

# 冬枣减压和臭氧联用保鲜技术研究

韩军岐, 张有林, 史向向

(陕西师范大学 食品工程系, 陕西 西安 710062)

**[摘要]** 以冬枣为材料, 研究减压、臭氧对冬枣贮藏期生理生化指标的影响。结果表明, 减压和臭氧均能降低冬枣呼吸强度, 抑制淀粉酶活性, 减缓淀粉降解速度, 抑制霉菌孢子繁殖, 防止果实腐烂, 保持果实硬度。减压还可减缓冷害, 使贮藏温度较常压下(-1~0)降低2。正交试验结果表明, 采用盛水加湿法, -2和40.5 kPa条件下, 每隔20 d用300 mg/m<sup>3</sup> O<sub>3</sub>处理30 min, 可使冬枣贮藏140 d, 好果率达92.4%。

**[关键词]** 冬枣; 减压; 臭氧; 保鲜技术

**[中图分类号]** S665.109<sup>+</sup>.3

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-9387(2006)11-0141-07

冬枣皮薄肉脆, 酸甜适口, 风味极佳, 维生素C含量高达3~5 g/kg, 可溶性固形物含量300~360 g/kg, 矿物质和微量元素丰富, 且富含环磷酸腺苷(cAMP)和环磷酸鸟苷(cGMP), 因此深受人们喜爱, 成为世界珍稀水果<sup>[1]</sup>。但冬枣组织结构特殊, 采后生理变化复杂, 呼吸类型至今尚不清楚, 贮藏期易褐变、酒化和软腐, 并伴有维生素C的大量损失, 常温下4~5 d便失去商品价值, 机械冷库也只能贮藏50~60 d, 且贮后好果率低, 商品化程度不高<sup>[2-3]</sup>。近年来, 我国科研人员对减压和臭氧技术在水果贮藏上的应用进行了初步探索。减压具有降低氧气分压、快速预冷和排除果实体内有害气体的作用。研究<sup>[4-8]</sup>表明, 减压能尽快排除田间热, 降低呼吸强度, 延长果实贮藏期, 抑制果实过氧化氢酶和多酚氧化酶活性, 防止果实褐变, 保持V<sub>c</sub>含量和果实硬度的作用, 但不同压力对冬枣贮期主要生理生化指标影响的研究尚少见报道。臭氧(O<sub>3</sub>)具有氧化果实产生的乙烯、乙醇等有害物质和杀灭霉菌的作用, 且安全无毒, 是良好的杀菌防腐剂<sup>[9-10]</sup>, 但O<sub>3</sub>用于冬枣贮藏方面的研究较少, O<sub>3</sub>对冬枣贮藏期生理生化效应和防腐作用的研究尚未见报道。为此, 本研究通过压力和O<sub>3</sub>浓度单因素试验, 测定了各处理贮藏期冬枣的呼吸强度、淀粉酶活性、淀粉含量、霉菌孢子数、果实腐烂率、果肉组织电导率和果实硬度等指标, 并在此基础上进行了正交试验, 研究了适宜于冬枣贮藏的温度、压力和O<sub>3</sub>浓度参数, 以期对冬枣保鲜新技术提

供基础理论和实践依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验用冬枣采自山东省沾化县下洼镇。选择10年生健壮枣树, 采摘成熟度为冬枣果面1/4红, 果粒大小一致, 无机械伤, 无病虫害, 采后18 h内入(0±0.5)冷库预冷, 按试验设计3 d内处理完毕。

### 1.2 处理和测定方法

1.2.1 处理方法 (1)减压处理。将预冷48 h的冬枣分别装入5个真空干燥器, 容器底部盛质量分数2% CaCl<sub>2</sub>溶液(盛水法加湿、防冻)。用SHB-III型循环水真空泵每隔24 h抽真空1次, 设定压力分别为101.3(对照, 即常压), 80.1, 60.7, 40.5和20.3 kPa, 每处理30 kg冬枣, 每次各处理随机取样0.5 kg进行测定。所有操作及贮藏均在(0±0.5)冷库中进行。

(2)冬枣冷害试验。将预冷48 h的冬枣分别装入真空干燥器, 容器底部盛质量分数5% CaCl<sub>2</sub>溶液(防冻、加湿)。用SHB-III型循环水真空泵每隔24 h抽真空1次, 设定压力分别为101.3(对照, 即常压), 80.1, 60.7, 40.5和20.3 kPa, 贮藏温度分别为0, -1, -2, -3, -4和-5, 进行完全组合试验设计, 共计30个处理。每处理30 kg冬枣, 重复3次, 观测不同处理的冷害情况和失重率。

(3)O<sub>3</sub>处理。将预冷48 h的冬枣装入双层PE塑

\* [收稿日期] 2005-03-22

[基金项目] 国家科技部“九五”科技攻关项目(98-11-12)

[作者简介] 韩军岐(1971-), 男, 陕西宝鸡人, 工程师, 硕士, 主要从事果蔬采后生理和保鲜技术研究。E-mail: junqihan@163.com

料袋(规格: 80 cm × 50 cm, 厚 0.06 mm), 每袋 1.0 kg, 用XY-3A型臭氧发生器向袋内输入O<sub>3</sub>, 使其浓度分别达到0(对照), 100, 200, 300, 400, 500 mg/m<sup>3</sup>, 扎紧袋口保持 30 min 后开袋排除O<sub>3</sub>(对照按相同操作), 再扎紧袋口贮藏。每隔 20 d 依上述设计浓度操作 1 次。每处理 6 袋, 测定时各处理随机取 1 袋, 所有操作及贮藏均在(0 ± 0.5) °C 冷库中进行。

(4) 冬枣病原菌培养和菌悬液制备<sup>[11-12]</sup>。选取病果 10 个, 用体积分数 75% 酒精擦洗果皮消毒, 无菌水冲洗数次, 用消毒过的解剖刀在每个果实病斑中部纵切 1 刀, 用无菌镊子在每个病果上夹取 2 小块病斑组织, 置于 200 mL 质量分数 0.85% NaCl 无菌生理盐水中, 制成带菌液。取 0.5 mL 带菌液涂抹接种于 PDA 平板培养基上, 共接种 20 个平板, 28 °C 恒温培养 72 h, 将 20 个平板表面菌落用 800 mL 质量分数 0.85% NaCl 无菌生理盐水洗入 1 000 mL 容量瓶中, 加玻璃球充分摇匀, 定容, 再稀释 1 倍制成菌悬液, 用血球计数板法镜检孢子浓度大于 10<sup>8</sup> /mL。

(5) 侵染回接试验<sup>[12-13]</sup>。冬枣用自来水冲洗干净, 用体积分数 75% 酒精消毒, 无菌水冲洗数次, 将枣果逐个在菌悬液中浸蘸。在 15~20 °C、不同压力和 O<sub>3</sub> 浓度下培养 6 d, 100 mL 无菌水充分清洗 5 个冬枣果面, 将带菌液摇匀, 用血球计数板法观察孢子数, 每处理作 3 个板, 每板随机观察 3 个小方格, 计算 9 个小方格的平均霉菌孢子数。腐烂率试验的冬枣, 先用接种针在每个果面均匀扎 10 个小孔, 再浸蘸菌悬液, 每处理 50 个果, 重复 3 次, 在 15~20 °C、不同压力和 O<sub>3</sub> 浓度下培养 15 d, 调查腐烂率。将经过侵染回接试验处理的冬枣, 称为侵染回接果。

1.2.2 测定方法 呼吸强度测定用气流法<sup>[14]</sup>; 淀粉酶活性测定用麦芽糖生成法<sup>[15]</sup>; 淀粉含量测定用斐林试剂法<sup>[15]</sup>; 果实硬度测定用 GY-1 型硬度计; 果肉组织相对电导率测定用相对电导率法<sup>[16]</sup>; 霉菌孢子数测定用血球计数板法<sup>[11]</sup>; 果实失重率测定用重量法。

### 1.3 正交试验设计

将预冷 48 h 的冬枣分别装入 9 个真空干燥器, 每个真空干燥器放置 3 组重复, 每组 1.0 kg 冬枣。按设计首先用 XY-3A 型臭氧发生器输入 O<sub>3</sub>(浓度依次为 250, 300 和 350 mg/m<sup>3</sup>), 处理 30 min 去除 O<sub>3</sub>, 再用 SHB-III 型循环水真空泵抽真空至设定压力(压力依次为 60.7, 40.5 和 20.3 kPa), 每隔 24 h 抽真空 1 次, 每次均达到设计压力要求; 每隔 20 d 按设计先输入 O<sub>3</sub> 处理 30 min, 再用真空泵抽真空。操作和贮

藏均在各设计温度(温度依次为 -1, -2 和 -3 °C) 冷库内进行。

### 1.4 数据处理与分析

试验数据采用微软公司 Excel 软件进行方差分析和 *F* 检验, 多重比较采用 Duncan 新复极差测验, 成对数据比较采用 Student *t* 检验。显著水平取 *P* < 0.05(差异显著)或 *P* < 0.01(差异极显著)。

## 2 结果与分析

### 2.1 减压对贮藏期冬枣生理生化效应和防腐的影响

2.1.1 对冬枣呼吸强度的影响 呼吸强度与衰老密切相关, 降低呼吸强度, 减少物质消耗可有效延长果实贮藏期。

从图 1 可以看出, 贮藏初期, 冬枣呼吸强度很高, 这主要是田间热造成的, 20 d 后因低温呼吸强度大幅度下降, 但压力不同, 呼吸强度出现了差异, 贮藏到 80 d 时, 101.3 kPa 处理的呼吸强度最高, 随后因品质变劣而被淘汰。方差分析结果显示, 贮藏到 120 d 时, 80.1 和 60.7 kPa 与 40.5 和 20.3 kPa 处理之间呼吸强度差异极显著(*P* < 0.01), 但 40.5 与 20.3 kPa 处理之间呼吸强度差异不显著(*P* > 0.05)。由此可见, 减压具有降低呼吸强度的作用, 但压力降低到 40.5 kPa 时, 再降低压力对呼吸强度的影响较小。

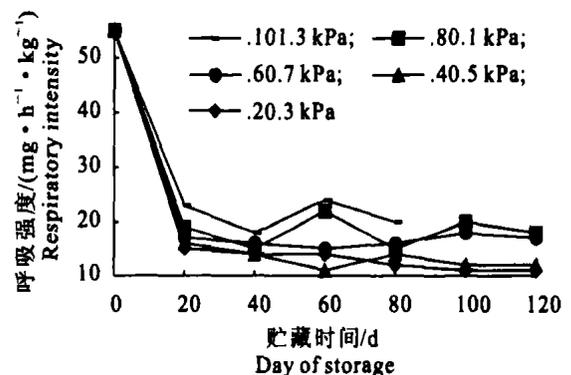


图 1 不同压力对贮藏期冬枣呼吸强度的影响

Fig. 1 Effect of different pressures on respiratory intensity of Dong jube fruit

2.1.2 对冬枣淀粉酶活性、淀粉含量和果实硬度的影响 从图 2 可以看出, 与对照相比, 减压可抑制冬枣淀粉酶活性。方差分析结果显示, 贮藏 120 d 时, 80.1 与 60.7 kPa 以及 40.5 与 20.3 kPa 处理之间淀粉酶活性差异不显著(*P* > 0.05), 而 80.1 和 60.7

kPa 与 40.5 和 20.3 kPa 处理之间淀粉酶活性差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

从图 3 可以看出, 与对照相比, 减压具有保持冬枣淀粉含量的作用, 101.3 kPa 处理淀粉含量下降极快, 而其他处理的淀粉含量下降比较缓慢, 方差分

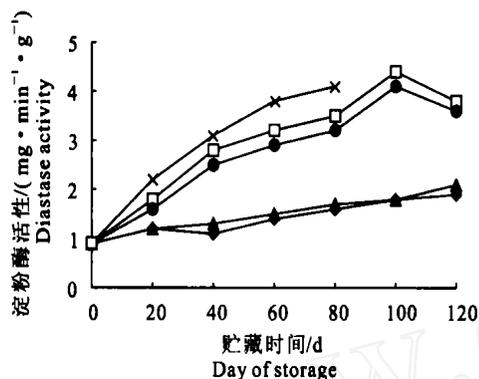


图 2 不同压力对贮藏期冬枣淀粉酶活性的影响

- x- . 101.3 kPa; - □- . 80.1 kPa; - ○- . 60.7 kPa;  
- △- . 40.5 kPa; - ◆- . 20.3 kPa

Fig. 2 Effect of different pressures on diastase activity of Dong jujube fruit

从表 1 可以看出, 减压能很好地保持果实硬度, 压力越低, 冬枣果实硬度越大, 贮藏到 120 d, 压力 80.1 和 60.7 kPa 与 40.5 和 20.3 kPa 处理之间硬度差异显著 ( $P < 0.05$ )。综合分析认为, 随着贮藏时间的增加, 冬枣贮藏期淀粉酶活性不断上升, 淀粉含量随之下降, 果实逐渐变软, 其中以压力 40.5 kPa 处理在降低冬枣呼吸强度和淀粉酶活性、保持淀粉含量和果实硬度方面效果较好。

表 1 不同压力对贮藏期冬枣果实硬度的影响

Table 1 Effect of different pressures on firmness of Dong jujube fruit

压力/kPa Pressure	果实硬度/(kg · cm <sup>-2</sup> ) Fruit firmness
101.3 (CK)	贮藏到 80 d 已淘汰 Fruit has be fallen into disuse after 80 days storage
80.1	8.3 ± 0.105 b
60.7	8.7 ± 0.122 b
40.5	10.8 ± 0.152 a
20.3	11.2 ± 0.270 a

注: 表中数据为贮藏到 120 d 时每处理 5 个果实测定结果的平均值(最初硬度 13.4 kg/cm<sup>2</sup>); 同列数据后标相同字母者表示差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 不同字母者表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。表 2, 4, 5 同。

Note: Every datum in table is the mean measure value of 5 Dong jujube fruits after 120 d storage (initial firmness was 13.4 kg/cm<sup>2</sup>), the same alphabet represents no significant difference at  $P > 0.05$ , the different alphabet indicates significant difference at  $P < 0.05$ . The same as Table 2, 4 and 5.

析显示, 贮藏 120 d 时, 80.1 和 60.7 kPa 与 40.5 和 20.3 kPa 间淀粉含量差异显著 ( $P < 0.05$ ), 但 40.5 与 20.3 kPa 间差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 由此可见, 当压力降至 40.5 kPa 时, 再降低压力对淀粉含量影响不大。

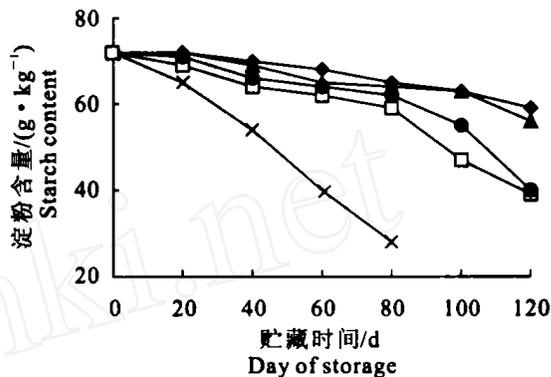


图 3 不同压力对贮藏期冬枣淀粉含量的影响

- x- . 101.3 kPa; - □- . 80.1 kPa; - ○- . 60.7 kPa;  
- △- . 40.5 kPa; - ◆- . 20.3 kPa

Fig. 3 Effect of different pressures on starch content of Dong jujube fruit

2.1.3 对冬枣冷害和失重率的影响 从表 2 可以看出, 贮藏 90 d, 随着贮藏温度的降低, 不同压力处理的冬枣均先后出现了不同程度的冷害。贮藏温度降至 - 2℃, 101.3 kPa (常压) 处理的冬枣出现了轻度冷害, 可知该压力下的适宜贮藏温度为 - 1~ 0℃; 当温度降至 - 4℃ 时, 101.3 kPa (常压) 处理的冬枣出现了重度冷害, 80.1 和 60.7 kPa 处理的冬枣出现了中度冷害, 40.5 和 20.3 kPa 处理的冬枣仅出现了轻度冷害, 可知减压能减缓冷害, 且 40.5 kPa 下适宜的贮藏温度为 - 3~ - 2℃, 较常压下贮藏温度 (- 1~ 0℃) 降低了 2℃。

一般认为减压易引起果实失水, 果实失重主要由水分蒸腾散失引起。从表 2 还可以看出, 当贮藏温度相同时, 随着压力的减小, 冬枣的失重率基本上呈减小的趋势。这可能是由于本研究中环境水分充足所致。这与郝晓玲等<sup>[8, 17]</sup>的结论一致。

2.1.4 对冬枣霉菌孢子数和腐烂率的影响 据报道<sup>[12]</sup>, 冬枣贮藏期主要病害为浆胞病混合感染, 将病原菌侵染回接果和未侵染正常果分别放置在不同压力下进行培养试验, 结果见表 3。从表 3 可以看出, 减压具有抑制霉菌孢子繁殖和降低冬枣腐烂率的作用, 且压力越低, 效果越好。经方差分析和多重比较可知, 以 40.5 kPa 压力处理效果为佳。

表2 减压对贮藏期冬枣冷害和失重率的影响

Table 2 Effect of hypobaric storage on cold ham and weightlessness of Dong jujube fruit

压力/kPa Pressure	0		- 1		- 2		- 3		- 4		- 5	
	冷害 Cold ham	失重率/% Weight- lessness										
101.3	-	4.8	-	4.5	+	3.7	++	3.2	+++	2.9	+++	2.6
80.1	-	4.5	-	4.5	+	3.6	++	3.2	++	2.7	+++	2.4
60.7	-	3.2	-	3.0	-	2.8	+	2.3	++	2.0	+++	1.9
40.5	-	3.0	-	2.6	-	2.4	-	2.0	+	1.7	++	1.7
20.3	-	3.0	-	2.5	-	2.3	-	1.8	+	1.6	++	1.6

注:表中数值为贮藏90 d的调查值。- . 未受冷害; + . 轻度冷害; ++ . 中度冷害; +++ . 重度冷害。

Note: The data in table were examined values after 90 d storage - . No cold ham; + . Slight cold ham; ++ . Intermediate cold ham; +++ . Heavy cold ham.

表3 不同压力对冬枣贮藏期霉菌孢子数和枣果腐烂率的影响

Table 3 Effect of different pressures on mould spores and decay rate of Dong jujube fruit

压力/kPa Pressure	侵染回接果 Influenced fruits		正常果 Normal fruits	
	霉菌孢子数 Mould spore number	腐烂率/% Decay fruit rate	霉菌孢子数 Mould spore number	腐烂率/% Decay fruit rate
101.3	8.2 ± 0.37 a	70.7 ± 1.77 a	2.6 ± 0.51 a	30.7 ± 1.76 a
80.1	8.0 ± 0.32 a	66.7 ± 2.90 a	1.6 ± 0.51 a	23.3 ± 1.76 b
60.7	6.4 ± 0.98 a	59.3 ± 1.77 b	1.2 ± 0.37 b	21.3 ± 1.76 b
40.5	2.4 ± 0.51 b	10.7 ± 0.67 c	1.0 ± 0.55 b	6.0 ± 1.15 c
20.3	1.8 ± 0.80 b	8.0 ± 1.15 c	0.2 ± 0.20 b	2.7 ± 1.76 c

2.2 O<sub>3</sub>对贮藏期冬枣生理生化效应和防腐的影响

2.2.1 O<sub>3</sub>对冬枣呼吸强度的影响 不同浓度O<sub>3</sub>对冬枣呼吸强度的影响见图4。

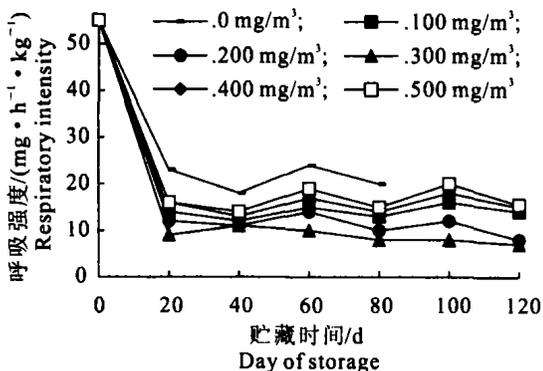


图4 不同浓度O<sub>3</sub>对贮藏期冬枣呼吸强度的影响

Fig. 4 Effect of ozone concentrations on respiratory intensity of Dong jujube fruit

从图4可以看出,在整个贮藏期间,300 mg/m<sup>3</sup> O<sub>3</sub>处理呼吸强度一直较低,其贮藏120 d时呼吸强度最低,为7.0 mg/(kg·h);而500 mg/m<sup>3</sup> O<sub>3</sub>处理贮藏120 d时呼吸强度最高,为15.5 mg/(kg·h)。

经差异显著性检验可知,200 mg/m<sup>3</sup>与300 mg/m<sup>3</sup>处理之间呼吸强度差异不显著(P > 0.05),但这2种处理均显著低于其他处理(P < 0.05),表明200和300 mg/m<sup>3</sup> O<sub>3</sub>对降低冬枣呼吸强度效果较好。

2.2.2 O<sub>3</sub>对冬枣淀粉酶活性、淀粉含量和果实硬度的影响 由图5可见,O<sub>3</sub>可抑制淀粉酶活性,O<sub>3</sub>浓度越大抑制作用越强。方差分析结果显示,贮藏120 d,各处理间淀粉酶活性差异均达显著水平(P < 0.05)。

从图6可以看出,O<sub>3</sub>具有保持冬枣贮藏期淀粉含量的作用,O<sub>3</sub>浓度越大,淀粉含量越高。贮藏120 d,500,400与300 mg/m<sup>3</sup>处理之间以及200与100 mg/m<sup>3</sup>处理之间淀粉含量差异均不显著(P > 0.05),但3个高O<sub>3</sub>浓度与2个低O<sub>3</sub>浓度处理之间差异极显著(P < 0.01)。

从表4可以看出,贮藏120 d,当O<sub>3</sub>浓度为0~300 mg/m<sup>3</sup>时,随O<sub>3</sub>浓度增大,果实硬度增加;当O<sub>3</sub>浓度为400~500 mg/m<sup>3</sup>,随O<sub>3</sub>浓度增大,果实硬度反而下降。300 mg/m<sup>3</sup> O<sub>3</sub>处理果实硬度最高,为9.7 kg/cm<sup>2</sup>。综合分析认为,以300 mg/m<sup>3</sup> O<sub>3</sub>抑制淀粉酶活性、保持淀粉含量和果实硬度效果较好。

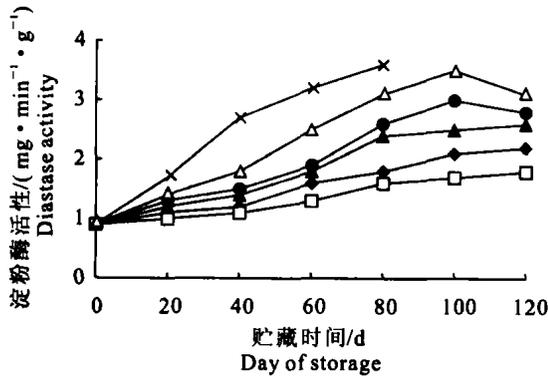


图 5 不同浓度O<sub>3</sub>对贮藏期冬枣淀粉酶活性的影响

- x - . 0; - . . . 100 mg/m<sup>3</sup>; - . . . 200 mg/m<sup>3</sup>;  
- . . . 300 mg/m<sup>3</sup>; - ♦ - . 400 mg/m<sup>3</sup>; - . . . 500 mg/m<sup>3</sup>

Fig. 5 Effect of ozone concentrations on diastase activity of Dong jujube fruit

表 4 不同浓度O<sub>3</sub>对贮藏期冬枣果实硬度的影响

Table 4 Effect of ozone concentrations on firmness of Dong jujube fruit

O <sub>3</sub> 浓度/(mg · m <sup>-3</sup> ) Ozone concentration	果实硬度/(kg · cm <sup>-2</sup> ) Fruit firmness
0(CK)	贮藏到 80 d 已淘汰 Fruit has be fallen into disuse after 80 days storage
100	8.9 ± 0.152 b
200	9.1 ± 0.126 a
300	9.7 ± 0.187 a
400	8.2 ± 0.173 b c
500	7.8 ± 0.210 c

2.2.3 O<sub>3</sub>对冬枣果肉组织相对电导率的影响 从图7可以看出,贮藏到80 d时,对照的相对电导率高达84%,这可能是果肉组织早期衰老造成的。贮藏到120 d,500和400 mg/m<sup>3</sup>O<sub>3</sub>处理的相对电导率均高于100 mg/m<sup>3</sup>O<sub>3</sub>处理,这可能是由于高浓度O<sub>3</sub>提高了细胞膜透性;100 mg/m<sup>3</sup>O<sub>3</sub>处理相对电导率高于200和300 mg/m<sup>3</sup>O<sub>3</sub>处理,其原因可能是前者浓度过小,果实衰老较快,而后二者的O<sub>3</sub>浓度既起到了氧化乙烯和乙醇等有害气体,杀灭霉菌,延迟枣果衰老的作用,又对细胞膜的透性影响较小,所以相对电导率较低。经显著性检验知,200与300 mg/m<sup>3</sup>O<sub>3</sub>处理之间相对电导率差异不显著(P > 0.05),但两者与其他处理之间差异显著(P < 0.05)。

2.2.4 O<sub>3</sub>对冬枣霉菌孢子数和腐烂率的影响 将冬枣浆胞病侵染回接果和未侵染正常果分别置于不同O<sub>3</sub>浓度下进行培养试验,结果见表5。从表5可以看出,O<sub>3</sub>具有抑制霉菌孢子繁殖和降低冬枣腐烂率的作用,且O<sub>3</sub>浓度越大,抑制效果越明显。经方差分

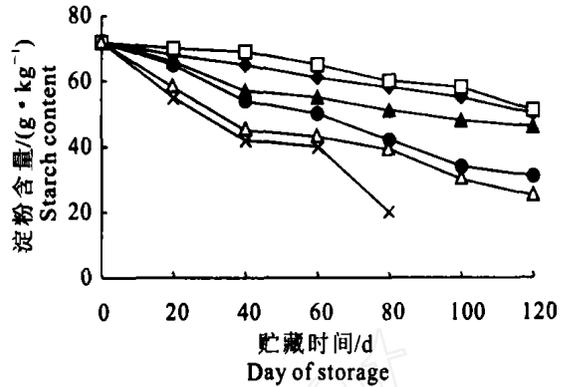


图 6 不同浓度O<sub>3</sub>对贮藏期冬枣淀粉含量的影响

- x - . 0; - . . . 100 mg/m<sup>3</sup>; - . . . 200 mg/m<sup>3</sup>;  
- . . . 300 mg/m<sup>3</sup>; - ♦ - . 400 mg/m<sup>3</sup>; - . . . 500 mg/m<sup>3</sup>

Fig. 6 Effect of ozone concentrations on starch content of Dong jujube fruit

析和多重比较,并结合2.2.3中O<sub>3</sub>对果肉组织影响的试验结果可知,在冬枣贮藏期间,以300 mg/m<sup>3</sup>O<sub>3</sub>处理较为适宜。

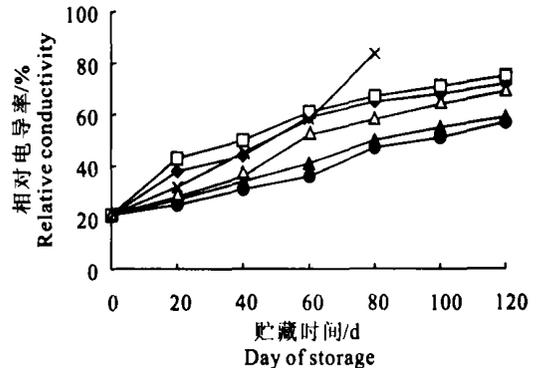


图 7 不同浓度O<sub>3</sub>对贮藏期冬枣果肉组织相对电导率的影响

- x - . 0; - . . . 100 mg/m<sup>3</sup>; - . . . 200 mg/m<sup>3</sup>;  
- . . . 300 mg/m<sup>3</sup>; - ♦ - . 400 mg/m<sup>3</sup>; - . . . 500 mg/m<sup>3</sup>

Fig. 7 Effect of relative conductivity on pulp tissue of Dong jujube fruit

### 2.3 温度、压力和O<sub>3</sub>浓度正交试验结果

在压力、O<sub>3</sub>浓度、温度单因素试验的基础上,筛选出各因素表现较好的水平进行正交试验,结果见表6。由表6可见,贮藏140 d,处理4组合A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub>(即-2,300 mg/m<sup>3</sup>O<sub>3</sub>,60.7 kPa)的好果率最高,达92.6%,且与其他处理差异显著(P < 0.05)。经极差分析可知,因素主次顺序为O<sub>3</sub>浓度 > 温度 > 压力(即C > A > B),优水平组合应为A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>。由于直接试验与极差分析优水平组合不符,翌年对A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub>和

A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub> 2 个组合再进行重复3 次对比试验, 贮藏140 d (t < t<sub>(0.05,4)</sub>), 再综合考虑单因素试验结果可知, 最优处理组合应为A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>, 即在- 2 ℃, 300 mg/m<sup>3</sup>O<sub>3</sub>, 40.5 kPa 条件下贮藏冬枣为宜。

表5 不同浓度O<sub>3</sub> 对贮藏期冬枣霉菌孢子数和腐烂率的影响

Table 5 Effect of different ozone concentrations on mould spores and decay rate of Dong jujube fruit

O <sub>3</sub> 浓度/ (mg · m <sup>-3</sup> ) Ozone concentration	侵染回接果 Influenced fruits		正常果 Normal fruits	
	霉菌孢子数 Mould spore number	腐烂率/% Decay fruit rate	霉菌孢子数 Mould spore number	腐烂率/% Decay fruit rate
0	8.2 ± 0.37 a	70.7 ± 1.77 a	2.6 ± 0.51 a	30.7 ± 1.76 a
100	5.4 ± 0.60 b	58.0 ± 3.40 b	1.8 ± 0.37 a	16.0 ± 2.31 b
200	4.8 ± 0.49 b	52.0 ± 2.33 b	0.6 ± 0.24 b	10.0 ± 1.15 c
300	1.6 ± 0.24 c	12.5 ± 1.40 c	0.0 ± 0.00 b	4.0 ± 1.15 d
400	1.4 ± 0.24 c	6.0 ± 1.15 c d	0.0 ± 0.00 b	0.7 ± 0.67 d
500	1.0 ± 0.55 c	4.7 ± 0.66 d	0.0 ± 0.00 b	0.0 ± 0.00 d

表6 温度、压力、O<sub>3</sub> 浓度正交试验结果

Table 6 Orthogonal experiment results and analysis on temperature, hypobaric and ozone concentration

处理号 Test No.	温度/ Temperature A	压力/kPa Pressure B	O <sub>3</sub> 浓度/(mg · m <sup>-3</sup> ) O <sub>3</sub> concentration C	空列 Empty column	好果率/% Fine fruit rate
1	1(- 1)	1(60.7)	1(250)	1	70.0 ± 1.15 e
2	1(- 1)	2(40.5)	2(300)	2	86.0 ± 1.15 b
3	1(- 1)	3(20.3)	3(350)	3	68.0 ± 2.31 e
4	2(- 2)	1(60.7)	2(300)	3	92.6 ± 1.76 a
5	2(- 2)	2(40.5)	3(350)	1	76.0 ± 2.31 c d e
6	2(- 2)	3(20.3)	1(250)	2	86.6 ± 1.76 b
7	3(- 3)	1(60.7)	3(350)	2	71.3 ± 2.40 d e
8	3(- 3)	2(40.5)	1(250)	3	77.3 ± 2.40 c d
9	3(- 3)	3(20.3)	2(300)	1	78.6 ± 2.40 c
K <sub>1</sub>	224.0	233.9	233.9		
K <sub>2</sub>	255.2	239.3	257.2		
K <sub>3</sub>	227.2	233.2	215.3		
极差 Extreme deviation	31.2	6.1	41.9		

注: 表中数据为贮藏140 d 时的调查值。Note: The data were values after 140 d storage

### 3 讨论

关于冬枣呼吸类型, 不同学者见解不一, 这可能与供试材料来源于不同生态区有关<sup>[17]</sup>。本试验未发现冬枣有明显的呼吸高峰, 且压力和O<sub>3</sub> 均不能改变其呼吸强度的变化趋势。

减压能造成低氧分压, 使冬枣呼吸需氧量减少<sup>[5-6]</sup>。在本试验中发现, 减压对降低冬枣呼吸强度作用明显, 但经气调试验, 即使供给低浓度O<sub>2</sub>, 并不能明显提高冬枣的呼吸强度, 所以低氧分压可能不是导致冬枣呼吸强度降低的主要原因。这可能是由于减压快速降低了田间热, 排除了果实体内二氧化碳、乙醇、乙醛、α-法呢烯等有害气体。据报道<sup>[8,18]</sup>, 淀粉对维持细胞膨压, 支持果实硬度起重要作用, 当淀粉被淀粉酶水解并转化为可溶性糖时, 细胞膨压下降, 导致细胞及组织变形而引起果实软化。减压对抑制淀粉酶活性、保持枣果硬度作用显著, 其原因可能是减压使淀粉酶处于膨胀状态, 与底物结合受阻。

浆胞病原菌包括交链孢菌(*A. lternaria* Nees)和根菌索菌(*Rhizomopha* Roth. es Fr)<sup>[12-13]</sup>, 这2 种菌均为嗜氧菌, 减压造成了氧缺失, 使其生长繁殖受阻。镜检发现, 减压处理使一些病原菌孢子形态发生畸变, 且压力愈低, 此现象愈明显, 但减压是否能造成孢子体变形, 导致繁殖系数下降还有待进一步研究。本研究结果表明, 减压具有减缓冬枣冷害的作用, 与常压处理相比, 在减压条件下可将冬枣的贮藏温度降低2 ℃, 这对冬枣低温保鲜十分有利, 究其原因可能是低压促使果实内部水分子运动速度加快, 冰点降低所致。一般认为, 减压易引起果实失水, 但本试验发现, 若贮藏环境中水分充足, 减压下水分子更易扩散到空间, 提高环境湿度; 同时减压促使枣果表皮气孔开张, 加大了对水分的吸附, 反而减少果实失水。关于供给充足水分条件下压力与相对湿度之间的关系还有待进一步研究。

O<sub>3</sub> 的主要作用是氧化有害物质和杀灭霉菌。用低浓度O<sub>3</sub>(5.0~ 20 mg/m<sup>3</sup>)对果品进行长期处理的

试验较多<sup>[19]</sup>, 而本试验采用高浓度O<sub>3</sub>短时处理, 结果表明, 高浓度O<sub>3</sub>具有更高效的氧化和杀菌作用, 因其短时处理可避免O<sub>3</sub>对果实长期、缓慢的危害, 所以保鲜效果较好。本研究结果表明, 冬枣以300 mg/m<sup>3</sup>O<sub>3</sub>处理为宜, O<sub>3</sub>浓度过高, 虽然氧化和杀菌作用明显, 但对冬枣果皮、果肉组织损伤严重, 导致细胞膜透性增大, 相对电导率增加, 呼吸强度上升, 果实硬度下降。这与相关研究<sup>[20-21]</sup>结论一致。

由温度、压力和O<sub>3</sub>浓度3因素3水平正交试验可知, 冬枣贮藏的最优组合为A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>, 即采用盛水加湿法, 温度保持-2℃; 每隔20 d用300 mg/m<sup>3</sup>O<sub>3</sub>处理30 min后去除O<sub>3</sub>; 每24 h抽气1次, 使压力保持在40.5 kPa。上述条件下冬枣可贮藏140 d, 好果率达92.4%。本次正交试验各因素下水平间距过大, 是否有更理想的水平组合, 还有待进一步试验研究。

### [参考文献]

- [1] 刘晓军, 王群, 张云川. 冬枣湿冷贮藏过程中生理生化变化的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 215-217.
- [2] 薛梦林, 张继澍, 张平, 等. 减压对冬枣采后生理生化变化的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(2): 196-200.
- [3] 曹志敏, 张平, 王莉. 冬枣减压贮藏保鲜及采后生理变化[J]. 保鲜与加工, 2004, 4(4): 6-7.
- [4] Burg S P, Burg E A. Fruit storage at subatmospheric pressure[J]. Science, 1966, 153(3733): 314-315.
- [5] 康明丽, 张平. 减压贮藏理论及技术研究进展[J]. 食品与机械, 2001, 82(2): 9-10.
- [6] William J. Use of hypobaric conditions for refrigerated storage of meats, fruits and vegetables[J]. Food Technology, 1980, 3: 64-71.
- [7] 常燕平, 王如福. 冬枣减压贮藏过程中几种生理生化指标的变化[J]. 食品科学, 2003, 24(12): 135-137.
- [8] 郝晓玲, 王如福. 减压条件下梨枣生理变化的研究[J]. 食品科技, 2004(7): 91-93.
- [9] Skong L J, Chu C L. Effect of ozone on qualities of fruits and vegetables in cold storage[J]. Can J Plant Sci, 1976, 81: 773-778.
- [10] 万娅琼, 夏静, 姚自鸣. 臭氧及负氧离子技术在果蔬贮藏保鲜上的应用[J]. 安徽农业科学, 2001, 29(4): 556-560.
- [11] 欧阳琨. 微生物学[M]. 西安: 西北大学出版社, 1994: 216-226.
- [12] 孙蕾, 吴兴梅, 房用, 等. 冬枣采后浆胞病定性研究[J]. 保鲜与加工, 2004, 4(5): 23-25.
- [13] 王大明, 孙蕾, 吴兴梅, 等. 冬枣贮期主要病害及防治技术的研究[J]. 食品科学, 2003, 24(9): 130-135.
- [14] 薛应龙. 植物生理实验手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 129-131.
- [15] 韩雅珊. 食品化学实验指导[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1996.
- [16] 冯双庆, 赵玉梅. 果蔬贮运学实验指导[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1990.
- [17] 郝晓玲, 王如福. 减压贮藏对鲜枣保鲜效果的影响[J]. 粮油加工与食品机械, 2004(6): 70-72.
- [18] 梁小娥, 王三宝, 赵赵丽, 等. 枣采后果肉软化的生化和细胞超微结构变化[J]. 园艺学报, 1998, 25(4): 333-337.
- [19] 纂翠华. 臭氧杀菌及其在食品工业中的应用[J]. 食品科学, 1998, 19(6): 49-51.
- [20] 吴延军, 杨莉, 王春生, 等. 冬枣采后软化衰老的研究[J]. 中国农学通报, 2003, 19(3): 47-50.
- [21] A rapia M L, Labavitch J M, Greve C, et al. Changes in the cell-wall components of kiwifruit during storage in air or controlled atmosphere[J]. Journal of American Society for horticulture Science and Technology, 1987, 112(3): 474-481.

## Study on fresh-keeping technology of hypobaric and ozone of Dong jujube

HAN Jun-qi, ZHANG You-lin, SHI Xiang-xiang

(Department of Food Engineering, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

**Abstract:** Using Dong Jujube as materials in the experiment, the effects of hypobaric, ozone on physiological and biochemical changes of Dong Jujube during the storage were studied. The results showed that hypobaric and ozone could reduce respiratory intensity, inhibit amylase activities, slow down the degradation rate of starch, resist the reproduction of mold spores, prevent the rot of fruit and keep the firmness of fruit. Hypobaric storage could also slacken the cold hardening of fruit and drop the storage temperature by 2℃. Through the orthogonal experiment, under the condition of plenty of water, Dong jujube was stored at -2℃ and 40.5 kPa and dealt with ozone 300 mg/m<sup>3</sup> for 30 minutes every 20 days. The rate of fine fruits was up to 92.4% after 140 days' storage.

**Key words:** Dong jujube; hypobaric; ozone; fresh-keeping technology