

小型西瓜裂果相关性状遗传分析及相关性研究

高美玲¹, 李佳益¹, 于长宝¹, 魏晓明²

(1. 齐齐哈尔大学 生命科学与农林学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006; 2. 齐齐哈尔市园艺所, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘 要:以裂果性状差异显著的 2 个小型西瓜材料为亲本, 对果实切裂应度、果形指数、果皮厚度及果皮硬度等 4 个性状进行了遗传相关性分析, 以掌握裂果性状的变化特点及相互关系, 其中以果实切裂应度为判断西瓜易裂与抗裂的主要性状。结果表明: 裂果性状的变异系数范围在 0.125~0.814, 果实切裂应度的变异系数最大, 果皮硬度变异系数最小; 果形指数、果皮厚度和果皮硬度都是呈连续变异的数量性状; 而果实切裂应度满足孟德尔分离定律特征, 属于质量性状; 相关性分析表明, 4 个性状中果实切裂应度与果皮厚度呈极显著负相关。

关键词:小型西瓜; 裂果; 遗传分析; 相关分析

中图分类号:S 651.603.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)17-0001-04

西瓜(*Citrullus lanatus*)属葫芦科(Cucurbitaceae)西瓜属(*Citrullus*)一年生或多年生蔓生草本植物, 是世界第五大水果, 居葡萄、香蕉、柑橘和苹果之后, 是一种重要的经济作物^[1-2]。中国是世界上最大的西瓜产地, 西瓜栽培面积和年产量占世界西瓜栽培面积及总产量的 60%, 居世界首位。在生产中, 西瓜裂果产生伤口, 导致病害的加剧, 严重降低了果实的商品性, 从而影响经济效益, 裂果成为限制西瓜产业发展的重要因素之一^[3]。国内外学者针对裂果问题从多个方面进行了广泛研究, 取得了大量成果。研究显示大量裂果时期都普遍集中于果实转色期或果实迅速膨大期^[4]。许晓婷等^[5]研究认为, 西瓜果实切裂应度与可溶性固形物含量、外果皮绿皮层厚度呈正相关关系; 与果形指数、果皮厚度呈负相关关系。江海坤等^[6]研究认为, 裂果率与外果皮木质化程度、边糖含量、果实裂硬度呈正相关, 与果皮硬度、果瓢硬度、果皮厚度、果形指数等呈负显著相关。关于西瓜果实裂果的研究报道较少, 有关西瓜裂果的发生机理和遗传机制有待进一步研究, 从细胞结构、理化机理、遗传机理等多方面探求西瓜裂果机制, 可以为培育优秀抗裂品种提供多方面技术支持^[7]。

小型礼品西瓜果实易裂, 研究其裂果的遗传机制、选育抗裂品种是从根本上解决裂果问题、减少经济损

失、促进西瓜产业发展最有效手段^[8]。该试验对 4 个小型西瓜的裂果相关性状进行了遗传分析和相关性研究, 以期为培育小型西瓜优质品种提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以抗裂性极强、长果型、果皮较厚、代号为‘K₂’的品种作为母本, 选用较为易裂、圆果型、果皮较薄、代号为‘L₁’的品种作为父本, 双亲本均经选择纯化获得, 且田间裂果性状差异较为明显。材料 P₁ 和 P₂ 由齐齐哈尔市园艺所魏晓明老师提供。2 个亲本杂交获得 F₁ 代, F₁ 代严格自交获得 F₂ 代, F₁ 代与母本回交记为 BCP₁, 与父本回交记为 BCP₂。以 P₁、P₂、F₁、F₂、BCP₁ 和 BCP₂ 6 个世代作为供试材料。

1.2 试验方法

田间试验于 2013 年春季进行, 播种双亲本、子一代各 30 株于齐齐哈尔园艺所温室大棚中。F₁ 代严格自交获得子二代(F₂)种子, F₁ 代与双亲本杂交获得回交种子。2014 年春季 F₂ 代随机定植 125 株, 回交群体各随机定植 30 株。采用地膜覆盖立架栽培, 单蔓整枝, 生长期采取常规的水肥管理。花期时逐一对各群体材料进行授粉, 保证坐果率。

1.3 项目测定

授粉后 28 d 调查成熟果实田间性状。果实切裂应度: 将刀轻放在果实中央方向为垂直于果柄, 单手持刀, 另一只手均匀用力按于刀背, 刀刃入果实 1 cm 处, 测量此时裂口长度和横向周长, 二者比值为果实切裂应度, 即“果实切裂应度=切裂口长度/横向周长”。果形指数: 指果实纵径与横径的比值^[9-11]。果皮厚度(cm): 用

第一作者简介:高美玲(1978-), 女, 内蒙古达拉特旗人, 博士, 副教授, 现主要从事西瓜甜瓜遗传育种及生物技术等研究工作。E-mail: gaomeiling0539@163.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31401891); 黑龙江省自然科学基金资助项目(C201330)。

收稿日期:2016-04-15

游标卡尺测量除去果肉后不同部位的白果皮和绿果皮之和,3次重复,取平均值。果皮硬度($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$):使用按压式硬度计在成熟果实中间部位测得硬度,3次重复,取平均值^[12-14]。

1.4 数据分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件进行数据处理与分析^[15]。

2 结果与分析

2.1 西瓜裂果相关性状遗传分析

2.1.1 裂果相关性状的性状分离 由表 1 可以看出,4个果实性状在2个亲本间差异均达到极显著差异水平,说明2个亲本间裂果性状确实存在真实性的遗传差异,可以进行相关分析。根据测量结果,切裂应度、果形

指数、果皮厚度和果皮硬度4个性状在2个亲本间差异都达到极显著差异水平,并且 F_1 代的4个性状的表现型均介于2个亲本之间,且 F_1 代更接近于母本。双亲本及 F_1 代的表现型见图1。

表 1 亲本和 F_1 代的裂果性状比较

Table 1 Comparison of cracking traits in different generations

性状 Character	♀ 'K ₂ '	♂ 'L ₁ '	F_1
切裂应度 Fruit cut crack degree	0.177±0.024A	0.873±0.274B	0.330±0.015AC
果形指数 Fruit shape index	1.541±0.154A	1.093±0.045B	1.260±0.095AC
果皮厚度 Peel thickness/cm	1.165±0.245A	0.571±0.191B	0.908±0.140AC
果皮硬度 Peel hardness/($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	3.500±0.167A	2.714±0.269B	3.250±0.077AC

注:不同大写字母表示0.01水平上差异显著。

Note: Different capital letter mean significant difference at 0.01 level.

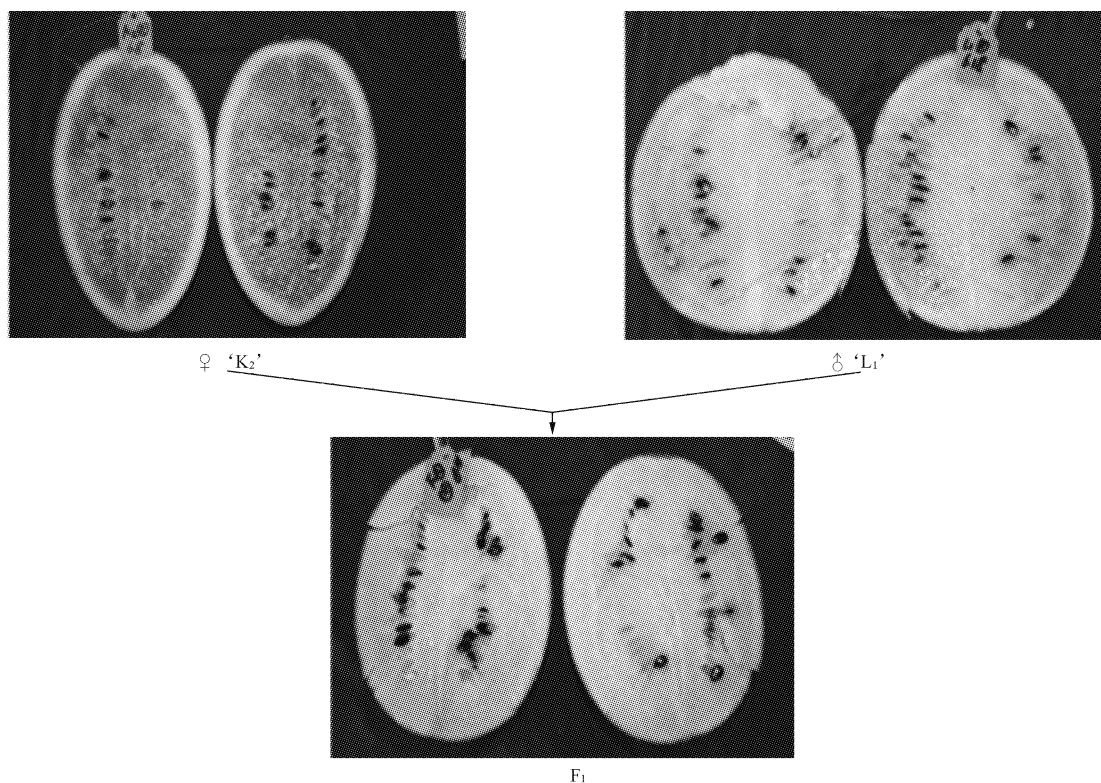


图 1 亲本材料及 F_1 代果实

Fig. 1 Fruits of parental lines and F_1

2.1.2 F_2 代群体中的性状分离 变异系数即遗传变异系数,是衡量各数量性状由遗传变异引起的变异范围及差异程度的量,遗传变异系数越大,则说明某一数量性状在群体中的遗传潜力越大,通过选择改良的效果就越好。由表2可知,4个性状遗传变异系数波动于0.125~0.814。其中切裂应度的变异幅度最大为0.814,说明这个性状的变异程度大,选择空间大。而果形指数、果皮厚度、果皮硬度变异幅度相对较小、选择范围窄。4个性状的遗传变异系数由小到大依次是果皮硬度<果形指数<果皮厚度<切裂应度。从图2可以看出,切裂应

度、果形指数、果皮厚度和果皮硬度4个性状均介于2个亲本之间,但 F_2 代均存在超亲分离,其中果形指数和果皮硬度,既存在正向超亲分离又存在负向超亲分离。由图2还可以看出,切裂应度、果形指数、果皮厚度、果皮硬度在 F_2 代中表现为连续性分布,其中切裂应度、果形指数、果皮硬度偏度值较大,果皮厚度偏度值较小。果形指数、果皮硬度、果皮厚度呈偏正态分布,呈现出明显的数量性状的遗传特征,属于数量性状。切裂应度呈连续性分布但不满足正态或偏正态分布,更接近满足于质量性状,且把切裂应度大于0.60记为易裂果,小于0.60记

为抗裂果,结果满足孟德尔分离定律。由表 3 可知,亲本抗裂‘K₂’与易裂‘L₁’的后代 F₁ 均抗裂,在 F₂ 群体中,果实抗裂植株有 91 株,果实易裂植株有 34 株,抗裂与易裂植株的分离比例经卡方检验符合 3 : 1。以抗裂

的‘K₂’为回交亲本的回交群体全部表现为抗裂,而与易裂的‘L₁’回交获得的回交群体中,果实抗裂与易裂比例为 1 : 1,表明在该遗传群体中,果实裂性由显性单基因控制。

表 2 F₂ 代群体中的性状分离
Table 2 Segregation of characters in F₂ population

性状 Character	平均值 Mean	最高值 Maximum	最低值 Minimum	峰度 Kurtosis	偏度 Skewness	变异系数 Coefficient of variation
切裂应度 Fruit cut crack degree	0.426	1.371	0.147	0.198	1.206	0.814
果形指数 Fruit shape index	1.314	2.104	0.947	1.138	1.251	0.193
果皮厚度 Peel thickness/cm	0.952	1.964	0.518	1.378	0.832	0.265
果皮硬度 Peel hardness/(kg · cm ⁻²)	3.193	4.700	2.300	2.407	1.039	0.125

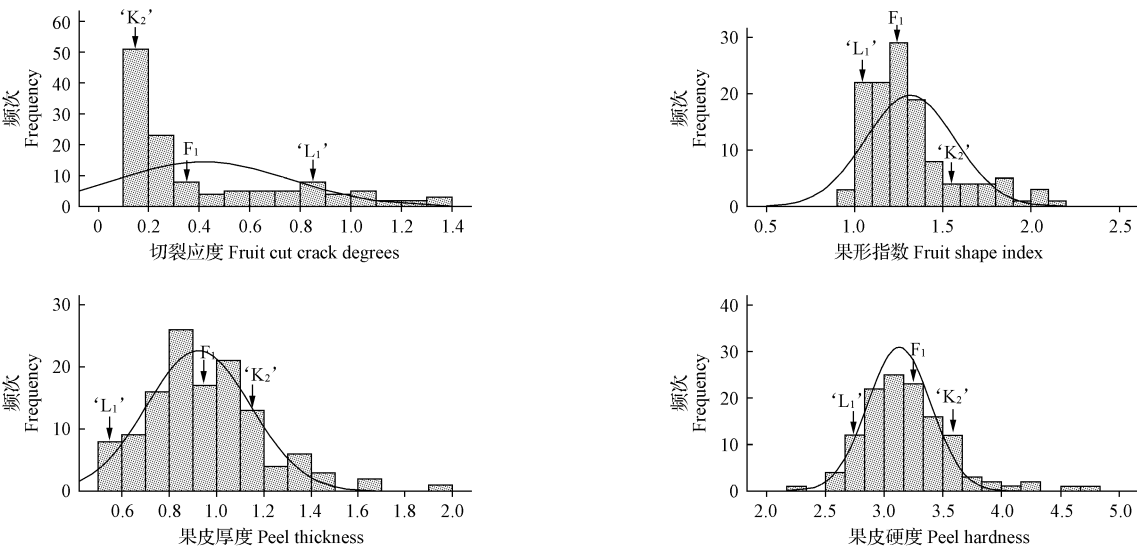


图 2 F₂ 代群体裂果相关性状的频次分布
Fig. 2 Frequency distribution of cracking traits in F₂ population

表 3 ‘K₂’与‘L₁’组合后代群体抗裂与易裂植株分离比例

Table 3 Segregation ratios of plants with RC and SC in progeny populations of ‘K ₂ ’ and ‘L ₁ ’						
群体 Generation	总数 Total	抗裂 Cracking resistance	易裂 Susceptable	期望比 Expected ratio	卡方值 Chi-square value	显著性 Significance P
P ₁ (‘K ₂ ’)	13	13	—	—		
P ₂ (‘L ₁ ’)	13	—	13	—		
F ₁	5	5	—	—		
F ₂	125	91	34	3 : 1	0.187	不显著 0.665
BCP ₁	15	15	—	—		
BCP ₂	27	13	14	1 : 1	0.019	不显著 0.891

表 4 小型西瓜裂果相关性状的的相关性分析

Table 4 Correlation analysis on cracking related traits of mini-watermelon				
性状 Character	切裂应度 Fruit cut crack degree	果形指数 Fruit shape index	果皮厚度 Peel thickness	果皮硬度 Peel hardness
切裂应度 Fruit cut crack degree	1.000	—0.025	—0.285 **	—0.229
果形指数 Fruit shape index	—0.025	1.000	0.073	0.015
果皮厚度 Peel thickness	—0.285 **	0.073	1.000	0.196
果皮硬度 Peel hardness	—0.229	0.015	0.196	1.000

注: ** 表示 0.01 水平上极显著相关。
Note: ** presents significant correlation at 0.01 level.

2.2 裂果相关性状的的相关性分析

分析表 4 可知,切裂应度与果皮硬度呈极显著负相关,切裂应度与果形指数、果皮硬度相关性均不显著。且果形指数、果皮厚度和果皮硬度间相关性均不显著。

3 讨论

西瓜原产非洲,我国种植西瓜有 1 400 多年历史,而果实裂果严重制约了西瓜产业的发展,裂果既影响果实

外观,又易使果实受病菌感染而出现腐烂等症状,严重影响果实的食用品质和商品价值^[16]。研究裂果机理及其遗传因素,探索防治裂果的有效措施,培育抗裂高品质品种,从而减小裂果带来的重大经济损失具有重大意义。该试验对‘K₂’、‘L₁’、F₁、F₂、BCP₁ 和 BCP₂ 6 世代群体进行了裂果性状的遗传分析,并研究各个裂果性状的遗传规律以及各性状间的相关关系,以期今后选育优秀抗裂品种提供参考依据。

裂果相关性状遗传规律分析表明,4个目标性状在 F_1 代表型都介于2个亲本之间, F_2 代群体中都呈连续性变异,都存在超亲分离,其中果形指数、果皮厚度、果皮硬度频次分布图满足正态或偏正态分布,属于数量性状,受微效多基因控制。该结果与王兆吉等^[17]和张杨^[18]的研究结果一致。切裂应度频次分布图不满足正态或偏正态分布,且当把切裂应度大于0.60记为裂果,小于0.60记为抗裂果,其结果满足质量性状特征,其分离比例卡方检验满足3:1,BCP₁群体全部抗裂,BCP₂群体果实抗裂与易裂分离比满足1:1。得出裂果性应由主效基因和若干微效基因控制。这一结果与江海坤^[19]的研究结果一致。

切裂应度可以当做果实抗裂与易裂的重要衡量标准,通过相关分析,可以发现与裂果相关联的表型性状,在育种选择中有着较好的指示作用。该研究表明,切裂应度与果皮厚度呈极显著负相关,即果皮厚度越大切裂应度越小,果实越抗裂,研究结果与刘仲奇等^[20]研究结果相同。其它果实性状与果实切裂应度之间的相关关系还有必要做进一步探讨,以期对西瓜抗裂育种提供更好的指导。

参考文献

- [1] 马跃. 透过国际分析看中国西瓜甜瓜的现状与未来[J]. 中国瓜菜, 2011, 24(2): 64-67.
- [2] LIU W G, YAN Z H, ZHAO S J, et al. Triploid seedless watermelon production in China[J]. Cucurbitaceae, 2006, 2(3): 296-300.
- [3] 江海坤, 袁稀汉, 章镇. 西瓜裂果性状的基因型研究[J]. 华北农学报, 2009(24): 106-109.
- [4] 唐岩. 枣裂果机制及其影响因素的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.
- [5] 许晓婷, 刘童光, 张其安, 等. 西瓜主要果实性状与果实裂应度的相关性[J]. 中国瓜菜, 2013, 26(2): 11-13.
- [6] 江海坤, 袁稀汉, 章镇. 西瓜主要农艺性状与裂果性状的相关及通径分析[J]. 中国蔬菜, 2009(16): 31-35.
- [7] GIBERT C, LESCOURREL F, GENARD M, et al. Modelling the effect of fruit growth on surface conductance to water vapour diffusion[J]. Annals of Botany, 2005, 95(4): 673-683.
- [8] 马雯彦, 庞晓明, 续久如. 果实裂果影响因子研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2010, 6(29): 798-804.
- [9] CONSIDINE J, BROWN K. Physical aspects of fruit growth: theoretical analysis of distribution of surface growth forces in fruit in relation to cracking and splitting[J]. Plant Physiol, 1981, 68: 371-376.
- [10] SEKSE L. Fruit cracking in Norwegian grown sweet cherries[J]. Acta Agriculturae Scandinavica, 1987, 37(3): 325-328.
- [11] CHRISTENSEN J V. Cracking in cherries VI. Cracking susceptibility in relation to the growth rhythm of the fruit[J]. Acta Agric Scand, 1973, 23: 52-54.
- [12] 张建成, 屈红征, 张晓伟. 石榴裂果机理及防治措施[J]. 河北果树, 2014(6): 29-30.
- [13] YAMAGUCHI M, SATO I, ISHIGURO M. Influences of epidermal cell size and flesh firmness on cracking susceptibility in sweet cheery cultivars and selections[J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 2002, 71: 738-746.
- [14] 崔会平. 石榴裂果的原因与防治措施[J]. 河北果树, 2005(6): 28-30.
- [15] 尚建立, 王吉明, 马双武. 西瓜种质资源若干性状的描述与数据采集[J]. 中国瓜菜, 2010, 23(6): 39-41.
- [16] LI W C, WU J Y, ZHANG H N. *De novo* assembly and characterization of pericarp transcriptome and identification of candidate genes mediating fruit cracking in *Litchi chinensis* Sonn. [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2014, 15: 17667-17685.
- [17] 王兆吉, 高鹏, 栾非时. 西瓜遗传图谱的构建及果形指数 QTL 分析[J]. 中国蔬菜, 2013(14): 25-30.
- [18] 张杨. 西瓜果实品质及种子性状遗传规律分析[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
- [19] 江海坤. 西瓜裂果机理及其分子标记研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [20] 刘仲奇, 薛俊, 金凤媚, 等. 番茄裂果与果皮结构的关系及其杂种优势表现[J]. 华北农学报, 2007, 22(3): 141-147.

Genetic Analysis and Correlation Study on Cracking Related Traits in Mini-watermelon

GAO Meiling¹, LI Jiayi¹, YU Changbao¹, WEI Xiaoming²

(1. College of Life Science and Agriculture and Forestry, Qiqihar University, Qiqihar, Heilongjiang 161006; 2. Horticultural Research Institute of Qiqihar, Qiqihar, Heilongjiang 161006)

Abstract: Two mini-watermelon lines that character of fruit cracking with significant difference were used as parents. The main fruit cracking related traits (fruit cut crack degree, fruit shape index, peel thickness and peel hardness) of watermelon and their genetic correlation analysis were conducted to reveal the variations of main cracking characters and their relationship. Fruit cut crack degree as the main trait was used to identify fruit resistant cracking and susceptible cracking in watermelon. The results showed that the coefficient of variation of the 4 traits ranged from 0.125 to 0.814. The highest coefficient of variation was the fruit cut crack degree and the lowest coefficient of variation was the peel hardness. Fruit shape index, peel thickness and peel hardness were continuous variation of the quantitative characters. The fruit cut crack degree was a quality trait that fitted to the Mendel's Law of Segregation Characteristics. Correlation analysis showed that the fruit cut crack degree had negative correlation with peel thickness among 4 traits.

Keywords: mini-watermelon; fruit cracking; genetic analysis; correlation analysis