

南疆地区抗裂果枣品种资源评价

杨成¹², 王振磊¹², 张川疆¹², 刘伟¹², 林敏娟^{123*}

(1 塔里木大学 园艺与林学院 南疆特色果树高效优质栽培与深加工技术国家地方联合工程实验室 新疆 阿拉尔 843300; 2 塔里木大学 塔里木盆地生物资源保护利用省部共建国家重点实验室培育基地 新疆 阿拉尔 843300; 3 塔里木绿洲农业教育部重点实验室(塔里木大学) 新疆 阿拉尔 843300)

[摘要] 【目的】通过自然裂果率调查和浸水裂果试验, 筛选抗裂资源, 评价不同枣品种果实质地, 分析枣果实质地和裂果之间的关系。【方法】在枣白熟期、半红期、全红期, 调查自然裂果率, 计算裂果指数; 对枣果实进行室内浸水诱裂试验, 并进行相关性分析; 采用主成分分析和聚类分析, 基于 TPA 分析全红期果实质地参数与裂果间的关系。【结果】自然条件下有 20 个枣品种未发生裂果, 裂果率低于 50% 的有 39 个, 高于 50% 的有 3 个枣品种。浸果试验中大荔知枣属于中等抗裂品种, 且不同时期裂果率和吸水率呈极显著正相关。利用主成分分析将质地参数分为 4 个主成分并进行聚类分析, 得到硬度最高的第 1 类群有 13 个品种, 裂果率为 7.92%, 硬度因子、弹性因子最低的第 3 类群有 15 个品种, 裂果率最高, 为 13.5%。【结论】通过室内浸果试验筛选出大荔知枣属于中等抗裂品种, 果实质地分析, 枣果实硬度、弹性较高的类群裂果率更低。

关键词 枣; 裂果; 相关性分析; 主成分分析; 聚类分析

[中图分类号] S665.1

[文献标志码] A

[文章编号]

Evaluation of Split-Fruit Resistant Jujube Variety Resources in South Xinjiang Region

YANG Cheng¹², WANG Zhenglei¹², ZHANG Chuanjiang¹², LIU Wei¹², LIN Minjuan^{123*}

(1 National and Local Joint Engineering Laboratory of Efficient and Superior-Quality Cultivation and Deep Processing Technology for Southern Xinjiang Characteristic Fruit Trees, Horticulture and Forestry College, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China

2 Xinjiang Production & Construction Corps Key Laboratory of Protection and Utilization of Biological Resources in Tarim Basin, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China

3 Key Laboratory of Tarim Oasis Agriculture (Tarim University), Ministry of Education, Alar, Xinjiang 843300, China)

Abstract: 【Objective】Through the investigation of natural fruit cracking rate and soaking water induced cracking test, we screened the crack-resistant resources, evaluated the fruit texture of different jujube varieties, and analysed the relationship between jujube fruit texture and cracking. 【Method】During the white, half-red and full-red stages of date ripening, the natural fruit cracking rate was investigated and the cracking index was calculated. Indoor water immersion induced cracking test on date palm fruits and correlation analysis. TPA-based analysis of the relationship between fruit textural parameters and fruit splitting at the full red stage. 【Result】 There were 20 date varieties that did not crack under natural conditions, 39 with a cracking rate of less than 50%, and three date varieties with a rate higher than 50%. The fruit dipping test of Dalizhizao belonged to medium crack-resistant varieties, and the positive correlation between the cracking rate and water absorption rate at different periods was

highly significant. The texture parameters were classified into four principal components using principal component analysis and cluster analysis was carried out to obtain 13 varieties in the 1st cluster with the highest hardness and 7.92% cracking rate, and 15 varieties in the 3rd cluster with the lowest hardness factor and elasticity factor and the highest cracking rate of 13.5%. 【Conclusion】 Through the indoor fruit dipping test screening, Dalizhizao belongs to the medium crack-resistant varieties, from the fruit texture analysis, date fruit hardness, elasticity higher class group cracking rate is lower.

Key words: jujube; fruit cracking; relevance analysis; principal component analysis; cluster analysis

枣 (*Ziziphus jujuba* Mill.) 为鼠李科枣属植物, 是原产我国特有的果树, 在古代与桃、杏、李、栗并称为“五果”(曲泽州等, 1993; 刘孟军等, 2015)。裂果在樱桃(王红明等, 2022)、石榴(刘丹等, 2021)、枣、番茄(陈斌等, 2021)、葡萄(刘旭旭等, 2016)等都有发生。长期以来枣裂果的问题始终困扰着红枣产业的发展, 枣裂果随着果实成熟度的增加及雨水等因素的影响, 裂果率达到 50%以上, 甚至于绝收(王振磊等, 2016)。因此, 选育优质抗裂枣品种对于南疆枣产业发展具有重要意义。

果实质地是枣果实品质的重要组成部分和商品评价的指标, 也可用于裂果研究(Seymour 等, 2002; 黄瑶, 2022)。质构仪测试果实质地可获得更为丰富的特征参数, 质地多面分析(TPA)是对样品进行两次机械压缩得出相关质地参数。通过 TPA 法评价枣及酸枣的杂交后代, 证明硬度是影响枣裂果的主要因素(杨植等, 2023)。唐贵敏等分析不同裂果程度的 4 个石榴品种, 采用质构仪测定出内外侧破裂力比越小的石榴品种越不容易发生裂果(唐贵敏等, 2021)。

浸果处理能模拟雨后裂果, 是筛选枣裂果性的重要指标。木尔塔尔等通过浸水处理骏枣, 分析出果实吸水量受干物质积累率和可溶性固形物含量的影响, 较高的干物质积累率和可溶性固形物含量会降低果实水势, 导致果实吸水膨胀开裂(木尔塔尔等, 2022)。王艳等对‘灵武长枣’果实浸水试验, 分析出果实裂果与水分吸收相关, 吸水关键时期为 24h 以内, 全红果与大个果实吸水量大且裂果严重(王艳等, 2018)。对不同成熟期的‘伏脆蜜’浸水试验, 结果表明, 在浸水 48h 中, 全红期裂果率最高, 白熟期最低, 且不同时期的相对吸水量表现为递增趋势(潘周坤等, 2020)。

目前, 对于枣果实裂果研究主要集中在矿质营养(寸丽芳等, 2023)、激素(张生智等, 2019)、环境因子(阳姝婷, 2019)、果皮果肉特性(辛艳伟等, 2006)等方面。对于果实裂性差异评价也以自然裂果率为主, 基于质构、浸果试验研究枣品种裂果的报道相对较少。为此, 本研究利用塔里木大学兵团果树种质资源圃内枣品种, 利用 TPA 法测定枣品种果实质地, 分析其与裂果关系, 评价抗裂品种, 为抗裂品种的选育提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

试验所在地阿拉尔 2023 年降水量 23.1mm, 降水稀少, 蒸发量大。供试材料为塔里木大学兵团果树种质资源圃(40°43'50"N, 81°17'15"E) 42 个枣品种(表 1), 树体生长状况中等, 沙壤土栽种, 管理水平一致。

1.2 试验方法

1.2.1 田间自然裂果率调查 2023 年对 42 份枣种质资源果实白熟期、半红期、全红期，每个品种树体东南西北四个方位随机选取果实 100 个，调查各品种枣果实的自然裂果率及裂果方式。

自然裂果率 (%) = (裂果个数/统计总个数) × 100

裂果指数 = $\sum$ (裂果等级 × 不同等级裂果数) / (最高级别的裂果等级 × 调查数)

1.2.2 果实质地测定 于果实全红期从每个品种随机摘取大小均一、无裂果、无机械损伤、无病虫害的果实各 10 个。使用美国 FTC 公司 TMS-PRO 质构仪。采用 TPA 法测定果实硬度、粘附性、弹性、凝聚性、胶粘性、咀嚼性等，质构仪设置参数参考杨植（杨植等，2023）的方法。

1.2.3 枣果实浸水诱裂试验 于果实白熟期、半红期、全红期三个时期，每个品种随机摘取大小均一、无裂果、无机械损伤、无病虫害的果实 90 个，保留果柄，将每个品种分为 3 个处理，每个处理 30 个果，称量初始重量，装入尼龙网袋中，浸入自来水中浸泡 72h，并且记录 0h、4h、8h、12h、18h、24h、36h、48h、60h、72h 时的各品种各处理的重量及裂果数。

浸水裂果率 (%) = (裂果数/取样数) × 100

吸水率 (%) = [(果实吸水后重量-吸水前重量) / 吸水前重量] × 100

1.2.4 数据分析 试验数据均为平均值。采用 R 语言、SPSS 27.0 和 Origin2022 进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同枣品种自然裂果率的调查

2023 年 9 月至 10 月，调查种质资源圃枣品种裂果率，筛选抗裂枣品种。由表 1 可以看出，在自然状态下未发生裂果的品种有 20 个。白熟期裂果的品种有三变红和金丝 1 号，裂果率分别为 4%和 21%。半红期有 8 个品种发生裂果，裂果率范围为 2%~48%，裂果率最高的是金丝 1 号。全红期有 22 个品种发生裂果，且裂果差异大，从 2%~94%不等，裂果率低于 50%的枣品种共有 39 个，裂果比较严重，且高于 50%的品种共有 3 个，分别为金丝新 4 号、晋矮 3 号和金丝 1 号，裂果率为 52%、92%和 94%。

表 1 不同枣品种自然裂果率、裂果指数及成熟期
Table 1 Natural fruit splitting rate, fruit splitting index and ripening period of different date varieties

序号 No	品种 Variety	白熟期 White ripening stage		半红期 Semi red stage		全红期 All red stage		果实成熟期 Mature stage
		裂果率/% Rate of fruit splitting	裂果指数 Fruit splitting index	裂果率/% Rate of fruit splitting	裂果指数 Fruit splitting index	裂果率/% Rate of fruit splitting	裂果指数 Fruit splitting index	
1	宣城圆枣 Xuanchengyuanzao	0	0	0	0	0	0	10-14
2	黄烨冬枣 2 号 Huangyedongzao 2	0	0	0	0	0	0	10-03
3	衡阳珍珠 Hengyangzhengzhu	0	0	0	0	0	0	10-03
4	榆次团枣 Yutuancaizao	0	0	0	0	0	0	10-09

5	临县合义枣 Linxianheyi	0	0	0	0	0	0	9-28
6	金丝新2号 Jinsixin 2	0	0	0	0	0	0	9-28
7	陕西稚枣 Shanxizhizao	0	0	0	0	0	0	9-22
8	扁核酸 Bianhesuan	0	0	0	0	0	0	9-28
9	冬枣 Dongzao	0	0	0	0	0	0	10-05
10	新郑红2号 Xinzhenhong 2	0	0	0	0	0	0	10-03
11	蜂蜜罐 Fengmiguan	0	0	0	0	0	0	10-03
12	落地红 Luodihong	0	0	0	0	0	0	10-03
13	妈妈枣 Mamazao	0	0	0	0	0	0	10-03
14	金陵园枣 Jinlinyuanzao	0	0	0	0	0	0	10-14
15	临县水团枣 Linxianshuituanzao	0	0	0	0	0	0	9-16
16	新郑铃枣 Xinzhenglingzao	0	0	0	0	0	0	10-03
17	义务大枣 Yiwudazao	0	0	0	0	0	0	10-14
18	大荔知枣 Dalizhizao	0	0	0	0	0	0	10-03
19	大荔圆枣 Daliyuanzao	0	0	0	0	0	0	10-14
20	磨盘枣 Mopanzao	0	0	0	0	0	0	9-16
21	团枣 Tuanzao	0	0	0	0	2	0.008	10-03
22	陕西鸡蛋枣 Shanxijidanzao	0	0	0	0	4	0.016	10-03
23	婆婆枣 Popozao	0	0	0	0	4	0.008	10-14
24	壶瓶枣 Hupingzao	0	0	0	0	4	0.016	10-14
25	晋矮2号 Jinai 2	0	0	0	0	4	0.008	10-03
26	延川条枣 Yanchuantiaozao	0	0	0	0	4	0.022	9-28
27	乐金4号 Lejin 4	0	0	0	0	5	0.016	9-28
28	金丝新3号 Jinsixin 3	0	0	2	0.008	5	0.016	10-14
29	长鸡心 Changjixin	0	0	0	0	6	0.012	10-14
30	大白铃 Dabailin	0	0	4	0.016	6	0.022	10-14
31	柿顶枣 Shidingzao	0	0	0	0	6	0.012	10-14
32	雪枣 Xueza	0	0	3	0.012	9	0.064	10-14
33	保德油枣 Baodeyouzao	0	0	0	0	10	0.02	10-03
34	三变红 Sanbianhong	4	0.01	3	0.012	10	0.06	9-28
35	上海白浦 Shanghai bai pu	0	0	0	0	14	0.056	10-03
36	馍馍枣 Manmanzao	0	0	0	0	30	0.128	10-03
37	冀抗 Jikang	0	0	0	0	30	0.12	10-03
38	相枣 Xiangzao	0	0	6	0.016	30	0.128	10-14
39	临泽小枣 Linzexiaozao	0	0	14	0.04	46	0.172	10-03
40	金丝新4号 Jinsixin 4	0	0	13	0.032	52	0.212	10-14
41	晋矮3号 Jinai 3	0	0	0	0	92	0.452	9-23
42	金丝1号 Jinsi 1	21	0.098	48	0.27	94	0.604	10-03

2.2 不同品种果实质地参数与裂果的关系

2.2.1 不同品种果实质地参数主成分分析 所有数据均已标准化处理，由表2可知，KMO大于0.5，

巴特利特球形度检验显著性 sig 值小于 0.005，符合标准，可进行主成分分析。质地参数主要由果实硬度、

粘附性、第二次下压硬度（硬度 2）、内聚性、弹性、胶粘性和咀嚼性 7 种参数组成。由表 3 可知，前 4 个主成分方差贡献达 99.44%，因此，可用这 4 个主成分去评价不同枣品种果实质地。

根据 7 个质地参数的贡献率，我们将果实硬度、粘附性、硬度 2 及内聚性归为第一主成分，称为硬度因子；将贡献率低的弹性归为第二主成分，为弹性因子；胶粘性归为第三主成分，为胶粘因子；咀嚼性归为第四主成分，为咀嚼因子。

表 2 KMO 和巴特利特检验
Table 2 KMO and Bartlett's test

KMO 取样适切性量数		0.605
KMO Quantity of Sample Suitability		
巴特利特球形度检验 Bartlett's test of sphericity	近似卡方 Approximate chi-square	533.6
	e	53
	自由度 Degrees of freedom	21
	显著性 Significance	0

表 3 42 个枣品种果实质地参数主成分
Table 3 Principal components of fruit texture parameters of 42 date varieties

成分 Ingredient	总计 Total	方差百分比 Percentage of variance	累积/% cumulatively
1	4.741	67.734	67.734
2	0.984	14.06	81.794
3	0.787	11.244	93.039
4	0.448	6.396	99.435
5	0.024	0.342	99.776
6	0.014	0.195	99.971
7	0.002	0.029	100

2.2.2 枣果实质地聚类分析 基于主成分分析将质地参数划分为四大主成分，对 42 个枣品种进行聚类分析。使用 K-means 动态聚类方法将枣品种分为 3 大类，由图 1 和表 4 可知，第一类包含 13 个枣品种，占总数的 30.95%，平均裂果率为 7.92%；第二类包含 14 个枣品种，占比 33.33%，裂果率为 8.2%，第三类有 15 个品种，占比最多，为 35.71%，裂果率为 13.5%。裂果率最低的第一类枣品种具有最高的硬度及弹性；第二类枣品种粘附性最低，硬度、弹性、咀嚼性也都处于较高水平；第三类枣品种具有最低的硬度、弹性、胶粘性和咀嚼性，裂果率也是三大类中最高的。因此，对于主成分贡献率较高的质地参数中，较高的果实硬度和弹性可能会与枣裂果率低有关。

表 4 42 个枣品种质地分析基本情况
Table 4 Basic information on texture analysis of 42 date varieties

编号 No	品种 Variety	硬度/N Hardness	粘附性/N.mm Adhesiveness	二次下压	内聚性/Ratio Cohesiveness	弹性/mm Springiness	胶粘性/N Gumminess	咀嚼性/mj Chewiness
				硬度/N Secondary hardness				
1	蜂蜜罐 Fengmiguan	106.64	0.02	94.31	0.31	1.39	33.58	47.32
2	长鸡心 Changjixin	116.89	0.04	82.39	0.32	1.58	37.07	39.72
3	黄烨冬枣 2 号 Huangyedongzao 2	121.85	0.18	102.82	0.32	2.14	38.73	91.54
4	磨盘枣 Mopanzao	142.91	0.04	124.66	0.41	2.84	57.18	163.11
5	临县水团枣 Linxianshuituanzao	157.32	0.01	132.19	0.35	2.55	55.63	147.17
6	妈妈枣 Mamazao	167.83	0.04	132.83	0.27	2.25	46.07	106.87
7	新郑铃枣 Xinzhenglinzao	170.27	0.03	137.54	0.32	2.61	53.35	140.58
8	金丝新 3 号 Jinsixin 3	175.85	0.04	142.75	0.35	2.73	59.51	164.72
9	大荔圆枣 Daliyuanzao	180.64	0.10	138.84	0.31	2.38	55.66	134.58
10	金丝 1 号 Jinsi 1	182.33	0.04	147.96	0.32	1.89	58.92	114.76
11	陕西鸡蛋枣 Shanxijidanzao	184.90	0.07	158.08	0.36	3.57	68.15	255.44
12	扁核酸 Bianhesuan	188.96	0.05	168.84	0.36	2.79	68.69	196.68
13	金丝新 2 号 Jinsixin 2	199.26	0.07	155.64	0.34	3.23	67.63	221.52
14	上海白浦 Shanghai baipu	201.13	0.05	180.57	0.40	1.87	81.46	153.90
15	金丝新 4 号 Jinsixin 4	201.24	0.08	160.07	0.32	1.70	65.05	113.09
16	临县合义枣 Linxianheyizao	205.69	0.03	166.95	0.35	4.16	72.02	311.90
17	衡阳珍珠 Hengyangzhenzhu	228.94	0.01	175.59	0.36	2.75	83.72	244.56
18	大白铃 Dabailing	236.72	0.05	197.16	0.34	4.47	81.06	369.38
19	临泽小枣 Linzexiaozao	241.48	0.04	208.86	0.33	3.28	78.84	262.21
20	大荔知枣 Dalizhizao	241.71	0.02	219.68	0.42	2.57	102.41	265.82
21	新郑红 3 号 Xinzhenghong 3	249.45	0.03	218.44	0.36	3.03	91.49	285.85
22	柿顶枣 Shidingzao	256.89	0.09	231.86	0.38	2.63	96.39	257.96
23	慢慢枣 Manmanzao	259.69	0.03	211.11	0.34	4.73	88.48	427.47
24	陕西稚枣 Shanxizhizao	261.58	0.07	211.68	0.42	3.74	106.93	401.56
25	乐金 4 号 Lejin 4	269.03	0.05	234.47	0.39	3.19	106.59	343.30
26	晋矮 3 号 Jinai 3	272.32	0.04	221.51	0.36	4.54	99.84	452.40
27	落地红 Luodihong	273.03	0.04	231.11	0.40	2.84	109.55	315.07
28	晋矮 2 号 Jinai 2	283.54	0.04	234.53	0.32	3.89	89.58	349.44
29	保德油枣 Baodeyouzao	287.43	0.13	261.65	0.43	3.42	124.19	425.74
30	金陵圆枣 Jinlingyuanzao	295.16	0.05	265.42	0.38	3.82	113.45	438.67
31	冀抗 Jikang	303.81	0.05	266.85	0.40	3.42	120.89	418.71
32	新郑红 2 号 Xinzhenghong 2	304.24	0.04	255.05	0.38	3.12	115.58	363.88
33	团枣 Tuanzao	313.93	0.10	282.85	0.39	3.11	122.52	382.10
34	婆婆枣 Popozao	319.36	0.13	269.71	0.36	3.58	115.35	415.48
35	雪枣 Xuezao	324.18	0.05	278.59	0.36	4.51	115.74	528.97
36	宣城圆枣 Xuanchengyuanzao	325.19	0.10	276.01	0.30	3.49	98.59	351.40
37	冬枣 Dongzao	327.50	0.04	234.29	0.34	3.12	113.63	361.30
38	三变红 Sanbianhong	329.44	0.07	280.26	0.34	4.15	112.95	468.35
39	壶瓶枣 Hupingzao	338.89	0.06	286.82	0.36	3.57	124.49	451.99
40	相枣 Xiangzao	343.46	0.08	301.33	0.42	4.57	142.36	666.93

41	义务大枣 Yiwudazao	349.38	0.06	303.48	0.36	3.53	126.66	449.18
42	延川条枣 Yanchuantiaozao	350.31	0.04	319.68	0.43	3.47	149.99	524.91

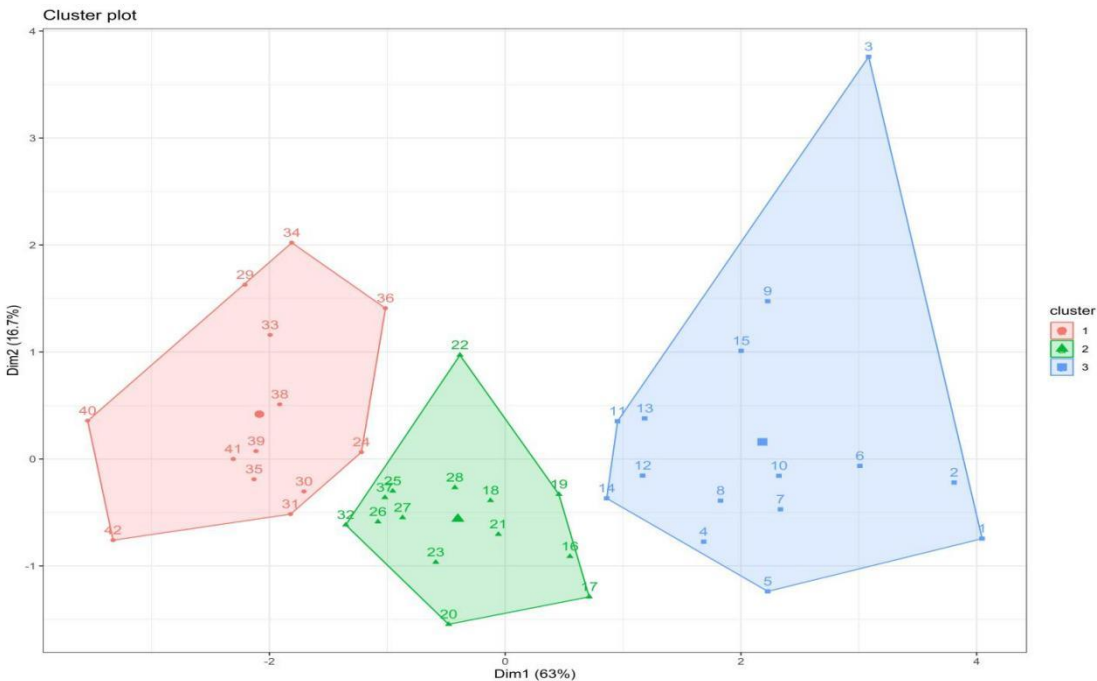


图 1 不同枣品种果实质地因子聚类

Fig. 1 Clustering of fruit texture factors of different date varieties

2.3 不同品种枣果实浸水诱裂比较

根据不同时期的自然裂果率，选取 8 个枣品种果实进行 72h 浸水诱裂试验。由表 5 和图 2 可知，随着浸水时间延长，各品种不同时期的裂果率呈现递增的趋势，品种间裂果率差异显著。其中，大荔知枣和延川条枣在白熟期抗裂能力强，裂果率低，为 0.81%和 0%，大荔知枣随着成熟度的增加，裂果率增加相对平稳，全红期裂果率为 32.50%，属中等裂性品种，其余枣品种在不同时期浸水试验中裂果率高，属易裂品种或极易裂品种。大荔知枣、大白铃、延川条枣、晋矮 2 号、慢慢枣 5 个品种随着果实成熟度增加，其抗裂性越差，裂果率增加，慢慢枣在 72h 浸果裂果率达 100%；落地红和上海白浦白熟期的裂果率较高，分别为 72.50%和 98.33%，但随着果实成熟度的增加，裂果率呈现降低趋势，分别降低至 60.00%和 86.83%。同时观察到，各品种枣果实裂果率在浸水 0~36h 时上升趋势明显，36h 后逐渐趋于平稳。

由图 2 和表 5 可知，各枣品种果实吸水率随着浸水时间的延长，整体呈现上升趋势，其中陕西鸡蛋枣、慢慢枣、上海白浦、落地红和晋矮 2 号在浸水后期出现失水现象，吸水率逐渐开始降低。在浸水 72 h，白熟期、半红期各品种吸水率整体差异显著，上海白浦在全红期与另外 7 个品种差异显著，其余品种无显著性差异。

表 5 8 个枣品种不同时期 72h 浸果裂果率和吸水率的差异

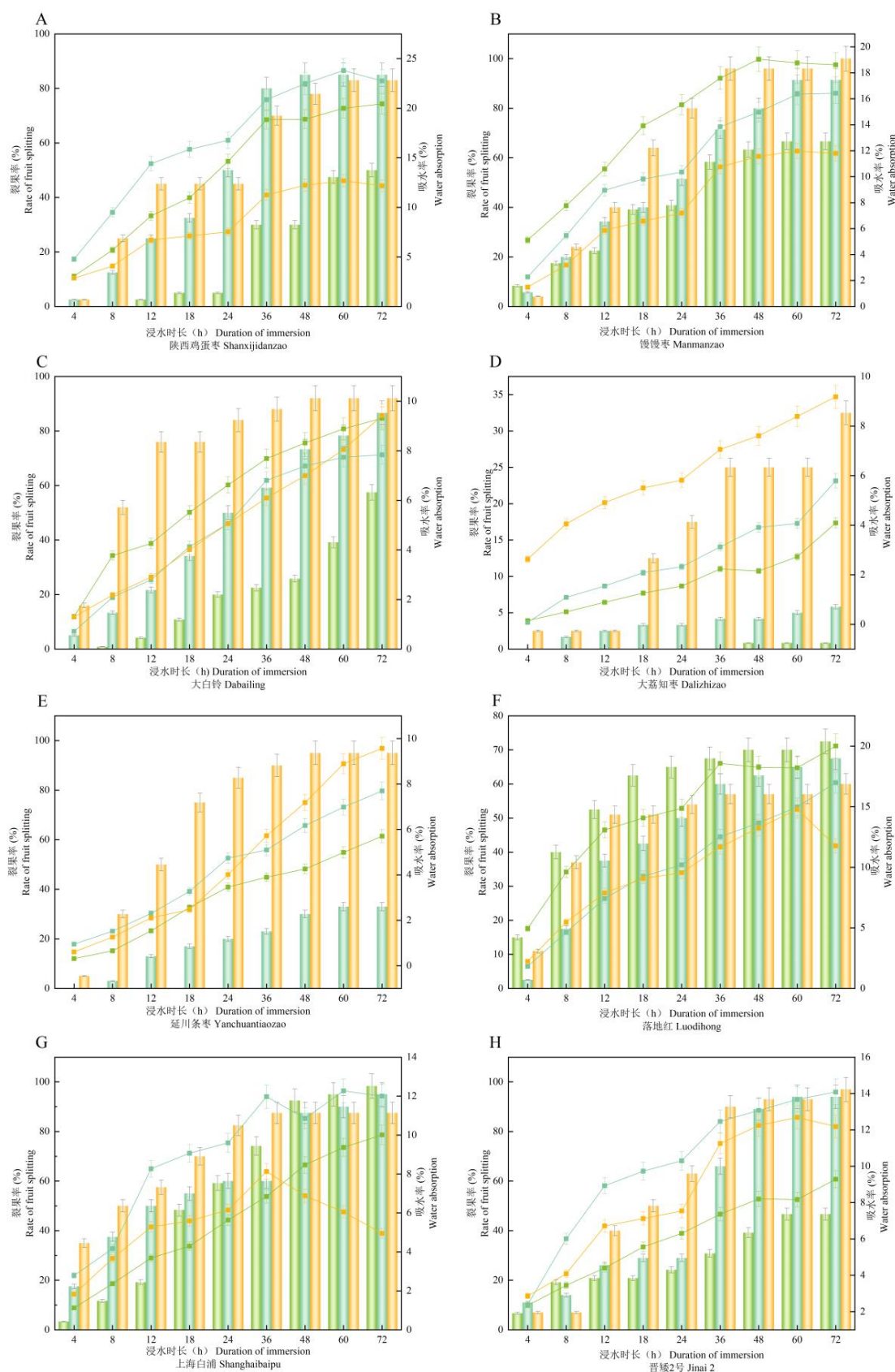
Table 5 Differences in fruit cracking rate and water absorption rate of eight date varieties at different periods of 72h maceration

品种	白熟期	半红期	全红期
----	-----	-----	-----

Variety	White ripening stage		Semi red stage		All red stage	
	裂果率/% Rate of fruit splitting	吸水率/% Water absorption	裂果率/% Rate of fruit splitting	吸水率/% Water absorption	裂果率/% Rate of fruit splitting	吸水率/% Water absorption
大荔知枣 Dalizhizao	0.81±0.03 ^e	4.19±0.17 ^e	5.83±0.32 ^d	5.69±0.44 ^e	32.50±1.14 ^f	9.18±0.33 ^a
落地红 Luodihong	72.50±4.27 ^b	20.01±0.23 ^b	67.50±6.73 ^b	16.99±1.04 ^b	60.00±10.00 ^e	11.77±1.27 ^a
陕西鸡蛋枣 Shanxijidanzao	50.00±6.61 ^d	22.37±0.44 ^a	85.00±6.61 ^a	22.76±0.91 ^a	82.50±2.29 ^d	12.30±2.29 ^a
上海白浦 Shanghaibaipu	98.33±2.89 ^a	10.01±0.05 ^c	95.00±6.08 ^a	12.00±0.62 ^d	86.83±1.26 ^{cd}	4.95±1.44 ^b
大白铃 Dabailing	57.50±4.33 ^{cd}	9.37±1.83 ^c	86.67±7.64 ^a	7.83±1.11 ^e	92.00±1.73 ^{bc}	9.42±3.31 ^a
延川条枣 Yanchuantiaozao	0±0 ^e	6.75±0.70 ^d	33.33±8.14 ^c	7.69±0.83 ^e	95.00±3.00 ^{ab}	9.57±0.48 ^a
晋矮2号 Jinai 2	46.67±14.43 ^d	9.29±1.93 ^c	94.29±3.98 ^a	14.08±1.13 ^{cd}	96.67±1.49 ^{ab}	12.18±0.54 ^a
馒头枣 Manmanzao	66.67±10.41 ^{bc}	18.63±0.59 ^b	91.43±2.91 ^a	16.43±3.56 ^{bc}	100.00±0 ^a	11.80±2.96 ^a

注：同行无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$)，不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)，不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: No letter in the same row or the same letter on the shoulder of the data indicates a non-significant difference ($P>0.05$), a different lowercase letter indicates a significant difference ($P<0.05$), and a different uppercase letter indicates a highly significant difference ($P<0.01$).



注：柱子表示裂果率，折线表示吸水率；绿色为白熟期，蓝色为半红期，黄色为全红期。

Note: The columns indicate the rate of fruit splitting and the broken lines indicate the rate of water absorption. Green is the white ripening stage, blue is the semi-red stage, and yellow is the full red stage.

图 2 8 个枣品种不同时期浸果裂果率和吸水率变化

Fig. 2 Changes in fruit splitting rate and water absorption rate of 8 date varieties at different periods of fruit dipping

对不同浸水时长的吸水率及裂果率动态变化进行相关性分析，由表 6 可知，除白熟期的延川条枣，其余品种不同时期浸果的裂果率和吸水率具有极显著正相关关系，相关系数为 0.774~0.990。

表 6 枣果吸水率和裂果率的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of date fruit water absorption and fruit splitting rate				
品种 Variety	吸水率/% Rate of fruit splitting	裂果率/% Rate of fruit splitting		
		WRS	SRS	ARS
大荔知枣 Dalizhizao	WRS	0.774**	—	—
	SRS	—	0.962**	—
	ARA	—	—	0.944**
落地红 Luodihong	WRS	0.967**	—	—
	SRS	—	0.978**	—
	ARA	—	—	0.891**
陕西鸡蛋枣 Shanxijidanzao	WRS	0.883**	—	—
	SRS	—	0.964**	—
	ARA	—	—	0.987**
上海白浦 Shanghaiapu	WRS	0.981**	—	—
	SRS	—	0.894**	—
	ARA	—	—	0.857**
大白铃 Dabailing	WRS	0.892**	—	—
	SRS	—	0.987**	—
	ARA	—	—	0.817**
延川条枣 Yanchuantiaozao	WRS	—	—	—
	SRS	—	0.980**	—
	ARA	—	—	0.841**
晋矮 2 号 Jinai 2	WRS	0.944**	—	—
	SRS	—	0.882**	—
	ARA	—	—	0.983**
慢慢枣 Manmanzao	WRS	0.980**	—	—
	SRS	—	0.990**	—
	ARA	—	—	0.968**

注： **表示相关性在 0.01 水平上极显著。WRS 为白熟期，SRS 为半红期，ARS 为全红期。
Note: ** denotes correlation is highly significant at 0.01 level. WRS is white ripe, SRS is semi-red, ARS is full red.

3 讨论

枣裂果时期一般集中在果实的半红期至全红期，这一时期果皮从开始着色到完全着色，成熟度增加，裂果敏感性骤然上升。阿拉尔当地终年降水量稀少，因此通过浸水模拟降雨。浸水诱裂试验，发现水分是影响枣裂果最主要的外部因素，浸果处理的 8 个枣品种裂果率远高于自然条件下的裂果率。枣果实与果肉组织间的生长力不同，浸水处理后，果肉吸收水分膨胀，果皮膨胀跟不上果肉组织膨胀的速度，承受不住果肉的膨压导致裂果（于继洲等，2002；刘光生等，2012）。本试验浸水处理裂果率、吸水率快速增加主

要集中在 0h~36h, 这与人试验研究结果相近(张伟龙等, 2020)。36h 后裂果率和吸水率均趋于平稳, 吸水率甚至会出现负增长的现象, 这表明枣果实的吸水率也有最大限度。落地红和上海白浦在浸水试验中, 成熟度增加, 裂果率降低, 在自然裂果率调查中则是成熟度增加, 裂果率增加, 分析可能是落地红和上海白浦在模拟降雨环境中裂果敏感性上升相对平稳。人工浸水诱裂试验操作简单, 重复性强, 不会受到自然条件干扰, 但是试验过程果实完全浸入水中, 也会对果实呼吸造成影响, 从而影响裂果的发生(徐蕊等, 2024)。因此, 对于浸水试验筛选抗裂资源, 还需进一步探索。

质构仪是果实质地检测仪器, 可以模拟口腔咀嚼, 能客观的反映果实的质地(黄瑶, 2022; LIU Z W 等)。基于 TPA 法在果蔬方面有着大量研究, 而对枣质地分析相对较少, 对于果实质地与裂果间的关系研究更是鲜有报道(何全光等, 2016; 姜勇等, 2018; 韩艳文等, 2018)。本试验利用质构仪对 42 个枣品种进行果实质地检测, 将枣果实质地相关的 7 个参数分为 4 大主成分, 其中硬度贡献值达 67.73%, 是影响枣果实质地的最重要的因素。基于主成分分析的聚类分析, 将 42 个枣品种分为 3 大类, 主要有硬度因子、弹性因子高的第一类, 占品种总数的 30.95%, 裂果率为 7.92%, 硬度、弹性最低的第三类, 裂果率为 13.5%, 说明硬度、弹性等质地参数低的枣果实品质, 可能更容易引发果实裂果(杨植等, 2023)。

南疆地区作为典型的干旱地区, 年降水量低, 红枣种植过程中遇雨易发生裂果, 而枣产业是南疆主要的经济产业, 通过对不同品种枣裂性评价, 从而筛选出优秀的抗裂品种, 对南疆枣产业发展及经济效益提升具有重要的作用。

4 结论

枣裂果率高发主要集中在半红期到全红期, 随着果实成熟度的增加, 裂果率逐渐增加。在全红期自然裂果率超过 50%有 3 个品种, 分别是金丝新 4 号、晋矮 3 号和金丝 1 号。浸水诱裂试验中, 大荔知枣、大白铃、延川条枣、晋矮 2 号、慢慢枣 5 个枣品种随着果实成熟度的增加, 裂果率也在递增, 落地红和上海白浦与之正相反, 裂果率递减。不同时期裂果率和吸水率呈现极显著正相关的关系, 相关系数为 0.774~0.990。对果实质地参数分析得出, 硬度、弹性高的枣品种裂果率相对较低。

参考文献

- 曲泽洲, 王永蕙.中国果树志-枣卷 [M].北京: 中国林业出版社, 1993.
(QU Z Z, WANG Y H.China fruit Zhi-Zao Juan [M].Beijing: China Forestry Publishing House,1993. [in Chinese])
刘孟军, 王玖瑞, 刘平, 等. 中国枣生产与科研成就前沿进展[J]. 园艺学报, 2015, 42(9):1683-1698.
(LIU M J,WANG J R,LIU P,et al.Historical achievements and frontier advances in the production and research of Chinese Jujube(Ziziphus jujuba)in China [J].Journal Horticulture Sinica,2015,42(9):1683-1698. [in Chinese])
王红明,李雪,汪海燕,等.甜樱桃裂果机理研究现状与展望[J].落叶果树,2022,54(6):46-51.
(WANG H M,LI X,WANG H Y,et al.Progress and perspectives on fruit cracking mechanism of sweet cherry [J].Deciduous Fruits,2022,54(6):46-51. [in Chinese])
刘丹,刘鹏,刘丙花,等.石榴果实裂果影响因子及研究进展[J].北方园艺,2021(05):136-141.

- (LIU D, LIU P, LIU B H, et al. Research progress on fruit cracking mechanism and influencing factors of pomegranate fruit [J]. Northern Horticulture, 2021(5):136-141. [in Chinese])
- 陈 斌, 吴 震, 文军琴, 等. 番茄不规则裂果性状的QTL定位及候选基因分析[J]. 园艺学报, 2021, 48(7):1329-1339.
- (CHEN B, WU Z, WEN J Q, et al. QTL mapping and candidate genes analysis of irregular fruit cracking in tomato [J]. Journal Horticulture Sinica, 2021, 48(7):1329-1339. [in Chinese])
- 王旭旭, 樊秀彩, 李 傲, 等. 葡萄品种资源裂果性状调查与分析[J]. 园艺学报, 2016, 43(11):2099-2108.
- (WANG X X, FAN X C, LI A, et al. Investigation and analysis on cracking trait in grape berry [J]. Journal Horticulture Sinica, 2016, 43(11):2099-2108. [in Chinese])
- 王振磊, 吴巍, 王小燕, 等. 枣抗裂种质资源筛选与裂果机理初步研究[J]. 塔里木大学学报, 2016, 28(3):88-95.
- (WANG Z L, WU W, WANG X Y, et al. Study on pollen germination and pollen tube growth of different cultivars of ziziPhus jujube [J]. Journal of Tarim University, 2016, 28(3):88-95. [in Chinese])
- Seymour G B, Kenneth M, Eriksson E M, et al. Genetic identification and genomic organization of factors affectin-g fruit texture [J]. Journal of Experimental Botany, 2002, (377):2065—2071.
- 黄 瑶. 基于TPA法评价新疆枣果质地品质的研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2022.
- (HUANG Y. Evaluation of the texture and quality of Xinjiang Jujube fruit based on TPA method [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2022. [in Chinese])
- 杨 植, 董梦怡, 王振磊, 等. 基于TPA法枣酸枣杂交F₁果实质地与裂果对比分析[J]. 新疆农业科学, 2023, 60(3):608-615.
- (YANG Z, DONG M Y, WANG Z L, et al. TPA method was used to analyze the texture and split of F₁ fruit of Jujube hybrid [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2023, 60(3):608-615. [in Chinese])
- 唐贵敏, 贾 明, 刘丙花, 等. 不同裂果易感性石榴品种果皮质构特性分析与显微结构观测[J]. 热带作物学报, 2021, 42(3):777-781.
- (TANG G M, JIA M, LIU B H, et al. Texture characteristics and microstructure observation of exocarp from pomegranate varieties with different cracking susceptibility [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(3):777-781. [in Chinese])
- 木合塔尔·扎 热, 故丽米热·卡克什, 吴正保, 等. 浸水处理下骏枣裂果相关因子分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(6):15-23.
- (Muhtar Zari, Gulmira Kakix, WU Z B, et al. Analysis of the factors related to Jun-jujube fruit cracking under water immersion treatment [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2022, 42(6):15-23. [in Chinese])
- 王 艳, 马亚平, 曹 兵, 等. ‘灵武长枣’果实裂果特性初步研究[J]. 中国农学通报, 2018, (1):75-80.
- (WANG Y, MA Y P, CAO B, et al. Cracking characteristics of Zizyphus jujuba ‘lingwuchangzao’ [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(1):75-80. [in Chinese])
- 潘周昆, 杨芯芳, 张忠鑫, 等. 伏脆蜜果实吸水途径及吸水后结构力学的变化[J]. 塔里木大学学报, 2020, (4):31-40.
- (PAN Z K, YANG X F, ZHANG Z X, et al. Water absorption pathway and changes of structural mechancis of fucuimi [J]. Journal of Tarim University, 2020, 32(4):31-40. [in Chinese])
- 寸丽芳, 房立媛, 林敏娟, 等. 喷施外源钙对骏枣裂果和相关生理特性及显微结构的影响[J]. 果树学报, 2023, 40(9):1894-1903.
- (CUN L F, FANG L Y, LIN M J, et al. Effects of spraying calcium on fruit cracking and related physiological characteristics and microstructure of Junzao jujube [J]. Journal of Fruit Science, 2023, 40(9):1894-1903. [in Chinese])
- 张生智, 孙俊宝, 张未仲, 等. 甜樱桃不同品种内源激素含量与裂果相关性初步研究[J]. 中国农学通报, 2019, 35(19):64-67.
- (ZHANG S Z, SUN J B, ZHANG W Z, et al. Endogenous hormone levels and fruit cracking of sweet cherry cultivars: a preliminary study

- on the correlation [J].Chinese Agricultural Science Bulletin,2019,35(19):64-67 [in Chinese])
- 阳姝婷.干旱胁迫对甜樱桃生理及果实品质的影响[D].雅安:四川农业大学,2017.
- (YANG S T.Effect of drought stress on physiology and fruit quality of sweet cherry [D].Yaan:Sichuan Agricultural University,2017. [in Chinese])
- 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,(11):253-257.
- (XIN Y W,JI X,LIU H.Observation and studies on peel and pulp growing characters of different crack in jujube fruit varieties [J].Chinese Agricultural Science Bulletin,2006,22(11):253-257. [in Chinese])
- 于继洲,马丽萍,张秀梅,等.枣树裂果机理研究[J].山西农业科学,2002,30(1):76-79.
- (YU J Z,MA L P,ZHANG X M,et al.Mechanism of fruit cracking in Chinese jujube[J].Journal of Shanxi Agricultural Sciences,2002,30(1):76-79. [in Chinese])
- 刘光生,刘源源,马树平,等.枣裂果主导因子及防裂技术措施研究[J].山西农业科学,2012,40(2):150-152.176.
- (LIU G S,LIU Y Y,MA S P,et al.Major causes for jujube fruit cracking and anticracking technology [J].Journal of Shanxi Agricultural Sciences,2012,40(2):150-152,176. [in Chinese])
- 张伟龙,杨静慧,梁发辉,等.不同浸果时间对葡萄裂果的影响[J].天津农学院学报,2020,27(1):10-14.
- (ZHANG W L,YANG J H,LIANG F H,et al.Effect of different immersion time on grape cracking [J].Journal of Tianjin Agricultural University,2020,27(1):10-14. [in Chinese])
- 徐 蕊,闫伟兄,马国飞,等,.枸杞裂果相关性状因子研究[J].北方园艺,2024,(12):95-101.
- (XU R,YAN W X,MA G F,et al.Study on trait factors related to fruit splitting in Lycium barbarum [J].Northern Horticulture,2024(12):95-101. [in Chinese])
- LIU Z W,YAN X W,WANG P W,et al.Changes in fruit texture and cell structure of different pumpkin varieties (lines) during storage [Z].Postharvest Biology and Technology.
- 何全光,黄梅华,张娥珍,等.芒果TPA质构测定优化及不同成熟度芒果质构特性分析[J].食品工业科技,2016,37(18):122-126,132.
- (HE Q G,HUANG M H,ZHANG E Z,et al.Optimization for mango texture profile analysis and characterization of texture to different maturity of mango [J].Science and Technology of Food Industry,2016,37(18):122-126,132. [in Chinese])
- 姜 勇,王允虎,薄艳红,等.不同品种无花果TPA质构特性分析[J].山东农业科学,2018,50(10):52-56.
- (JIANG Y,WANG Y H,BO Y H,et al.Analysis on TPA textual characteristics of various species of figs [J].Shandong Agricultural Sciences,2018,50(10):52-56. [in Chinese])
- 韩艳文,李文生,王宝刚,等.葡萄果实质地剖面分析的参数优化[J].北方园艺,2018,(19):129-135.
- (HAN Y W,LI W S,WANG B G,et al.Optimization of texture determination of grape with texture profile analysis [J].Northern Horticulture,2018(19):129-135. [in Chinese])