

涩柿资源果实 CO₂脱涩难易及其与表型、内含物相关性

孙鹏^{1,2} 李加茹^{1,2} 韩卫娟^{1,2} 刁松锋^{1,2} 张嘉嘉^{1,2} 傅建敏^{1,2*}

(1. 国家林业局 泡桐研究开发中心, 郑州 450003;

(2. 中国林业科学研究院 经济林研究开发中心, 郑州 450003)

摘要 为阐明涩柿的果实因素(例如品种差异、果实大小、成熟度等)对 CO₂脱涩效果的影响,首先对比了 25 和 30 °C 条件下柿果实 CO₂脱涩效果的差异,发现两者差异不显著,然后在 25 °C 条件下利用体积浓度为 90% 的 CO₂ 对 60 份涩柿资源的果实进行脱涩处理,并对其脱涩难易程度、耐贮性、表型指标和内含物含量等进行了测定评价。结果表明:60 份资源按照果实脱涩难易可分为 4 类,最易脱涩的资源共 30 份,其果实经 CO₂ 处理 24 h 即可脱涩;按果实耐贮性,60 份资源可分别被聚为 5 类。相关性分析表明果实体积、成熟度与脱涩难易性呈显著正相关,而与耐贮性呈显著负相关,可溶性固形物含量与脱涩难易呈显著负相关,总酚、黄酮、单宁含量与脱涩难易相关性不显著。选出易脱涩且耐贮存资源 6 份、果实体积较大且较易脱涩资源 11 份、果实体积较大且较耐贮存资源 8 份,果实体积越大、成熟度越高、可溶性固形物含量越低的品种,其脱涩普遍越容易,但果实体积越大,其硬度变化越快,越不耐贮存,因此在大果、易脱涩和耐贮存性的选择上需要作出权衡。

关键词 涩柿果实;脱涩难易;耐贮性;表型指标;活性成分含量;品种筛选

中图分类号 S 665.2

文章编号 1007-4333(2016)06-0028-13

文献标志码 A

CO₂ de-astringency status among astringent persimmon resources and its correlation with fruit morphological characteristics and contents of active ingredients

SUN Peng^{1,2}, LI Jia-ru^{1,2}, HAN Wei-juan^{1,2}, DIAO Song-feng^{1,2}, ZHANG Jia-jia^{1,2}, FU Jian-min^{1,2*}

(1. Paulownia Research & Development Center of China, State Forestry Administration, Zhengzhou 450003, China;

2. Non-timber Forestry Research & Development Center, Chinese Academy of Forestry, Zhengzhou 450003, China)

Abstract The aim of this study was to investigate the fruit factors (such as the difference of varieties, fruit size, maturing status, *et al*) on CO₂ de-astringency effect. The difference between 25 and 30 °C on CO₂ de-astringency was firstly investigated, and no significant difference between 25 and 30 °C was found. Fruits of 60 astringent persimmon resources were then treated with 90% CO₂ in 25 °C, and de-astringency status, storage tolerance, morphological characters and contents of active ingredients were investigated. The results showed that the 60 persimmon resources were divided into 4 groups according to de-astringency status, and the group which was easiest to be de-astringent contain 30 resources, which could be de-astringent 24 h after the CO₂ treatment. The resources were divided into 5 groups according to the storage tolerance. The results of correlation analysis suggested that fruit size and its maturing status were positively correlated to de-astringent status, whereas they were negatively correlated to storage tolerance. In addition, the content of soluble solid was negatively correlated to de-astringent status, and the content of total phenols, flavones and tannin were not significantly correlated to de-astringent status. In this study, 6 resources with good de-astringent status and storage tolerance were selected, and 11 resources with good de-astringent status and big fruit size were selected, and 8 resources with good storage tolerance and big fruit size were selected. It is also found that

收稿日期: 2015-09-09

基金项目: 国家“十二五”科技支撑项目(2013BAD14B0502); 国家林业局 948 项目(2013-04-24)

第一作者: 孙鹏, 副研究员, 主要从事经济林育种与栽培研究, E-mail: sunpeng1017@126.com

通讯作者: 傅建敏, 副研究员, 主要从事经济林育种与栽培研究, E-mail: fjm371@163.com

when the fruit size was bigger and the maturing status was higher and the content of soluble solid was fewer, the fruit is easier to be de-astringent. However, when the fruit size is bigger, the storage tolerance was lower. Thus, a tradeoff should be made among de-astringent status, storage tolerance and fruit size.

Keywords fruits of astringent persimmon; de-astringency status; storage tolerance; morphological characters; contents of active ingredients; varieties selection

柿(*Diospyros kaki* Thunb)原产我国,2006年我国柿栽培 65.3 万 hm²,占世界栽培面积 89.5%,产鲜柿 198.7 万 t,占世界总产量 66.8%。柿资源在我国分布广泛,除宁夏、青海、内蒙古、黑龙江、吉林外,其他省、自治区均有分布,其中陕西、山西、河南、河北、山东、北京、天津栽培最多^[1]。我国各地柿品种数达 963 个,但除罗田甜柿外,其余几乎全部是完全涩柿^[2]。涩柿果实中所含的可溶性单宁在 0.13%~1.54%,采后涩不可食^[3],一般人可忍受 0.2%的可溶性单宁含量,当低于 0.2%时感觉不到有涩味^[4]。甜柿虽无涩味,但由于缺乏涩柿脱涩后的特殊风味,所以不能完全替代涩柿。高效的脱涩方法是提高涩柿鲜食市场认可度的关键技术。目前普遍有效的脱涩方法有温水脱涩法、冷水脱涩法、石灰水脱涩法、熏烟脱涩法、草木灰脱涩法、混果脱涩法、刺果脱涩法、酒精脱涩法、乙烯利脱涩法、CO₂ 脱涩法等,相比之下 CO₂ 脱涩法简便易行、高效、无毒副作用、脱涩后果实耐储性好,具有一定优势^[5-7]。

CO₂ 脱涩法脱涩原理为高 CO₂ 低 O₂ 环境迫使果实无氧呼吸产生乙醇,乙醇进一步氧化产生乙醛,果实中的可溶性单宁易与乙醛产生树脂状沉淀,从而脱涩^[8-9,2]。在实际脱涩过程中,有时会出现脱涩不完全、反涩或脱涩过度现象,导致这种问题的原因可分为果实因素和环境因素^[2]。果实因素包括柿子的品种、成熟度等,例如,柿子不同品种间果实大小不同,小果可溶性单宁含量高,大果可溶性单宁含量低,因此普遍表现出小果比大果难脱涩的现象。环境因素包括脱涩处理温度、处理时间及脱色剂用量和浓度等,例如,在 5~50 °C,处理温度越高脱涩越完全^[2]。

目前国内学者已开展了较为丰富的 CO₂ 体积浓度、温度等环境因素对脱涩效果影响的研究。例如董士远等^[10]研究发现‘磨盘柿’在室温经 40% CO₂ 于玻璃瓶中处理 4.5 d 可完全脱涩,当果实成熟度达到果皮刚转黄时,脱涩后保鲜效果最好;冷平等^[11]研究表明,在 22 °C,95% CO₂ 处理 20 h 后‘磨盘柿’果实完全脱涩,脱涩后室温下保持硬脆 7 d,随着 CO₂ 体积浓度的不断下降,完全脱涩所需时间逐

渐增长,脱涩后保持硬脆的时间也逐渐缩短,这说明高体积浓度的 CO₂ 处理更有利于磨盘柿果实快速脱涩,并保持较好的耐贮性;冷平等^[11]还发现 22 °C 条件下,当 CO₂ 体积浓度低于 50%,不能使磨盘柿完全脱涩,这和董士远等^[10]的研究结果有矛盾之处,造成这一矛盾的原因可能和处理温度不同有关;盒柿在低温条件下采用 80% CO₂,使用密封性好的容器,脱涩时间虽稍长,但硬果率可达 90%以上,脱涩保脆效果最好^[12];郭孝辉等^[13]研究表明 70% CO₂ 处理可使柿果快速脱涩,且脆硬口感可保持 7 d;占习娟等^[14]研究表明 60%以上体积浓度 CO₂ 处理脱涩效果较好,且处理温度低于 25 °C,脱涩后果实耐贮性好;李爽等^[15]研究表明 1-MCP 和 90%~95% 体积浓度的 CO₂ 联合使用可在快速脱涩同时提升果实耐贮性。由于所处地域不同,且处理环境和手段不完全相同,所以上述环境因素对 CO₂ 脱涩影响的研究结果不尽相同,但归结起来可以认为 CO₂ 体积浓度达到 90%以上,且在 5~50 °C 时,温度越高越有利于快速脱涩,但为了兼顾较好的脱涩效果和耐贮性,处理时温度以 2~30 °C 为宜。

目前环境因素对果实脱涩效果的影响研究已经开展较多,而果实因素(例如品种差异、果实大小、成熟度等)对 CO₂ 脱涩效果的影响还鲜有报道。本研究利用 95% CO₂ 分别于 25 和 30 °C 处理 21 份柿品种的果实,从而对比得出更为适宜的处理温度,然后在此温度下,利用 95% CO₂ 脱涩法首次对比 60 份柿品种(其中包含一份柿属种君迁子,其余皆为柿品种)果实的脱涩难易及脱涩后的耐贮性,然后分析两者间及与果实表型等指标的相关性,旨在综合评价出果实因素对脱涩的影响,并选出易脱涩、耐贮存的优良品种。

1 材料与方法

1.1 材料

于 2014 年 10 月 10 日在河南原阳(34°55.30'~34°56.45'N,113°46.24'~113°47.59'E)试验基地采集 48 份涩柿资源果实,于 2014 年 10 月 12 日在陕

西杨凌(34°29.64'~34°29.67'N,108°07.15'~108°07.20'E)采集18份涩柿资源果实(表1),果实

采集后立即在国家林业局泡桐研究开发中心实验室(河南省郑州市)进行CO₂脱涩处理。

表1 柿资源编号、名称、原产地对应表

Table 1 The number, name and origin of astringent persimmon resources

编号 No.	品种名称 Name	原产地 Origin	采集地 Collection place	编号 No.	品种名称 Name	原产地 Origin	采集地 Collection place
131	孟津镜面柿	河南孟津县	河南原阳县	85	小面糊	河南栾川县	河南原阳县
100	邢台绵瓢柿	河北邢台县	河南原阳县	27*	牛头柿	福建诏安县	河南原阳县
128	南衙柿	河南偃师县	河南原阳县	153	火罐柿	河南修武县	河南原阳县
129	孟津摘家烘	河南孟津县	河南原阳县	112*	车头柿	河南栾川县	河南原阳县
164*	鸡心柿	河南新安县	河南原阳县	59*	丽水6号	浙江丽水市	河南原阳县
28	富平盘柿	陕西富平县	河南原阳县	45*	肉柿	浙江丽水市	河南原阳县
39	海安小方柿	江苏海安县	河南原阳县	50*	丽水13号	浙江丽水市	河南原阳县
95*	大萼子	山东青州市	河南原阳县	110*	镜面柿	河南偃师市	河南原阳县
108*	四烘柿	河南栾川县	河南原阳县	9	青化南野柿	陕西眉县	河南原阳县
20	耀县五花柿	陕西耀州区	河南原阳县	102	方柿	河南栾川县	河南原阳县
79	黑柿	山西左权县	河南原阳县	122	临潼板柿	陕西临潼区	河南原阳县
173*	无核软枣	河北涉县	河南原阳县	159	华县青旋	陕西华县	河南原阳县
78*	磨盘柿	河北保定市	河南原阳县	370	潮阳元宵柿	广东潮阳区	陕西杨凌区
38*	玉环长柿	浙江玉环县	河南原阳县	51	恭城月柿	广西恭城县	陕西杨凌区
40*	休宁扁塌柿	安徽休宁县	河南原阳县	165	大红柿	陕西华县	陕西杨凌区
103	水柿	陕西户县	河南原阳县	291	白瓣柿	陕西眉县	陕西杨凌区
157	栾川花疙瘩	河南栾川县	河南原阳县	90	黎城大面糊	山西黎城县	陕西杨凌区
48	丽水14号	浙江丽水市	河南原阳县	276	枣庄满堂红	山东枣庄市	陕西杨凌区
34*	三原鸡心黄	陕西三原县	河南原阳县	18	黑心柿	山西孝义市	陕西杨凌区
58	丽水11号	浙江丽水市	河南原阳县	23	襄阳牛心柿	湖北襄阳市	陕西杨凌区
41	大平核柿	日本	河南原阳县	289	曹县水柿	山东曹县	陕西杨凌区
87	大火罐柿	河南栾川县	河南原阳县	29	旬阳牛心	陕西旬阳县	陕西杨凌区
86	大方柿	河南栾川县	河南原阳县	89	菏泽八月黄	山东菏泽市	陕西杨凌区
71*	丽水7号	浙江丽水市	河南原阳县	72	黄边小鸡心	广东广州市	陕西杨凌区
96	小萼子	山东益都县	河南原阳县	272	杵头柿	陕西眉县	陕西杨凌区
109*	无核方柿	河南新安县	河南原阳县	20'	耀县五花柿	陕西耀州区	陕西杨凌区
145	白柿	山西永济柿	河南原阳县	142	青柿	山东青州市	陕西杨凌区
91	板柿	河南栾川县	河南原阳县	460	容县京柿	广西容县	陕西杨凌区
170*	朱皮柿	河南宜阳县	河南原阳县	141	大磨盘柿	河北保定市	陕西杨凌区
49*	丽水5号	浙江丽水市	河南原阳县	99	长安王后柿	陕西户县	陕西杨凌区

注:20'表示完全花(同一朵花雌雄蕊均正常发育)结的果,*表示果实采集时为青色,属晚熟品种。

Note:20' means fruits developed from hermaphrodite flowers, and * means the fruits were green when picked up.

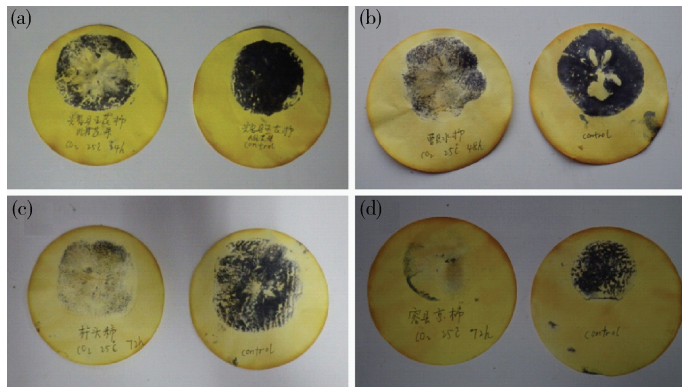
1.2 CO₂ 脱涩试验方法及脱涩难易评价

将 15 kg 柿果实装入由 60 μm 塑料膜制成的塑料袋内, 袋体积 50 L, 通过连接胶管将纯度为 99.999 9% 的 CO₂ 气体充入塑料袋内。将管口伸入塑料袋底部, 由于 CO₂ 比空气比重大, 因此可将空气从塑料袋上部的封口处排出。持续充入 CO₂ 直到封口处排出的气体能迅速将火柴的火焰熄灭, 然后再持续充气 20 S, 保证袋内 CO₂ 体积浓度达到 90% 以上。之后迅速封闭袋口, 分别在 25 和 30 °C 条件下对 21 份柿品种果实进行脱涩处理, 以此对比温度对脱涩效果的影响, 处理 1 d 后打开袋口, 使果实自然暴露于空气中继续脱涩, 每天每个品种随机选取 3 个果实检测脱涩情况, 直到该品种完全脱涩, 根据脱涩所需天数判断该品种脱涩难易。经对比后

发现 25 和 30 °C 脱涩效果差异不明显, 于是在 25 °C 利用 CO₂ 对所有 60 份柿资源进行脱涩处理, 以对比各品种间的脱涩难易。

1.3 柿果实单宁含量检测及果实涩味评价

60 份柿资源果实单宁含量检测采用单宁印迹法^[16]和品尝法, 然后随机选取 14 个柿品种, 在脱涩处理后 3 d 利用 Folin-Ciocalteu 法定量测定单宁含量^[17], 以未处理的样品为对照, 检测印迹法和品尝法的准确性。单宁印迹法是将滤纸浸入 5% 的 FeCl₃ 溶液中, 然后自然晾干, 将柿子横切后的切面按压其上, 此时可溶性单宁与 FeCl₃ 反应呈现出黑色, 根据颜色深浅, 判断可溶性单宁含量(图 1)。品尝法是由同一研究人员对处理后的果实进行品尝, 根据味觉对涩度打分, 5 分为最涩, 依次递减, 1 分为脱涩。



(a) 左图为耀县五花柿在 25 °C 经 CO₂ 处理 24 h 后单宁含量与对照相比显著下降, 但仍未完全脱涩, 右图为未处理的对照, 单宁含量很高; (b) 左图为曹县水柿在 25 °C 经 CO₂ 处理 48 h 后单宁含量与对照相比显著下降, 但仍未完全脱涩, 右图为未处理的对照, 单宁含量很高; (c) 左图为柘头柿在 25 °C 经 CO₂ 处理 72 h 后几乎脱涩, 右图为未处理的对照, 单宁含量很高; (d) 左图为容县京柿在 25 °C 经 CO₂ 处理 72 h 后完全脱涩, 右图为未处理的对照, 单宁含量很高。

(a) After treated with CO₂ in 25 °C for 24 h, tannin content of Yaoxianwuhuashi significantly decreased compared with control; (b) After treated with CO₂ in 25 °C for 48 h, tannin content of Caoxianshuishi significantly decreased compared with control; (c) After treated with CO₂ in 25 °C for 72 h, fruits of Chu-tou-shi were de-astringent, whereas tannin content of the control was still high; (d) After treated with CO₂ in 25 °C for 72 h, fruits of Rongxianjingshi were de-astringent, whereas tannin content of the control was still high.

图 1 单宁含量的印迹法检测

Fig. 1 Tannin content determined by tannin print method

1.4 柿果实颜色、硬度、表型指标和内含物的检测

在果实刚采摘进行脱涩处理前测定果实颜色和硬度, 据此判断果实成熟度。脱涩处理过程中每天测定颜色和硬度, 直到完全脱涩。处理后 96 h 再测定一次果实硬度, 据此判断果实的耐贮性。果实颜色采用比色卡 (RHS mini colour chart, Royal Horticultural Society) 测定, 然后对其进行赋值 (绿色赋值 1; 橙黄色赋值 2; 橙色赋值 3; 褐色赋值 4; 黑

色赋值 5)。果实硬度由同一研究人员利用手捏法测定, 根据硬度不同对其赋值, 5 分为最硬, 依次递减, 1 分最软, 此时果肉呈果浆状, 近液态。

果实采后在脱涩处理前对其表型进行测定, 测定指标包括果实纵径、横径、侧径、果柄长、果柄粗、蒂长、蒂宽、宿存萼片数、单果鲜重, 每品种设置 10 次生物学重复。

果实采后在脱涩处理前对其可溶性固形物含量

(采用 WYT-4 手持糖度计测定)、总酚含量^[18]、黄酮含量^[19]、单宁含量^[17]进行测定,每品种测定 3 个果实。

1.5 数据处理

利用 SPSS 单因素方差分析对比 25 和 30 °C CO₂ 处理后和果实处理前涩度和硬度的差异,并进行 Tukey HSD 多重比较($P < 0.05$ 水平);利用 T 检验对比 25 和 30 °C CO₂ 处理间脱涩所需天数、硬度下降值和果实颜色变化之间的差异;本研究定量测定了 14 个柿品种果实在脱涩处理 3 d 后的单宁含量,以未处理的样品为对照,利用 T 检验对比每

个品种处理和对照间的单宁含量差异;然后以果实脱涩难易、耐贮性强弱对 60 份柿资源进行聚类;再利用 Pearson 和 Spearman 相关分析法分析各指标间的相关性;最后进行主成分分析,并综合各项指标对果实脱涩难易、耐贮性、表型性状等进行全面评价。

2 结果与分析

2.1 25 和 30 °C 条件下柿果实脱涩效果对比分析

柿果实分别在 25 和 30 °C 经 CO₂ 处理至完全脱涩所需的的天数无显著差异(表 2)。

表 2 分别在 25 和 30 °C 下 CO₂ 处理果实脱涩天数方差分析

Table 2 The variance analysis between the de-astringency time in 25 and 30 °C

项目 Project	25 °C	30 °C
各品种脱涩所需天数赋值均值	2.05±0.29 a	1.76±0.30 a

注:以脱涩所需天数来表征果实脱涩难易。

Note: The de-astringency status was measured by the de-astringency time.

柿果实分别在 25 和 30 °C 经 CO₂ 处理 96 h 后 硬度的下降值无显著差异(表 3)。

表 3 25 和 30 °C 下 CO₂ 处理 96 h 柿果硬度下降值方差分析

Table 3 The variance analysis between the decrease of hardness after treated for 96 h in 25 and 30 °C

项目 Project	25 °C	30 °C
各品种硬度下降均值	1.24±0.31 a	1.14±0.28 a

由以上结果可知,在 25 和 30 °C 条件下,CO₂ 处理的脱涩效果差异不明显,于是利用 CO₂ 统一在 25 °C 下对所有 60 份柿资源进行脱涩处理,以对比各品种间的脱涩难易。

2.2 14 份柿资源果实经 CO₂ 处理 72 h 后与对照单宁含量对比分析

随机选取 14 份资源果实,经 CO₂ 处理后 72 h 后,定量测定处理和对照间的单宁含量差异,处理和对照之间单宁含量都表现出显著性差异,图 2 显示处理与对照间单宁含量差异显著,且大部分品种可溶性单宁含量几乎为零,定量检测法表明 CO₂ 脱涩法效果非常显著,且证明单宁印记法和品尝法的测定结果比较可靠。

2.3 60 份柿资源果实聚类分析

以 CO₂ 处理完全脱涩所需的天数来反映脱涩难易,60 份资源按照果实脱涩难易可聚为 4 类。第 1 类有 20 份资源,其果实 CO₂ 处理只需 1 d 脱涩,

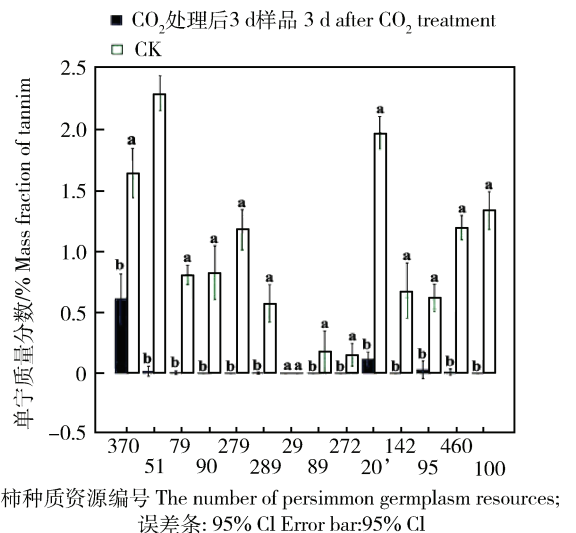


图 2 14 份柿资源果实经 CO₂ 处理 72 h 后单宁含量测定
Fig. 2 The content of tannin of 14 persimmon resources after treated with CO₂ for 72 h

这些资源编号分别为 89、460、129、23、29、276、18、165、291、122、103、145、91、41、96、48、58、159、157、108；第 2 类有 141 等 30 份资源，其脱涩需处理 2 d；

第 3 类有 370 等 8 份资源，其脱涩需处理 3 d，最难脱涩的第 4 类有 2 份资源，其中 20' 需处理 5 d，173 需处理 7 d(图 3)。

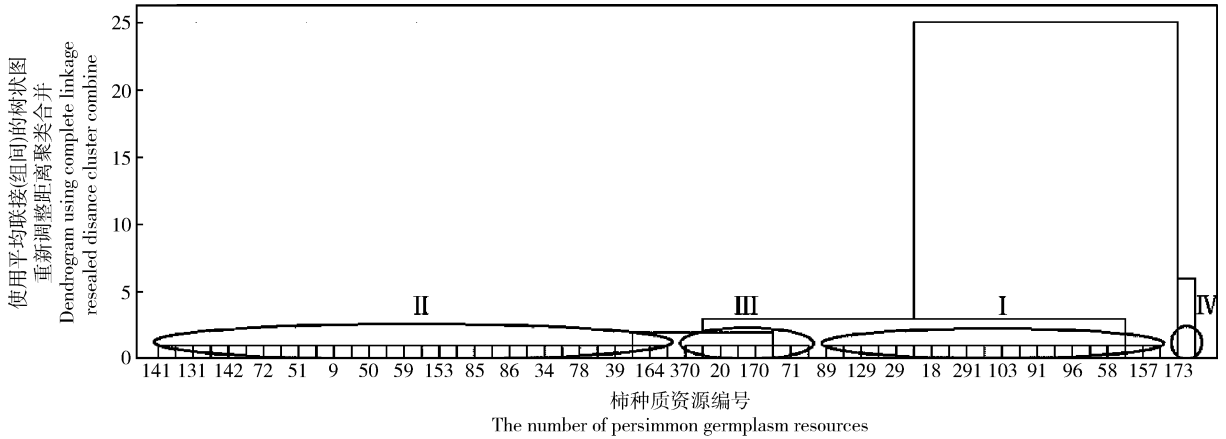


图 3 60 份柿资源果实脱涩难易欧式平方距离聚类分析

Fig. 3 Squared Euclidean distance analysis among de-astringency status of 60 persimmon resources

以 CO₂ 处理 96 h 果实硬度的下降值反映耐贮性，60 份资源按照果实耐贮性大小可聚为 5 类。第 1 类有 22 份资源，这些资源在处理 96 h 后果实硬度没有下降，耐贮性好，这些资源包括 20'、460、164、165、72、9、102、27、153、170、49、109、91、48、34、103、157、38、40、95、20、39；第 2 类有 141 号等 15 份资源，这些资源处理 96 h 后果实硬度下降值为 1，耐贮

性较好；第 3 类有 23 号等 13 份资源，这些资源处理 96 h 后果实硬度下降值为 2；第 4 类有 29 号等 8 份资源，这些资源处理 96 h 后果实硬度下降值为 3；第 5 类有 128 号和 28 号，这 2 份资源处理 96 h 后果实硬度下降值为 4，已经变得非常软，极不耐贮存(图 4)。

同时具有易脱涩和耐贮存的资源编号为：460、165、103、91、48、157。

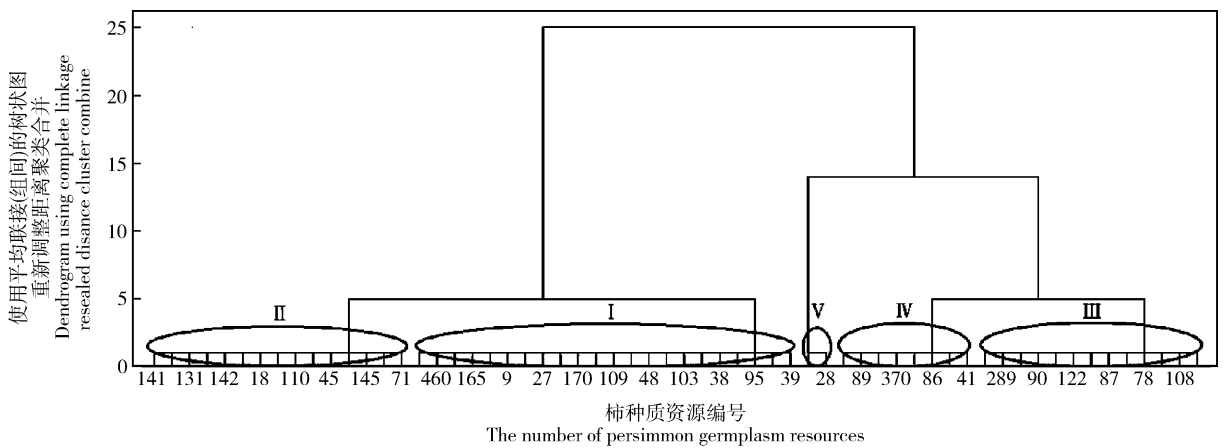


图 4 60 份柿资源果实耐贮性欧式平方距离聚类分析

Fig. 4 Squared Euclidean distance analysis among storage tolerance of 60 persimmon resources

2.4 各指标间的相关性分析

将果实脱涩所需天数、处理 96 h 果实硬度变化等指标进行 Spearman 相关性分析后发现：果实脱涩所需天数与处理 1 d 的涩度变化呈极显著负相关

($P < 0.01$)，说明果实对 CO₂ 处理响应速度越快，其脱涩所需天数越短；果实脱涩所需天数与果实处理前硬度呈显著正相关($P < 0.05$)，说明果实处理前越硬，其脱涩越难，果实硬度大也表明其成熟度低，

成熟度越低其脱涩越难;果实脱涩所需天数与果实处理前颜色呈极显著负相关($P < 0.01$),说明果实颜色越偏向于绿色其脱涩越难,越偏向于橙色其脱涩越容易,这也表明果实成熟度越高其脱涩越容易;果实脱涩所需天数与处理至完全脱色时果实颜色变化程度呈显著正相关($P < 0.05$),这说明脱涩处理时间越长,果实颜色变化越大,越不耐贮存;处理96 h后果实硬度变化程度与处理前硬度呈极显著负相关($P < 0.01$),且与果实处理前颜色呈显著正相关($P < 0.05$),这说明处理前果实越硬越偏向绿色,处理96 h后果实硬度变化程度越小,越耐储存,但是脱涩相对较难;处理96 h后果实硬度变化程度与处理1 d后果实硬度变化程度呈显著正相关($P < 0.05$),表明处理前期硬度下降越快,整个处理期硬度下降越大;处理96 h后果实硬度变化程度与单果

种子数呈极显著负相关($P < 0.01$),表明种子数越多,处理96 h后果实硬度下降越小,越耐贮存;果实处理前涩度与处理1 d涩度变化呈极显著正相关($P < 0.01$),说明果实处理前单宁含量越高,其对 CO_2 处理的响应速度越快;果实处理前颜色与处理1 d涩度变化程度呈显著正相关($P < 0.05$),表明处理前果实越偏向于绿色,成熟度越低,其对 CO_2 处理的响应速度越快;果实处理前硬度与单果种子数呈显著正相关($P < 0.05$),由于果实采集期一致,因此处理前硬度大的果实成熟期晚,这有可能表明果实种子数越多,其成熟期越晚;果实处理前颜色与处理至完全脱涩时颜色的变化程度呈极显著负相关($P < 0.01$),说明处理前果实颜色越偏向于橙色,成熟度越高,处理过程中颜色变化程度越小(表4)。

表4 各指标 Spearman 相关性分析

Table 4 Spearman correlation analysis among indexes

指标 Index	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	1								
B	-0.140	1							
C	-0.127	-0.068	1						
D	-0.621**	0.104	0.548**	1					
E	0.277*	-0.340**	0.139	-0.073	1				
F	-0.165	0.319*	0.136	0.185	0.065	1			
G	-0.446**	0.304*	0.149	0.263*	-0.249	0.151	1		
H	0.279*	-0.091	0.079	-0.036	0.157	0.004	-0.588**	1	
I	0.073	-0.378**	0.030	-0.106	0.315*	-0.143	-0.154	0.081	1

注: * 代表在 $P < 0.05$ 水平相关, ** 代表在 $P < 0.01$ 水平相关,表 5~7 同此。指标 A: CO_2 于 25 °C 处理脱涩所需天数; 指标 B: CO_2 于 25 °C 处理 96 h 果实硬度变化; 指标 C: 果实处理前涩度; 指标 D: CO_2 于 25 °C 处理 1 d 果实涩度变化; 指标 E: 果实处理前硬度; 指标 F: CO_2 于 25 °C 处理 1 d 果实硬度变化; 指标 G: 果实处理前颜色; 指标 H: CO_2 于 25 °C 处理果实完全脱涩时颜色变化; 指标 I: 果实种子数; 表 10 同此。

Note: * means significant correlation at the level of $P < 0.05$, and ** means significant correlation at the level of $P < 0.01$. The same as in tables 5~7. A: De-astringency time treated with CO_2 in 25 °C; B: Change of hardness after treated with CO_2 for 96 h in 25 °C; C: astringency before treatment; D: Change of astringency after treated with CO_2 for 24 h in 25 °C; E: Hardness before treatment; F: Change of hardness after treated with CO_2 for 24 h in 25 °C; G: Fruit color before treatment; H: Change of fruit color until de-astringent; I: Fruit seed number. The table 10 is same to this.

将果实表型性状及可溶性固形物含量进行 Pearson 相关性分析后发现:果实纵径分别与横径、侧径、果柄长、果柄粗、柿蒂宽、单果鲜重呈极显著正相关($P < 0.01$),果实横径分别与侧径、果柄粗、柿

蒂宽、单果鲜重呈极显著正相关($P < 0.01$),与果柄长呈显著正相关($P < 0.05$);果实侧径分别与果柄粗和单果鲜重呈极显著正相关($P < 0.01$),与果柄长和柿蒂宽呈显著正相关($P < 0.05$);果柄长与果

柄粗、柿蒂宽、单果鲜重呈显著正相关($P < 0.05$); 果柄粗与柿蒂宽和单果鲜重呈极显著正相关($P < 0.01$), 与柿蒂长呈显著正相关($P < 0.05$); 柿蒂长与柿蒂宽呈极显著正相关($P < 0.01$); 柿蒂宽与单果鲜重呈显著正相关($P < 0.05$), 以上记过表明柿

果实体积越大, 其果柄就越大, 柿蒂也越大, 单果也越重。果实可溶性固形物含量分别与果纵径、横径、侧径、柿蒂宽和单果鲜重呈极显著负相关, 表现出果实体积越大, 可溶性固形物含量越低的规律(表 5)。

表 5 果实表型指标的 Pearson 相关性分析

Table 5 Pearson correlation analysis among morphological characters of fruits

指标 Index	果纵径 Fruit longitudinal diameter	果横径 Fruit transverse diameter	果侧径 Fruit lateral diameter	果柄长 Peduncle long	果柄粗 Peduncle thick	柿蒂长 Calyx long	柿蒂宽 Calyx wide	萼裂数 Number of sepal	单果鲜重 Weight of a fresh fruit	可溶性固 形物含量 The content of soluble solid
果纵径	1									
果横径	0.629**	1								
果侧径	0.623**	0.990**	1							
果柄长	0.505**	0.327*	0.318*	1						
果柄粗	0.543**	0.665**	0.643**	0.284*	1					
柿蒂长	0.254	0.204	0.220	0.241	0.293*	1				
柿蒂宽	0.368**	0.423**	0.403*	0.327*	0.433**	0.411**	1			
萼裂数	0.074	0.020	-0.012	0.138	0.184	-0.055	-0.106	1		
单果鲜重	0.697**	0.920**	0.922**	0.340*	0.703**	0.107	0.306*	0.037	1	
可溶性固 形物含量	-0.355**	-0.572**	-0.587**	-0.217	-0.160	-0.236	-0.384**	0.053	-0.371**	1

将果实脱涩所需天数、处理 96 h 果实硬度变化等指标分别与表型指标和可溶性固形物含量进行 Pearson 相关性分析后发现: 脱涩所需天数分别与果实横径、侧径、柿蒂宽呈极显著负相关($P < 0.01$), 与果实纵径、果柄长、柿蒂长、单果鲜重呈显著负相关($P < 0.05$), 而与果实可溶性固形物含量呈极显著正相关($P < 0.01$), 这表明果实体积越大、可溶性固形物含量越低的品种, 其脱涩普遍越容易。处理 96 h 果实硬度变化程度与果实横径、侧径、单果鲜重呈极显著正相关($P < 0.01$), 这表明果实体积越大, 其硬度变化越快, 越不耐贮存。果实处理前涩度与横径、果柄粗、单果鲜重呈显著负相关($P < 0.05$), 而与可溶性固形物含量呈显著正相关($P < 0.05$), 这表明果实越小、可溶性固形物含量越高, 其涩味越重。处理 1 d 果实硬度变化程度与果柄长呈显著正相关($P < 0.05$), 这有可能表明果柄越长, 其硬度下降越快, 越不耐贮存(表 6)。

果实总酚、黄酮、单宁含量与其他所有指标进行 Pearson 相关性分析后发现: 总酚含量分别与果实横径、侧径、果柄长呈显著负相关($P < 0.05$); 黄酮含量与果实横径呈极显著负相关($P < 0.01$), 与侧径呈显著负相关($P < 0.05$); 单宁含量分别与横径、侧径呈显著负相关($P < 0.05$), 这有可能表明果实横切面积越大, 其总酚、黄酮、单宁含量越低, 且果柄越长, 其总酚含量可能越低。总酚、黄酮、单宁 3 种成分之间呈现出极显著的正相关关系($P < 0.01$)(表 7)。

2.5 涩柿果实表型指标、脱涩难易、耐贮性等的主成分分析

由于有 8 份资源的果实量小, 未对其表型进行测定, 因此选取 52 份柿资源, 对其果实的表型指标、脱涩所需天数、处理 3 d 硬度下降等指标进行主成分分析, 前 3 个主成分的累计贡献率已达到 72.094%, 选取前 3 个主成分进行后续分析(表 8)。

表6 脱涩难易、耐贮性等指标与表型指标间的 Pearson 相关性分析

Table 6 Pearson correlation analysis among de-astringency status, storage tolerance *et al.* and morphological characteristics

指标 Index	果纵径 Fruit longitudinal diameter	果横径 Fruit transverse diameter	果侧径 Fruit lateral diameter	果柄长 Peduncle length	果柄粗 Peduncle thickness	柿蒂长 Calyx length	柿蒂宽 Calyx width	萼裂数 Number of sepal	单果鲜重 Weight of a fresh fruit	可溶性固 形物含量 The content of soluble solid
A	-0.349*	-0.410**	-0.392**	-0.330*	-0.251	-0.294*	-0.458**	0.151	-0.271*	0.483**
B	0.208	0.388**	0.379**	0.135	0.223	0.117	0.137	-0.145	0.391**	-0.118
C	-0.208	-0.285*	-0.267	0.114	-0.288*	0.083	-0.095	-0.261	-0.279*	0.304*
D	-0.022	-0.026	-0.047	0.079	-0.052	0.051	0.171	-0.206	-0.110	-0.011
E	-0.077	-0.182	-0.151	0.032	-0.030	0.085	-0.049	-0.039	-0.204	-0.088
F	-0.037	0.065	0.069	0.275*	0.066	0.035	0.149	0.012	0.050	-0.132
G	-0.088	0.185	0.188	-0.091	0.031	0.116	0.073	-0.049	0.095	-0.239
H	-0.070	-0.158	-0.160	-0.084	-0.113	-0.143	-0.050	0.003	-0.143	0.161
I	-0.072	-0.031	-0.025	0.193	-0.182	0.108	0.118	-0.193	-0.129	-0.209

表7 总酚、黄酮、单宁含量与各指标间的 Pearson 相关性分析

Table 7 Pearson correlation analysis among the content of phenols, flavones, tannin and all other indexes

指标 Index	果横径 Fruit transverse diameter	果侧径 Fruit lateral diameter	果柄长 Peduncle length	果实处理 前颜色 Fruit color before treatment	果总酚含量 Phenols content	果黄酮含量 Flavones content	果单宁含量 Tannin content
果总酚含量 Phenols content	-0.605*	-0.524*	-0.484*	-0.439	1.000	0.906**	0.718**
果黄酮含量 Flavones content	-0.631**	-0.588*	-0.391	-0.339	0.906**	1.000	0.719**
果单宁含量 Tannin content	-0.601*	-0.544*	-0.276	-0.660**	0.718**	0.719**	1.000

注:表中只列出具有显著性($P < 0.05$ 和 $P < 0.01$)的相关关系。

Note: Only significant correlation ($P < 0.05$ and $P < 0.01$) are showed in this table.

旋转后的成分矩阵显示,主成分1主要代表单果鲜重、果实纵径、横径、侧径,反映果实大小;主成分2主要代表处理前果实颜色和脱涩所需天数,反映果

实成熟期早晚和脱涩难易;主成分3主要代表处理前果实硬度和处理3d硬度下降值,反映果实成熟期早晚和耐贮藏性(表9)。

表 8 主成分分析的总方差分解

Table 8 Total variance explanation of factor analysis

成分 Component	初始特征值 Initial eigenvalues			提取平方和载入 Extraction sums of squared loadings			旋转平方和载入 Rotated sums of squared loading		
	合计 Total	方差/% Variance	累积% Cumulative	合计 Total	方差/% Variance	累积% Cumulative	合计 Total	方差/% Variance	累积% Cumulative
1	4.204	42.042	42.042	4.204	42.042	42.042	3.677	36.772	36.772
2	1.642	16.425	58.466	1.642	16.425	58.466	1.774	17.735	54.508
3	1.363	13.630	72.094	1.363	13.630	72.094	1.759	17.589	72.097
4	0.770	7.702	79.799						
5	0.616	6.156	85.955						
6	0.580	5.796	91.750						
7	0.442	4.416	96.167						
8	0.334	3.336	99.503						
9	0.040	0.400	99.903						
10	0.010	0.097	100.00						

表 9 旋转后的成分矩阵

Table 9 Rotated component matrix

成分 Component	单果鲜重 Weight of a fresh fruit	果侧径 Fruit lateral diameter	果横径 Fruit transverse diameter	果纵径 Fruit longitudinal diameter	脱涩所需天数 De-astringency time	处理前果色 Fruit color before treatment	可溶性固形物含量 Soluble solid content	处理前硬度 Hardness before treatment	96 h 硬度下降 Decrease of hardness after 96 h	种子数 Seed number
1	0.933	0.919	0.917	0.791	-0.320	-0.097	-0.537	0.012	0.296	-0.077
2	0.053	0.247	0.247	-0.005	-0.746	0.657	-0.586	-0.089	-0.012	0.556
3	0.193	0.159	0.180	-0.057	-0.046	0.551	0.127	-0.740	0.669	-0.587

根据因子得分系数得出主成分表达式如下(下式中 X₁、X₂、X₃、X₄、X₅、X₆、X₇、X₈、X₉、X₁₀ 分别代表果实纵径、果实横径、果实侧径、单果鲜重、可溶性固形物含量、脱涩所需天数、CO₂ 处理 3 d 果实硬度下降值、果实种子数、处理前果实颜色、处理前果实硬度)：

$$\begin{aligned}
 1 &= 0.267X_1 + 0.244X_2 + 0.247X_3 + 0.280X_4 - 0.091X_5 + 0.023X_6 + 0.037X_7 - 0.063X_8 - 0.193X_9 + 0.088X_{10} \quad (1) \\
 2 &= -0.135X_1 + 0.008X_2 + 0.008X_3 - 0.121X_4 - 0.293X_5 - 0.433X_6 - 0.057X_7 +
 \end{aligned}$$

$$0.376X_8 + 0.445X_9 - 0.060X_{10} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
 3 &= -0.108X_1 + 0.022X_2 + 0.009X_3 + 0.029X_4 + 0.126X_5 + 0.003X_6 + 0.373X_7 - 0.344X_8 + 0.339X_9 - 0.444X_{10} \quad (3)
 \end{aligned}$$

以主成分 2 为横坐标,主成分 1 为纵坐标,做出 52 份资源的散点图(图 5)。图 5 中横坐标的值越大表示果实越易脱涩、处理前果实颜色越偏向于橙色、越早熟;纵坐标的值越大表示单果鲜重越重、果实体积越大。图 5 中 I 类椭圆的 8 份资源果实体积最大,早熟性和易脱涩性适中,这 8 份资源编号分别是

100、23、108、141、99、110、164、165；Ⅱ类椭圆的资源编号为131,其果实体积较大,早熟性和易脱涩性较

好;Ⅲ类椭圆中的145和91号资源易早熟、易脱涩,但果实体积适中。

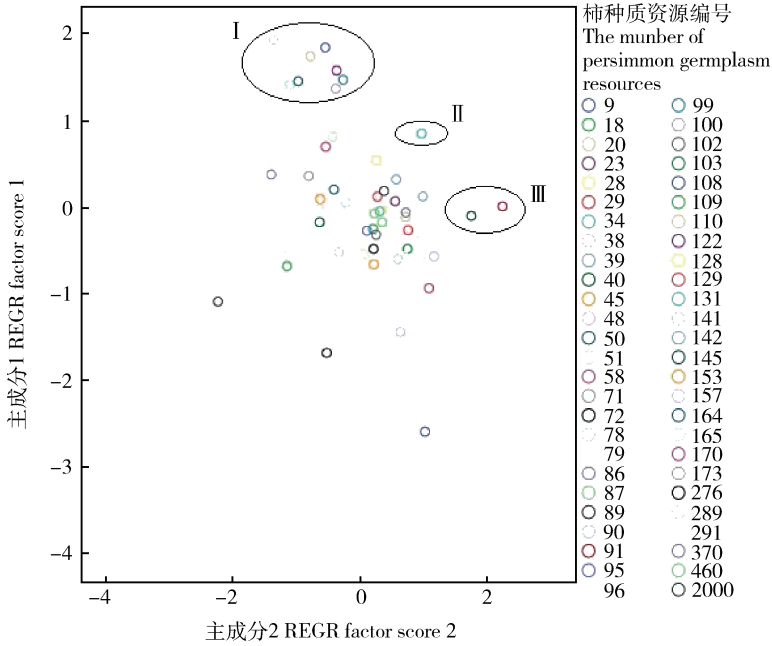


图5 52份柿资源品种以主成分1和2为坐标的散点分布图

Fig. 5 Scatterplot drawn with principal component 1 and 2 as coordinates

以主成分3为横坐标,主成分1为纵坐标,做出52份资源的散点图(图6)。图6中横坐标的值越大表示处理前果实颜色越偏向于橙色、果实越软、越早熟,且处理3d后硬度下降越大、越不耐贮存;纵坐标的值越大表示单果鲜重越重、果实体

积越大。图6中Ⅰ类椭圆的3份资源具有果实体积大,较耐贮存的特点,这3份资源编号分别是164、108、141;Ⅱ类椭圆的5份资源具有果实体积较大、耐贮性好的特点,这5份资源分别是170、91、34、40、165。

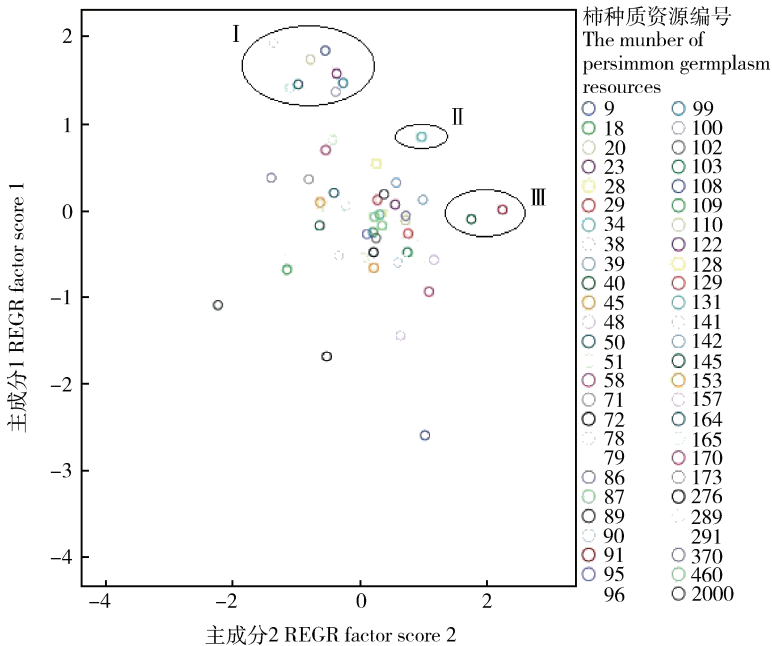


图6 52份柿资源品种以主成分1和3为坐标的散点分布图

Fig. 6 Scatterplot drawn with principal component 1 and 3 as coordinates

3 讨论与结论

本研究表明 25 和 30 °C 条件下, CO₂脱涩处理的效果没有显著差异, 而柿大部分品种果实成熟于 9 和 10 月, 这段时间气温大致在 25 °C 左右, 因此大规模脱涩生产可在常温下进行, 这样可以降低生产成本。

目前普遍认为 CO₂脱涩有 2 个过程, 第一为诱导过程, 需要 CO₂存在, 第二为自动脱涩过程, 即诱导达到一定程度后, 可在空气中自动完成脱涩^[20]。本研究统一将第一诱导过程固定在 24 h, 之后让果实空气中完成脱涩。60 份资源中有 32 份资源在第一诱导过程结束时涩度值下降 4 或 3, 此时单宁含量已经很低, 有些甚至已经完全脱涩, 说明大部分柿资源对 CO₂处理响应很快, 第一诱导过程在整个脱涩过程中最为重要; 然而另有 17 份资源在第一诱导过程结束时其涩度值下降为 1 或 0, 但在第二阶段涩度值下降很大, 大部分品种于处理 3 d 后脱涩, 说明这些品种对 CO₂处理的响应速度慢, 其脱涩过程主要发生在第二阶段。

本研究指出果实实体积越大、可溶性固形物含量越低的品种, 其脱涩普遍越容易。这与金光^[2]报道的现象一致, 他认为造成这种现象的原因是小果可溶性单宁含量高, 大果可溶性单宁含量低, 因此普遍表现出小果比大果难脱涩的现象。本研究认为, 在高浓度 CO₂处理过程中, O₂含量极其稀薄, 此时果实对 O₂的吸收能力决定了其体内的低氧胁迫水平。低氧胁迫越严重, 果实内酒精和乙醛的含量增加越快, 从而更易脱涩, 如果将果实看做球形, 其表面积和体积的比值为 $X = 4\pi r^2 / (4/3) \pi r^3 = 3/r$, 因此随着果实体积增加, 其表面积相对于体积越小, 这样对单位体积果肉而言, 其表面吸收的 O₂量减少, 果实低氧胁迫严重, 因此脱涩更快, 具体的结论还需进一步试验验证。

本研究还发现果实体积越大, 其硬度变化越快, 越不耐贮存, 这说明在大果、易脱涩和耐贮存性的选择上需要作出权衡, 任何 2 个指标的过于增加可能导致另一个指标的下降。程青^[21]认为 CO₂+0.5 μL/L 1-MCP 组合能够延长柿果脱涩后的货架期^[21], 因此在确保大果和易脱涩的情况下, 可以采用这种方法提高果实耐贮性。

本研究选出的易脱涩且耐贮存的资源为 460、

165、103、91、48、157; 果实体积较大且较易脱涩的资源为 100、23、108、141、99、110、164、165、131、145、91; 果实体积较大且较耐贮存的资源为 164、108、141、170、91、34、40、165。

参 考 文 献

- [1] 王仁梓. 图说柿高效栽培关键技术[M]. 北京: 金盾出版社, 2009: 1-3
Wang R Z. *Illustrated Handbook of Key Technology for Efficient Persimmon Cultivation* [M]. Beijing: The Jindun Publishing House, 2009: 1-3 (in Chinese)
- [2] 金光. 二氧化碳和乙醇处理对早熟红柿脱涩效果的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012
Jin G. Effects of de-astringency from persimmon by different carbon dioxide and ethanol treatments [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012 (in Chinese)
- [3] 刘兴华, 饶景萍. 果树贮藏学[M]. 西安: 陕西科技出版社, 1998
Liu X H, Rao J P. *Storage and Transportation of Fruit Tree* [M]. Xi'an: Scientific and Technical Publishing House in Shaanxi, 1998 (in Chinese)
- [4] 辜青青, 房剑锋. 柿果脱涩机理及人工脱涩方法[J]. 现代园艺, 2007(2): 26-27
Gu Q Q, Fang J F. Mechanisms of deastringency and artificial deastringent method of persimmon fruits [J]. *Modern Horticulture*, 2007(2): 26-27 (in Chinese)
- [5] 马君岭, 王春明, 王立第. 柿子脱涩十法[J]. 农民科技培训, 2009(12): 37
Ma J L, Wang C M, Wang L D. Ten methods for persimmon deastringency [J]. *Scientific and Technical Training for Farmers*, 2009(12): 37 (in Chinese)
- [6] 金光, 郭瑞, 廖汝玉, 周平, 沈清标, 杨凌, 吴绍钟. 二氧化碳和乙醇脱涩对早红柿果实品质及叶绿体色素含量的影响[J]. 福建农业学报, 2011, 26(5): 842-846
Jin G, Guo R, Liao R Y, Zhou P, Shen Q B, Yang L, Wu S Z. Effects of deastringency with carbon dioxide and alcohol on fruit quality and chloroplast pigment content of *Persimmon* cv. 'Zaohong' [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2011, 26(5): 842-846 (in Chinese)
- [7] 熊宇婷, 曾明, 王璠, 李国权, 王彦波, 吴美华, 杜晓云. 不同脱涩方法对“赣方 1 号”柿低温贮藏及果实品质的影响[J]. 中国南方果树, 2014, 43(6): 90-93
Xiong Y T, Zeng M, Wang P, Li G Q, Wang Y B, Wu M H, Du X Y. Effects of different storage methods on low temperature storage and fruit quality of persimmon cv "Ganfeng 1" [J]. *Fruit Tree in South China*, 2014, 43(6): 90-93 (in Chinese)
- [8] Yonemori K. Persimmon industry and research activities in Japan [J]. *Acta Horticulturae*, 1997, 436: 21-32
- [9] 李超. 几种常见鲜柿品种的二氧化碳脱涩试验研究[J]. 现代农业科技, 2009(11): 29-31

- Li C. CO₂ de-astringent study of several common fresh persimmon varieties [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2009(11):29-31 (in Chinese)
- [10] 董士远,张平,纪淑娟. CO₂脱涩处理对柿果贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2002, 23(10): 105-109
Dong S Y, Zhang P, Ji S J. Effects of CO₂ treatment on fruit quality after storage[J]. *Food Science*, 2002, 23(10): 105-109 (in Chinese)
- [11] 冷平,李宝,张文,贾克功. 磨盘柿的二氧化碳脱涩技术研究[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(11): 1333-1336
Leng P, Li B, Zhang W, Jia K G. Study on De-astringent of Mopan Persimmon by Carbon Dioxide [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(11): 1333-1336 (in Chinese)
- [12] 王淑贞,鲁墨森,张静. 涩柿脱涩保脆研究初报[J]. *落叶果树*, 2002, 17(4): 28-29
Wang S Z, Lu M S, Zhang J. Preliminary study on de-astringency and crispness-keeping of astringent persimmon[J]. *Deciduous Fruits*, 2002, 17(4): 28-29 (in Chinese)
- [13] 郭孝辉,房淑珍,王颀,郭雪霞,徐立强,袁丽. CO₂处理对磨盘柿果实质地及品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2006, 27(8): 156-159
Guo X H, Fang S Z, Wang J, Guo X X, Xu L Q, Yuan L. Study on the infection of "Mopan" persimmon's quality by carbon dioxide[J]. *Food Research and Development*, 2006, 27(8): 156-159 (in Chinese)
- [14] 占习娟,陈义伦,刘宾,张蕾. CO₂浓度和温度对柿子脱涩效果的影响[J]. *河北农业科学*, 2006, 10(2): 34-37
Zhan X J, Chen Y L, Liu B, Zhang L. Effects of eliminating acerbitity from persimmon by different concentration of carbon dioxide and different temperature [J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2006, 10(2): 34-37 (in Chinese)
- [15] 李爽,张平,李江阔,刘成红. 高浓度 CO₂和 1-MCP 处理对磨盘柿脱涩和保脆效果的影响[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(7): 2082-2083, 2147
Li S, Zhang P, Li J K, Liu C H. Studies on De-astringent and Crispness-keeping for Mopan Persimmon Treated by High Concentration CO₂ and 1-MCP [J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2007, 35(7): 2082-2083, 2147 (in Chinese)
- [16] Matsuo T, Ito S. On mechanisms of removing astringency in persimmon fruits by carbon dioxide treatment I Some properties of the two processes in the de-astringency[J]. *Plant & Cell Physiology*, 1977, 18(1): 17-25
- [17] 陈佩,李平,郝艳宾,齐建勋,戴圣杰,王灿磊,冷平. 柿果成熟过程中可溶性果胶和单宁含量的变化[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(1): 88-92
Chen P, Li P, Hao Y B, Qi J X, Dai S J, Wang C L, Leng P. The change of soluble pectin and tannic during maturation of persimmon fruit [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2012, 17(1): 88-92 (in Chinese)
- [18] Djeridane A, Yousfi M, Nadjemi B, Boutassouna D, Stocker P, Vidal N. Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds[J]. *Food Chemistry*, 2006, 97(4): 654-660
- [19] Stankovic M S, Niciforovic N, Topuzovic M, Solujic S. Total phenolic content, flavonoid concentrations and antioxidant activity, of the whole plant and plant parts extracts from *Teucrium montanum* L. Var *Montanum*, F *Supinum* (L) Reichenb[J]. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 2011, 25: 2222-2227
- [20] 邵则恭. 鲜柿二氧化碳脱涩试验[J]. *果树科学*, 1993, 10(4): 224-225
Shao Z G. CO₂ de-astringent study of fresh persimmon fruits [J]. *Journal of Fruit Science*, 1993, 10(4): 224-225 (in Chinese)
- [21] 程青,梁平卓,李莹,李宝. 1-甲基环丙烯和 CO₂ 组合处理抑制柿果实脱涩软化的效应及其细胞壁成分的变化[J]. *中国农业大学学报*, 2015, 20(4): 92-99
Cheng Q, Liang P Z, Li Y, Li B. Effects of 1-MCP on fruit softening and cell wall component variation of persimmon variety treated with CO₂[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2015, 20(4): 92-99 (in Chinese)

责任编辑:王燕华