

枣果吸水动力学和果皮特征对裂果的影响

刘志国¹, 卢艳清¹, 赵锦², 刘孟军¹

(¹河北农业大学中国枣研究中心, 保定 071001; ²河北农业大学生命科学学院, 保定 071000)

摘要:裂果是对枣产量和品质影响最大、最难防治的生理性病害,本研究旨在揭示抗裂果枣品种的抗性机制,为有效防治枣裂果和选育抗裂果枣品种提供依据。选择不同抗裂等级的枣品种为试材,通过室内浸水试验研究枣果水势、持水率、吸水率、吸水速率等吸水动力学指标与裂果率和裂果指数等抗裂等级指标之间的相关性,同时利用组织切片技术观测果皮显微结构与抗裂等级的关系。结果表明,枣果水势高低不能反映枣果固有的抗裂等级;枣果的持水率与裂果率、裂果指数之间均没有显著相关性;脆熟期枣果的吸水率与裂果率和裂果指数呈极显著正相关;吸水率阈值时的吸水速率随枣果抗裂等级的升高逐渐降低,极抗裂品种长红枣和极易裂品种骏枣吸水率阈值时的吸水速率分别为 0.20%/h 和 0.52%/h;极抗裂品种长红枣的果皮蜡被厚度极显著高于其他品种,而且果皮细胞排列规则紧密;枣果抗裂性与果皮厚度相关性不显著;果实中上部(近果柄端)为开裂的敏感部位。

关键词:枣;吸水动力学;果皮特征;裂果

The Effects of Water Absorbing Dynamics and Pericarp Structure on Fruit Cracking in Chinese Jujube

LIU Zhi-guo¹, LU Yan-qing¹, ZHAO Jin², LIU Meng-jun¹

(¹ Research Center of Chinese Jujube, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001;

² College of Life Science, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000)

Abstract: Fruit cracking is the most serious physiological disease for yield and quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.). The objective of this study was to reveal the mechanism of the cultivars with high resistance to fruit cracking, and provide scientific basis for prevention of the disease and relevant breeding. Cultivars with different resistance to fruit cracking were used as materials. During immersed in water, the water potential, water retaining rate, water absorption, fruit cracking rate and fruit cracking index were determined, and then the correlations between them were analyzed by SPSS software. Meanwhile, microscopic technology was used to observe the pericarp microstructure. Water potential of fruit did not reflect inherent resistance of jujube fruit to cracking. There was no significant correlation between water retaining rate and fruit cracking rate or fruit cracking index. However, water absorption was extremely significantly correlated with fruit cracking rate and fruit cracking index at fruit crisp-mature stage. The water absorption rate at the water absorption threshold was negatively correlated with the resistance to fruit cracking. The cultivar 'Changhongzao' with highest resistance to fruit cracking had the lowest water absorption rate (0.20%/h) and that of the most susceptible cultivar 'Junzao' had the highest rate (0.52%/h). Compared with other cultivars, the wax layer of 'Changhongzao' was the thickest, and its pericarp cells arranged much more

收稿日期:2014-02-24 修回日期:2014-03-31 网络出版日期:2014-12-11

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20141211.2158.004.html>

基金项目:国家科技支撑项目(2013BAD14B03);林业公益性行业科研专项(201004017-02);河北省科技支撑计划(11230606D-6)

第一作者研究方向为干果种质资源与分子辅助育种。E-mail: jujubeliu@163.com; 卢艳清为共同第一作者

通信作者:刘孟军,研究方向为干果种质资源与分子辅助育种。E-mail: lmj1234567@aliyun.com

赵锦,研究方向为干果种质资源与分子辅助育种。E-mail: zhaojinbd@126.com

regular and closer. No significant correlation was found between cracking resistance and the thickness of epidermis. The upper part (near carpodium) of fruit was more sensitive to cracking.

Key words: Chinese jujube; water absorbing dynamics; pericarp structure; fruit cracking

枣(*Ziziphus jujuba* Mill.)原产我国,栽培历史悠久,是我国特有的果树资源^[1]。当前,枣树是我国第一大干果树种和快速发展的经济林树种,已成为山、沙、碱、旱地区 2000 多万农民的主要经济来源^[2]。裂果是由于果皮的抗张能力不能忍耐果肉的生长应力,导致果皮断裂的结果^[3-4]。裂果发生范围广,不仅在果树如甜樱桃^[5-6]、苹果^[7-8]、油桃^[9]等的生产中普遍存在,而且在果实类蔬菜作物如番茄^[10]、甜椒^[11]上也经常发生,是园艺作物商业生产中的一个普遍性难题。裂果是当前枣树上最严重的生理性病害,近年来日趋严重,许多枣区一般年份因裂果减产 20% 左右,严重时超过 50%^[12],甚至绝收^[13],成为枣产业发展的重要瓶颈^[14-15]。枣裂果的影响因素众多,主要包括外因和内因两大部分。外因包括降雨、气温、日灼和地下水水位等^[16-20];内因则涉及品种、果实发育及解剖结构、矿质元素等^[4,21]。

关于枣果裂果机理方面的研究始于 20 世纪 90 年代。李克志等^[4]研究认为,不同品种间裂果的敏感性与水势无关,与果皮角质层(蜡质层)厚度有关。高京草等^[22]通过对果实组织结构进行观察,发现果实表皮厚度与裂果指数相关性显著,而角质层厚度与裂果指数之间无明显的相关性。21 世纪初,石志平等^[23]在鲜枣裂果及其解剖结构相关性研究中发现,枣果裂果指数与角质层厚度间相关性不显著,而与表皮厚度、表皮细胞层数及中果皮细胞排列紧密程度呈显著负相关。近来,汪星等^[24]对枣果吸水率与裂果的关系进行了初步研究;杜巍等^[25]从枣果果皮厚度、梗洼下空腔、果肉空腔和果肉细胞的吸水速度方面阐述了枣裂果的机制。在前人基础上,本试验拟利用课题组前期筛选出的具不同抗裂果能力的枣树品种^[26],系统开展枣果吸水动力学和果皮结构与抗裂性能关系的研究,为进一步揭示抗裂果枣品种的抗性机制和开展抗裂果优良品种选育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及处理

于河北省沧县良种繁育基地枣种质资源圃,经多年调查选定不同抗裂枣品种材料。供试枣果均取

自该资源圃,树龄为 15~20 年生,常规管理。分别于果实白熟期和脆熟期,从树冠外围选取成熟度一致、大小均匀的果实,放入冰盒带回实验室待用。

1.1.1 水势与裂果关系研究 以极抗裂品种长红枣、相枣;抗裂品种大荔龙枣、苹果枣;较易裂品种晋枣、金丝小枣;极易裂品种骏枣、磨塞子枣为试材,用于白熟期与脆熟期枣果水势的测定。单株小区,重复 3 次,每株采 15 个枣果。

1.1.2 果实持水率与裂果关系研究 供试材料同 1.1.1,用于白熟期与脆熟期枣果持水率、裂果率和裂果指数测定。单株小区,重复 3 次,每株采 30 个枣果。

1.1.3 果实吸水率动态测定 以极抗裂品种长红枣、抗裂品种大荔龙枣、较易裂品种晋枣、极易裂品种骏枣为试材,进行白熟期和脆熟期枣果吸水率测定,每株采 30 个枣果,单株小区,重复 3 次。

1.1.4 果皮显微结构观察 供试材料与 1.1.3 相同,选取脆熟期枣果进行显微结构观察,每株采 5 个枣果,单株小区,重复 3 次。

1.1.5 浸果部位与裂果部位关系 以脆熟期冬枣为试材,用于研究浸果部位与裂果部位关系,单株小区,重复 3 次,每株采 30 个枣果。

1.2 试验方法

1.2.1 吸水率、裂果率和裂果指数测定 将待测品种的枣果装入尼龙网袋中,袋口扎紧,浸没于自来水中,记录浸水 0 h、6 h、22 h、31 h、44 h、53 h、66 h、96 h 后的果实重量、裂果数量及裂果级数^[27],计算果实的吸水率。

吸水率(%) = (浸水后重量 - 浸水前重量) / 浸水前重量 × 100,

持水率 = 最大吸水率,

裂果率(%) = 裂果数 / 调查果数 × 100,

裂果指数 = $\sum_0^i (i \times L) / (a \times n)$,

其中 i = 裂果等级, L = 各裂果级别的裂果数, a = 最重级别的裂果等级, n = 调查总果数。

1.2.2 水势测定 枣果水势测定采用小液流法^[28],切取 4 mm³带果皮的组织块进行测定。

1.2.3 吸水率阈值及其吸水速率测定 裂果率变化与吸水率动态关系用 Logistic 方程表示:

$$y = \frac{A}{1 + e^{B \cdot (C-x)}} + D$$

式中: y 为裂果率(%) ; x 为不同时间的吸水率(%) ; A 为吸水率最大值与最小值的差; B 为裂果率随处理时间变化的斜率; C 为拐点(%) , 裂果变化率(d_y/d_x) 达最大值时的吸水率值, 即为估测的吸水率阈值。 D 为吸水率最小值。当 $x \rightarrow -\infty$ 时, $y = D$, 函数的下渐进线表示浸果过程中裂果率的最小值; 当 $x \rightarrow \infty$ 时, $y = A + D$, 函数的上渐进线表示浸果过程中裂果率的最大值。

吸水率阈值时的吸水速率(%/h) = 吸水率阈值(%) / 到达吸水率阈值时的浸果时间(h)。

1.2.4 显微结构观察 石蜡切片制作参照《植物组织制片学》^[29]。每个品种观察 3 张切片, 每张切片观察 3 个视野, 观测指标为蜡被厚度、角质层厚

度、果皮厚度和果皮细胞层数。

1.3 数据分析

利用 Excel 2003 进行水势、持水率、吸水率、裂果率、裂果指数和到达阈值时吸水速率的计算, 显著性测验、相关性分析、吸水率阈值的测定通过 SPASS 16.0 统计软件进行。

2 结果与分析

2.1 枣果水势与抗裂果能力的关系

表 1 为不同抗裂等级枣品种间的水势比较, 可以看出, 白熟期和脆熟期, 同一抗裂等级的不同品种间水势差异分别达到显著和极显著水平; 不同抗裂等级的品种间枣果水势高低的变化没有固定规律。因此, 果实水势的高低并不能有效反映枣品种的抗裂果能力。

表 1 不同抗裂等级枣品种间水势差异比较

Table 1 Water potential comparison among different cultivars at two ripening stages

抗裂等级 Resistance to fruit cracking	品种 Cultivars	水势(MPa) Water potential	
		白熟期 White-mature stage	脆熟期 Crisp-mature stage
极抗裂 Highly resistant	长红枣 Changhongzao	-0.381 ± 0.016 cd	-1.190 ± 0.018 F
	相枣 Xiangzao	-0.322 ± 0.019 b	-0.673 ± 0.014 C
抗裂 Resistant	大荔龙枣 Dalilongzao	-0.158 ± 0.017 a	-0.328 ± 0.018 A
	苹果枣 Pingguozao	-0.336 ± 0.021 bc	-1.199 ± 0.015 G
较易裂 Susceptible	晋枣 Jinzao	-0.179 ± 0.011 a	-0.449 ± 0.014 B
	金丝小枣 Jinsixiaozao	-0.427 ± 0.016 de	-0.673 ± 0.007 C
极易裂 Highly susceptible	骏枣 Junzao	-0.467 ± 0.016 e	-0.920 ± 0.015 D
	磨塞子枣 Mosaizao	-0.602 ± 0.027 f	-1.010 ± 0.026 E

同一列中不同的大、小写字母代表不同品种间存在极显著($P < 0.01$)、显著性差异($P < 0.05$)。下同

Different uppercase letters and lowercase letters in the same row mean extremely significant ($P < 0.01$) and significant difference ($P < 0.05$) between cultivars. The same as below

2.2 枣果持水率与抗裂果能力的关系

对分属不同抗裂等级的 8 个枣品种果实的持水率与裂果率、持水率与裂果指数进行了相关性分析(表 2), 发现无论在白熟期还是脆熟期, 枣果的持水

率与裂果率、持水率与裂果指数均没有显著相关性, 说明果实持水率也不是影响枣品种抗裂等级的主要因素。

表 2 枣果持水率和裂果率、裂果指数的相关性分析

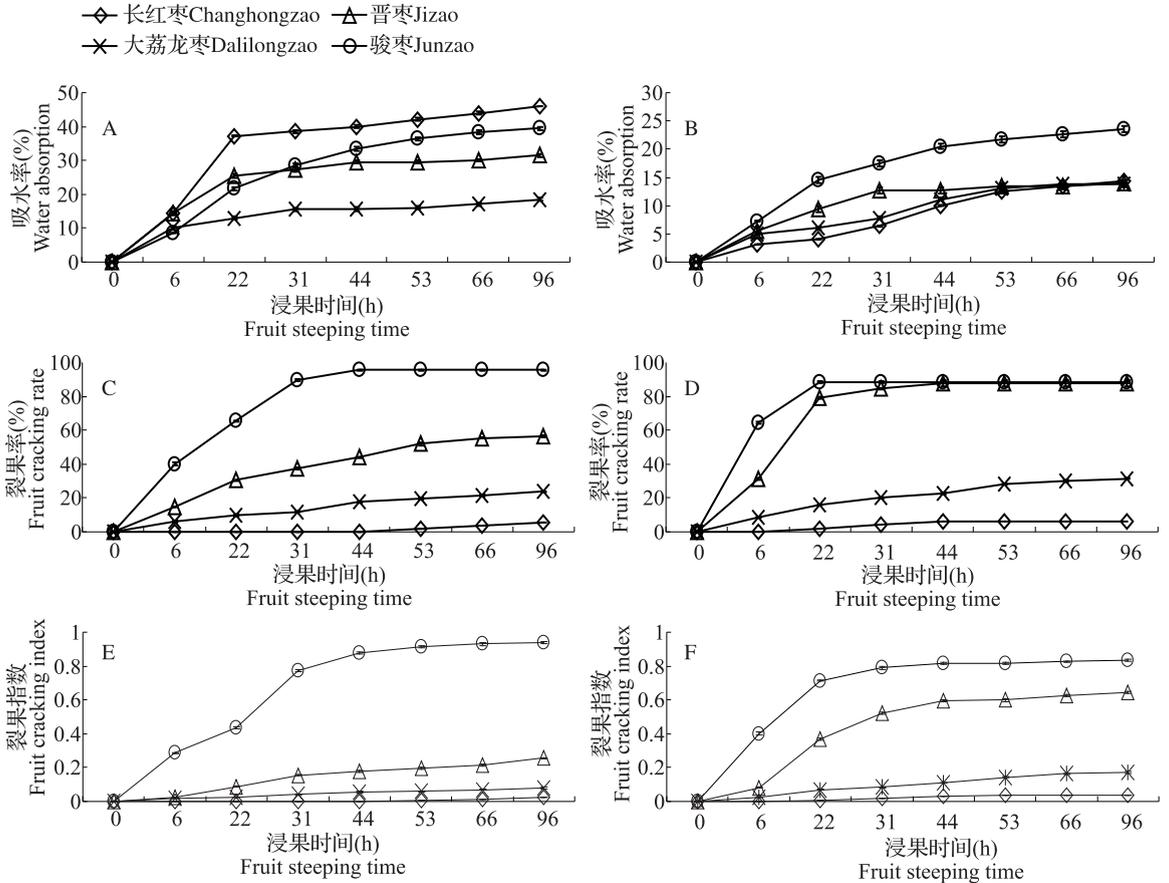
Table 2 Correlation between fruit water retaining rate and fruit cracking rate and fruit cracking index

持水率(%) Water retaining rate	裂果率(%) Fruit cracking rate		裂果指数 Fruit cracking index	
	白熟期 White-mature stage	脆熟期 Crisp-mature stage	白熟期 White-mature stage	脆熟期 Crisp-mature stage
白熟期 White-mature stage	0.301	--	0.388	--
脆熟期 Crisp-mature stage	--	0.486	--	0.576

2.3 枣果吸水率与抗裂果能力的关系

通过对分属不同抗裂等级的 4 个枣品种果实的吸水率、裂果率、裂果指数的动态测定发现(图 1),各品种白熟期和脆熟期枣果的吸水率、裂果率和裂果指数均随着浸泡时间的延长逐渐增大,但是变化幅度不同。对不同浸果时间下的吸水率和裂果率、吸水率和裂果指数的动态变化进行相关性分析表明(表 3),除白熟期长红枣外,其余均呈极显著正相

关,相关性系数为 0.914 ~ 0.990。在脆熟期以裂果率为因变量,预测吸水率动态变化的阈值,并计算吸水率阈值时的吸水速率(表 4)。结果发现,吸水率阈值时的吸水速率随着抗裂等级的升高而降低,如极抗裂品种长红枣阈值时的吸水速率最低(0.20%/h),极易裂品种骏枣到达阈值时的吸水速率最高(0.52%/h)。



A:白熟期吸水率;B:脆熟期吸水率;C:白熟期裂果率;D:脆熟期裂果率;E:白熟期裂果指数;F:脆熟期裂果指数

A; Water absorption at white-mature stage, B; Water absorption at crisp-mature stage, C: Fruit cracking rate at white-mature stage, D: Fruit cracking rate at crisp-mature stage, E: Fruit cracking index at white-mature stage, F: Fruit cracking index at crisp-mature stage

图 1 不同抗裂等级枣品种白熟期和脆熟期吸水率、裂果率、裂果指数的变化

Fig. 1 The changes of water absorption, fruit cracking rate and fruit cracking index of different cultivars sampled at white-mature and crisp-mature stage

2.4 不同抗裂等级枣品种间果皮显微结构的差异

表 5 可以看出,分属不同抗裂等级的 4 个枣品种间果皮蜡被厚度差异极显著 ($P < 0.01$),并且随着抗裂等级的降低蜡被变薄;抗裂等级高低与果皮角质层厚度没有相关性,极抗裂品种长红枣和极易裂品种骏枣的角质层厚度均最薄,同为 $8.43 \mu\text{m}$;果

皮厚度与抗裂等级也没有相关性,极易裂品种骏枣的果皮最厚($82.10 \mu\text{m}$),极显著高于其他品种。通过果皮部位结构观察发现,极易裂品种骏枣紧挨果皮的细胞层数虽然多,但排列散乱,而极抗裂品种长红枣果皮部位不仅细胞层数较多,且排列规则紧密(图 2)。

表 3 枣果吸水率和裂果率、裂果指数的相关性分析

Table 3 Correlations between fruit water absorption and fruit cracking rate and fruit cracking index

品种 Cultivars	吸水率(%) Water absorption	白熟期 White-mature stage		脆熟期 Crisp-mature stage	
		裂果率(%) Fruit cracking rate	裂果指数 Fruit cracking index	裂果率(%) Fruit cracking rate	裂果指数 Fruit cracking index
		长红枣 Changhongzao	白熟期 White-mature stage	0.558	0.544
	脆熟期 Crisp-mature stage	--	--	0.914 **	0.972 **
大荔龙枣 Dalilongzao	白熟期 White-mature stage	0.937 **	0.934 **	--	--
	脆熟期 Crisp-mature stage	--	--	0.967 **	0.974 **
晋枣 Jinzao	白熟期 White-mature stage	0.937 **	0.933 **	--	--
	脆熟期 Crisp-mature stage	--	--	0.923 **	0.990 **
骏枣 Junzao	白熟期 White-mature stage	0.967 **	0.970 **	--	--
	脆熟期 Crisp-mature stage	--	--	0.967 **	0.977 **

** 表示相关性在 0.01 水平上极显著

** means that correlation is extremely significant at 0.01 level

表 4 不同抗裂等级枣品种脆熟期枣果吸水率阈值和阈值时的吸水速率

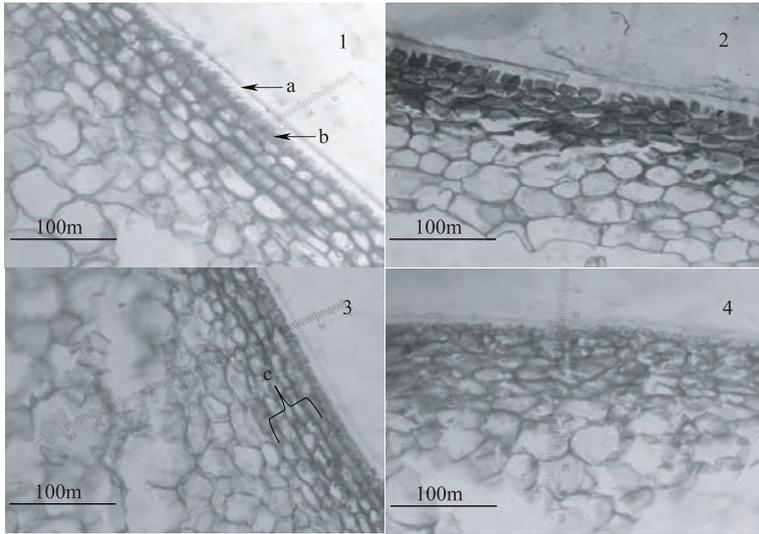
Table 4 The water absorption threshold and water absorption rate at thresholds of cultivars with different resistance at crisp-mature stage

品种 Cultivars	吸水率阈值(%) Water absorption threshold	吸水速率(%/h) Water absorption rate
长红枣 Changhongzao	8.79	0.20
大荔龙枣 Dalilongzao	9.46	0.23
晋枣 Jinzao	9.74	0.43
骏枣 Junzao	15.74	0.52

表 5 不同抗裂能力枣品种间蜡被厚度、角质层厚度、果皮厚度及果皮细胞层数间的差异

Table 5 The wax thickness, cuticle thickness, epidermis thickness and the layers of epidermis of different cultivars

抗裂果能力 Resistance to fruit cracking	品种 Cultivars	蜡被厚度(μm) The thickness of wax layer	角质层厚度(μm) The thickness of cuticle	果皮厚度(μm) The thickness of epidermis	果皮细胞层数 The layers of epidermis cell
极抗裂 Highly resistant	长红枣 Changhongzao	8.89 ± 0.076 A	8.43 ± 0.106 B	61.75 ± 0.661 B	6 ± 1 ab
抗裂 Resistant	大荔龙枣 Dalilongzao	7.77 ± 0.165 B	8.75 ± 0.179 B	50.46 ± 1.502 C	5 ± 1 b
较易裂 Susceptible	晋枣 Jinzao	7.26 ± 0.115 C	10.72 ± 0.188 A	60.55 ± 1.502 B	5 ± 1 b
极易裂 Highly susceptible	骏枣 Junzao	4.83 ± 0.153 D	8.43 ± 0.104 B	82.10 ± 1.014 A	8 ± 1 a



1:长红枣;2:大荔龙枣;3:晋枣;4:骏枣;a:蜡被;b:角质层;c:果皮细胞层数

1: Changhongzao, 2: Dalilongzao, 3: Jinzao, 4: Junzao, a: Wax layer, b: Cuticle, c: Epidermis cell

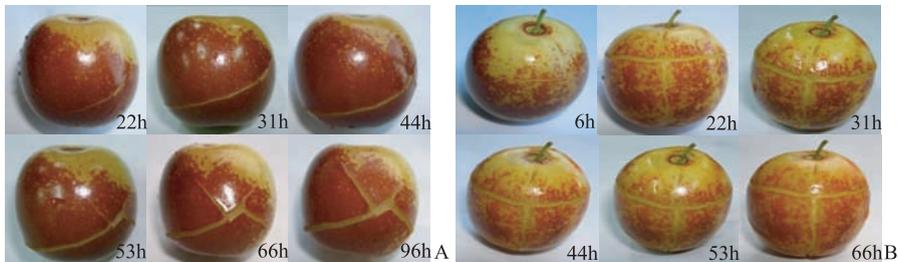
图2 不同抗裂能力枣品种果皮显微结构的切片观察

Fig. 2 The pericarp microstructures of cultivars with different resistance

2.5 裂果部位与浸水部位之间的关系

本试验通过研究冬枣浸水部位与裂果部位间的关系发现,冬枣中下部(枣果中部至果顶端)浸水,22 h 时开始出现裂果,裂口在果实的中下部,随浸水时间的延长,裂口逐渐向上向下延伸,(图 3A)。

当整个果实浸没水中,浸水 6 h 果实开裂,裂口部位出现在果实的中上部(近果柄端)(图 3B)。结果表明,枣果不同部位裂果敏感性不同,浸果部位决定果实的开裂部位和速率,枣果中上部是果实开裂的敏感部位。



A:冬枣中下部果面浸水后果实的开裂部位;B:冬枣整个果面浸没水中果实开裂情况

A: The position of cracking after the middle and lower part of 'Dongzao' was dipped in water,

B: The cracking position of 'Dongzao' after the whole fruit surface was dipped in water

图3 冬枣果实浸水后开裂情况

Fig. 3 The cracking position of 'Dongzao' after dipped in water

3 讨论

枣果实从外界吸水是导致其裂果的最主要因素,李克志等^[4]从水势角度、汪星等^[24]从吸水率方面、杜巍等^[25]针对果肉细胞的吸水速度,均从枣果吸水角度开展了与裂果关系的相关研究。参考前人研究,本试验利用课题组前期筛选出的不同抗裂等级的枣果,从枣果水势、持水率、吸水率和吸水速率

等方面研究了枣果吸水动力学与枣果抗裂的关系,发现枣裂果与水势高低、持水率(最大吸水率)大小无关,而与果实吸水率阈值时的吸水速率关系密切。李克志等^[4]的研究结果也发现枣果抗裂能力与水势无关,这与本试验的研究结果一致。但本研究首次明确了枣果吸水率阈值时的吸水速率与抗裂等级关系密切,今后可以通过室内浸果试验并结合该指标测定,便可准确反映其在田间的实际抗裂果能力,

为抗裂果种质资源评价提出了一个新的评价指标,也进一步丰富了抗裂果机理的基础研究。

W. D. Lane 等^[30]在甜樱桃裂果研究时发现,解剖学特征不能反映品种间抗裂果差异。在枣裂果研究方面,石志平等^[23]和辛艳伟等^[31]认为角质层厚度、果皮细胞层数与品种的抗裂果能力没有相关性,这与本试验的研究结果一致。本研究表明,枣品种间抗裂果能力与果皮厚度也无必然关系。这与高京草等^[22]和杨淑娟等^[32]的研究结果不一致,可能与研究所用试材不同有关。从本研究结果看,枣品种的抗裂果能力与其表皮细胞排列的紧密程度有关。关于蜡被厚度与裂果的关系尚无明确报道,本研究观察到蜡被厚度与枣品种的抗裂果等级关系密切。蜡被越厚、表皮细胞排列越紧密,水分进入果实越困难,裂果发生越轻。蜡被厚度可作为抗裂果新品种选育的一个重要指标。

本试验表明,果实不同部位对裂果的敏感性不同,浸水部位决定果实开裂部位,枣果中上部(近果柄端)为果实开裂的敏感部位,这与田间调查结果一致。果实中上部(近果柄端)容易开裂,可能是由于该部位容易发生日灼伤害或者是枣果内部结构的差异,造成该处对水分敏感、吸水容易导致裂果,具体原因有待进一步深入系统研究。

综上所述,枣果的抗裂等级取决于枣果吸水率阈值时吸水速率的快慢,而与果实的水势和持水率无关;果皮蜡被厚度大且细胞排列整齐紧密是抗裂果枣品种的果皮结构特征,但果皮厚度与抗裂等级没有必然联系。

参考文献

- [1] 曲泽洲,王永惠. 中国果树志·枣卷[M]. 北京:中国林业出版社,1993:1
- [2] 刘孟军,汪民. 中国枣种质资源[M]. 北京:中国林业出版社,2009:44-45
- [3] 王惠聪,韦邦稳,高飞飞,等. 荔枝果皮组织结构及细胞分裂与裂果关系探讨[J]. 华南农业大学学报,2000,21(2):10-13
- [4] 李克志,高中山. 枣裂果机理的初步研究[J]. 果树科学,1990,7(4):221-226
- [5] Peschel S, Knoche M. Characterization of microcracks in the cuticle of developing sweet cherry fruit[J]. J Am Soc Hortic Sci, 2005,130(4):487-495
- [6] Sekse L. Fruit cracking in sweet cherries (*Prunus avium* L.). Some physiological aspects—a mini review[J]. Sci Hortic,1995,63(3):135-141

- [7] Opara L U, Hodson A J, Studman C J. Stem-end splitting and internal ring-cracking of 'Gala' apples as influenced by orchard management practices[J]. J Hortic Sci Biotech,2000,75(4):465-469
- [8] Opara L U, Tadesse T. Calyx-end splitting and physico-chemical properties of 'Pacific Rose'TM apple as affected by orchard management factors[J]. J Hortic Sci Biotech,2000,75(5):581-585
- [9] Gibert C, Chadœuf J, Vercambre G, et al. Cuticular cracking on nectarine fruit surface: spatial distribution and development in relation to irrigation and thinning[J]. J Am Soc Hortic Sci,2007,132(5):583-591
- [10] Peet M M. Fruit cracking in tomato[J]. HortTechnology,1992,2(2):216-223
- [11] Aloni B, Kami L, Rylski I, et al. Cuticular cracking in pepper fruit. I. Effects of night temperature and humidity[J]. J Hortic Sci Biotech,1998,73(6):743-749
- [12] 单公华,周广芳,刘秀芳,等. 枣果实裂果程度观察[J]. 落叶果树,2003(4):9-10
- [13] 张绳顺. 红枣裂果的调查与建议[J]. 山西果树,2005(4):44
- [14] 李新岗,黄建,高文海. 我国制干枣优生区研究[J]. 果树学报,1997,22(6):620-625
- [15] 王振亮,邵学红. 抗裂果病枣树新品种的选育[J]. 河北林业科技,2009(6):4-6
- [16] 高京草,王长柱,高文海. 从2007年枣大面积裂果谈我国枣产业结构调整[J]. 中国果树,2008(4):64-65
- [17] 王长柱,高京草,高华. 枣主栽品种的抗裂性鉴定[J]. 西北农业学报,1998,7(2):78-81
- [18] 王勋陵. 枣(*Ziziphus jujuba* Mill)果实发育解剖学的初步观察[J]. 植物学报,1974,16(2):161-169
- [19] 于继洲,马丽萍,张秀梅. 枣树裂果机理研究[J]. 山西农业科学,2002,30(1):76-79
- [20] 朱俊峰,陈红萍,范永玲. 红枣裂果的气候环境背景及其防御[J]. 科学之友,2010(10):155-156
- [21] 刘同才,刘宝轻. 枣裂果的原因及预防技术[J]. 河北果树,2006(3):55
- [22] 高京草,王长柱,高华. 影响枣裂果因子的研究[J]. 西北林学院学报,1998,13(4):23-27
- [23] 石志平,王文生. 鲜枣裂果及其与解剖结构相关性研究[J]. 华北农学报,2003,18(2):92-94
- [24] 汪星,朱德兰,杨荣慧,等. 陕北山地红枣抗裂性研究[J]. 果树学报,2011,28(1):82-85
- [25] 杜巍,李新岗,王长柱,等. 枣裂果机制研究[J]. 果树学报,2012,29(3):374-381
- [26] 苑赞,卢艳清,赵锦,等. 枣抗裂果种质的筛选与评价[J]. 中国农业科学,2013,46(23):4968-4076
- [27] 李登科,刘孟军,卢桂宾,等. 枣种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2006:70-71
- [28] 路文静,李奕松. 植物生理学实验教程[M]. 北京:中国林业出版社,2012:2-4
- [29] 李正理. 植物组织制片学[M]. 北京:北京大学出版社,1996:129-138
- [30] Lane W D, Meheriuk M, McKenzie D L. Fruit cracking of a susceptible, an intermediate, and a resistant sweet cherry cultivar[J]. HortScience,2000,35(2):239-242
- [31] 辛艳伟,集贤,刘和. 裂果性不同的枣品种果皮及果肉发育特点观察研究[J]. 中国农学通报,2006,22(11):253-257
- [32] 杨淑娟,章英才,郑国琦,等. 灵武长枣正常果与裂果解剖结构的比较研究[J]. 北方园艺,2010(22):15-18