

籽用西葫芦果皮硬度与籽粒饱满度相关性研究

朱红艳 魏照信* 张永久

(酒泉职业技术学院, 甘肃酒泉 735000)

摘 要: 采用邵氏硬度计测定了 2 个籽用西葫芦姊妹系果皮硬度, 并进行切片观察, 同时测定籽粒饱满度, 分析籽用西葫芦果皮硬度与籽粒饱满度的相关性。结果表明: 籽用西葫芦姊妹系果皮硬度差异极显著, Q212-6-3-1 果皮坚硬, 果皮硬度为 30.3 HD, 表皮 10 个柱状细胞宽度 3 526.7 μm , 外果皮厚度 3 792.6 μm , 中部中果皮厚度 27 700.0 μm , 与软皮的 Q212-6-3-2 差异达到显著或极显著水平; 硬果皮果实的籽粒百粒重极显著高于软果皮果实。果皮硬度与籽粒百粒重呈极显著正相关, 果皮硬度越高, 籽粒百粒重越大, 籽粒越饱满。因此, 可将果实硬皮作为籽用西葫芦育种的主要目标性状。

关键词: 籽用西葫芦; 果皮硬度; 果皮结构; 籽粒饱满度; 相关性

籽用南瓜 (*Cucurbita pepo* L.) 是我国特色优势产业, 主要包括光板 (籽用美洲南瓜, 也叫籽用西葫芦)、白板 (籽用印度南瓜)、毛边 (籽用中国南瓜) 等 (林德佩, 2000), 其中籽用西葫芦占主要份额, 在我国北方省区及西南省区都有分布, 年播种面积近 20 万 hm^2 , 瓜籽产量近 40 万 t, 年出口 12 万~18 万 t。近年来, 籽用南瓜品种单一且同质化严重, 生产量过剩, 市场疲软 (任建忠和魏照信, 2018), 新选育的品种多数存在抗病性不强, 瓜蔓早衰、籽粒饱满度不足等缺点, 但是在籽粒加工中饱满度是重要的加工品质。籽粒饱满度与籽用西葫芦品种、栽培环境有关, 在育种研究中发现果皮硬度高的果实籽粒饱满, 不容易烂瓜, 植株抗病性强 (Kamarudin et al., 2014)。果皮硬度在鲜食西葫芦品种选育中不是被关注的主要性状, 而在籽用西葫芦品种选育中则需要考虑。有研究表明, 南瓜硬度基因为 *Hr*, 木质化硬果皮的 *Hr* 对无木质化软

果皮的 *hr* 呈显性 (林德佩, 2017)。关于西葫芦果皮硬度研究目前国内还没有相关报道, 而其他瓜类作物如西瓜的果皮硬度与果皮厚度、果皮韧性、半纤维素含量、果实横径、果实纵径、含水量、果胶含量等相关, 其中与外果皮厚度相关性最高 (王学征等, 2020)。

本试验以籽用西葫芦的白色果皮育种材料 Q212-6-3 中分离出的软皮、硬皮果实姊妹系为研究对象, 测定果皮硬度及籽粒饱满度, 显微观察果皮组织结构, 结合前人对南瓜果皮硬度的遗传研究结果, 综合分析西葫芦果皮硬度差异及其与籽粒饱满度之间的相关性, 以期在西葫芦籽粒饱满度育种中加以利用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为籽用西葫芦白色果皮种质资源 Q212-6-3 经 6 代分离纯化的 2 个姊妹系 Q212-6-3-1、Q212-6-3-2, 由酒泉职业技术学院南瓜品种选育中心提供。这 2 个姊妹系的基本特性相似, 差异主要在果皮硬度方面。

自交系 Q212-6-3-1: 中熟, 生育期 120 d, 第 1 雌花节位为第 11~13 节; 植株生长势中等, 短蔓, 蔓长 50~70 cm, 茎绿色, 抗南瓜白粉病, 果实成

朱红艳, 女, 副教授, 专业方向: 蔬菜遗传育种, E-mail: 465722210@qq.com

* 通信作者 (Corresponding author): 魏照信, 男, 教授, 专业方向: 蔬菜育种及推广, E-mail: jqweizx@163.com

收稿日期: 2021-01-25; 接受日期: 2021-05-24

基金项目: 甘肃省民生科技专项科技特派员专题 (18CX3ZF018-子课题 3), 酒泉市科技支撑项目 (2060402)

熟时瓜蔓存活; 叶片大, 缺刻深; 果实长棒形, 瓜头膨大, 幼果白色, 成熟瓜黄色, 果皮坚硬; 籽粒灰白色, 极饱满, 百粒重 31.4 g。

自交系 Q212-6-3-2: 中熟, 生育期 115 d, 第 1 雌花节位为第 11~13 节; 植株生长势中等, 短蔓, 瓜蔓长 50~70 cm, 茎绿色, 果实成熟时瓜蔓萎蔫; 叶片大而薄; 果实长棒形, 瓜头膨大, 幼果白色, 成熟瓜浅黄色, 果皮较软; 籽粒白色, 饱满度中等, 百粒重 26.0 g。

1.2 仪器设备

硬度计(邵氏 LX-D 型)、切片机(YD1508A)、游标卡尺(DL92150)、电子天平(YP40001)、照相显微镜(S800T-950HK)。

1.3 试验方法

2020 年 8 月, 将供试籽用西葫芦自交系种植于酒泉市肃州区戈壁农业示范区日光温室内, 每个自交系种植 1 个小区, 每个小区 25 株, 行距 160 cm, 株距 40 cm, 试验条件一致, 统一管理, 采用垄沟爬地栽培、单蔓整枝方式。坐果后 60 d 采收, 每个自交系选取果实长度、形状一致, 均达到种子采收成熟阶段的 4 个瓜, 观察记载采收时瓜蔓存活状态, 田间用硬度计测定果皮硬度, 实验室显微观察果皮结构, 并测定籽粒饱满度。

1.3.1 果皮硬度测定 目前还未见籽用西葫芦外果皮硬度测定的方法及仪器设备的相关报道。根据南瓜组织在机械加载前后的结构变化(Maryam & Prasad, 2013)、果蔬材料力学性质压痕测定法(吴亚丽和郭玉明, 2009)、耐裂性不同的西瓜发育过程中果实力学特性及果皮结构动态(詹园凤等, 2020)等研究, 参照压痕测定法进行穿刺试验, 选用邵氏硬度计(LX-D 型)测定籽用西葫芦果皮硬度。

D 型硬度计一般用来测量硬塑料和硬橡胶的硬度, 硬度计针尖直径为 0.2 mm。测定时把西葫芦放置在坚固的平面上, 拿住硬度计, 平稳地把压针垂直压入西葫芦外果皮, 保持稳定, 指针旋转指示硬度值, 压力刚好压破外果皮时指针读数停止, 即为果皮硬度。在果实的顶部、中部、底部不同位置分别测量 3 次, 取平均值。

1.3.2 果皮显微结构观察与果皮细胞厚度测量 采收的籽用西葫芦在实验室用不锈钢刀横切瓜头直径

最大处, 从果实横切面可以看到果实由果皮、种腔和种子 3 部分构成, 用游标卡尺测量外果皮厚度。

从果实中部横切面切取 4.0 cm × 2.5 cm × 3.0 cm 包含完整果皮的小块作切片样品, 用 YD1508A 切片机切取厚度 15~20 μm 的切片。切片用次甲基蓝染色, 制作临时装片, 在光学显微镜 40 倍镜下观察果皮角质层、表皮层、外果皮等结构, 测量各结构数据。

1.3.3 籽粒饱满度评价 分别取出单瓜全部种子, 晒干后每个样品随机取 100 粒称重, 重复 3 次。利用(精度 0.001)电子天平测定单瓜籽粒质量及样品种子的百粒重, 测量籽粒长度、宽度、厚度等, 评价籽粒饱满度。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 软件和 SPSS 软件处理试验数据, 并进行直线回归相关性分析和样本差异显著性 *t* 测验。

2 结果与分析

2.1 籽用西葫芦采收时瓜蔓状态

采收时硬度高的 Q212-6-3-1 多数瓜蔓仍然存活, 植株基本没有倒秧, 白粉病发病轻; 硬度小的 Q212-6-3-2 植株在采收时瓜蔓已经全部干枯。

2.2 籽用西葫芦果皮硬度比较

2.2.1 直观评价 根据成熟果实果皮颜色及切瓜过程中的费力程度, 定性评价籽用西葫芦姊妹系果皮硬度差异。由图 1、2 可以看出, 硬度高的 Q212-6-3-1 果皮颜色较深, 呈黄色; 用刀横切时明显感觉费力, 切口呈锯齿状、不整齐。硬度低的 Q212-6-3-2 果皮颜色较浅, 呈浅黄色; 用刀横切时不费力, 切口整齐。分别将果实定性评价为硬皮、软皮。

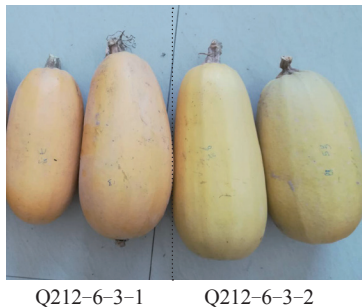


图 1 籽用西葫芦姊妹系果实外观差异

彩色图版见《中国蔬菜》网站: www.cnveg.org, 下图同。



Q212-6-3-1 Q212-6-3-2
图2 籽用西葫芦姊妹系果实横切面

2.2.2 硬度测定比较 采用邵氏硬度计对2个籽用西葫芦姊妹系果实果皮作穿刺测试, Q212-6-3-1果皮硬度为30.3 HD, Q212-6-3-2果皮硬度为17.2 HD, 两者间差异达极显著水平。

2.3 籽用西葫芦果皮解剖结构比较

成熟的西葫芦果实横切后可以看到果皮、种腔、种子3个组成部分, 果皮主要由角质层、表皮

层、外果皮、中果皮、内果皮等5部分组成(图3), 中果皮又包括外部中果皮、中部中果皮、内部中果皮(陈荣贤等, 2012; 段颖等, 2017)。

2.3.1 角质层 角质层在果实表皮最外层, 呈半透明, 由几层死亡表皮细胞组成。硬果皮的角质层厚度为808.52 μm , 软果皮的角质层厚度为464.89 μm , 2个姊妹系角质层厚度有差异。

2.3.2 表皮层 表皮层有柱状细胞的栅栏层, 柱状细胞为1层细胞, 具有厚的外壁和侧壁, 并具有明显条纹。Q212-6-3-1表皮层厚693.5 μm , 栅栏层柱状细胞长度396.1 μm , 10个柱状细胞宽度3526.7 μm ; Q212-6-3-2表皮层厚837.2 μm , 栅栏层柱状细胞长度389.1 μm , 10个柱状细胞宽度与Q212-6-3-1差异显著, 为2492.8 μm (表1)。

2.3.3 外果皮 外果皮为表皮下区, 含有15~17层细小而厚壁的细胞, 细胞间隙小。Q212-6-

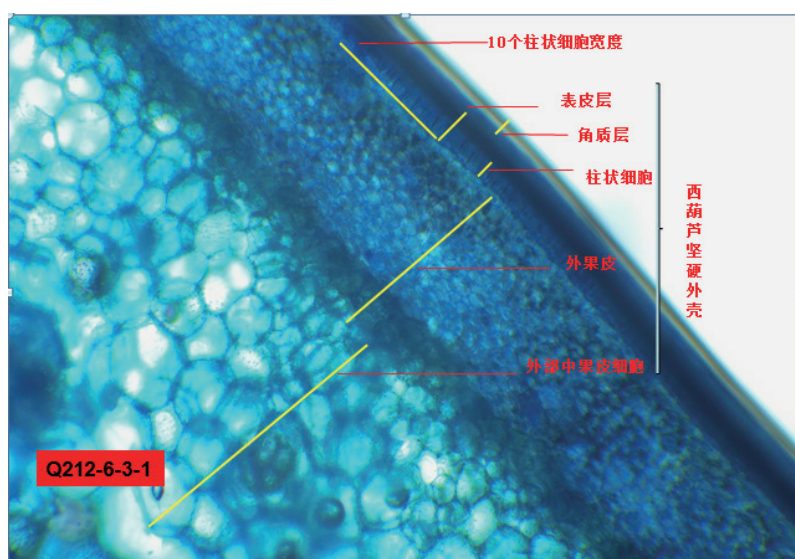


图3 Q212-6-3-1果实表皮至外部中果皮细胞结构

3-1外果皮厚3792.6 μm , Q212-6-3-2外果皮厚2964.5 μm , 两者差异达显著水平(表1)。

2.3.4 外部中果皮 外部中果皮细胞由大到小不等, 壁厚, 木栓化程度高。Q212-6-3-1外部中果皮厚4208.9 μm , 细胞呈圆形至多角形; Q212-6-

3-2外部中果皮厚3967.7 μm , 细胞呈扁圆形(表1)。

2.3.5 中部中果皮 中部中果皮细胞逐渐增大, 排列较疏松, Q212-6-3-1中部中果皮厚27700.0 μm , Q212-6-3-2中部中果皮厚30425.0 μm , 两者差异达到极显著水平(表1)。

表1 籽用西葫芦果皮结构显微测量结果

姊妹系	果皮特性	表皮层厚度/ μm	柱状细胞/ μm		外果皮厚度/ μm	外部中果皮厚度/ μm	中部中果皮厚度/ μm
			长度	宽度(10个细胞)			
Q212-6-3-1	硬	693.5 aA	396.1 aA	3526.7 aA	3792.6 aA	4208.9 aA	27700.0 bB
Q212-6-3-2	软	837.2 aA	389.1 aA	2492.8 bA	2964.5 bA	3967.7 aA	30425.0 aA

注: 表中同列数据后不同小写字母表示差异显著($\alpha = 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著($\alpha = 0.01$), 下表同。

2.4 籽用西葫芦籽粒饱满度分析

从表 2 可以看出, Q212-6-3-1 和 Q212-6-3-2 单瓜籽粒数、单瓜籽粒质量差异不显著, 籽粒大小

相近, 长度和宽度差异不显著, 但是籽粒厚度差异极显著, 百粒重差异极显著。其中, Q212-6-3-1 的籽粒厚, 百粒重大, 籽粒饱满度高。

表 2 籽用西葫芦籽粒饱满度比较

姊妹系	单瓜籽粒数/粒	单瓜籽粒质量/g	百粒重/g	籽粒厚度/mm	籽粒长度/mm	籽粒宽度/mm	评价
Q212-6-3-1	248 aA	67.4 aA	31.4 aA	3.38 aA	23.5 aA	12.8 aA	饱满
Q212-6-3-2	260 aA	65.0 aA	26.0 bB	2.88 bB	22.8 aA	12.9 aA	一般

2.5 籽用西葫芦果皮硬度与百粒重的相关显著性、回归显著性分析

采用 SPSS 软件进行分析, 籽用西葫芦果皮硬度与籽粒百粒重的相关系数 $r = 0.885, r_{0.01, 6} = 0.834, r > r_{0.01, 6}$, 说明果皮硬度与籽粒百粒重呈极显著正相关, 果皮硬度越高, 籽粒百粒重越大 (图 4)。

回归显著性测定结果表明, 回归截距 $a = 7.561$, 回归系数 $b = 0.759$, 回归方程 $y = 0.759x + 7.561$ 。依据统计学原理, 相关显著, 回归必然显著, 说明回归系数也极显著。根据回归方程预测, 果皮硬度每增加 1 个单位, 籽粒百粒重增加约 0.759 g。

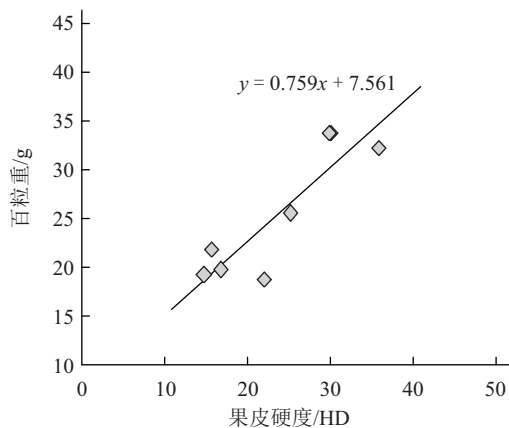


图 4 籽用西葫芦果皮硬度与籽粒百粒重的相关性

3 结论与讨论

3.1 籽用西葫芦果皮硬度测定方法

考虑到构成西葫芦坚硬外壳的外果皮木栓化程度高, 果皮坚硬, 本试验没有选用市场上用于梨、苹果等果实果肉硬度测定的 GY-4 果实测定仪, 而是参照压痕测定法穿刺试验, 选用邵氏硬度计 (LX-D 型)。据研究报道, 质构仪测定硬度原理与邵氏硬度计测定原理相同, 但质构仪比邵氏硬度计测定的结果更精确与全面 (Liao et al., 2020), 今后研究中可选用质构仪测定西葫芦果皮硬

度性状。

3.2 籽用西葫芦果皮硬度差异与果皮细胞结构的关系

对 2 个果皮硬度不同的西葫芦姊妹系进行显微观察, 果皮硬度与表皮层细胞、柱状细胞、外果皮、外部中果皮和中部中果皮细胞数量与结构等有关。硬皮与软皮籽用西葫芦的表皮层柱状细胞宽度、外果皮厚度差异显著, 表皮层厚度、柱状细胞长度、外部中果皮厚度差异不显著; 硬果皮的中部中果皮厚度较软果皮小, 差异极显著, 可能是由于软果皮果实的中部中果皮细胞木栓化程度低。果皮硬度是各层结构综合作用的结果。

3.3 籽用西葫芦果皮硬度与籽粒百粒重的相关性

本试验结果表明, 籽用西葫芦果皮硬度与籽粒百粒重呈极显著正相关, 即籽用西葫芦果皮硬度越高, 籽粒百粒重越大, 籽粒越饱满; 根据回归方程预测, 果皮硬度每增加 1 个单位, 籽粒百粒重增加约 0.759 g。

通常情况下, 百粒重会随着单瓜籽粒数的增加而下降, 即使籽粒饱满也会出现这种趋势, 虽然百粒重下降但籽粒饱满; 而籽粒饱满度较低的材料, 当单瓜籽粒数少时籽粒变大, 百粒重会升高。因此, 籽粒饱满度仅用百粒重表示似乎还不充分, 需在百粒重基础上结合籽粒厚度来判断籽用西葫芦籽粒饱满程度, 有待之后进一步研究。

3.4 果皮硬度对植株抗病性的影响

前人研究表明, 品种的抗病性差异与果皮结构有关 (常金梅 等, 2012; Kamarudin et al., 2014)。本试验发现, 果皮硬度大的西葫芦植株在采收时多数瓜蔓仍然存活, 植株多数没有倒秧, 白粉病发病轻, 田间不易烂瓜; 果皮硬度小的植株在采收时瓜蔓已经全部干枯。说明果皮硬度较大的西葫芦品种具有较高的抗病性。但本试验仅仅从形态

学角度考察了果皮硬度与抗病性, 还需要从生理生化、病理角度进一步深入研究。

综上所述, 籽用西葫芦软皮果实、硬皮果实硬度有差异, 果皮硬度与表皮层、柱状细胞、外果皮、外部中果皮和中部中果皮等有关, 其中表皮层、外果皮和外部中果皮形成南瓜坚硬的外壳。果皮硬度越高种子越饱满, 植株抗病性越强。因此, 可将果实硬皮作为籽用西葫芦育种的主要目标性状。

参考文献

- 常金梅, 张鲁斌, 柳凤, 詹儒林. 2012. 芒果果实抗病性差异及其与果皮结构相关性初探. 热带作物学报, 33 (11): 2040-2043.
- 陈荣贤, 常宏, 魏照信. 2012. 中国籽用南瓜. 兰州: 甘肃科学技术出版社: 36-37.
- 段颖, 向成钢, 刘新艳, 王长林. 2017. 印度南瓜果皮结构与色素组成对果皮颜色的影响. 太原: 中国园艺学会南瓜研究分会 2017 年学术年会.
- 林德佩. 2000. 南瓜植物的起源和分类. 中国西瓜甜瓜, (1): 36-38.
- 林德佩. 2017. 南瓜果皮基因研究的最新进展. 太原: 中国园艺学会南瓜研究分会 2017 年学术年会.

- 任建忠, 魏照信. 2018. 籽用南瓜市场变化与产业发展策略. 中国蔬菜, (5): 55-58.
- 王学征, 杨天天, 刘争, 孙蕾, 朱子成. 2020. 西瓜果皮硬度相关性状分析. 东北农业大学学报, 51 (2): 35-44.
- 吴亚丽, 郭玉明. 2009. 果蔬材料力学性质压痕测定法研究. 太谷: 纪念中国农业工程学会成立 30 周年暨中国农业工程学会 2009 年学术年会.
- 詹园凤, 贺滢, 谢彩虹, 党选民. 2020. 耐裂性不同的西瓜发育过程中果实力学特性及果皮结构动态研究. 广东农业科学, 47 (10): 18-24.
- Kamarudin E Z, Ahmed Q U, Helaluddin A B M, Sirajudin Z N M, Chowdhury A J K. 2014. Studies on bactericidal efficacy of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne) peel. Journal of Coastal Life Medicine, 2 (2): 146-153.
- Liao N Q, Hu Z Y, Li Y Y, Hao J F, Chen S N, Xue Q, Ma Y Y, Zhang K J, Mahmoud A, Ali A, Malangisha G K, Lyu X L, Yang J H, Zhang M F. 2020. Ethylene-responsive factor 4 is associated with the desirable rind hardness trait conferring cracking resistance in fresh fruits of watermelon. Plant Biotechnology Journal, 18 (4): 1066-1077.
- Maryam S, Prasad Y. 2013. Study of structural changes of pumpkin tissue before and after mechanical loading. Applied Mechanics and Materials, 2490 (10): 1998-2003.

Studies On Correlation Between Peel Hardness and Grain Plumpness of Seed-used Zucchini

ZHU Hongyan, WEI Zhaoxin*, ZHANG Yongjiu

(Jiuquan Vocational and Technical College, Jiuquan 735000, Gansu, China)

Abstract: This experiment measured peel hardness of 2 seed-used *Cucurbita pepo* sister lines by shore hardness tester, and carried out slice observation and grain plumpness measurement. The correlation between peel hardness and grain plumpness was also analyzed. The results showed that there were extremely significant differences in pericarp hardness of *Cucurbita pepo* sister lines. The peel hardness of Q212-6-3-1 with hard peel was 30.3 HD. The width of epidermis 10 columnar cells was 3 526.7 μm . The epicarp thickness was 3 792.6 μm . The thickness of mid mesocarp was 27 700.0 μm . Its difference with soft peel Q212-6-3-2 was significant or extremely significant. The hundred-grain weight of hard peel fruit was extremely significant higher than that of the soft peel fruit. Pericarp hardness and hundred-grain weight presented extremely significant positive correlation. The harder of the peel, the bigger of the hundred-grain weight, the more plump of the grain. Therefore, hard pericarp could be taken as a major target trait for seed-used *Cucurbita pepo* breeding.

Keywords: *Cucurbita pepo*; peel hardness; pericarp structure; grain plumpness; correlation