后 F ₁ ×Queen	0.20±0.27	-	0.20±0.27	-3.2	1.40±1.20	-	-
F ₁ ×9-8	1.99±3.41	-	2.68±3.95	34.7	8.56±5.49	-	-
皇后×Charentais Queen×Charentais							
F ₁	12.56±15.20	ab	21.47±21.67	70.9	29.79±11.58	b	46.48
F ₂	26.84±29.06	-	30.50±28.32	13.6	33.23±18.64	-	-
F ₁ ×皇后 F ₁ ×Queen	5.13±12.85	-	5.26±11.19	2.5	6.88±12.32	-	-
F ₁ ×Charentais	32.95±30.80	-	56.27±31.86	70.8	50.11±14.50	-	-

注:数值后不同字母为在 0.05 水平上的邓肯氏多重比较
Note: Separation of values within columns by Duncan's multiple range test at p= 0.05

皇后与呼吸跃变类型的 Charentais 杂交后,各世代乙烯生成量远远高于皇后与 9-8 杂交的果实。在这 2 个组合的 F₁ 果实中,乙烯释放速率均介于双亲之间,低于中亲值,并与父本有显著差异;皇后×Charentais 的内源乙烯含量也表现出相同的趋势。因此,可以认为乙烯生成量在甜瓜果实中是不完全显性遗传的。

在 F₂ 中乙烯生成量出现了明显的分离,且群体平均值高于对应 F₁ 的值,但低于中亲值。除了内源乙烯含量在皇后×9-8 的 F₂ 群体中表现出不同的分布状态外,其他的都表现出一定的规律性,即皇后×Charentais F₂ 的内源乙烯含量(图 1)、两个组合 F₂ 的乙烯释放速率(图 2)均表现出双峰分布。这种双峰分布预示了甜瓜果实中乙烯生成量是由 2 对以上基因控制的。

同样,除了(皇后×9-8)×皇后外,这两个组合的 F₁ 与低亲本皇后的回交,可明显降低后代中乙烯生成量;而与高亲本(9-8 和 Charentais)的回交,使得乙烯生成量分别高于各自的 F₁。这表明在早期世代通过与低亲本的回交,可以有效地降低后代果实中乙烯生成量,从而改善果实的贮藏性。

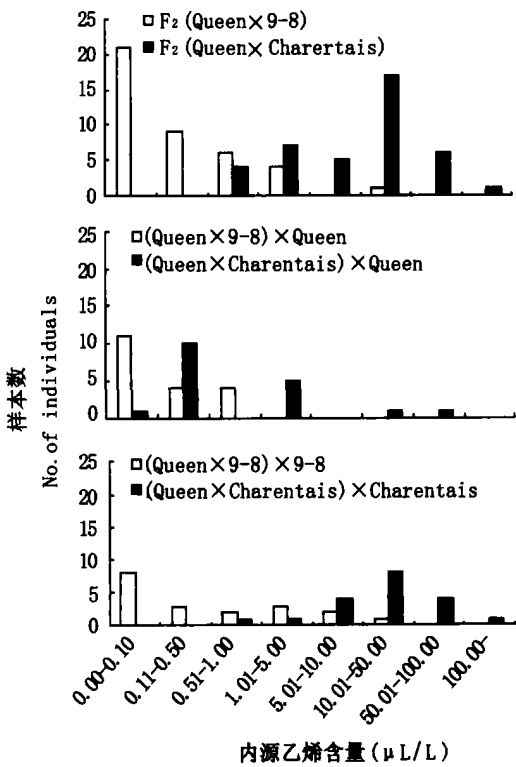


图 1 不同组合不同世代的内源乙烯含量的个体分布
Fig. 1 Frequency distribution of internal ethylene concentration for each generations of two hybrids.

2.2 不同组合不同世代的果实采收后内源乙烯的变化率

一般果实在采收后,内源乙烯含量在短时间内会有所升高,但变化程度因甜瓜类型的不同而异^[7]:来自于 var. *cantalupensis* 的 Charentais 采收后内源乙烯含量迅速升高,在 1~2 d 内达到高峰后又急剧下降;而哈密瓜类型的皇后乙烯变化极其缓慢,甚至在采收后第 2 d 内源乙烯含量还会略有下降,随后再缓慢上升;var. *reticulatus* 的 9-8 虽然在采收前后乙烯含量有所升高,但并未表现出呼吸跃变。

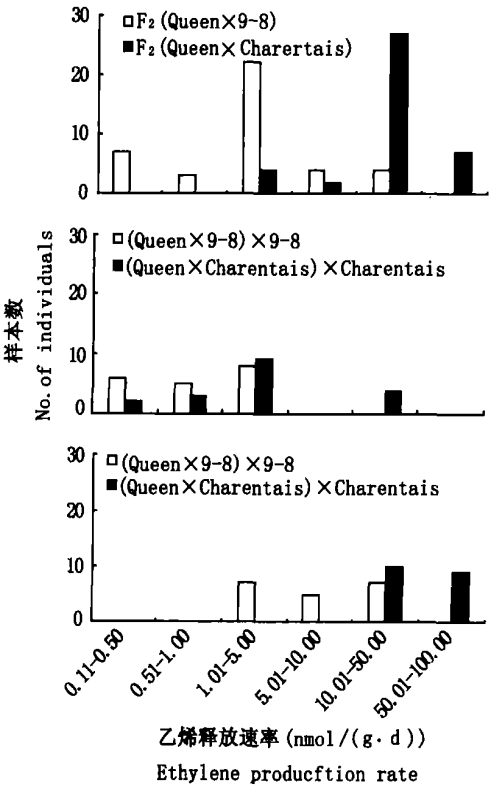


图 2 不同组合不同世代的乙烯释放速率的个体分布
Fig. 2 Frequency distribution of ethylene production rate for each generations of two hybrids

乙烯在采收后 0~1 d 内的变化程度也体现了品种间的遗传差异。从表 2 可以看出,皇后×9-8 组合为两个非跃变类型材料之间的杂交,其 F₁ 的乙烯含量略有降低或不变,由于本身含量极低,使得变化率值偏高达-50.0%,实际变化量仅为 0.01~0.03 μL/L。F₁×皇后的回交世代乙烯变化趋势与皇后表现一样,变化率为-3.2%;F₁×9-8 的回交世代则与 9-8 的变化趋势相同;F₂ 的果实中乙烯变化趋势表现出分离,平均升高了 0.11 μL/L,变化率 12.9%。而在皇后×Charentais 即乙烯非跃变类型和跃变类型之间的杂交组合中,虽然 F₁ 果实中乙

烯水平比 Charentais 降低许多,但在采收 1 d 后却表现出与 Charentais 相同幅度的急剧升高,达 70% 左右,同时伴随着外果皮迅速黄化及果柄脱落的发生;在 F₂ 中出现分离,大部分果实表现出跃变类型,一部分表现出微量变化,少数个体与皇后的趋势相同,采收 1 d 后内源乙烯含量平均升高了 13.6%;F₁×Charentais 世代的绝大部分个体表现出轮回亲本 Charentais 的性状;而 F₁×皇后世代受回交亲本皇后的影响,大部分果实内源乙烯没有变化或变化很小,平均变化率仅 3.1%。这个结果显示出乙烯的跃变类型在甜瓜果实中为显性遗传。

表 3 皇后×Charentais 果皮迅速黄化及果柄脱落的遗传表现

Tab. 3 Inheritance of rapid yellowing of epidermis and abscission of peduncle in Queen×Charentais			
世代 Generation	样本数 No. of individuals	外果皮的迅速黄化 Rapid yellowing of epidermis	果柄脱落 Abscission of peduncle
		不发生:发生 Non happened: Happened	不脱落:半脱落:脱落 Non slip: Half-slip: Slip
皇后 Queen	9	9:0	9:0:0
Charentais	8	0:9	0:0:9
F ₁	10	0:9	0:7:3
F ₂	42	15:27	14:12:15
F ₁ ×Queen	18	16:2	15:1:2
F ₁ ×Charentais	19	7:12	5:6:8

2.3 甜瓜果皮迅速黄化和果柄脱落的遗传表现

外果皮的迅速黄化和成熟时果柄的脱落是衡量果实贮藏性的一个重要指标^[1],对其遗传规律的报道却较少。在本试验中我们初步观察了皇后×Charentais 组合不同世代中这两个性状的遗传表现,结果见表 3。F₁ 的果实基本表现为 Charentais 的形状:外果皮在 2~4 d 内迅速黄化,由灰黄绿变为灰黄或灰桔黄,果柄基部的脱落层也在这时出现,导致果实的商品性迅速下降。可以认为这两个性状与成熟时内源乙烯的跃变是紧密联系的,表现为显性遗传。在 F₂ 外果皮迅速黄化分离表现为 15 不发生:27 发生,F₁×皇后中表现为 16 不发生:2 发生,F₁×Charentais 为 7 不发生:12 发生。在 F₁ 部分果实的脱落速度要略慢于 Charentais,脱落程度被分为 3 个等级,在 F₂ 及回交种中都出现了不同比例的这种个体。

3 讨论

甜瓜在达到园艺成熟时,果实中乙烯的水平 and

是否发生跃变有着明显的关系。Pratt 等^[10]曾指出, 只有当内源乙烯浓度达到 $(3.0 \pm 1.0) \mu\text{L/L}$ 时, 甜瓜果实才会发生乙烯的跃变, 而低于 $1.5 \mu\text{L/L}$ 的果实则不会发生这种跃变。在以前的研究中认为皇后、Honey Dew 及日本网纹甜瓜 9-8 的成熟行为是非呼吸跃变类型^[2,3,8]。如果用这个标准来衡量这两组材料的话, 无疑皇后 \times Charentais 的 F_1 表现为跃变类型, 其 F_2 的多数个体和以跃变类型为亲本回交后代的绝大部分个体也表现出乙烯跃变趋势, 凡是乙烯含量水平高的个体在采收后的 1 d 内均表现出较大的变化率。伴随着这个趋势, 果实表现出果柄脱落和外果皮的迅速黄化。在今后的试验中有必要扩大样本群体, 增加采收后的乙烯取样测定次数及对货架期的观察, 以更进一步地分析乙烯跃变、果柄脱落和外果皮迅速黄化这些性状的遗传模式。

甜瓜果实中乙烯的生成量水平受两对以上基因控制的不完全显性遗传, 且受环境因素影响较大。当用乙烯含量极低的哈密瓜类型材料作亲本及轮回亲本时, 可有效地选育出低乙烯水平的 F_1 杂交种及品系。

参考文献:

- [1] Liu L, Kakihara F, Kato M. Characterization of six varieties of *Cucumis melo* L. based on morphological and physiological characters, including shelf-life of fruit[J]. Euphytica, 2004, 135: 305- 313.
- [2] Miccolis V, Saltveit M E Jr. Morphological and physiological changes during fruit growth and maturation of sev-

en melon cultivars[J]. J Amer Soc Hort Sci, 1991, 116: 1025- 1029.

- [3] Shiomi S, Yamamoto M, Nakamura R, *et al.* Expression of ACC oxidase genes in melon harvested at different stages of maturity[J]. J Japan Soc Hort Sci, 1999, 68: 10- 17.
- [4] Hadfield K A, Rose J K C, Bennett A B. The respiratory climacteric is present in Charentais (*Cucumis melo* cv. Reticulatus F_1 A1pha) melons ripened on or off the plant[J]. J Exp Bot, 1995, 46: 1923- 1925.
- [5] Kitamura T, Umemoto, Iwata T, *et al.* Studies on the storage of melon fruits. II. Changes of respiration and ethylene production during ripening with reference to cultivars[J]. J Japan Soc Hort Sci, 1975, 44: 197- 203.
- [6] Lester G. Comparisons of 'Honey Dew' and netted muskmelon fruit tissues in relation to storage life[J]. HortScience, 1988, 23: 180- 182.
- [7] Liu L, Kakihara F, Kato M. Ethylene changes during development and ripening of fruit with reference to variety of *Cucumis melo* L[J]. Breeding Science, 2004, 54: 297- 300.
- [8] 刘 莉, 柿原文香, 加藤正弘. 来自甜瓜属(*Cucumis melo* L.) 6 个变种部分品种货架期差异比较[J]. 园艺学报, 2004, 31 (6): 817- 819.
- [9] Kendall S A, Ng T J. Genetic variation of ethylene production in harvested muskmelon fruits[J]. HortScience, 1988, 23: 759- 761.
- [10] Pratt H K, Goeschl J D, Martin F W. Fruit growth and development, ripening and role of ethylene in the 'Honey Dew' muskmelon[J]. J Amer Soc Hort Sci, 1977, 102: 203- 210.