



# 新疆厚皮甜瓜裂果抗性及其生理特征分析

范 蓉, 杨 永, 李寐华, 张永兵, 伊鸿平, 胡国智\*

(新疆农业科学院哈密瓜研究中心, 乌鲁木齐 830091)

**摘 要:**以种植于新疆农业科学院哈密瓜研究中心吐鲁番亚尔乡基地的 20 份新疆厚皮甜瓜品种为研究对象,在果实成熟期测定各品种裂果指数、裂果率、果皮及果肉矿物质元素含量、纤维素含量、半纤维素含量、过氧化物酶(POD)活性、多酚氧化酶(PPO)活性等,以筛选评价厚皮甜瓜抗裂果品种,明确影响厚皮甜瓜裂果的主要内在因子,为甜瓜的栽培生产与新品种选育提供理论支持。结果表明:(1)依据裂果指数将 20 份新疆厚皮甜瓜品种裂果抗性划分为 5 个等级,其中极抗裂等级 3 份,抗裂等级 5 份,较易裂等级 5 份,易裂等级 4 份,极易裂等级 3 份;(2)极易裂型中果皮含水量显著高于极抗裂和较易裂型,而其心糖含量显著低于极抗裂和较易裂型;果皮中 Ca、Na、Mg、Fe 元素含量显著高于果肉含量;极易裂型中 PPO 活性显著低于较易裂型,其 POD 活性显著高于极抗裂和较易裂型,其纤维素含量、半纤维素含量显著低于极抗裂型。(3)裂果抗性与果实心糖含量、纤维素含量、半纤维素含量存在显著正相关,与果皮含水量、果肉含水量、POD 活性、K 元素含量存在显著负相关。(4)甜瓜裂果性的主要影响因子有果皮含水量、果肉含水量、心糖含量、边糖含量、纤维素含量,果皮中的 K、Ca、Mg、Na 含量以及果肉的 Na、Cu 含量。研究发现,甜瓜‘黄梦脆’、‘K1028’、‘西州密 17’为极抗裂品种,裂果率、裂果指数、心糖含量、果皮含水量、果肉含水量、纤维素含量、K 含量可作为甜瓜裂果研究中的重要指标。

**关键词:**厚皮甜瓜;裂果抗性;矿物质元素;纤维素;半纤维素;过氧化物酶;多酚氧化酶

**中图分类号:**S652 **文献标志码:**A

## Analysis of Cracking Resistance and Physiological Characteristics on Xinjiang Muskmelon

FAN Rong<sup>1</sup>, YANG Yong<sup>1</sup>, LI Meihua<sup>1</sup>, ZHANG Yongbing<sup>1</sup>, YI Hongping<sup>1</sup>, HU Guozhi\*

(Center of Hami Melon, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

**Abstract:** In order to evaluate and screen muskmelon varieties with cracking resistance, we measured fruit cracking index and fruit cracking rate at mature stage of 20 Xinjiang muskmelon varieties planted in the base of Turpanya Yaer township, Center of Hami Melon, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences. At the same time, in order to elucidate internal factors associated with fruit cracking, we tested some physiological characteristics of these varieties' fruit, including peroxidase activity (POD), polyphenol oxidase activity (PPO), mineral element contents, cellulose and hemicellulose contents, which would provide theoretically valuable information to cultivation and genetic enhancement of muskmelon. Results showed that: (1) All muskmelon varieties tested were divided into 5 scales on the base of fruit cracking index, in which 3 varieties were classified into extremely cracking resistance scale, 5 into cracking resistance scale, 5 into

收稿日期:2022-08-17;修改稿收到日期:2023-06-06

**基金项目:**新疆农业科学院青年科技骨干创新能力培养项目(xjnkq-2022011);财政部和农业农村部“国家现代农业产业技术体系资助”项目(CARS-25);新疆维吾尔自治区重点研发项目(2022B02002-3);新疆维吾尔自治区重大科技专项(2022A03004-5);海南省院士创新平台科研专项(吴明珠院士团队创新中心);新疆特色果蔬基因组研究与遗传改良重点实验室项目

**作者简介:**范 蓉(1995—),女,硕士,助理研究员,主要从事甜瓜遗传分子改良研究。E-mail:1029681312@qq.com

\* 通信作者:胡国智,研究员,硕士生导师,主要从事甜瓜栽培生理研究。E-mail:hgzo901@126.com

easier cracking scale, 4 into easy cracking scale and 3 into extremely easy cracking scale. (2) Peel water content was significantly higher in varieties classified into extremely easy cracking (EEC) scale than in extremely cracking resistance (ECR) and easier cracking (EC) scale, while the heart sugar was significantly lower than that in ECR and EC scale; four mineral elements contents, Ca, Na, Mg, and Fe were higher in fruit peel than that in fruit flesh significantly. PPO activity was significantly higher in varieties classified into EC scale than EEC scale, POD activity was significantly higher in varieties classified into EEC scale than that in ECR and EC scale; cellulose and hemicellulose contents were significantly higher in varieties classified into ECR scale than that in EEC scale. (3) Fruit cracking resistance showed significantly positive correlation with the contents of heart sugar, cellulose, and hemicellulose, and negative correlation with the contents of peel water, flesh water, and K, as well as POD activation, respectively. (4) In the principal component analysis, there were 13 main factors for fruit cracking in melons: Cracking rate, cracking index, peel water content, flesh water content, heart sugar, edge sugar, K, Ca, Mg and Na in the peel, Na and Cu in the flesh, and cellulose. These results suggested that 3 muskmelon varieties, Huangmengcui, K1028, and Xizhoumi 17 were screened as extremely cracking resistance. Fruit cracking rate, cracking index, heart sugar, peel water content, flesh water content, cellulose and element K content were important indicators in melon cracking studies.

**Key words:** muskmelon; fruit cracking resistance; mineral elements; cellulose; hemicellulose; POD; PPO

甜瓜(*Cucumis melo* L.)是全球范围内广泛种植的葫芦科作物,是全球十大水果之一<sup>[1]</sup>。甜瓜在新疆有着悠久的种植历史,现已成为最为重要的新疆印象之一,种植面积常年保持在 5 万~7 万 hm<sup>2</sup>,在脱贫攻坚和振兴地方经济发展中发挥了重要作用。

裂果现象在甜瓜<sup>[2]</sup>、枣<sup>[3]</sup>、西瓜<sup>[4]</sup>、番茄<sup>[5]</sup>、樱桃<sup>[6]</sup>等生产中普遍发生,对产业可持续发展构成重大威胁。甜瓜的大部分裂果发生在成熟期,裂果率一般在 15%左右,严重时达到 50%以上,部分果实在采收后的运输、贮藏和销售陈列过程中开裂,不仅缩短了保质期,还增加了运输和贮藏成本,给种植者造成巨大的经济损失,是长期困扰瓜农的重要生理性病害之一<sup>[7]</sup>。相关研究发现:西瓜果实性状中果皮硬度与裂果性呈负相关<sup>[8]</sup>;网纹甜瓜基质含水量过高导致裂果率增加,且不利于糖分积累<sup>[9]</sup>;枣易裂材料中 Na、K、Ca 等矿物质元素含量、过氧化物酶(POD)活性和多酚氧化酶(PPO)活性均显著低于抗裂材料,而纤维素含量显著高于抗裂材料<sup>[10]</sup>。目前关于厚皮甜瓜裂果的研究较少,且多集中在加强水肥管理、适时采收等方式降低气候、栽培管理等外在因素对甜瓜裂果的影响,而对于影响甜瓜裂果的主要内在因素研究较少,尤其关于不同甜瓜品种裂果抗性评价更是鲜有报道,对甜瓜裂果防治以及裂果抗性改良产生严重阻碍。

研究通过调查具代表性的 20 个甜瓜品种的裂果率、裂果指数,筛选评价抗裂果种质,测定果皮及果肉中矿物质元素含量、纤维素含量、半纤维素含量、过氧化物酶活性、多酚氧化酶活性等指标,明确新疆厚皮

甜瓜裂果性的主要影响因子,为甜瓜栽培生产与高裂果抗性的优质厚皮甜瓜品种选育奠定基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

依据多年田间种植观察结果,筛选 20 份果实品质优良、在裂果性上具有差异的品种作为本研究的试验材料。这些甜瓜品种具有广泛代表性,其中包括目前市场上主栽品种(‘西州密 17 号’、‘西州密 25 号’)、本单位正在推广的品种(‘纳斯密’、‘黄梦脆’)、畅销多年的老品种(‘黄皮 9818’、‘金凤凰’、‘新红心脆’等)及特色品种(‘老汉瓜’、‘明月’等)。2021 年 3 月,将 20 份新疆厚皮甜瓜品种种植于新疆农业科学院哈密瓜研究中心吐鲁番亚尔乡基地。每个品种种植 3 个重复,每个重复种植 30 株,株距 40 cm,行间距 3 m,单蔓整枝,座果结位 12~15 节,按常规生产田进行水肥管理。

### 1.2 裂果等级评价

在甜瓜成熟期开展裂果特性调查,分别调查 20 个甜瓜品种总果实数、裂果数以及裂果等级,计算裂果指数和裂果率,用于评价甜瓜品种裂果抗性。首先,对照表 1 对试验材料进行裂果等级分类<sup>[11]</sup>,并计算裂果率。果肉厚度为底部和中间厚度的平均值。

$$\text{裂果率} = \text{裂果数} / \text{调查果数} \times 100\% \quad (1)$$

其次,根据裂果指数对照表 2 将裂果抗性划分为极抗裂、抗裂、较易裂、易裂、极易裂 5 个级别<sup>[12]</sup>。

$$\text{裂果指数} = \frac{\sum_{i=0}^4 (i \times n)}{5N} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $i$  为等级; $n$  为相应等级对应的果实数量; $N$  为总调查果数。

表 1 甜瓜裂果等级对照表

| Table 1 Comparison of melon cracking grades |                         |                                                                               |                                                                                      |
|---------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 等级<br>Grade                                 | 裂痕数<br>Number of cracks | 大于周长 1/2 的<br>裂纹数<br>Number of cracks<br>greater than 1/2<br>of circumference | 裂痕大于果<br>肉厚度的 1/2<br>Number of cracks<br>deeper than 1/2 of<br>fruit flesh thickness |
| 0 级 Grade 0                                 | 0                       | 0                                                                             | 0                                                                                    |
| 1 级 Grade 1                                 | (1,∞)                   | 0                                                                             | 0                                                                                    |
| 2 级 Grade 2                                 | (1,∞)                   | 1                                                                             | 0                                                                                    |
| 3 级 Grade 3                                 | (1,∞)                   | 1                                                                             | 1                                                                                    |
| 4 级 Grade 4                                 | (2,∞)                   | (2,∞)                                                                         | 1                                                                                    |
| 5 级 Grade 5                                 | (2,∞)                   | (2,∞)                                                                         | (2,∞)                                                                                |

注:周长计算为 2 个垂直测量的平均值,忽略了小于果皮周长的 1/4 的裂纹。

Note: The perimeter is calculated as the average of two vertical measurements, ignoring cracks less than 1/4 of the pericarp perimeter.

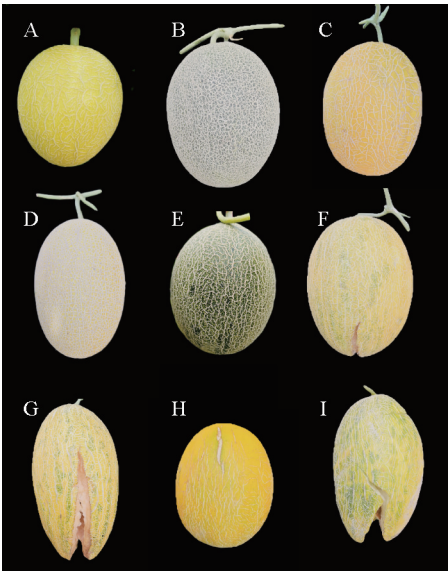
表 2 甜瓜裂果抗性级别对照表

| Table 2 Comparison table of melon fruit cracking resistance level |                                    |                                |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| 裂果抗性级别<br>Fruit cracking<br>resistance level                      | 裂果指数<br>Fruit<br>cracking<br>index | 抗性<br>Resistance               |
| 0                                                                 | (0,1]                              | 极抗裂 Extremely crack resistance |
| 1                                                                 | (1,5]                              | 抗裂 Crack resistance            |
| 2                                                                 | (5,10]                             | 较易裂 Easier to crack            |
| 3                                                                 | (10,25]                            | 易裂 Easy to crack               |
| 4                                                                 | (25,100]                           | 极易裂 Extremely easy to crack    |

1.3 指标测定

在评价裂果抗性的 5 个等级中,选择具有代表性的 0 级(极抗裂)、2 级(较易裂)、4 级(极易裂)各 3 个品种甜瓜,如图 1 所示。在成熟果实赤道位置,使用直径为 1 cm 的打孔器取样,分别装入 2 mL 离心管中,用液氮速冻后置于-80 ℃超低温冰箱中保存,用于测定果皮及果肉矿物质元素含量、纤维素含量、半纤维素含量、POD 活性、PPO 活性。

1.3.1 单瓜重、硬度和腔大小 每个甜瓜品种选取 3 个单瓜,使用电子秤(ACS-30)分别称取鲜重,求均值记录单瓜重;使用数显硬度计(GY-4)测定果皮及果肉硬度,将硬度计插头与果皮或果实切面垂直,左手握紧果实,右手持硬度计,缓缓增加压力,直到果皮或果肉切面到达压头的刻线为止;使用直尺测量果实腔大小,选取腔最大处测量,最小刻度为 0.1 cm。在以上测量指标中每个品种均为 3 个单瓜重复。



A—C. 极抗裂类型: A. 黄梦脆; B. 西州密 17; C. K1028;  
D—F. 较易裂类型: D. 黄皮 9818; E. 纳斯密; F. K1086;  
G—I. 极易裂类型: G. K1076; H. 黄醉仙; I. 仙果。  
图 1 不同抗裂类型甜瓜品种果实图片  
A—C. Extremely crack resistance scale: A. Huangmengcui;  
B. Xizhoumi 17; C. K1028; D—F. Easier cracking scale:  
D. Huangpi 9818; E. Nasimi; F. K1086; G—I. Extremely easy  
to crack scale: G. K1076; H. Huangzuixian; I. Xianguo.  
Fig. 1 Fruit pictures of melon varieties with different  
crack resistance

1.3.2 折光糖含量和含水量 在成熟果实赤道位置,用 1 cm 打孔器垂直于甜瓜赤道位置打孔,将取出的甜瓜切去果皮 0.5 cm 厚度,分离两端 1 cm 边部果肉和 1 cm 心部果肉,用手持测糖仪(PAL-1,日本爱拓)分别测定边部及心部果肉的折光糖含量<sup>[13]</sup>。含水量用烘干减重法<sup>[14]</sup>测定。在成熟果实赤道位置用直径为 1 cm 的打孔器取样,将取出的甜瓜切去果皮 0.5 cm 厚度,果肉切块,分别装入铝盒,利用烘箱烘干法 105 ℃杀青 2 h 后,保持 70 ℃烘至恒重,测定甜瓜果皮及果肉的含水量,按公式(3)计算。在以上测量指标中每个品种均为 3 个单瓜重复。

含水量=(鲜重-干重)/鲜重×100% (3)

1.3.3 营养物质含量和酶活性 取成熟果实,使用 1 cm 打孔器垂直于甜瓜赤道位置打孔,将取出的甜瓜样品切取果皮 0.5 cm 厚度,将果皮与果肉分别装入 2 mL 冻存管中做好标记。每个单瓜各取 8 份果皮和果肉,用液氮速冻后置于-80 ℃超低温冰箱中保存。果皮用于测定矿物质元素含量、纤维素含量、半纤维素含量,果肉用于测定矿物质元素含量、POD 活性、PPO 活性。其中,细胞壁物质半纤维素

和纤维素含量用蒽酮比色法测定<sup>[15-16]</sup>,POD活性测定用愈创木酚法,PPO活性用紫外吸收法测定<sup>[15-16]</sup>;矿物质含量采用原子吸收分光光度计法<sup>[15]</sup>测定。以上测量指标每个品种均为3个单瓜重复。

1.4 数据分析

用Excel 2010进行数据整理计算,SPSS 20进行方差分析、相关性分析及主成分分析,Graph Pad Prism 5绘柱状图及箱图,R绘主成分得分散点图。

2 结果与分析

2.1 参试甜瓜品种裂果抗性等级划分

通过果实裂果指数将20个甜瓜品种的裂果抗

性划分为5个等级(表3)。

其中,极抗裂等级品种3份,包括品种‘黄梦脆’、‘K1028’和‘西州密17’,裂果指数处于0.39~0.68;抗裂等级品种5份,分别为‘明月’、‘金黄密’、‘新密杂11号’、‘新红心脆’和‘中密1号’,裂果指数处于1.58~4.00;较易裂等级品种5份,包括‘纳斯达克’、‘黄皮9818’、‘K1086’、‘华密0526’和‘金凤凰’,裂果指数处于6.03~7.81;易裂等级品种4份,分别为‘绿玫’、‘老汉瓜’、‘西州密25’和‘新密18’,裂果指数处于12.67~21.58;极易裂等级品种3份,分别为‘K1076’、‘黄醉仙’和‘仙果’,裂果指数处于44.59~69.70。

表3 甜瓜裂果抗性等级划分

Table 3 Classification of melon fruit cracking resistance

| 序号<br>Number | 品种(简写)<br>Variety(Abbreviation) | 果实发育天数<br>Days of fruit development/d | 裂果指数<br>Fruit cracking index | 裂果率<br>Fruit cracking rate/% | 抗性等级<br>Resistance level             |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 1            | 黄梦脆(HMC)                        | 48                                    | 0.39                         | 1.96                         | 极抗裂<br>Extremely crack<br>resistance |
| 2            | K1028(K1028)                    | 45                                    | 0.67                         | 3.33                         |                                      |
| 3            | 西州密17号(XZM17)                   | 45                                    | 0.68                         | 3.42                         |                                      |
| 4            | 明月(MY)                          | 38                                    | 1.58                         | 4.88                         | 抗裂<br>Crack<br>resistance            |
| 5            | 中密1号(ZM1)                       | 43                                    | 1.70                         | 8.52                         |                                      |
| 6            | 金黄密(JHM)                        | 38                                    | 2.56                         | 6.11                         |                                      |
| 7            | 新密杂11号(XMZ11)                   | 50                                    | 2.79                         | 13.97                        |                                      |
| 8            | 新红心脆(XHXC)                      | 43                                    | 4.00                         | 6.67                         |                                      |
| 9            | 纳斯达克(NSM)                       | 38                                    | 6.03                         | 13.23                        | 较易裂<br>Easier<br>to crack            |
| 10           | 黄皮9818(HP9818)                  | 45                                    | 6.30                         | 15.76                        |                                      |
| 11           | 华密0526(HM0526)                  | 38                                    | 6.36                         | 22.73                        |                                      |
| 12           | 金凤凰(JFH)                        | 45                                    | 6.72                         | 26.19                        |                                      |
| 13           | K1086(K1086)                    | 45                                    | 7.81                         | 26.54                        |                                      |
| 14           | 西州密25号(XZM25)                   | 45                                    | 12.67                        | 30.00                        | 易裂<br>Easy<br>to crack               |
| 15           | 新密18(XM18)                      | 45                                    | 15.00                        | 51.67                        |                                      |
| 16           | 老汉瓜(LHG)                        | 50                                    | 20.67                        | 34.44                        |                                      |
| 17           | 绿玫(LM)                          | 48                                    | 21.58                        | 39.09                        |                                      |
| 18           | K1076(K1076)                    | 42                                    | 44.59                        | 73.49                        | 极易裂<br>Extremely easy<br>to crack    |
| 19           | 黄醉仙(HZX)                        | 32                                    | 66.50                        | 78.75                        |                                      |
| 20           | 仙果(XG)                          | 35                                    | 69.70                        | 84.87                        |                                      |

2.2 不同裂果等级甜瓜品种果实生理特征

在评价甜瓜果实裂果抗性的5个等级中,选取极抗裂(‘黄梦脆’、‘K1028’、‘西州密17’)、较易裂(‘纳斯达克’、‘黄皮9818’、‘K1086’)、极易裂(‘K1076’、‘黄醉仙’、‘仙果’)各3个甜瓜品种,进行相关果实性状和生理特征分析。

2.2.1 果实性状 表4显示,8个果实性状单果重、

果皮硬度、果肉硬度、心糖含量、边糖含量、腔大小及果皮含水量、果肉含水量在9个甜瓜品种之间均存在显著差异。其中,极易裂类型甜瓜果实的心糖、果皮含水量的平均值与极抗裂和较易裂类型甜瓜之间存在显著差异;极易裂类型甜瓜的边糖、果肉含水量平均值与较易裂类型间存在显著差异;单果重、果皮硬度、果肉硬度、腔大小在3种类型之间不存在显著差异。

表 4 不同甜瓜品种果实性状

Table 4 Fruit traits of different melon varieties

| 抗性等级<br>Resistance level          | 品种名<br>Variety | 单果重<br>Weight per fruit /kg | 果皮硬度<br>Peel hardness / (kg/cm <sup>2</sup> ) | 果肉硬度<br>Flesh hardness / (kg/cm <sup>2</sup> ) | 心糖含量<br>Heart sugar / (°Bx) | 边糖含量<br>Side sugar / (°Bx) | 腔大小<br>Cavity size /cm | 果肉含水量<br>Flesh water content /% | 果皮含水量<br>Peel water content /% |
|-----------------------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 极易裂<br>Extremely easy to crack    | XG             | 1.66±0.08d                  | 13.67±0.28c                                   | 3.47±0.09b                                     | 9.63±0.91e                  | 5.90±0.30f                 | 6.60±0.15abc           | 94.56±0.55a                     | 91.91±1.03ab                   |
|                                   | HZX            | 1.46±0.01d                  | 13.47±1.53c                                   | 1.77±0.42b                                     | 10.93±1.43de                | 7.73±0.97def               | 7.30±0.21ab            | 93.73±0.15a                     | 89.88±0.31abc                  |
|                                   | K1076          | 3.47±0.22a                  | 32.30±4.76a                                   | 6.97±1.76a                                     | 9.53±0.73e                  | 7.17±0.38ef                | 6.83±0.64abc           | 94.48±0.37a                     | 92.65±1.33a                    |
|                                   | 平均值 Mean       | 2.20±1.11a                  | 19.82±10.82a                                  | 4.05±2.65a                                     | 10.03±0.78b                 | 6.92±0.93b                 | 6.91±0.36ab            | 94.27±0.005a                    | 91.60±0.016a                   |
|                                   |                |                             |                                               |                                                |                             |                            |                        |                                 |                                |
| 较易裂<br>Easier to crack            | K1086          | 2.31±0.18c                  | 16.83±0.56c                                   | 3.17±1.07b                                     | 13.30±0.57cd                | 9.30±0.26cd                | 6.23±0.54bc            | 92.84±0.47ab                    | 88.77±0.84bc                   |
|                                   | HP 9818        | 1.39±0.07d                  | 23.47±2.09b                                   | 3.27±0.35b                                     | 15.63±0.64bc                | 12.30±0.25ab               | 5.73±0.43c             | 89.53±0.12c                     | 87.20±0.14cd                   |
|                                   | NSM            | 1.60±0.05d                  | 19.43±0.15bc                                  | 2.87±0.15b                                     | 18.90±0.10a                 | 13.50±0.21a                | 6.27±0.18bc            | 91.19±0.69bc                    | 84.68±0.24d                    |
|                                   | 平均值 Mean       | 1.77±0.49a                  | 19.91±3.34a                                   | 3.11±0.22a                                     | 15.93±2.83a                 | 11.66±2.18a                | 6.08±0.30b             | 91.17±0.017b                    | 86.90±0.021b                   |
|                                   |                |                             |                                               |                                                |                             |                            |                        |                                 |                                |
| 极抗裂<br>Extremely crack resistance | XZM 17         | 2.87±0.18b                  | 16.27±0.65c                                   | 2.83±0.20b                                     | 14.83±0.53bc                | 8.30±0.15de                | 7.80±0.64a             | 93.37±0.59a                     | 89.32±1.14bc                   |
|                                   | K1028          | 1.62±0.09d                  | 17.73±0.99bc                                  | 3.00±0.35b                                     | 13.40±1.00cd                | 6.60±0.10ef                | 6.77±0.27abc           | 92.74±1.07ab                    | 89.17±1.80bc                   |
|                                   | HMC            | 1.50±0.06d                  | 22.93±1.04b                                   | 3.83±0.20b                                     | 16.63±0.91ab                | 10.80±0.91bc               | 6.80±0.06abc           | 93.03±0.45a                     | 88.15±1.40c                    |
|                                   | 平均值 Mean       | 1.99±0.75a                  | 18.98±3.49a                                   | 3.20±0.53a                                     | 14.94±1.60a                 | 8.57±2.11ab                | 7.12±0.59a             | 93.03±0.004ab                   | 88.30±0.010b                   |
|                                   |                |                             |                                               |                                                |                             |                            |                        |                                 |                                |

注:同列不同小写字母表示品种间在 0.05 水平存在显著差异。

Note: Different lowercase letters within same column indicate significant difference among varieties at the 0.05 level.

**2.2.2 果实矿物质元素含量** (1)Ca 含量 图 2, A 显示,在甜瓜品种间相比较,果皮 Ca 含量以‘黄梦脆’最高,以‘仙果’、‘黄醉仙’和‘黄皮 9818’显著较低,并与其余品种差异显著,而其余品种间及其与‘黄梦脆’均无显著差异;果肉中 Ca 含量表现为‘K1076’和‘K1028’显著高于其余品种,而其余品种间无显著差异。同时,在不同抗裂类型的甜瓜间相比较(图 2,B),果皮 Ca 含量均值表现为极抗裂(6 997.34 mg/kg)>较易裂(6 085.71 mg/kg)>极易裂(5 230.09 mg/kg),极抗裂和较易裂类型的 Ca 含量均值分别为极易裂类型的 1.34,1.16 倍,极抗裂类型显著高于极易裂类型,其余类型间无显著差异;果肉 Ca 含量均值表现为极抗裂(699.88 mg/kg)>极易裂(640.73 mg/kg)>较易裂(350.7 mg/kg),极抗裂和极易裂类型 Ca 含量均值分别为较易裂的 2.00,1.83 倍,极抗裂和极易裂类型均与较易裂类型差异显著;甜瓜果皮 Ca 含量远高于同类型果肉含量。

(2)Cu 含量 果肉中 Cu 含量以‘K1028’最低,但其 Cu 含量仅显著低于‘仙果’、‘黄醉仙’、‘西州密 17’,而后三者间无显著差异,并以‘仙果’中最高;果皮中 Cu 含量仍以‘K1028’最低,而以‘K1086’最高,但所有品种间均无显著差异(图 2,C)。同时,不同抗裂类型间相比较,甜瓜果皮中 Cu 含量均值表现为较易裂(4.40 mg/kg)>极易裂(4.03 mg/kg)>极抗裂(2.97 mg/kg),较易裂和极易裂类型分别为极抗裂类型的 1.48,1.36 倍,较易裂类型显著高于极抗裂类型,其余类型间无显著差异;甜瓜果肉中 Cu 含量均值在 3 种类型间无显著差异(图 2,D)。

(3)Na 含量 各甜瓜品种果皮和果肉中 Na 含量均以‘K1086’为最高,但其果皮 Na 含量仅与含量最低的‘K1028’差异显著,其果肉中 Na 含量显著高于其余品种,而其余品种间均无显著差异(图 2,E)。同时,甜瓜品种果皮和果肉中 Na 含量均值在 3 种抗裂类型间均无显著差异(图 2,F),果皮中均值表现为较易裂型>极易裂型>极抗裂型,而果肉中均值则表现为较易裂型>极抗裂型>极易裂型,果皮含量明显大于同类型果肉含量。

(4)Mg 含量 各甜瓜品种果皮中 Mg 含量以‘K1028’最低,其余品种间无显著差异,但‘K1028’与‘仙果’和‘K1076’无显著差异;各品种果肉中 Mg 含量以‘K1076’最高,其次为‘K1028’,‘纳斯密’含量最低,但‘纳斯密’与除‘K1076’和‘K1028’以外

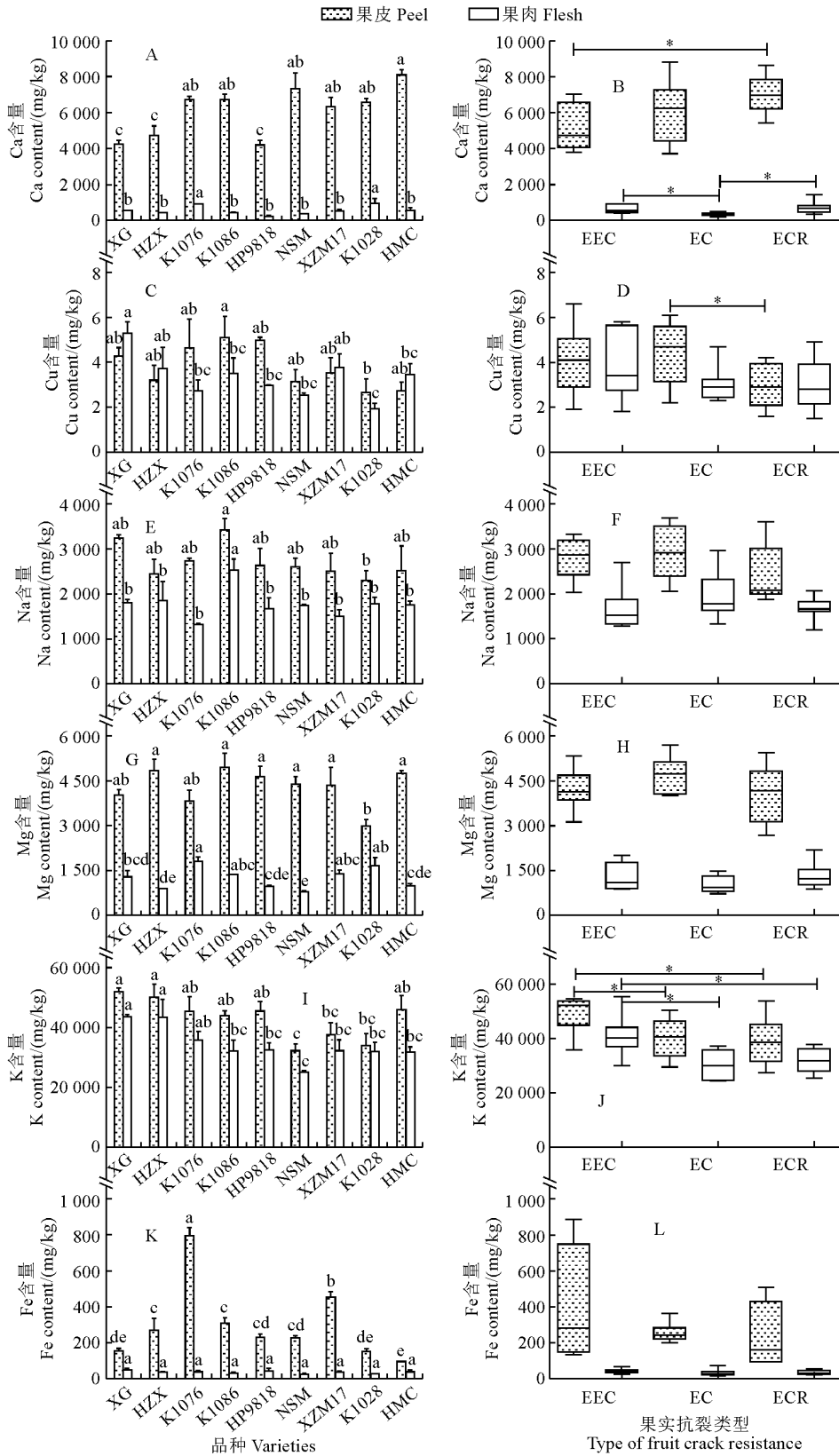
的品种均无显著差异(图 2,G)。同时,甜瓜果皮及果肉中 Mg 含量均值在 3 种抗裂类型间均无显著差异(图 2,H),果皮中 Mg 含量均表现为较易裂>极易裂>极抗裂,果肉中 Mg 含量均值则表现出相反趋势,但果皮含量明显大于同类型果肉含量。

(5)K 含量 各甜瓜品种果皮及果肉中 K 含量均以‘纳斯密’最低,均以‘仙果’和‘黄醉仙’最高,‘纳斯密’果皮中 K 含量与‘K1028’和‘西州密 17’无显著差异,其余品种较高且无显著差异,‘纳斯密’果肉中 K 含量与除‘仙果’、‘黄醉仙’和‘K1076’外的品种均无显著性差异(图 2,I)。同时,果皮和果肉中 K 含量均值都表现为极易裂>较易裂>极抗裂,且极易裂类型均显著高于较易裂和极抗裂类型;极易裂和较易裂果皮中 K 含量均值分别为极抗裂类型的 1.26,1.04 倍,它们果肉中 K 含量均值分别为极抗裂类型的 1.37,1.07 倍(图 2,J);果皮中 K 含量明显大于同类型果肉含量。

(6)Fe 含量 各甜瓜品种果肉中 Fe 含量无显著差异;各品种果皮中 Fe 含量以‘K1076’最高,其次为‘西州密 17’,而以‘黄梦脆’最低,‘K1028’和‘仙果’与‘黄梦脆’相近,其余品种间均无显著差异(图 2,K)。同时,甜瓜果皮及果肉中 Fe 含量在不同抗裂类型间均无显著差异。果皮中 Fe 含量均值依次为极易裂>较易裂>极抗裂,果肉中 Fe 含量均值依次为极易裂>极抗裂>较易裂,果皮含量明显大于同类型果肉含量(图 2,L)。

**2.2.3 果肉 PPO 和 POD 活性** 图 3 显示,甜瓜品种‘纳斯密’、‘黄梦脆’、‘黄皮 9818’果肉的 PPO 活性显著高于其他品种,其次为‘K1076’、‘西州密 17’,而‘仙果’、‘黄醉仙’、‘K1086’、‘K1028’中 PPO 活性最低,且四者之间无显著性差异。在不同抗裂性类型间比较,甜瓜果肉中 PPO 活性均值依次为:较易裂型>极抗裂型>极易裂型,较易裂和极抗裂型的活性均值分别为极易裂型的 1.55,1.21 倍,且较易裂类型显著高于极易裂类型,而与极抗裂型无显著差异。

同时,各甜瓜品种果肉中 POD 活性以‘仙果’最高,但与‘黄醉仙’、‘K1076’、‘黄皮 9818’和‘K1028’均无显著差异,并以‘K1086’的 POD 活性最低,显著低于除‘纳斯密’外的所有品种。在不同抗裂等级间相比较,甜瓜果肉 POD 活性均值依次为极易裂>极抗裂>较易裂,极易裂和极抗裂类型活性均值分别为较易裂型的 1.07,1.02 倍,且极易裂型与极抗裂和较易裂型均差异显著。



不同小写字母表示品种间在 0.05 水平存在显著差异；\* 表示类型间在 0.05 水平存在显著差异；EEC. 极易裂；EC. 较易裂；ECR. 极抗裂。下同。

图 2 不同甜瓜品种果皮及果肉中矿质元素含量比较

Different lowercase letters indicate significant difference among cultivars at the 0.05 level; \* indicates significant difference between types at the 0.05 level; EEC. Extremely easy to crack; EC. Easier to crack; ECR. Extremely carck resistance. The same as below.

Fig. 2 The mineral element contents in peel and flesh of different melon varieties

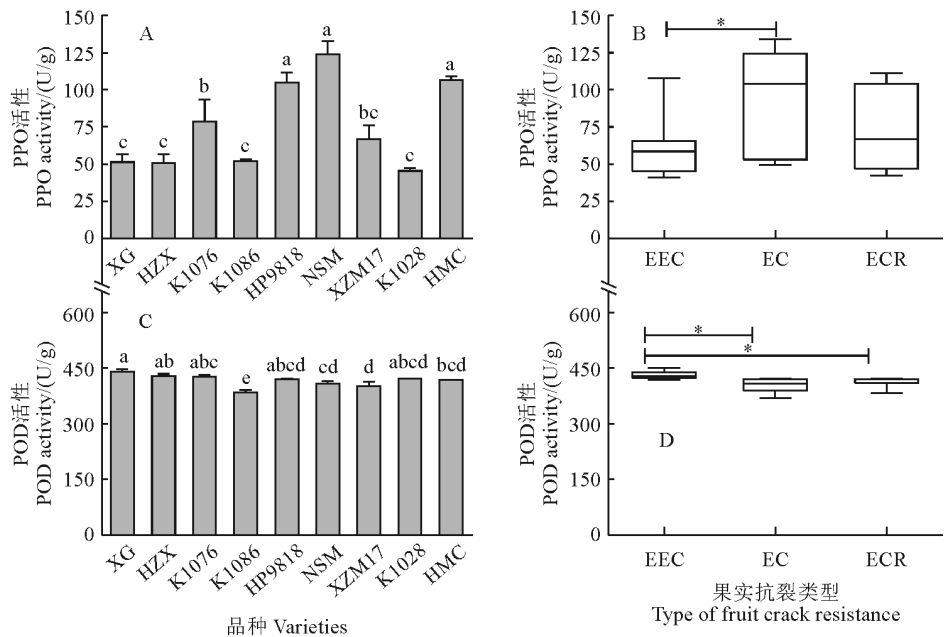


图 3 不同抗裂类型甜瓜品种果肉 PPO 和 POD 活性

Fig. 3 PPO and POD activities in flesh of different types melon varieties

**2.2.4 果皮细胞壁物质含量** 各甜瓜品种果皮的半纤维素含量以‘黄梦脆’最高,但‘黄皮 9818’、‘K1028’、‘K1076’、‘西州密 17’与之无显著差异,其中以‘仙果’的半纤维素含量最低,它与‘黄醉仙’、‘K1086’之间无显著差异(图 4,A)。甜瓜果皮半纤维素含量均值表现为极抗裂(56.21 mg/g) > 较易裂(48.68 mg/g) > 极易裂(38.76 mg/g),极抗裂和较易裂型纤维素含量均值分别为极易裂型的 1.45, 1.26 倍,且极抗裂类型与极易裂类型差异显著(图

4,B)。同时,各甜瓜品种果皮的纤维素含量以‘黄梦脆’和‘纳斯密’最高,并显著高于除‘K1028’以外的所有品种,其余品种间纤维素含量无显著差异,且以‘仙果’和‘K1076’纤维素含量最低(图 4,C)。甜瓜果皮纤维素含量均值表现为:极抗裂(169.38 mg/g) > 较易裂(156.59 mg/g) > 极易裂(138.21 mg/g),极抗裂和较易裂类型分别为极易裂型的 1.23, 1.13 倍,且极抗裂类型与极易裂类型差异显著(图 4,D)。

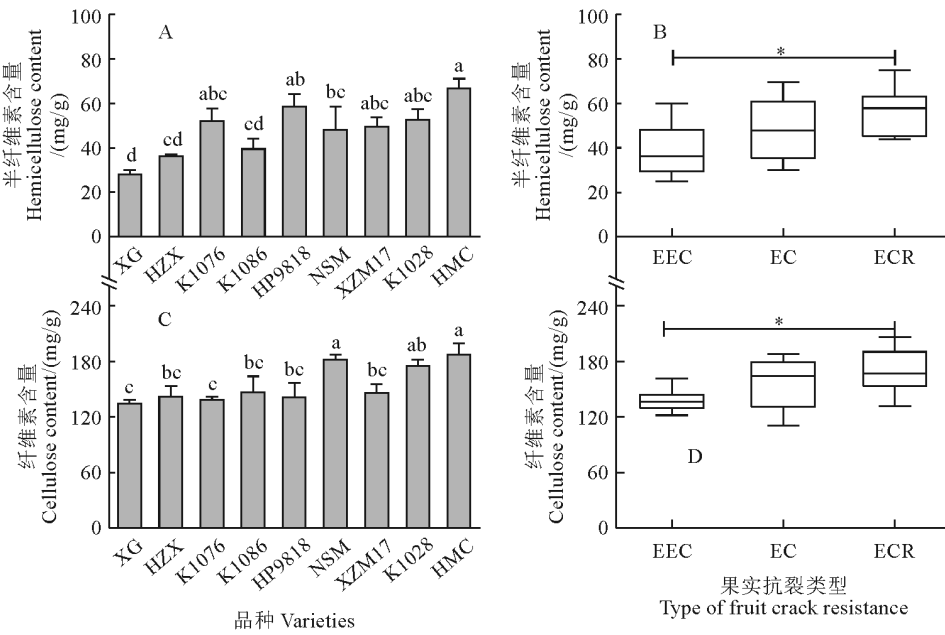


图 4 不同甜瓜品种果皮半纤维素和纤维素含量

Fig. 4 Hemicellulose and cellulose contents in peel of different melon varieties

2.3 甜瓜裂果抗性与测定指标的相关性分析

表 5 显示,甜瓜裂果指数和裂果率与 24 个测定指标相关性分析中,有 9 个测定指标相关性达到显著或者极显著水平。

其中,裂果指数和裂果率均与果实心糖含量、纤

维素含量、半纤维素含量存在显著或极显著负相关,与果皮含水量、果肉含水量、POD 活性、果皮中的 K 元素含量、果肉中的 K 元素含量存在显著或极显著正相关;裂果指数与果肉中的 Cu 元素含量存在显著正相关。

| 表 5 甜瓜裂果指数和裂果率与其他测定指标的相关系数                                                                    |    |                           |                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|---------------------------|-------------------------|
| Table 5 Correlation efficient of cracking index and cracking rate with other measured indexes |    |                           |                         |
| 指标 index                                                                                      |    | 裂果指数 Fruit cracking index | 裂果率 Fruit cracking rate |
| 单果重 Single fruit weight                                                                       |    | 0.031                     | 0.171                   |
| 果皮硬度 Peel hardness                                                                            |    | −0.179                    | −0.041                  |
| 果肉硬度 Flesh hardness                                                                           |    | 0.106                     | 0.255                   |
| 心糖含量 Heart sugar content                                                                      |    | −0.798 **                 | −0.837 **               |
| 边糖含量 Edge sugar content                                                                       |    | −0.564                    | −0.550                  |
| 腔大小 Cavity size                                                                               |    | 0.187                     | 0.107                   |
| 果皮含水量 Peel water content                                                                      |    | 0.662 *                   | 0.700 *                 |
| 果肉含水量 Flesh water content                                                                     |    | 0.598 *                   | 0.595 *                 |
| 果肉 POD 活性 Flesh POD activity                                                                  |    | 0.673 *                   | 0.590 *                 |
| 果肉 PPO 活性 Flesh PPO activity                                                                  |    | −0.426                    | −0.410                  |
| 果皮矿物质元素含量<br>Mineral elements content in peel                                                 | Ca | −0.529                    | −0.487                  |
|                                                                                               | Cu | 0.194                     | 0.347                   |
|                                                                                               | Fe | 0.185                     | 0.331                   |
|                                                                                               | K  | 0.723 *                   | 0.719 *                 |
|                                                                                               | Mg | 0.015                     | 0.021                   |
|                                                                                               | Na | 0.271                     | 0.371                   |
| 果肉矿物质元素含量<br>Mineral elements content in flesh                                                | Ca | 0.064                     | 0.098                   |
|                                                                                               | Cu | 0.594 *                   | 0.533                   |
|                                                                                               | Fe | 0.515                     | 0.461                   |
|                                                                                               | K  | 0.892 **                  | 0.836 **                |
|                                                                                               | Mg | 0.034                     | 0.136                   |
|                                                                                               | Na | −0.282                    | −0.231                  |
| 果皮纤维素含量 Peel cellulose content                                                                |    | −0.681 *                  | −0.699 *                |
| 果皮半纤维素含量 Peel hemicellulose content                                                           |    | −0.713 *                  | −0.695 *                |

注: \*\* 表示在 0.01 水平存在显著相关性, \* 表示在 0.05 水平存在显著相关性。  
Note: \*\* indicates significant correlation at the 0.01 level, \* indicates significant correlation at the 0.05 level.

2.4 甜瓜裂果相关指标的主成分分析

对 9 个甜瓜品种的测定指标进行主成分分析,提取多个指标中的综合指标,筛选影响甜瓜裂果的主要因子。以特征值大于 1,累计贡献率大于 80% 为原则,将 26 项裂果相关指标转化为 4 个主成分,贡献率分别为 37.8%、20.451%、12.876% 和 10.852%,累计贡献率达 81.979%,以上 4 个主成分可以反映大多数指标的信息(表 6)。其中,第 1 主成分中裂果率、裂果指数、果皮含水量、果肉含水量、果肉中 K 含量(权重 0.817~0.946),以及心糖、边糖、纤维素含量(权重 −0.964~−0.818)8 个指标

载荷绝对值较大,主要反映了果实性状指标;第 2 主成分中果肉 Mg 和 Ca 含量(权重 0.73~0.807)2 个指标载荷较大,主要反映了果肉中的矿物质元素指标;第 3 主成分中果皮 Na 和 Cu 含量(权重 0.705~0.897)2 个指标载荷较大,主要反映了果皮中的矿物质元素指标;第 4 主成分中果肉 Na 元素(权重为 −0.789)载荷绝对值最大,主要反映了果肉中的矿物质元素指标。这 4 个主成分可以很好地将 9 个甜瓜品种的 26 项裂果相关指标进行分类,结果表明在不同抗裂类型的甜瓜品种表现中,果实性状的贡献率最高,矿质元素含量次之。

表 6 主成分因子载荷表

Table 6 Factor loading of principal component

| 指标<br>Index                                    |    | 成分 1<br>Component 1 | 成分 2<br>Component 2 | 成分 3<br>Component 3 | 成分 4<br>Component 4 |
|------------------------------------------------|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 裂果指数 Fruit cracking index                      |    | 0.842               | −0.319              | −0.068              | 0.295               |
| 裂果率 Fruit cracking rate                        |    | 0.854               | −0.225              | 0.112               | 0.290               |
| 单果重 Single fruit weight                        |    | 0.382               | 0.668               | 0.465               | −0.169              |
| 果皮硬度 Peel hardness                             |    | −0.099              | 0.698               | 0.419               | 0.529               |
| 果肉硬度 Flesh hardness                            |    | 0.302               | 0.707               | 0.461               | 0.316               |
| 心糖 Heart sugar                                 |    | −0.964              | −0.071              | −0.050              | −0.014              |
| 边糖 Edge sugar                                  |    | −0.867              | −0.214              | 0.273               | 0.292               |
| 腔大小 Cavity size                                |    | 0.399               | 0.251               | −0.500              | −0.276              |
| 果皮含水量 Peel water content                       |    | 0.817               | 0.223               | −0.174              | −0.302              |
| 果肉含水量 Flesh water content                      |    | 0.946               | 0.268               | 0.030               | −0.010              |
| 果肉 POD 活性 Flesh POD activity                   |    | 0.521               | −0.035              | −0.464              | 0.647               |
| 果肉 PPO 活性 Flesh PPO activity                   |    | −0.698              | 0.045               | 0.201               | 0.540               |
| 果皮矿物质元素含量<br>Mineral elements content in peel  | Ca | −0.331              | 0.578               | −0.034              | −0.383              |
|                                                | Cu | 0.290               | −0.134              | 0.897               | 0.067               |
|                                                | Fe | 0.389               | 0.614               | 0.471               | 0.150               |
|                                                | K  | 0.669               | −0.445              | 0.191               | 0.302               |
|                                                | Mg | −0.191              | −0.618              | 0.415               | 0.041               |
|                                                | Na | 0.343               | −0.362              | 0.705               | −0.358              |
| 果肉矿物质元素含量<br>Mineral elements content in flesh | Ca | 0.385               | 0.807               | −0.310              | −0.149              |
|                                                | Cu | 0.596               | −0.605              | 0.086               | −0.098              |
|                                                | Fe | 0.645               | −0.051              | −0.171              | −0.001              |
|                                                | K  | 0.881               | −0.361              | −0.190              | 0.154               |
|                                                | Mg | 0.495               | 0.730               | 0.131               | −0.314              |
|                                                | Na | −0.166              | −0.306              | 0.404               | −0.789              |
| 果皮纤维素含量 Peel cellulose content                 |    | −0.818              | 0.082               | −0.173              | −0.117              |
| 果皮半纤维素含量 Peel hemicellulose content            |    | −0.631              | 0.520               | −0.050              | 0.306               |
| 特征值 Eigenvalue                                 |    | 10.363              | 6.031               | 4.814               | 2.491               |
| 贡献率 Contribution rate/%                        |    | 37.800              | 20.451              | 12.876              | 10.852              |
| 累计贡献率 Cumulative contribution rate/%           |    | 37.800              | 58.251              | 71.127              | 81.979              |

另外,以第 1 主成分为横轴,第 2 主成分为纵轴,得到 9 个甜瓜品种的主成分得分散点图(图 5)。其中,第 1 主成分代表的果实性状,在横轴上将极易裂果类型(‘仙果’、‘黄醉仙’、‘K1076’)划分在二、三象限;第 2 主成分代表的矿物质元素指标,在纵轴上将较易裂果类型(‘K1086’、‘黄皮 9818’、‘纳斯密’)划分在第一象限,将极抗裂类型(‘西州密 17’、‘K1028’、‘黄梦脆’)划分在第四象限,不同抗裂类型的甜瓜品种在主成分得分图的不同区域有明显聚类。以上结果说明,果实性状指标中裂果率、裂果指数、果皮含水量、果肉含水量、心糖含量、边糖含量、纤维素含量,矿物质元素指标中果肉的 K、Mg、Ca、Na 元素含量,果皮的 Na 和 Cu 元素含量是裂果性状评价时必不可少的调查指标,可有效区分果实抗裂类型。

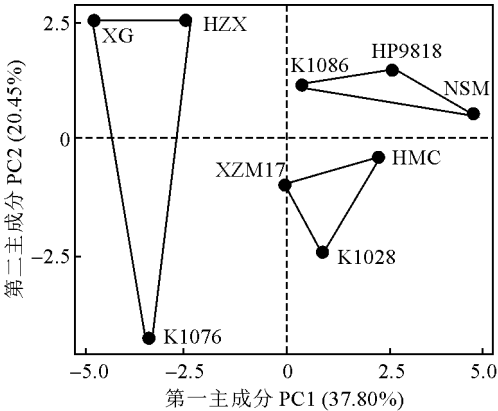


图 5 9 个甜瓜品种的主成分得分图

Fig. 5 Principal component scores of 9 melon varieties

3 讨论

裂果是普遍存在的生理性病害,主要出现在果实成熟期,且不同品种间裂果性差别较大<sup>[17]</sup>,本研究根据裂果指数将 20 个甜瓜品种划分为 5 个裂果等级,极易裂型果皮含水量显著高于极抗裂型,而果实含糖量显著低于极抗裂型,果肉含水量和边糖含量在极易裂型与极抗裂型间有差异,但未达显著水平;甜瓜裂果性与果皮及果肉含水量呈显著正相关,与果实含糖量呈极显著负相关。前人研究发现,荔枝易裂果品种果实含水量比耐裂果品种高<sup>[18]</sup>;果实表面和植物根系持续性吸收大量水分,使细胞膨胀压升高,导致果实表皮细胞和组织破裂<sup>[19-20]</sup>;果实可溶性固形物随水分的增加先增大后减小,水分过多不利于果实糖分的积累,反而降低甜瓜品质<sup>[9]</sup>。

在甜瓜、西瓜、梨、杏、枣等果实中均有相关研究表明矿物质元素与裂果存在密切关系<sup>[11,21-23]</sup>。杨双双等<sup>[24]</sup>发现,25 g/L CaCl<sub>2</sub> 浸果能有效增加枣果实 Ca 含量,显著降低裂果率。李春燕等<sup>[25]</sup>报道,枣裂果品种 Ca 元素含量显著大于易裂果品种,脆熟期枣果皮中 Ca 元素含量高于果肉。本研究结果显示,不同甜瓜品种 Ca 元素在果皮中的含量均高于果肉,极抗裂品种中果皮 Ca 含量大于极易裂品种,但果皮中 Ca 含量与裂果性未达到显著水平负相关,而 K 元素在果皮及果肉中的含量与裂果性呈显

著或极显著正相关。有研究表明钙与钾会产生强烈拮抗作用,当 K 元素含量过高时,将导致 Ca 元素含量不足,裂果加剧;Ca 元素含量高而 K 元素含量低时,有助于降低裂果<sup>[26-27]</sup>。本研究尚未探究外源矿物质对果实开裂的影响,这有待今后进一步研究。

果皮的抗裂性与果皮组成成分关系密切。细胞壁主要由纤维素、半纤维素、果胶以及结构蛋白组成,纤维素是细胞壁骨架主要成分,果胶、半纤维素等填充在骨架中加固细胞壁<sup>[10]</sup>。番茄和荔枝果实中发现易裂品种的果实纤维素、半纤维素含量均低于耐裂果品种<sup>[18,28]</sup>。枣的果实中纤维素含量与裂果率呈极显著负相关<sup>[29]</sup>。本研究结果显示,甜瓜极抗裂类型果实中纤维素与半纤维素含量显著高于极易裂类型,且裂果率与纤维素、半纤维素含量呈显著负相关。

综上所述,‘黄梦脆’、‘K1028’、‘西州密 17’为甜瓜极抗裂类型。极抗裂型的甜瓜果实含糖量、纤维素含量、半纤维素含量显著高于极易裂型,而果皮含水量、POD 活性显著低于极易裂型;甜瓜果皮中 Ca、Na、Mg 和 Fe 元素含量显著高于果肉;甜瓜裂果抗性与果实含糖量、纤维素含量、半纤维素含量存在显著正相关,与果皮含水量、果肉含水量、POD 活性、K 元素含量存在显著负相关。甜瓜裂果性的主要影响因子有:果皮含水量、果肉含水量、心糖、边糖和纤维素含量,果皮中的 K、Ca、Mg 和 Na 含量以及果肉的 Na 和 Cu 含量。

参考文献:

[1] MANCHALI S, CHIDAMBARA MURTHY K N, VISHNU-VARDANA, *et al.* Nutritional composition and health benefits of various botanical types of melon (*Cucumis melo* L.) [J]. *Plants*, 2021, **10**(9): 1 755.

[2] 陈艳丽, 吕明轩, 王 珧, 等. 营养液浓度对椰糠基质培养网纹甜瓜生长、裂果和品质的影响[J]. *中国瓜菜*, 2019, **32**(5): 34-37.

CHEN Y L, LÜ M X, WANG Y, *et al.* Effects of nutrient solution concentration on the growth, fruit cracking and quality of muskmelon cultured with coco coir[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2019, **32**(5): 34-37.

[3] LI N, FU L J, SONG Y Q, *et al.* Wax composition and concentration in jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) cultivars with differential resistance to fruit cracking[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2020, **255**: 153 294.

[4] LIAO N Q, HU Z Y, LI Y Y, *et al.* Ethylene-responsive factor 4 is associated with the desirable rind hardness trait conferring cracking resistance in fresh fruits of watermelon [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2020, **18**(4): 1 066-1 077.

[5] ZHANG C, ZHAO Y J, JIANG F L, *et al.* Differences of reactive oxygen species metabolism in top, middle and bottom part of epicarp and mesocarp influence tomato fruit cracking [J]. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2020, **95**(6): 746-756.

[6] MICHAILIDIS M, KARAGIANNIS E, TANOU G, *et al.* Sweet cherry fruit cracking: follow-up testing methods and cultivar-metabolic screening[J]. *Plant Methods*, 2020, **16**: 51.

[7] QI Z Y, LI J X, RAZA M A, *et al.* Inheritance of fruit cracking resistance of melon (*Cucumis melo* L.) fitting E-0 genetic model using major gene plus polygene inheritance analysis[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, **189**: 168-174.

[8] 刘 壮, 高美玲, 王 丽, 等. 不同西瓜品种果实性状与裂果

- 的相关性[J]. 江苏农业科学, 2020, **48**(16): 173-176.
- LIU Z, GAO M L, WANG L, *et al.* Correlation between fruit characters and fruit cracking of different watermelon cultivars[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, **48**(16): 173-176.
- [9] 胡艳平, 朱白婢, 黄文枫, 等. 水分处理对网纹甜瓜裂果及果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2021(10): 9-15.
- HU Y P, ZHU B B, HUANG W F, *et al.* Effects of water treatments on cracking fruit and fruit quality of muskmelon[J]. *Northern Horticulture*, 2021(10): 9-15.
- [10] 王建宇. 枣裂果生理特征及转录组和蛋白组学分析[D]. 新疆阿拉尔: 塔里木大学, 2020.
- [11] LOPEZ-ZAPLANA A, BÁRZANA G, AGUDELO A, *et al.* Foliar mineral treatments for the reduction of melon (*Cucumis melo* L.) fruit cracking[J]. *Agronomy*, 2020, **10**(11): 1 815.
- [12] 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.
- [13] 李 斌, 吴国利, 张跃建, 等. 留瓜节位对厚皮甜瓜植株生理特性、果重及可溶性固形物含量的影响[J]. 中国园艺文摘, 2012, **28**(2): 4-6.
- LI B, WU G L, ZHANG Y J, *et al.* Effects of fruiting nodes on physiological characteristics, fruit weight and total soluble solid content of muskmelon[J]. *Chinese Horticulture Abstracts*, 2012, **28**(2): 4-6.
- [14] 任瑞丹, 范兵华, 王归鹏, 等. 称重法决策灌溉量对袋式栽培甜瓜茎流与养分吸收及产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, **48**(12): 81-89.
- REN R D, FAN B H, WANG G P, *et al.* Effects of irrigation amounts by weighting method on stem flow and nutrient absorption of melon in substrate bag culture[J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2020, **48**(12): 81-89.
- [15] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [16] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [17] 杨 磊, 冯贝贝, 靳 娟, 等. 新疆 6 个大果红枣裂果性差异及其内在原因分析[J]. 西北植物学报, 2021, **41**(8): 1 364-1 370.
- YANG L, FENG B B, JIN J, *et al.* Differences in fruit cracking of six big fruit type jujube cultivars from Xinjiang and its internal causes[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, **41**(8): 1 364-1 370.
- [18] HUANG X M, WANG H C, GAO F F, *et al.* A comparative study of the pericarp of litchi cultivars susceptible and resistant to fruit cracking[J]. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 1999, **74**(3): 351-354.
- [19] KHADIVI-KHUB A. Physiological and genetic factors influencing fruit cracking[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2015, **37**(1): 1 718.
- [20] LI H L, LIU G S, TIAN H Q, *et al.* Fruit cracking: A review[J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2021, **37**(8): 2 737-2 752.
- [21] 吕明轩, 王 敏, 陈艳丽, 等. 钙、硅、镁对小果型西瓜裂果及品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2021, **34**(9): 56-61.
- LÜ M X, WANG M, CHEN Y L, *et al.* Effect of calcium, silicium, magnesium on fruit cracking and quality of small watermelon[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2021, **34**(9): 56-61.
- [22] 杨 育. 梨裂果生理特征及差异表达基因分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [23] NIE G W, LI K, TIAN Y Q, *et al.* Correlation analysis between cracking and mineral element content of apricot fruit[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2017, **18**(10): 1 852-1 855.
- [24] 杨双双, 鲁晓燕, 王青凤, 等.  $\text{CaCl}_2$  浸果对新疆枣裂果率及钙钾镁含量的影响[J]. 西北植物学报, 2014, **34**(4): 761-768.
- YANG S S, LU X Y, WANG Q F, *et al.* Influence of fruit soaked by  $\text{CaCl}_2$  on fruit cracking rate and Ca, K, Mg content of jujube in Xinjiang[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2014, **34**(4): 761-768.
- [25] 李春燕, 卢桂宾, 刘 和, 等. 枣在裂果关键期果皮、果肉中主要矿质元素的含量特点[J]. 山西农业科学, 2019, **47**(9): 1 505-1 508.
- LI C Y, LU G B, LIU H, *et al.* Characteristic on the content of the main mineral elements in pericarp and pulp of jujube in the key cracking period[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2019, **47**(9): 1 505-1 508.
- [26] 汪志辉, 廖明安, 孙国超. 矿质元素对油桃裂果的影响[J]. 北方园艺, 2005(6): 41.
- WANG Z H, LIAO M A, SUN G C. Effect of mineral elements on fruit cracking of nectarine[J]. *Northern Horticulture*, 2005(6): 41.
- [27] 陈艳秋, 曲柏宏, 牛广才, 等. 苹果梨果实矿质元素含量及其品质效应的研究[J]. 吉林农业科学, 2000, **25**(6): 44-48.
- CHEN Y Q, QU B H, NIU G C, *et al.* Study on seasonal variation of mineral elements content in Pingguoli pear fruits[J]. *Jilin Agricultural Sciences*, 2000, **25**(6): 44-48.
- [28] YANG Z E, WU Z, ZHANG C, *et al.* The composition of pericarp, cell aging, and changes in water absorption in two tomato genotypes: mechanism, factors, and potential role in fruit cracking[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2016, **38**(9): 215.
- [29] 郭红彦, 白晋华, 段风琴, 等. 钙处理对‘壶瓶枣’裂果细胞壁降解酶活性及组织结构的影响[J]. 园艺学报, 2019, **46**(8): 1 486-1 494.
- GUO H Y, BAI J H, DUAN F Q, *et al.* Effect of  $\text{CaCl}_2$  treatment on cell wall degrading enzymes activities and micro-structure of fruit cracking of *Ziziphus jujuba* ‘Huping zao’[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2019, **46**(8): 1 486-1 494.

(编辑:裴阿卫)