

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.01.031

基于多元回归的鲜食葡萄保鲜技术效果评估*

马常阳^{1,2} 张小栓^{1,2} 朱志强³ 穆维松^{1,2} 傅泽田^{1,2}

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学食品与安全北京实验室, 北京 100083;
3. 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 天津 300384)

摘要: 以落粒率、腐烂率和失重率作为鲜食葡萄损耗的评价指标, 系统分析了鲜食葡萄保鲜技术效果的形成过程, 应用多元回归方法综合评估了目前应用比较广泛的6种保鲜技术以及冰温环境对鲜食葡萄的保鲜效果。结果表明: 气调、保鲜膜、SO₂ 气态处理、CT-2 保鲜剂、简化包保鲜剂、1-MCP 气态处理以及冰温均能有效抑制果实损耗, 其中气调、冰温环境和2种保鲜剂对鲜食葡萄的3个损耗指标有显著的抑制效果; 气调、保鲜剂和保鲜膜对果实腐烂率和失重率的影响随时间增加而逐渐增强, 其中保鲜膜的作用效果十分微弱; 保鲜剂对果实质量损耗的浓度效应十分明显, 浓度过大会损伤果实组织、增加损耗, 而与SO₂ 气态处理的联合使用会增强对果实损耗的降低作用; 1-MCP主要在果实腐烂率的控制方面有较好效果。

关键词: 鲜食葡萄 保鲜效果 评估 多元回归

中图分类号: S663.1; S609⁺.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2015)01-0216-08

Comprehensive Evaluation on Performance of Preservation Technologies for Table Grape Based on Multiple Regressions

Ma Changyang^{1,2} Zhang Xiaoshuan^{1,2} Zhu Zhiqiang³ Mu Weisong^{1,2} Fu Zetian^{1,2}

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Food Quality and Safety Laboratory of Beijing, China Agricultural University, Beijing 100083, China

3. National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Tianjin 300384, China)

Abstract: The effect of preservation technologies on table grape was systematically analyzed and effect of six preservation technologies and controlled freezing-point storage was comprehensively compared and evaluated in the aspect of three indicators of the loss of table grape, i. e., berry shatter, rotting rate and weight loss based on multiple regression. The evaluation results showed that controlled atmosphere storage, preservative film, 1-MCP, SO₂ fumigation, the fresh-keeping agent CT-2 and simplified packet and controlled freezing-point storage can effectively reduce the loss of the fruit. The influence of controlled atmosphere storage, SO₂ and controlled freezing-point storage was more obvious in decreasing the three indicators of the loss of table grape. Controlled atmosphere storage and two fresh-keeping agents' impacts on the rate of rotting and weight loss of table grape were enhanced with the course of time. In addition, the loss of fruit would be increased by using overdose of fresh-keeping agents, while the preservatives on the fruit can be enhanced by SO₂. The preservation performance of preservative film would be seen gradually over time but the effect was very weak; 1-MCP has few performance on fruit preservation but it can achieve better performance in rotting rate control of table grape.

Key words: Table grape Performance of preservation Evaluation Multiple regressions

收稿日期: 2014-02-18 修回日期: 2014-03-03

* 国家农业产业技术体系资助项目(CARS-30)和国家自然科学基金资助项目(31371538)

作者简介: 马常阳, 博士生, 主要从事食品物流信息技术与追溯系统研究, E-mail: macaya1024@sina.com

通讯作者: 傅泽田, 教授, 博士生导师, 主要从事农(渔)业系统工程、信息化技术和物流供应链管理研究, E-mail: fzt@cau.edu.cn

引言

鲜食葡萄因其含水率较高,易受到微生物的侵染而腐烂。同时,果实内部的呼吸作用也会增加营养物质的消耗,导致果实衰老、水分散失、重量下降、果粒脱落等现象的出现,从而造成鲜食葡萄的重量损耗,严重影响鲜食葡萄的品质,最终降低鲜食葡萄的经济效益。

基于鲜食葡萄易落粒、萎蔫和腐烂的特性,人们使用低温、气调作用、SO₂ 气态处理、1-甲基环丙烯(1-MCP)、保鲜剂等多种保鲜技术来降低果实的损耗,并以鲜食葡萄的主要品质和生理活动为参考指标,通过实验方法,对这些保鲜技术的保鲜效果分别进行评估研究^[1-5]。尽管这些保鲜技术对鲜食葡萄的果实有明显的保鲜效果,但与此同时,因为会受到施用浓度、作用时间以及其他保鲜技术的影响,其作用效果会发生相应的改变,甚至产生危害果实品质的后果^[6-12]。

综上所述,一方面,这些保鲜技术的施用浓度、作用时间以及是否联合使用等因素对于鲜食葡萄保鲜效果的影响十分重要;另一方面,人们对于保鲜技术的研究大多侧重于某单一技术在不同施用水平的保鲜效果,少有将多种技术的保鲜效果结合起来进行对比分析的研究。因此,本文使用多元回归模型,从鲜食葡萄重量损耗的角度,对主要的几种保鲜技术的保鲜效果,以及随时间和浓度的变化,其保鲜效果所发生的相应的变化情况进行对比分析,为鲜食葡萄保鲜技术的有效利用提供理论依据。

1 鲜食葡萄保鲜技术效果形成机理与评估建模

1.1 鲜食葡萄损耗的测量

基于质量损耗的不同表现形式,并结合前人对鲜食葡萄质量损耗的测量指标^[3,5-6],本文将损耗的

具体指标分为果粒脱落造成的落粒率、果实腐烂造成的腐烂率以及果实蒸发失水和营养物质消耗导致的果实失重率,这3个损耗指标均为质量比值,具体计算公式为

$$\begin{cases} S_H = \frac{W_{SH}}{W_0} \times 100\% \\ R_O = \frac{W_{RO}}{W_0} \times 100\% \\ W_L = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100\% \end{cases} \quad (1)$$

式中 S_H ——落粒率 R_O ——腐烂率

W_L ——失重率

W_{SH} ——测量单位的落粒质量

W_{RO} ——测量单位的腐烂质量

W_0 ——测量单位初始果穗质量

W_t ——经过 t 时间保鲜处理后测量单位内的果穗总质量

1.2 鲜食葡萄保鲜技术效果的形成机理

鲜食葡萄的保鲜效果是一系列保鲜技术以及相关效应的集合体。因此,本文定义的保鲜技术效果为与不施加该技术或者默认的技术相比,在施加保鲜技术于作用对象的过程中,经过时间的累积而呈现出来的,该保鲜技术对于该对象质量、品质等方面损失的抑制程度。在该研究中即为不同保鲜技术对鲜食葡萄质量损耗的抑制程度。

降低果实损耗的保鲜措施包括:低温、气调、保鲜膜、保鲜剂、SO₂ 气态处理等。这些技术可以通过抑制果实内部各种酶的活性,降低果实的呼吸速率,提高空气湿度,抑制微生物生长等延缓果实的衰老进程,保证果实的新鲜品质,降低果实的落粒、失重和腐烂程度(如图1)。同时,损耗结果会受到很多因素的影响,首先是鲜食葡萄自身品种特性的影响,鲜食葡萄品种多样,品种之间的耐藏性差异较

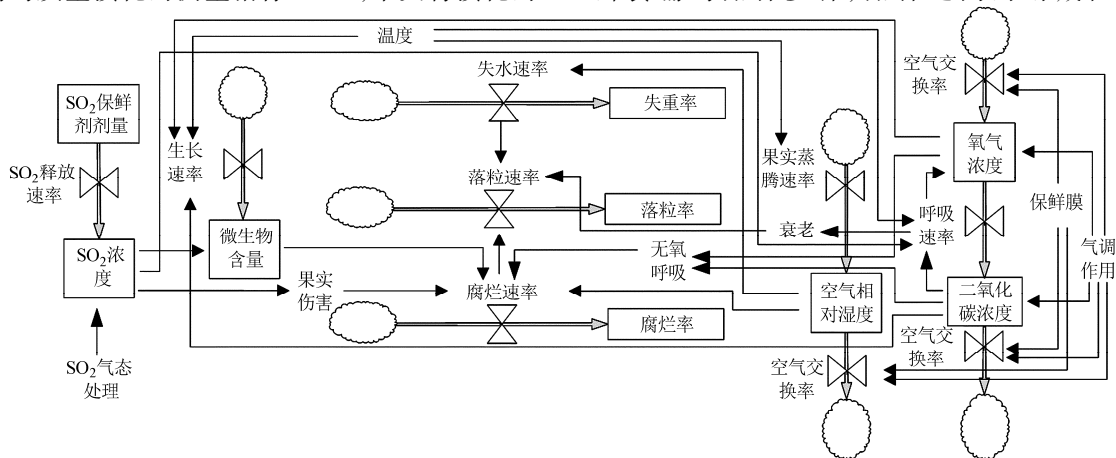


图1 鲜食葡萄保鲜技术效果形成图

Fig. 1 Effect of preservation technologies on table grape

大^[13];其次,这些保鲜技术对鲜食葡萄的保鲜效果还会随着时间、浓度、其他保鲜技术的联合使用和温度变化而发生变化,主要表现为保鲜技术的浓度效应、时间效应、技术联合效应以及温度效应。

(1)浓度效应:反映保鲜技术对鲜食葡萄损耗的抑制效果随浓度变化的变化情况。保鲜技术对于鲜食葡萄的保鲜效果并不一直随浓度的增加而增强,过量的使用保鲜材料或保鲜技术不仅不会起到良好的保鲜作用,反而会加重果实的损耗。例如,SO₂在特定的浓度范围内随着浓度的增加,会通过降低呼吸作用,抑制微生物生长来降低果实的腐烂率,但当超过了合理使用浓度则会直接损伤果实组织,加速果实的腐烂。气调作用也具有类似的效果,适当浓度的二氧化碳会降低鲜食葡萄的损耗,而二氧化碳浓度过高则会诱发果实的无氧呼吸,生成乙醇等有害物质,造成果实品质的下降。因此浓度效应对于保鲜技术的合理利用至关重要。

(2)时间效应:用来衡量保鲜技术对鲜食葡萄损耗的抑制效果随时间变化的变化情况。在实际保鲜技术的应用过程中,鲜食葡萄果实自身在不断衰老,而保鲜技术的保鲜效果随着时间推移也会有一定程度的改变。例如,气调包装需要一定时间为鲜食葡萄形成一个自调节气调环境,同时提高果实周围的空气湿度,实现对果实损耗的抑制效果;SO₂缓释保鲜剂也具备较强的时间效应,这是因为它需要经过一定的时间在包装内释放SO₂气体来达到保鲜的最优浓度。时间效应有助于人们了解保鲜技术效果在贮藏期内的变化,更好地利用保鲜技术。

(3)联合效应:指多个保鲜技术联合使用对鲜食葡萄保鲜的促进作用。由于大多数保鲜技术的作用时间和作用浓度会有一定局限性,因此合理地联合使用多种保鲜技术可以增强保鲜效果,更好地降低果实损耗。例如SO₂缓释保鲜剂需要经过一定时间才能发挥效用,而SO₂气态处理效果不持久,因此通过结合两者的优点,可以保证果实得到更好的保鲜。

(4)温度效应:是指保鲜技术对鲜食葡萄的保鲜效果在不同温度下表现出来的差异。温度与保鲜技术的保鲜效果是否能够有效发挥息息相关。例如温度对果实的蒸腾速率和呼吸速率的影响,温度升高一方面会加速果实的衰老和失水,另一方面有利于保鲜膜气调作用的形成及其保鲜效果的发挥。但由于低温本就是最常用的保鲜措施,其对果实直接的影响远比通过影响保鲜技术进而作用于果实所产生的影响要大,人们会在防止果实冻害的情况下尽可能降低温度,而不会为了增强其他保鲜技术的

保鲜效果而刻意调节温度,因此本文并未考虑保鲜技术的温度效应,而仅设定了温度变量。

1.3 鲜食葡萄保鲜技术效果评估模型

为了量化比较保鲜技术的保鲜效果以及浓度、时间和保鲜技术的联合效应对保鲜效果的影响,构建了2个保鲜技术效果评估模型。

(1)不考虑效应对保鲜技术的影响,包含时间、温度和品种类型3个变量以及多个保鲜技术变量的简单多元线性回归模型

$$L = \beta_0 + \beta_t t + \beta_T T + \beta_V V + \sum \beta_{P_i} P_i \quad (2)$$

(2)考虑浓度、时间以及联合效应,在模型1的基础上又添加了时间效应变量、浓度效应变量以及技术联合效应变量的多元回归模型

$$L = \beta_0 + \beta_t t + \beta_T T + \beta_V V + \sum \beta_{P_i} P_i + \sum \beta_{P_i^2} P_i^2 + \sum \beta_{P_i t} P_i t + \sum \beta_{P_i P_j} P_i P_j \quad (3)$$

式中 L ——产品损耗指标总称

t ——时间变量 T ——温度变量

V ——品种类型变量

β ——待估变量系数

P_i, P_j ——编号为*i*或*j*的保鲜技术变量

通过对式(3)中各个保鲜技术的变量分别进行求导,即可得到每种保鲜技术对果实损耗速率的影响方程。

$$v_{L-i} = \frac{\partial L}{\partial P_i} = \beta_{P_i} + 2\beta_{P_i^2} P_i + \beta_{P_i t} t + \beta_{P_i P_j} P_j \quad (4)$$

式中 v_{L-i} ——损耗指标相对于编号*i*保鲜技术的变化速率

速率方程一般包含速率常数项、时间变量和相关的保鲜技术变量,用于考察浓度、时间和技术联合效应对保鲜效果的影响。

2 实验设计与参数设定

2.1 实验设计

在保鲜技术效果评估方案设计阶段,考虑到保鲜技术在鲜食葡萄供应过程中的使用情况以及不确定因素,本文重点对贮藏阶段的鲜食葡萄保鲜技术的应用效果进行研究,具体的鲜食葡萄检测实验方案流程如图2所示。

样本数据均来自国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)从2010年到2013年持续进行的实验内容。实验材料选取每年7—9月份从葡萄生产基地采收的果穗大小和成熟度一致的新鲜果实,且无病害、无机械损伤。将其用保鲜膜包装放置在塑料筐中,后运送至农产品保鲜中心,配合使用相应的保鲜措施放置在冷藏库内进行贮藏。本文所涉及的保鲜

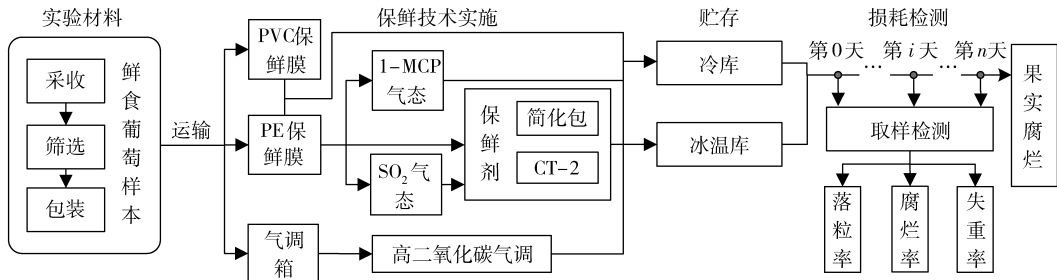


图 2 鲜食葡萄保鲜技术效果评估实验方案流程图

Fig. 2 Effect evaluation flow chart of preservation technologies on table grape

技术主要包括气调、保鲜膜、 SO_2 气态处理、CT-2 保鲜剂、简化包保鲜剂和 1-MCP 气态处理。其中气调贮藏还需要将预冷后的果实转入光合气调保鲜箱中。在贮藏开始后,检测人员分别测定每筐葡萄果实的初始质量,之后每经过一段特定的贮藏时间,取出一箱经过特定保鲜技术贮藏的葡萄果实,对其进行失重率、腐烂率和落粒率的测定。通过对数据的搜集、筛选和整理,共收集到关于鲜食葡萄落粒率和腐烂率的有效样本共 202 份,关于失重率的有效样本共 160 份。

实验过程中所使用的保鲜材料有气调包装材料和保鲜剂。其中气调包装材料包括 PE (0.03mm)、PVC-1 (0.03mm)、PVC-2 (0.05mm)、光合气调气调箱,默认使用 PE 膜来包装果实。在气调作用时需使用密封性较好的气调箱,2 个 PVC 保鲜膜与 PE 膜是用来比较不同保鲜膜在葡萄保鲜效果方面的差别;保鲜剂包括 CT-2 片状保鲜剂和简化包粉状保鲜剂两种,它们在释放 SO_2 气体的速度上有很大不同。在实验中还有 2 个气态处理技术,分别是 SO_2 气态处理和 1-MCP 气态处理,其中 SO_2 气态处理主要是以 5% 体积分数、短时间的 SO_2 气体对产品进行熏蒸,具体时间由不同品种的 SO_2 耐受性进行确定;而 1-MCP 气态处理则是使用不同体积分数的 1-MCP 气体在 1 m^3 的密闭帐子内对产品进行 24 h 熏蒸。本文所涉及的冷藏库包括普通冷库和冰温库,普通冷库温度控制在 0°C ,而冰温库温度严格控制在 -0.3°C 。

2.2 自变量参数设定

为了评估保鲜技术的作用效果,模型 1 引入了时间 t 、温度 T 、品种类型 V 、保鲜技术变量作为自变量,保鲜技术变量包括气调体积分数 A 、保鲜膜种类 F 、CT-2 保鲜剂质量比 C_p 和简化包保鲜剂质量比 S_p 、 SO_2 气态处理措施 S 以及 1-MCP 气态处理体积分数 M ;在模型 2 中除了以上自变量,还有 12 个效应变量,主要包括浓度效应变量 ($A \times A$ 、 $M \times M$ 、 $C_p \times C_p$ 和 $S_p \times S_p$)、时间效应变量 ($A \times t$ 、 $F \times t$ 、 $M \times t$ 、 $C_p \times t$ 、 $S_p \times t$ 和 $S \times t$) 和技术联合效应变量 ($S \times C_p$ 和 $S \times$

S_p) 3 类。其中技术联合效应部分只研究了 SO_2 气态处理和 2 种保鲜剂的联合效应。

自变量中时间、温度、气调和 1-MCP 气态处理体积分数、CT-2 保鲜剂和简化包保鲜剂质量比均为数值变量,可以直接代入评估模型,其单位分别为 d 、 $^\circ\text{C}$ 、 L/L 、 $\mu\text{L/L}$ 和 g/kg ; SO_2 气态处理、保鲜膜和品种类型 3 个为虚拟变量。在 SO_2 气态处理变量中,0 为未使用,1 为使用;在鲜食葡萄的品种类型上,将 5 种有色品种(巨峰、乍娜、玫瑰香、早黑宝和克瑞森无核)记为 0,4 种白色品种(维多利亚、奥古斯特、醉金香和里扎马特)记为 1;保鲜膜是一种自调节气调保鲜材料,它通过葡萄果穗的呼吸作用和膜气体的通透速率来营造一个自调节微气调保鲜环境,将其形成的微气调保鲜环境中 CO_2 的体积分数从低到高排序,依次为 PE、PVC-1 和 PVC-2^[2]。为了减少变量的个数,对比保鲜膜所形成微气调保鲜效果的特点,本文把保鲜膜这一定序变量粗略地定义为定距变量,并分别标记为 0、1 和 2。

由于在贮藏过程中,气调贮藏使用的光合气调保鲜箱与其他贮藏方式使用的保鲜膜并没有可比性,所以在分析过程中本文将保鲜效果的评价步骤归为 2 部分:一部分是去除 PVC 膜涉及的样本和保鲜膜变量后的含气调评估模型,用于分析气调和其它保鲜技术效果的差异;另一部分则是去除气调技术涉及的样本和变量后的含保鲜膜评估模型,用于分析保鲜膜和其他保鲜技术效果的差异。本研究的计算过程和图表均使用 IBM SPSS Statistics 19.0 和 MS Excel 2007 完成。

3 结果分析与讨论

本文分别借助模型 1 和模型 2,得到了时间、温度、品种、保鲜技术变量以及影响技术的效应变量对鲜食葡萄的 3 个损耗指标——落粒率、腐烂率和失重率的回归系数。

3.1 时间、温度、品种变量对鲜食葡萄损耗效果的影响

为了能够对保鲜技术的保鲜效果进行客观评

估,首先对模型的可靠性参数以及时间、温度和品种变量的相应系数进行分析。表1中列出了本文中每个模型的相关信息。

从表1中关于模型的拟合优度参数 F 和 R^2 可以看出,每个模型的 F 值均在 0.05 置信水平上显著, R^2 均在 0.5 以上,这说明落粒率、腐烂率和失重率与各个对应自变量均有着较好的回归关系,这些模型具备较好的可靠性。其中,模型2的 R^2

均高于对应的模型1,这说明增加了各种效应变量之后的模型可以更好地解释损耗变量。尽管模型1和模型2因样本而被分成了含气调和含保鲜膜2个分析步骤,但从表2以及后面表中结果可以发现,除了有可能对应空值之外,其他变量在同一评估模型里的回归系数均十分接近,因此分步骤的模型仍然不妨碍对于不同技术保鲜效果的对比评估。

表1 评估模型的检验结果和时间、温度、品种变量的回归系数

Tab. 1 Test results of evaluation models and regression results of time, temperature and variety

损耗指标	模型	分析步骤	R^2	F	常数项	t	T	V
落粒率	模型1	含气调	0.646	41.980**	-0.406	0.029**	-4.057**	4.389**
		含保鲜膜	0.599	33.324**	-0.269**	0.030**	-5.031**	4.456**
	模型2	含气调	0.648	21.462**	0.197	0.033**	0.084**	4.568**
		含保鲜膜	0.607	19.712**	0.627	0.032**	0.073**	4.572**
腐烂率	模型1	含气调	0.534	26.792**	5.841	0.113**	-3.063	7.406**
		含保鲜膜	0.517	24.138**	5.442	0.115**	-1.121	7.256**
	模型2	含气调	0.713	25.794**	3.568**	0.271**	0.526**	8.806**
		含保鲜膜	0.702	25.007**	2.216**	0.289**	0.561**	8.806**
失重率	模型1	含气调	0.588	36.408**	1.019**	0.023**	2.426**	
		含保鲜膜	0.579	30.838**	1.384**	0.023**	2.304**	
	模型2	含气调	0.733	30.194**	0.487**	0.040**	2.460**	
		含保鲜膜	0.728	27.716**	0.300	0.063**	2.410**	

注: **表示参数在 0.05 置信水平上显著,下同。

鲜食葡萄的落粒、腐烂和失重过程均是不可逆的,因此损耗量会随着时间推移而不断增加。在表1中,时间变量对于各个模型的回归系数均十分显著,且为正,验证了时间对于鲜食葡萄损耗的累积效应。

温度对鲜食葡萄3个损耗指标均有十分显著的正向影响,尽管在模型1中温度对腐烂率的影响不够显著,但可靠性更高的模型2温度系数十分显著。这说明与普通冷库相比,冰温库可以显著地降低果实的落粒率、腐烂率和失重率。冰温库内的温度比普通冷库的更低,对果实呼吸作用和微生物生长的抑制效果更好。同时,冰温库具有更强的控温能力,能够降低果实内外的温差波动,如配合较高的相对湿度,则可以更好地降低果实的蒸腾速率,保持果实的新鲜。因此冰温库贮藏环境在各个方面都有利于降低鲜食葡萄的损耗。

另外,葡萄品种的贮藏特性对于果实的贮藏效果影响显著。结果显示,品种类型变量对于损耗有十分显著的正向影响,这说明实验所涉及的白色品种落粒率要比红色品种高,这与袁军伟^[14]关于有色品种和无色品种贮藏性差异的描述相似。但由于回归结果为统计结果,在这里关于品种类型的耐藏性差异的结论并不能直接说明实验中所选取的红色品

种均比白色品种的贮藏性好。

3.2 保鲜技术对鲜食葡萄损耗效果的评估结果

3.2.1 基于落粒率

鲜食葡萄的落粒与果梗处葡萄离区的形成关系密切,同时又受酶和内源激素的综合影响^[15]。除此之外,果实的衰老和微生物的侵染也会增加葡萄的落粒^[16],因此鲜食葡萄的落粒是果实多方面生理活动综合作用的结果,机理较为复杂,保鲜技术对于落粒率的影响随浓度和时间的变化特征并不十分明显。经模型1和模型2对落粒率的回归,可以得到保鲜技术变量的参数结果,见表2。表2中显示,模型2中 SO_2 气态处理变量因与其时间效应变量有强烈的共线性而被排除。

通过比较表2模型1中各个保鲜技术对落粒率的回归系数可以看出,对果实落粒率抑制效果最强的是气调(-5.798),其次为 SO_2 气态处理(-1.820),最弱的是简化包保鲜剂处理(-1.098/-1.222)。1-MCP的防脱粒效果也不大明显,这与朱东兴^[17]关于巨峰落粒率的研究结果相似。除此之外,CT-2保鲜剂和保鲜膜对落粒率的抑制效果也不明显。

(1)浓度效应:从模型1和模型2关于CT-2保鲜剂、简化包保鲜剂以及 SO_2 气态处理的保鲜技术

表 2 保鲜技术变量对于落粒率的回归结果

Tab. 2 Regression coefficients of preservation technologies to berry shatter rates of table grape

参数	落粒率-模型 1				落粒率-模型 2					
	保鲜技术		保鲜技术		浓度效应		时间效应		技术联合效应	
	含气调	含保鲜膜	含气调	含保鲜膜	含气调	含保鲜膜	含气调	含保鲜膜	含气调	含保鲜膜
A	-5.798*		-3.359		9.082		0.093			
F		-0.039		-0.69					-0.068**	
M	-0.704	-1.221	-3.119	-3.846	1.866	2.458	0.06	0.052		
C _p	-0.093	-0.223	-2.874**	-3.287**	1.304**	1.400**	-0.002	-0.001	-1.637**	-1.638**
S _p	-1.098**	-1.222**	-5.327**	-5.670**	1.941**	2.006**	-0.006	-0.005	-1.020**	-1.023**
S	-1.820*	-1.820**	共线排除	共线排除			0.012	0.012		

注：* 表示参数在 0.10 置信水平上显著,下同。

变量参数可知,CT-2 保鲜剂对落粒的抑制效果(不显著或者 -2.874/-3.287)明显不如简化包保鲜剂(-1.098/-1.222 或 -5.327/-5.670),更不及 SO₂ 气态处理(-1.820),这是因为在短时间内,SO₂ 气态处理的 SO₂ 浓度要高于保鲜剂释放的 SO₂ 浓度,而粉状的简化包保鲜剂释放的 SO₂ 浓度又高于片状的 CT-2 保鲜剂,因此 CT-2 保鲜剂、简化包保鲜剂以及 SO₂ 气态处理对落粒率的控制效果依次增强。但同时,CT-2 保鲜剂和简化包保鲜剂浓度效应的参数呈现显著的正值(1.941/2.006 和 1.304/1.400),SO₂ 释放速率较大的简化包保鲜剂的系数更大,这说明浓度过高会加重果实的落粒现象。

(2)时间效应:从表中关于保鲜技术对于落粒率抑制效果的时间效应参数看出,只有保鲜膜对落粒的抑制效果表现出了微弱增强(-0.068),这应该与保鲜膜自调节气调作用形成的过程有关。

(3)技术联合效应:尽管浓度过高的 SO₂ 会对果实造成伤害,加重果实的落粒现象,但技术联合效应结果显示,短时间、高浓度的 SO₂ 气态处理与以上 2 种 SO₂ 缓释保鲜剂的联合使用,可以更好地控制

果实落粒率,这主要是因为二者的作用时间不同,SO₂ 气态处理集中在前期而 SO₂ 缓释保鲜剂集中在后期。

3.2.2 基于腐烂率

表 3 中列出了保鲜效果评估模型中保鲜技术的相关变量对腐烂率的估计结果。根据表中模型 1 的回归结果,本文可以按保鲜技术对腐烂率的抑制效果进行大致排序,从强到弱依次为气调、简化包处理、SO₂ 气态处理、1-MCP 气态处理、CT-2 处理和保鲜膜。果实腐烂的最主要原因是微生物的侵染,因此从微生物的角度可以很好地解释不同保鲜技术对腐烂率的控制。

(1)浓度效应:模型 2 中关于 CT-2 和简化包保鲜剂对腐烂率降低效果的浓度效应参数(7.529/7.430 和 8.045/8.010)显示,随着这 2 种保鲜剂使用剂量的增加,防腐效果会逐渐减弱,这主要与高浓度 SO₂ 对鲜食葡萄果实的伤害有关;同时,表中显示的关于气调作用浓度效应参数并不够显著,但其绝对值较大(217.574),且符号为正,这说明继续提高环境中 CO₂ 的浓度有加重果实腐烂的趋势。

表 3 保鲜技术变量对于腐烂率的参数回归结果

Tab. 3 Regression coefficients of preservation technologies to rotting rates of table grape

参数	腐烂率-模型 1				腐烂率-模型 2					
	保鲜技术		保鲜技术		浓度效应		时间效应		技术联合效应	
	含气调	含保鲜膜	含气调	含保鲜膜	含气调	含保鲜膜	含气调	含保鲜膜	含气调	含保鲜膜
A	-52.658**		-59.712**		217.574		-1.497**			
F		-4.015**		-1.605					-0.116*	
M	-5.893**	-4.812*	-16.330**	-14.279*	2.704	1.126	0.310**	0.322**		
C _p	-4.555**	-4.341**	-18.870**	-17.981**	7.529**	7.430**	-0.069**	-0.078**	-3.123**	-3.108**
S _p	-6.535**	-6.332**	-22.095**	-21.397**	8.045**	8.010**	-0.094**	-0.102**	-0.618	-0.599
S	-6.025**	-6.027**	共线排除	共线排除			-0.036	-0.037		

(2)时间效应:气调作用对葡萄果实的腐烂有很好的控制效果,同时,随着气调处理时间的延长,氧气进一步消耗,其对腐烂度的降低作用愈加明显

(-1.497);其次是保鲜膜,它需要一定时间来形成气调作用,慢慢地提高其对腐烂率的降低效果(-0.116);CT-2 和简化包保鲜剂对腐烂率的降低

效果随着时间渐渐增强(- 0.069/ - 0.078 和 - 0.094/ - 0.102),这主要是因为 SO_2 缓释保鲜剂需要一段时间才能在果实周围形成一定浓度的 SO_2 环境,起到抑制致腐真菌生长的作用;另外,1-MCP 气态处理对果实腐烂的控制效果会随着时间的推移而降低(0.310/0.322),这是因为 1-MCP 气态处理浓度高、时间短,前期防腐作用效果显著,之后其作用会随着时间的延长而逐渐减弱。

(3)技术联合效应: SO_2 气态处理与 CT-2 缓释保鲜剂的结合使用可以更好地加强防腐效果(- 3.123/ - 3.108),这是因为缓释保鲜剂的防腐效果需要经过一定时间才能发挥到最好状态,如前期联合

使用高浓度 SO_2 气态处理,则可以起到在整个贮藏期全面抑制致腐真菌的作用,更好地控制果实腐烂。

3.2.3 基于失重率

表 4 中列出了模型 1、2 中保鲜技术变量以及与技术相关的效应变量对失重率的估计参数。从模型 1 中的结果可以看出,气调箱以其良好的密闭性保证了箱内的相对湿度,降低了果实水分的蒸发,从而实现了果实失重率的最优控制(- 4.646);简化包保鲜剂和 CT-2 保鲜剂(- 0.695/ - 0.716 和 - 0.632/ - 0.655)对失重的抑制效果仅次于气调箱;保鲜膜的控制效果最弱(- 0.382);1-MCP 对鲜食葡萄失重的抑制效果不够明显。

表 4 保鲜技术变量对于失重率的参数回归结果

Tab.4 Regression coefficients of preservation technologies to weight loss rates of table grape

参数	失重率-模型 1				失重率-模型 2			
	保鲜技术		保鲜技术		浓度效应		时间效应	
	含气调	含保鲜膜	含气调	含保鲜膜	含气调	含保鲜膜	含气调	含保鲜膜
A	-4.646**		-2.11		23.896		-0.274**	
F		-0.382**		0.147				-0.022*
M	-0.229	-0.284	0.802	0.817	-0.224	-0.207	-0.027**	-0.028**
C_p	-0.632**	-0.655**	-1.830**	-1.817**	0.874**	0.876**	-0.014**	-0.014**
S_p	-0.695**	-0.716**	-1.470**	-1.459**	0.591**	0.593**	-0.013**	-0.013**

(1)浓度效应:从 SO_2 保鲜剂的浓度效应的相关参数可以看出,随着保鲜剂使用量的增加,保鲜剂对失重率的降低效果会随之减弱(0.874/0.876 和 0.591/0.593),这是因为浓度过高的 SO_2 会破坏细胞膜通透性^[18],反而增加果实的腐烂和失水。

(2)时间效应:表 4 中关于保鲜技术对失重率影响的时间效应参数显示,所有技术对于果实失重率的降低效果均随时间延长而增加。气调对失重率的抑制效果随时间的推移明显增强(- 0.274),这主要与配套使用的高密封性气调箱有关。箱体隔绝了气调箱内外的水分流动,但内部空气湿度的提高还需要借助果实自身的蒸腾作用,因此气调作用对失重率的影响是随着时间延长而逐渐表现出来的;保鲜膜的作用原理与气调作用类似,但其对空气的高通透性降低了空气湿度提高的速率,影响了其对失重抑制效果的发挥(- 0.022);尽管在式(2)中 1-MCP 对失重率的降低效果并不明显,但是从时间效应参数(- 0.027/ - 0.028)可以看出,其降低失重率的效果是随时间推移而逐步凸显出来的,这应该与其对细胞膜完整性和通透性的保持作用^[3]有很大关系;据前人研究发现, SO_2 也可以有效地降低果实的失重率^[4],从这 2 种保鲜剂的时间效应参数上可以看出(- 0.014 和 - 0.013),如果使用缓释保鲜剂,还是需要一定时间才能将其对果实失重的降

低效果发挥到最优。

4 结论

(1)气调、保鲜膜、CT-2 保鲜剂、简化包保鲜剂、 SO_2 气态处理和 1-MCP 气态处理 6 种保鲜技术以及冰温高湿的贮藏环境都可以在不同程度上有效地降低鲜食葡萄果实的损耗。其中气调作用、2 种保鲜剂以及冰温环境对果实落粒、腐烂和失重均有较好的抑制效果;1-MCP 仅对果实腐烂率的抑制效果显著;保鲜膜对腐烂率和失重率的抑制效果微弱。

(2)CT-2 和简化包保鲜剂这 2 种 SO_2 保鲜剂在一定的浓度范围内,对果实落粒、腐烂和失重的抑制效果都会随着浓度的增加而增加,但浓度过高则会削弱其抑制效果甚至加重对果实的损耗,这主要是由于过高浓度的 SO_2 会对果实组织造成伤害。气调作用的浓度效应在本研究中虽然表现得不够明显,但结果显示其与保鲜剂在浓度效应方面有着类似的趋势。

(3)气调、保鲜膜、CT-2 保鲜剂、简化包保鲜剂和 1-MCP 气态处理对鲜食葡萄腐烂率和失重率的抑制效果均随着时间的增加而逐渐增强。其中,保鲜膜对落粒率的抑制效果会随时间的延长有所提高。

(4)CT-2 保鲜剂和简化包保鲜剂对鲜食葡萄落

粒、腐烂和失重的抑制作用十分显著,但都需要经过一定时间才能达到最优,因此,前期联合使用 SO_2 气态处理可以显著地增强其保鲜效果。

(5) 鲜食葡萄品种对于果实的保鲜效果也有着

显著影响。由于葡萄品种间的耐藏性差异较大,因此在实际保鲜过程中,在对具体某一葡萄品种进行保鲜处理时,还需要根据其自身的果实特性选择合适的保鲜技术。

参 考 文 献

- 1 梁丽雅,郝利平,闫师杰. 保鲜剂对红地球和巨峰葡萄呼吸强度和贮藏品质的影响[J]. 农业工程学报,2003,19(4):205-208.
Liang Liya, Hao Liping, Yan Shijie. Effects of freshness keeping agent on respiratory intensity and storage quality of Red Globe, Kyoho Grape [J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(4):205-208. (in Chinese)
- 2 张昆明,朱志强,农绍庄,等. 冰温结合气调包装对葡萄贮藏保鲜效果的影响[J]. 食品研究与开发,2011,32(1):126-130.
Zhang Kunming, Zhu Zhiqiang, Nong Shaozhuang, et al. Effects of controlled freezing point technology combined with modified atmosphere package on preservation for grape [J]. Food Research and Development, 2011, 32(1): 126-130. (in Chinese)
- 3 李志文,张平,刘翔,等. 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄采后品质及相关生理代谢的调控[J]. 食品科学, 2011, 32(20):300-306.
Li Zhiwen, Zhang Ping, Liu Xiang, et al. Effects of 1-MCP treatment in combination with controlled freezing-point storage on postharvest qualities and physiological metabolism of grape (*Vitis vinifera* L.) [J]. Food Science, 2011, 32(20): 300-306. (in Chinese)
- 4 杨相政,李喜宏,马宏原,等. SO_2 熏蒸处理对维多利亚葡萄保鲜效果研究[J]. 食品工业科技,2013,34(16):326-329,337.
Yang Xiangzheng, Li Xihong, Ma Hongyuan, et al. Effect of different concentrations of SO_2 fumigation treatment on victoria grape [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(16): 326-329, 337. (in Chinese)
- 5 李琛,刘颖,翁桢,等. 贮运环境对葡萄品质的影响[J]. 现代食品科技,2013,29(2):230-235.
Li Chen, Liu Ying, Weng Zhen, et al. The influence of storage and transport environment on grape quality [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(2):230-235. (in Chinese)
- 6 Moyls A L, Sholberg P L, Gaunce A P. Modified-atmosphere packaging of grapes and strawberries fumigated with acetic acid [J]. Hortscience, 1996, 31(3):414-416.
- 7 Retamales J, Defilippi B G, Arias M, et al. High- CO_2 controlled atmospheres reduce decay incidence in Thompson Seedless and Red Globe table grapes [J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 29(2): 177-182.
- 8 Rosales R, Fernandez-Caballero C, Romero I, et al. Molecular analysis of the improvement in rachis quality by high CO_2 levels in table grapes stored at low temperature [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 77:50-58.
- 9 赵彦莉,张华云,修德仁,等. 不同气体成分对意大利葡萄贮藏中乙醇、乙醛含量的影响[J]. 果树学报,2003,20(6):459-462.
Zhao Yanli, Zhang Huayun, Xiu Deren, et al. Effect of different atmospheres on the contents of alcohol and aldehyde in the berries of Italia grape variety during storage [J]. Journal of Fruit Science, 2003, 20(6):459-462. (in Chinese)
- 10 Caleb O J, Opara U L, Witthuhn C R. Modified atmosphere packaging of pomegranate fruit and arils: a review [J]. Food Bioprocess Technology, 2012, 5(1):15-30.
- 11 高海燕,刘涓渭,张华云,等. SO_2 对采后葡萄的急性伤害研究[J]. 西北农业学报,2001,10(1):14-16,50.
Gao Haiyan, Liu Linwei, Zhang Huayun, et al. Study of SO_2 acute injury on postharvest table grape [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2001, 10(1):14-16, 50. (in Chinese)
- 12 高海燕,张华云,王善广,等. 不同用量 SO_2 处理对两类葡萄冷藏中抗氧化性能的影响[J]. 农业工程学报,2006,22(9):210-214.
Gao Haiyan, Zhang Huayun, Wang Shanguang, et al. Effects of different SO_2 dosages on the anti oxidation of two kinds of grape during cold storage [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(9):210-214. (in Chinese)
- 13 Rolle L, Giacosa S, Gerbi V, et al. Comparative study of texture properties, color characteristics, and chemical composition of ten white table-grape varieties [J]. American Society for Enology and Viticulture, 2011, 62(1): 49-56.
- 14 袁军伟,赵胜建,魏建梅,等. 葡萄采后生理及贮藏保鲜技术研究进展[J]. 河北农业科学,2009,13(4):80-83.
Yuan Junwei, Zhao Shengjian, Wei Jianmei, et al. Research progress on postharvest physiology and storage technique of grape [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2009, 13(4):80-83. (in Chinese)
- 15 连红莉. 新疆无核白葡萄采后落粒机理的研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2001.
Lian Hongli. Studies on postharvest berry drop principle of the seedless table grape [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2001. (in Chinese)
- 16 Ozkan R, Smilanick J L, Karabulut O A. Toxicity of ozone gas to conidia of *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum*, and *Botrytis cinerea* and control of gray mold on table grapes [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 60(1):47-51.
- 17 朱东兴,胡冰,陈小祥,等. 鲜食葡萄无公害贮藏保鲜处理[J]. 食品研究与开发,2010, 31(1):165-168.
Zhu Dongxing, Hu Bing, Chen Xiaoxiang, et al. Primary study on pollution-free treatment of table grape storage and preservation [J]. Food Research and Development, 2010, 31(1):165-168. (in Chinese)
- 18 葛毅强,张维一,叶强,等. SO_2 对鲜食葡萄一些酶活性营养成分及膜透性的影响[J]. 新疆农业大学学报,1997,20(2):48-52.
Ge Yiqiang, Zhang Weiyi, Ye Qiang, et al. The effect of sulfur dioxide on some enzyme activities, nutrient compositions and membrane permeability of table grape [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 1997, 20(2):48-52. (in Chinese)