

鲜切甘蓝生物保鲜剂配方优化和评价

张鹏¹, 杨钧翔², 赵楠², 吴迪^{3,4}, 贾晓昱¹, 李江阔^{1*}

(1. 天津市农业科学院农产品保鲜与加工技术研究所, 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室, 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384)

(2. 沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866) (3. 浙江大学农业与生物技术学院, 浙江杭州 310058)

(4. 浙江大学中原研究院, 河南郑州 450000)

摘要: 鲜切甘蓝易造成机械损伤, 导致品质恶化, 选择合适的保鲜剂配方尤为重要。该文通过研究木瓜蛋白酶、菠萝蛋白酶和 ϵ -聚赖氨酸保鲜剂的不同质量分数对鲜切甘蓝品质的影响, 采取真空包装, 以色泽、质地、外形、气味为筛选指标, 对鲜切甘蓝感官品质进行评价; 通过单因素和响应面优化实验确定了鲜切甘蓝的生物保鲜剂的最佳配方为 0.3% (m/m) 木瓜蛋白酶、0.3% (m/m) 菠萝蛋白酶和 0.1% (m/m) ϵ -聚赖氨酸。由响应面方差分析对鲜切甘蓝的感官品质的影响顺序为: ϵ -聚赖氨酸>菠萝蛋白酶>木瓜蛋白酶。根据贮藏实验, 证明了优化后的生物保鲜剂配方, 能有效延缓鲜切甘蓝维生素 C、还原糖和叶绿素含量的下降。贮藏 12 d 时, 生物保鲜剂处理组鲜切甘蓝维生素 C 含量为 26.23 mg/100 g, 还原糖含量为 18.92 mg/g, 叶绿素 a 含量为 6.08 mg/kg, 叶绿素 b 含量为 12.25 mg/kg。结果证明了经优化的生物保鲜剂能有效维持鲜切甘蓝的感官品质和营养指标, 较单一保鲜剂具有明显优势, 可用于鲜切甘蓝的商品保鲜。

关键词: 甘蓝; 鲜切菜; 生物保鲜剂; 响应面优化; 品质

文章编号: 1673-9078(2023)05-119-126

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.5.0669

Optimization and Evaluation of a Biological Anti-staling Agent Formula for Fresh-cut Cabbage

ZHANG Peng¹, YANG Junxiang², ZHAO Nan², WU Di^{3,4}, JIA Xiaoyu¹, LI Jiangkuo^{1*}

(1. Institute of Agricultural Products Preservation and Processing Technology, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Key Laboratory of Storage of Agricultural Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products (Tianjin), Tianjin 300384, China) (2. School of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China) (3. College of Agriculture & Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China) (4. Zhejiang University Zhongyuan Institute, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Fresh-cut cabbage is susceptible to mechanical damage, leading to quality deterioration; therefore, it is particularly important to select an appropriate anti-staling agent formula. By studying the effects of different concentrations of papain, bromelain, and ϵ -polylysine anti-staling agents on the quality of fresh-cut cabbage, the sensory quality of vacuum-packaged fresh-cut cabbage was evaluated using color, texture, appearance, and smell as the screening indicators. Single factor and response surface optimization experiments revealed that the optimal formula of biological anti-staling agents for fresh-cut cabbage was 0.3% papain, 0.3% bromelain, and 0.1% ϵ -polylysine. The order of effect on the sensory quality of fresh-cut cabbage according to response surface analysis of variance was: ϵ -polylysine > bromelain > papain. Storage experiments proved that the optimized formula of the biological anti-staling agent could effectively delay the decline of vitamin C, reducing

引文格式:

张鹏,杨钧翔,赵楠,等.鲜切甘蓝生物保鲜剂配方优化和评价[J].现代食品科技,2023,39(5):119-126.

ZHANG Peng, YANG Junxiang, ZHAO Nan, et al. Optimization and evaluation of a biological anti-staling agent formula for fresh-cut cabbage [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(5): 119-126.

收稿日期: 2022-05-26

基金项目: 甘肃省科技计划重大项目(21ZD4NA016); 天津市科技计划项目(21ZYCGSN00300); 贵州省科技计划项目(黔科中引地[2022]4050)

作者简介: 张鹏(1981-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 果蔬贮运保鲜, E-mail: zhangpeng811202@163.com

通讯作者: 李江阔(1974-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品安全与果蔬贮运保鲜新技术, E-mail: lijkuo@sina.com

sugar, and chlorophyll contents of fresh-cut cabbage. After 12 days of storage, the contents of vitamin C, reducing sugars, and chlorophyll a and b in fresh-cut cabbage treated with the biological anti-staling agent were 26.23 mg/100 g, 18.92 mg/g, 6.08 mg/kg, and 12.25 mg/kg, respectively. These results indicate that the optimized combination of biological anti-staling agents could effectively maintain the sensory and nutritional quality of fresh-cut cabbage, offering obvious advantages over a single anti-staling agent, and the proposed formula can be used for the commercial preservation of fresh-cut cabbage.

Key words: cabbage; fresh-cut vegetables; biological anti-staling agent; response surface optimization; quality

甘蓝,又名花菜、包菜、莲花白等,是十字花科、芸薹属的一年或两年生的草本多叶型蔬菜,目前在世界范围内种植和销售^[1]。鲜切菜具有方便、清洁、省时省力的优点,符合现代家庭的消费习惯,逐渐成为居民普遍的生活方式^[2]。甘蓝在田间生长和运输过程中容易受到微生物污染,鲜切后也容易造成机械损伤,导致营养物质的损失和品质的恶化,因此选择合适的保存方法非常重要^[3]。

近年来,蛋白酶已经应用在不同领域的工业过程中,其中,木瓜蛋白酶是食品工业中研究最频繁、应用最广泛的蛋白水解酶之一^[4]。木瓜蛋白酶又称木瓜酶,其具有酶活高、热稳定性好、成分天然安全和抑制果蔬酶促褐变等特点^[5,6]。菠萝蛋白酶又称菠萝酶,一般是从菠萝汁、菠萝皮中提取^[7]。在食品领域,菠萝蛋白酶一般用作抗菌剂,研究表明其也具有作为抗癌和抗炎剂的潜力^[8]。 ϵ -聚赖氨酸是一种天然肽,具有广泛的抗菌功能, ϵ -聚赖氨酸的抑菌机理主要表现在以下两个方面:一是破坏菌体细胞膜和细胞壁的完整性;二是破坏蛋白合成系统,从而抑制微生物的生长和代谢^[9]。 ϵ -聚赖氨酸是一种新型食品防腐剂,其具有抑菌谱广、抑制浓度小、水溶性及热稳定性好等特点,因此受到广泛关注^[10]。大量的研究显示其对沙门氏菌属和单核细胞增多性李斯特菌^[11],金黄色葡萄球菌以及大肠菌群^[12]具有一定的抗菌作用。目前,国内外对于鲜切菜的贮藏保鲜研究主要包括热水处理^[13]、气调包装与高压静电场的协同作用^[14]、使用微酸电解水灭活引起软腐病菌^[15]、自发气调包装^[16]、海藻糖涂膜^[17]等,对木瓜蛋白酶、菠萝蛋白酶及 ϵ -聚赖氨酸三种生物保鲜剂的复配保鲜研究较少。由于三种生物保鲜剂均有不同程度的保鲜效果,具有一定的实际应用价值。通过单因素实验研究三种不同浓度的生物保鲜剂-木瓜蛋白酶、菠萝蛋白酶和 ϵ -聚赖氨酸对鲜切甘蓝品质的影响,采取真空包装,以色泽、质地、外形、气味为筛选标准,对鲜切甘蓝感官品质进行评价,通过响应面优化实验筛选对鲜切甘蓝保鲜效果最佳的保鲜剂配方,再通过贮藏实验检验优化后的生物保鲜剂配方对鲜切甘蓝维生素C、还原糖和叶绿素三种营养指标的影响,以期为鲜切甘蓝保鲜提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

甘蓝购买于天津市西青区红旗农贸批发市场。挑选叶片无发黄、无萎蔫、果实形状大小均一、无病害和无机械损伤的甘蓝为实验材料。

钼酸铵、95%乙醇、无水乙醇、草酸-EDTA、醋酸、三氯乙酸、硫酸、 ϵ -聚赖氨酸、木瓜蛋白酶、菠萝蛋白酶、硫代巴比妥酸、氢氧化钠为天津市江天化工有限公司生产。真空包装袋(规格:10 cm×12 cm)为河北冀利塑业有限公司生产。

1.2 仪器与设备

HWS-250BX 型恒温恒湿箱,天津市泰斯特仪器有限公司;ML503/02 型电子天平(千分之一),梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;DZ400/2D 型真空包装机,上海余特包装机械制造有限公司;SynergyH1 型多功能微孔板检测仪,美国 Biotek Instrument 公司;JYL-C50T 型料理机,九阳股份有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理

鲜切甘蓝加工流程:第一步,选择大小适中、无病虫害、无机械损伤、无发黄和无萎蔫的甘蓝。第二步,用蒸馏水清洗甘蓝表面两遍;第三步,撕掉甘蓝外两层叶片,放入盆中晾干;第四步,取中间3至6层甘蓝叶片手动切成约1 cm×5 cm大小,备用。

1.3.2 单因素实验设计

(1)木瓜蛋白酶质量分数筛选:配制0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%木瓜蛋白酶溶液,将甘蓝切片分别在不同木瓜蛋白酶溶液中浸泡2 min,以蒸馏水浸泡作对照,把甘蓝切片捞出沥去表面多余水分,自然晾干,待甘蓝完全晾干后真空包装。置于(25±1)℃,相对湿度75%的恒温恒湿箱贮藏,分别于0、1、2 d进行感官质量评定。

(2)菠萝蛋白酶质量分数筛选:配制0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%菠萝蛋白酶溶液,将甘蓝切片分别

在其中浸泡 2 min, 以蒸馏水浸泡作对照, 把甘蓝切片捞出沥去表面多余水分, 自然晾干, 待甘蓝完全晾干后真空包装。置于 $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$, 相对湿度 75% 的恒温恒湿箱贮藏, 分别于 0、1、2 d 进行感官质量评定。

(3) ϵ -聚赖氨酸质量分数筛选: 配制 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5% ϵ -聚赖氨酸溶液, 将甘蓝切片分别在其中浸泡 2 min, 以蒸馏水浸泡作对照, 把甘蓝切片捞出沥去表面多余水分, 自然晾干, 待甘蓝完全晾干后真空包装。置于 $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$, 相对湿度 75% 的恒温恒湿箱贮藏, 分别于 0、1、2 d 进行感官质量评定。

1.3.3 响应面实验设计

通过单因素实验, 选择木瓜蛋白酶、菠萝蛋白酶和 ϵ -聚赖氨酸作为响应面优化实验的 3 个因素, 以鲜切甘蓝 2 d 的感官得分 (R1) 为响应值, 建立三因素三水平实验, 通过 Design-Expert 10.0.7 Box-Behnken 设计响应面实验方案。

1.3.4 贮藏实验设计

(1) 选择大小适中、无病虫害、无机械损伤、无黄化腐烂的甘蓝。

(2) 将未做处理整颗甘蓝用蒸馏水清洗表面, 剥去甘蓝外两层叶片, 取第 3~5 层手动切成约 $1 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ 厚的切片, 将其放入约 2 000 mL 蒸馏水中浸泡 2 min 取出, 自然晾干后真空包装, 放入 $4 ^\circ\text{C}$ 冰箱中贮藏, 记为 CK。

(3) 将未做处理整颗甘蓝用蒸馏水清洗表面, 剥去甘蓝外两层叶片, 取第 3~5 层手动切成约 $1 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ 厚的切片, 将其放入约 2 000 mL 经响应面优化后的复合生物保鲜剂中浸泡 2 min 取出, 自然晾干后真空包装, 放入 $4 ^\circ\text{C}$ 冰箱中贮藏, 记为 F。

(4) 每隔 3 d 进行取样测定相关指标, 每个处理 3 次重复实验。

1.3.5 感官评分的评定

参考吴欣蔚^[18]的方法稍作修改, 选取 9 名经过培训的感官评定人员对鲜切甘蓝进行评定。从色泽、质地、外形、气味方面进行 9 分制评分。当感官评分低于 5 时, 蔬菜不具有商品价值, 因此, 将 5 分作为考察的终点。鲜切甘蓝总体感官质量评分标准见表 1。

表 1 鲜切甘蓝总体感官质量评分标准

Table 1 Scoring standard of overall sensory quality of fresh-cut cabbage

分值	感官	商品价值
9	鲜绿、脆嫩、叶型饱满、清香	商品价值极高
7	绿、比较脆、叶型较饱满、香	商品价值较高
5	黄化 10%~30%、变软、叶片稍皱缩、稍有异味	商品价值差
3	黄化 30%~50%、轻度腐烂、叶片皱缩、异味严重	无商品价值
1	黄化 50%以上、严重腐烂、皱缩严重, 发臭	无商品价值

1.3.6 营养指标的评定

1.3.6.1 Vc 含量的测定

采用钼蓝比色法^[19]测定, 各处理重复三次, 取平均值。

1.3.6.2 还原糖含量的测定

采用 3,5-二硝基水杨酸法^[20]测定, 各处理重复三次, 取平均值。

1.3.6.3 叶绿素含量的测定

采用关文强等^[21]的方法, 并稍作修改, 称取甘蓝 2 g, 加入 15 mL 无水乙醇将甘蓝研磨成匀浆, 过滤并定容至 25 mL, 在避光处密封浸提 24 h。以无水乙醇为实验空白对照, 用紫外分光光度计分别在波长 649 nm、665 nm 下测定吸光度。

$$C_a = \frac{(13.95D_{665} - 6.88D_{649}) \times 25}{m} \quad (1)$$

$$C_b = \frac{(24.96D_{665} - 7.32D_{649}) \times 25}{m} \quad (2)$$

式中:

m ——样品质量, g;

C_a ——叶绿素 a 含量, mg/kg;

C_b ——叶绿素 b 含量, mg/kg;

D_{665} 、 D_{649} ——665、649 nm 下的吸光度值;

1.3.7 数据处理

实验结果每组重复 3 次平行, 实验结果取其平均值。所有数据采用 Excel 2010 进行图像绘制及处理。

2 结果与讨论

2.1 不同质量分数木瓜蛋白酶对鲜切甘蓝感官品质的影响

不同质量分数木瓜蛋白酶对鲜切甘蓝感官品质的影响见表 2。由表 2 可知, 随着贮藏时间的延长, 不同浓度的木瓜蛋白酶处理组的鲜切甘蓝感官评分逐渐降低, 但处理组整体高于 CK 组, 说明不同质量分数的木瓜蛋白酶处理均对鲜切甘蓝具有一定的保鲜效

果。在贮藏期为 0 d 时木瓜蛋白酶保鲜剂处理组的鲜切甘蓝与 CK 组在色泽、质地上无明显差异, 包装无胀袋现象; 1 d 时 CK 组轻微胀袋, 木瓜蛋白酶保鲜剂各处理组鲜切甘蓝均无胀袋现象, 色泽保持嫩绿, 质地较脆, 整体优于 CK 组; 2 d 时, 0.3% 木瓜蛋白酶保鲜剂处理组对鲜切甘蓝的保鲜效果最好, 评分为 7, 与 CK 组相比差异显著, 其次为 0.2% 木瓜蛋白酶、0.4% 木瓜蛋白酶, 分别为 6.92 和 6.61。这与赵小芳^[22]的研究结果具有相似性, 赵小芳进行了鲜切马铃薯褐变调控技术研究, 通过单因素筛选不同质量分数木瓜蛋白酶对鲜切马铃薯褐变抑制效果, 发现 0.1%、0.2%、0.3%、0.4% 的木瓜蛋白酶溶液处理均显著抑制鲜切马铃薯褐变, 总体感官质量良好, 仍具有商业价值。因此, 选择 0.2%、0.3%、0.4% 的木瓜蛋白酶质量分数作为响应面依据。

表 2 不同质量分数木瓜蛋白酶处理鲜切甘蓝感官评分表

Table 2 Sensory score table of fresh-cut cabbage treated with different concentrations of papain

木瓜蛋白酶 质量分数/%	综合感官得分		
	0 d	1 d	2 d
CK (0)	9.00±0.00 ^a	7.42±0.33 ^d	5.78±0.61 ^c
0.1	9.00±0.00 ^a	8.31±0.29 ^{bc}	6.31±0.46 ^{bc}
0.2	9.00±0.00 ^a	8.86±0.21 ^a	6.92±0.69 ^{ab}
0.3	9.00±0.00 ^a	8.92±0.11 ^a	7.00±0.16 ^a
0.4	9.00±0.00 ^a	8.64±0.14 ^{ab}	6.61±0.11 ^{ab}
0.5	9.00±0.00 ^a	8.06±0.39 ^c	5.94±0.21 ^c

注: 每列不同小写字母代表在 5% 水平上显著差异; 下表同。

2.2 不同质量分数菠萝蛋白酶对鲜切甘蓝感

官品质的影响

表 3 不同质量分数菠萝蛋白酶处理鲜切甘蓝感官评分表

Table 3 Sensory score table of fresh-cut cabbage treated with different concentrations of bromelain

菠萝蛋白酶 质量分数/%	综合感官得分		
	0 d	1 d	2 d
CK (0)	9.00±0.00 ^a	7.42±0.33 ^d	5.78±0.61 ^b
0.1	9.00±0.00 ^a	8.25±0.36 ^{bc}	6.56±0.42 ^{ab}
0.2	9.00±0.00 ^a	8.83±0.26 ^a	7.17±0.56 ^a
0.3	9.00±0.00 ^a	8.56±0.33 ^{ab}	6.92±0.56 ^a
0.4	9.00±0.00 ^a	8.78±0.09 ^a	6.94±0.46 ^a
0.5	9.00±0.00 ^a	8.08±0.14 ^c	6.19±0.47 ^{ab}

不同质量分数菠萝蛋白酶对鲜切甘蓝感官品质的影响见表 3。由表 3 可知, 在贮藏时间为 2 d 时 0.2% 菠萝蛋白酶处理组鲜切甘蓝的感官评分最高, 达到

7.17, 与 CK 组相比差异显著, CK 组感官评分最低为 5.78。在贮藏期 0~2 d 的过程中, CK 组鲜切甘蓝的黄化程度不断增加, 叶片严重萎缩, 在 2 d 时酸臭味更为明显, 产生胀袋现象; 菠萝蛋白酶保鲜剂各质量分数处理保鲜效果均优于 CK 组, 这与赵小芳^[22]的研究结果具有相似性, 赵小芳对鲜切马铃薯褐变调控技术进行了研究, 通过单因素筛选不同质量分数菠萝蛋白酶对鲜切马铃薯褐变抑制效果, 发现 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5% 的菠萝蛋白酶溶液处理的失水情况都低于对照组, 说明菠萝蛋白酶溶液可以抑制鲜切马铃薯失水。质量分数为 0.2% 菠萝蛋白酶处理鲜切甘蓝的保鲜效果最好, 在贮藏期 1~2 d 的过程中感官得分均优于其他处理组, 感官评分分别为 8.83 和 7.17, 甘蓝叶片黄化程度低, 腐烂现象和异味不明显。随着贮藏时间延长, 全部处理组的鲜切甘蓝皆出现萎蔫黄化, 发酸发臭情况, 但菠萝蛋白酶处理组的鲜切甘蓝感官品质明显高于 CK 组。综合考虑, 选择 0.2%、0.3%、0.4% 的菠萝蛋白酶质量分数作为响应面依据。

2.3 不同质量分数 ϵ -聚赖氨酸对鲜切甘蓝感官品质的影响

表 4 不同质量分数 ϵ -聚赖氨酸处理鲜切甘蓝感官评分表Table 4 Sensory score table of fresh-cut cabbage treated with different concentrations of ϵ -polylysine

ϵ -聚赖氨酸 质量分数/%	综合感官得分		
	0 d	1 d	2 d
CK (0)	9.00±0.00 ^a	7.42±0.33 ^c	5.78±0.61 ^d
0.1	9.00±0.00 ^a	8.58±0.29 ^a	7.22±0.35 ^{ab}
0.2	9.00±0.00 ^a	8.42±0.48 ^{ab}	7.31±0.42 ^a
0.3	9.00±0.00 ^a	8.61±0.26 ^a	6.97±0.47 ^{abc}
0.4	9.00±0.00 ^a	8.14±0.32 ^{ab}	6.31±0.57 ^{bcd}
0.5	9.00±0.00 ^a	7.89±0.16 ^{bc}	6.19±0.42 ^{cd}

不同质量分数 ϵ -聚赖氨酸对鲜切甘蓝感官品质的影响见表 4。由表 4 可知, 随着贮藏时间的延长, 2 d 时, 0.1%、0.2%、0.3% ϵ -聚赖氨酸处理组鲜切甘蓝保鲜效果较好, 感官评分分别为 7.22、7.31 和 6.97。贮藏时间为 2 d 时 CK 组鲜切甘蓝黄化严重, 胀袋现象明显, 并伴随酸臭味, 感官评分为 5.78。质量分数为 0.2% 的 ϵ -聚赖氨酸处理组的鲜切甘蓝色泽较好, 质地较脆, 无腐烂现象, 无明显异味, 感官评分为 7.31, 与 CK 组相比差异显著。这与张玉华等^[23]研究结果具有相似性, 张玉华等研究了探究超声- ϵ -聚赖氨酸盐酸盐复合处理鲜切苹果的最优参数及其保鲜效果, 发现将 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐作为超声液使用, 其质量浓度越

高抑菌效果越好,当质量浓度增加至 0.2 g/L 时,进一步增加,0.3 g/L 与 0.4 g/L 两组无显著差异。 ϵ -聚赖氨酸保鲜剂各质量分数处理保鲜效果均优于 CK 组。综合考虑,选择 0.1%、0.2%、0.3% 的 ϵ -聚赖氨酸质量分数作为响应面依据。

2.4 响应面优化实验

2.4.1 Box-Behnken 实验设计与结果

在保鲜剂筛选实验的基础上,选择木瓜蛋白酶、菠萝蛋白酶和 ϵ -聚赖氨酸作为响应面实验的三个因素,以鲜切甘蓝 2 d 的感官得分为响应值,建立 3 因素 3 水平实验,其相应的因素与水平见表 5。

表 5 Box-Behnken 设计因素和水平

Table 5 Box-Behnken design factors and levels

水平	-1	0	1
木瓜蛋白酶/%	0.2	0.3	0.4
菠萝蛋白酶/%	0.2	0.3	0.4
ϵ -聚赖氨酸/%	0.1	0.2	0.3

根据上文单因素实验结果,通过响应面优化实验对三种生物保鲜剂进行组合实验,3 因素 3 水平响应面实验结果如表 6 所示。

以感官得分为响应值,木瓜蛋白酶 (A)、菠萝蛋白酶 (B)、 ϵ -聚赖氨酸 (C) 为自变量,方差分析结果如表 7,建立多元二次回归方程为: $R_1=6.80-0.15A+0.22B-0.29C-0.30AB-0.072AC-0.11BC-0.019A^2-1.03B^2+0.18C^2$,方程的决定系数为 $R^2=0.9623$,校正决定系数

为 $R^2_{Adj}=0.9139$ 。模型的 P 值为 0.0003,小于 0.01,该结果具有显著性;失拟项的 P 值为 0.3372,大于 0.05,呈现不显著性,因此该模型建立有效,各因素影响次序为: ϵ -聚赖氨酸>菠萝蛋白酶>木瓜蛋白酶。

表 6 响应面实验设计方案及结果

Table 6 Response surface test design scheme and results

序号	木瓜蛋白酶/%	菠萝蛋白酶/%	ϵ -聚赖氨酸/%	感官得分/分
1	-1	-1	0	5.53±0.65
2	1	0	1	6.61±1.00
3	1	1	0	5.38±0.82
4	0	-1	1	5.44±0.64
5	0	-1	-1	5.93±0.90
6	0	1	1	5.75±1.00
7	1	-1	0	5.61±0.88
8	-1	0	1	6.85±0.65
9	1	0	-1	7.22±0.29
10	0	0	0	6.51±0.54
11	0	0	0	6.84±0.53
12	0	0	0	6.83±0.99
13	-1	1	0	6.48±0.82
14	0	1	-1	6.68±1.15
15	0	0	1	6.87±0.44
16	-1	0	-1	7.17±0.97
17	0	0	0	6.95±0.51

表 7 模型及方差分析

Table 7 Model and analysis of variance

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	6.25	9	0.69	19.88	0.0003**
A	0.18	1	0.18	5.24	0.0559
B	0.40	1	0.40	11.34	0.0120*
C	0.69	1	0.69	19.76	0.0030**
AB	0.35	1	0.35	9.96	0.0160*
AC	0.021	1	0.021	0.60	0.4633
BC	0.048	1	0.048	1.39	0.2777
A ²	1.480E-003	1	1.480E-003	0.042	0.8428
B ²	4.48	1	4.48	128.16	<0.0001
C ²	0.14	1	0.14	3.96	0.0869
残差	0.24	7	0.035		
失拟项	0.13	3	0.044	1.53	0.3372 不显著
纯误差	0.11	4	0.029		
总计	6.04	16			
R ²	0.9623				

注: *差异显著 (P<0.05); **差异极显著 (P<0.01)。

2.4.2 响应面优化

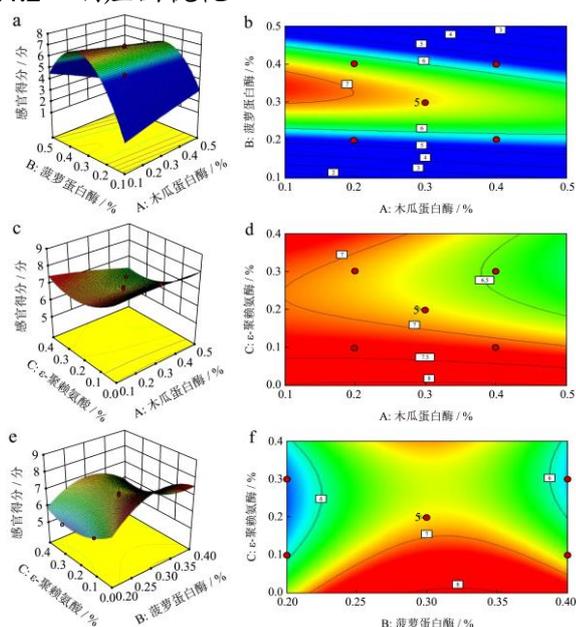


图1 各反应因素之间的交互作用影响

Fig.1 The interaction between the various reaction factors

通过 Design-Expert 10.0.7 软件进行响应面优化, 各条件之间交互作用见图 1。由图 1 可知, 木瓜蛋白酶 (A) 和菠萝蛋白酶 (B) 交互作用的响应面坡度较陡, 说明这两个因素之间的交互作用对鲜切甘蓝的保鲜影响显著, 其等高线呈椭圆形, 表示这两个因素之间交互作用显著; 木瓜蛋白酶 (A) 和 ϵ -聚赖氨酸 (C)、菠萝蛋白酶 (B) 和 ϵ -聚赖氨酸 (C) 交互作用的响应面坡度较平缓, 其等高线呈圆形, 说明 AC、BC 因素

之间的交互作用影响较弱, 分析结果与表 10 具有一致性。通过 Design-Expert 10.0.7 软件分析可得, 生物保鲜剂的最佳组合为木瓜蛋白酶 0.31%、菠萝蛋白酶 0.30%、 ϵ -聚赖氨酸 0.11%。结合实际操作, 将各因素调整为: 木瓜蛋白酶 0.3%、菠萝蛋白酶 0.3%、 ϵ -聚赖氨酸 0.1%, 此时生物保鲜剂综合感官得分的预测值为 7.24。在此条件下, 进行 3 次平行实验得到生物保鲜剂综合感官得分为 7.14, 误差为 0.08%, 表明该模型预测可行。

2.5 生物保鲜剂对鲜切甘蓝感官及营养品质影响

2.5.1 生物保鲜剂对鲜切甘蓝感官品质的影响

生物保鲜剂对鲜切甘蓝感官品质的影响见图 2 和表 8。如图 2 和表 8 所示, 贮藏时间在 6 d 前, 两组处理的鲜切甘蓝感官性状无明显差异, 6 d 时, CK 组鲜切甘蓝出现轻微黄化现象并伴有异味, 商品价值较差; 保鲜剂处理组感官品质良好, 商品价值较高。9 d 时, CK 组鲜切甘蓝黄化较为严重, 袋内有叶汁渗出, 出现胀袋现象、异味严重, 失去商品价值; 保鲜剂组轻微黄化, 有胀袋现象, 叶片较为脆嫩, 略有异味, 商品价值较差, 保鲜剂处理鲜切甘蓝组综合得分为 5.50, 显著 ($P < 0.05$) 高于 CK 组。12 d 时, 两组处理均失去商品价值。由此说明保鲜剂处理可以提高鲜切甘蓝的感官品质。



图2 生物保鲜剂对鲜切甘蓝感官品质的影响

Fig.2 Effect of biological antistaling agent on sensory quality of fresh-cut cabbage

表8 生物保鲜剂处理鲜切甘蓝感官评分表

Table 8 Sensory score table of fresh-cut cabbage treated with biological antistaling agent

处理组	综合感官得分				
	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d
CK	9.00±0.00 ^a	8.50±0.87 ^a	6.50±0.86 ^a	4.66±0.33 ^a	1.93±0.56 ^a
F	9.00±0.00 ^a	8.75±0.21 ^a	6.88±1.08 ^a	5.50±0.28 ^b	3.93±0.79 ^a

2.5.2 生物保鲜剂对鲜切甘蓝维生素 C 含量的影响

生物保鲜剂对鲜切甘蓝维生素 C 含量的影响见图 3。由图 3 可知, 整个贮藏期间, 两种处理组鲜切甘蓝维生素 C 含量呈现下降趋势, CK 组下降较快。

分析原因可能是由于甘蓝被切片后破坏了原有的细胞组织结构, 导致了维生素 C 的流失^[24]。贮藏 6~12 d 期间生物保鲜剂组鲜切甘蓝维生素 C 含量下降缓慢, 其含量显著高于 CK 组 ($P < 0.05$), 其中 9 d 时, 两种处理组鲜切甘蓝维生素 C 含量大小排序为生物保鲜剂

>CK; 贮藏 12 d 时, 保鲜剂处理组鲜切甘蓝维生素 C 含量最高为 26.23 mg/100 g。综上, 生物保鲜剂可有效延缓鲜切甘蓝维生素 C 含量的下降。

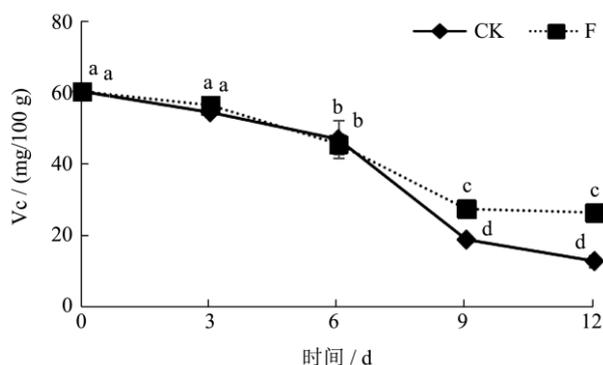


图 3 生物保鲜剂对鲜切甘蓝维生素 C 含量的影响

Fig.3 Effect of biological antistaling agent on Vc content of fresh-cut cabbage

注: 图中不同小写字母代表在 5% 水平上显著差异, 下同。

2.5.3 生物保鲜剂对鲜切甘蓝还原糖含量的影响

生物保鲜剂对鲜切甘蓝还原糖含量的影响见图 4。由图 4 可知, 整个贮藏期间鲜切甘蓝还原糖含量总体呈现下降趋势, 生物保鲜剂处理组鲜切甘蓝还原糖含量显著高于 CK 组 ($P < 0.05$)。CK 组在贮藏期间还原糖含量下降幅度最大, 贮藏 12 d 时 CK 组还原糖含量最低为 17.72 mg/g, 仅为初始时的 66.94%; 生物保鲜剂处理组鲜切甘蓝还原糖含量为 18.92 mg/g, 显著高于 CK 组 ($P < 0.05$)。分析原因可能是由于菠萝蛋白酶和 ϵ -聚赖氨酸具有抑菌作用, 抑制了微生物的活性, 从而降低了鲜切甘蓝还原糖含量的流失^[25,26]。综上, 生物保鲜剂处理相比 CK 对延缓鲜切甘蓝还原糖含量下降效果更好。

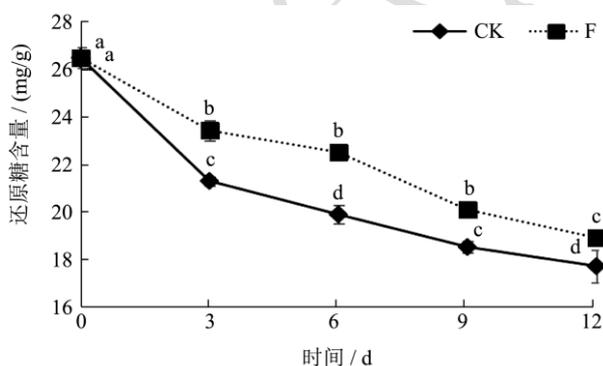


图 4 生物保鲜剂对鲜切甘蓝还原糖含量的影响

Fig.4 Effect of biological antistaling agent on reducing sugar content of fresh-cut cabbage

2.5.4 生物保鲜剂对鲜切甘蓝叶绿素含量的影响

生物保鲜剂对鲜切甘蓝叶绿素含量的影响见图 5。由图 5a 可知, 随着贮藏时间的不断延长, 两种处理组鲜切甘蓝叶绿素 a 含量均呈下降趋势, 整个贮藏期间

生物保鲜剂处理组叶绿素 a 含量均超过了 CK 处理组。贮藏 12 d 时, 生物保鲜剂组叶绿素 a 含量为 6.08 mg/kg, 显著高于 CK 组 ($P < 0.05$)。图 5b 为保鲜期间鲜切甘蓝叶绿素 b 含量变化情况, 随着时间延长, 两种处理组叶绿素 b 含量均呈下降趋势, 其中 CK 组显著低于其他组 ($P < 0.05$) 由于叶绿素主要的一个降解途径是酶促降解, 木瓜蛋白酶具有抑制酶促反应的作用, 分析原因可能是木瓜蛋白酶抑制了鲜切甘蓝叶绿素的酶促降解, 从而抑制了叶绿素分解^[27]。综上, 生物保鲜剂可有效延缓鲜切甘蓝叶绿素含量的下降。

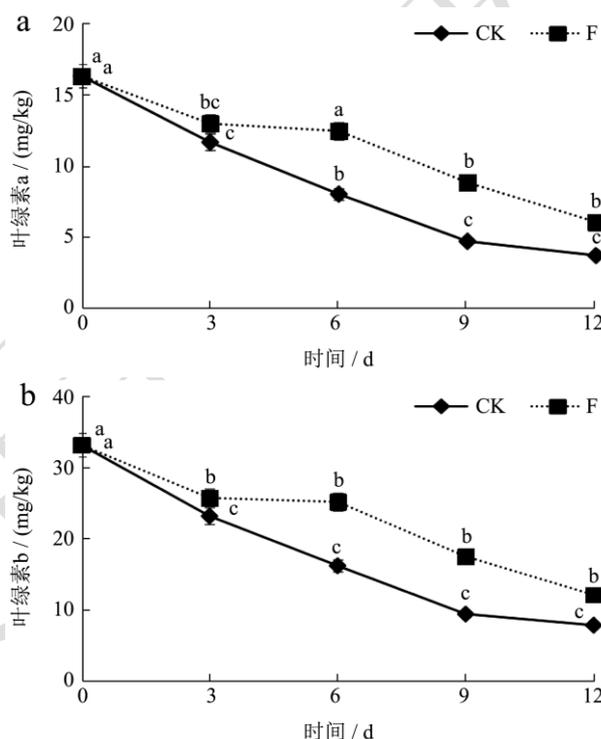


图 5 生物保鲜剂对鲜切甘蓝叶绿素含量的影响

Fig.5 Effect of biological antistaling agent on pigment content of fresh-cut cabbage

3 结论

实验证明了生物保鲜剂对鲜切甘蓝具有显著的保鲜效果。本实验根据单因素实验及响应面方差分析三种生物保鲜剂对鲜切甘蓝的感官品质的影响顺序为: ϵ -聚赖氨酸 > 菠萝蛋白酶 > 木瓜蛋白酶。通过研究确定了鲜切甘蓝的生物保鲜剂的最佳配方为 0.3% 木瓜蛋白酶、0.3% 菠萝蛋白酶和 0.1% ϵ -聚赖氨酸。根据优化后的生物保鲜剂配方进行鲜切甘蓝贮藏实验, 并测定贮藏其鲜切甘蓝的还原糖、叶绿素和维生素 C 三种营养指标。贮藏 12 d 时, 生物保鲜剂处理组鲜切甘蓝维生素 C 含量为 26.23 mg/100 g, 还原糖含量为 18.92 mg/g, 叶绿素 a 含量为 6.08 mg/kg, 叶绿素 b 含量分别为 12.25 mg/kg; CK 组维生素 C 含量为

12.56 mg/100 g, 还原糖含量为 17.72 mg/g, 叶绿素 a 含量为 3.74 mg/kg, 叶绿素 b 含量分别为 8.03 mg/kg。综上所述, 优化后的生物保鲜剂配方可提高对鲜切甘蓝的感官品质和贮藏效果, 为促进鲜切甘蓝的生物保鲜剂应用提供参考依据。

参考文献

- [1] 王冉冉, 娄茜茜, 陈存坤, 等. 速冻低温保鲜处理对鲜切甘蓝品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(5): 25-31.
- [2] 王佳宇, 管玉格, 王怡, 等. 切分方式对鲜切花椰菜品质和抗氧化活性的影响[J]. 包装工程, 2022, 43(3): 87-95.
- [3] 陈岩, 徐学万, 杨慧, 等. 鲜切蔬菜微生物污染来源及控制措施研究[J]. 农产品质量与安全, 2017, 6: 76-81.
- [4] Markovic S, Milosevic J, Djuric M D, et al. One-step purification and freeze stability of papain at acidic pH values [J]. Archives of Biological Sciences, 2021, 73(1): 57-64.
- [5] Tacias-Pascacio V G, Castañeda-Valbuena D, Morellonsterling R, et al. Bioactive peptides from fisheries residues: A review of use of papain in proteolysis reactions [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 184: 415-428.
- [6] 谢冬娣, 李丹梅, 龚振维. 木瓜蛋白酶复合剂抑制淮山酶促褐变的应用[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(24): 179-182.
- [7] Santos D I, Martins C F, Amaral R A, et al. Pineapple (*Ananas comosus* L.) by-products valorization: novel bio ingredients for functional foods [J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2021, 26(11): 3216.
- [8] Chakraborty A J, Mitra S, Tallei T E, et al. Bromelain a potential bioactive compound: A comprehensive overview from a pharmacological perspective [J]. Life, 2021, 11(4): 317.
- [9] 徐畅, 于基成, 刘秋. 微生物源食品保鲜剂的研究进展[J]. 包装工程, 2021, 42(13): 9-20.
- [10] 李妍. ϵ -聚赖氨酸与双醛纤维素交联物的制备及抑菌活性研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2020.
- [11] LI Yana, YE Qingqing, HOU Wenfu, et al. Development of antibacterial ϵ -polylysine/chitosan hybrid films and the effect on citrus [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 118: 2051-2056.
- [12] SHAO Zhipeng, YANG Yi, FANG Sheng, et al. Mechanism of the antimicrobial activity of whey protein- ϵ -polylysine complexes against *Escherichia coli* and its application in sauced duck products [J]. International Journal of Food Microbiology, 2020, 328: 108663.
- [13] Grzegorzewska Ma, Ewab, Szczech M, et al. The effect of hot water treatment on the storage ability improvement of fresh-cut Chinese cabbage [J]. Scientia Horticulturae, 2022, 291: 110551.
- [14] Huangy C, Yang Y H, Sridhar K, et al. Synergies of modified atmosphere packaging and high-voltage electrostatic field to extend the shelf-life of fresh-cut cabbage and baby corn [J]. LWT, 2021, 138: 110559.
- [15] Song H, Lee J Y, Lee H W, et al. Inactivation of bacteria causing soft rot disease in fresh cut cabbage using slightly acidic electrolyzed water [J]. Food Control, 2021, 128: 108217.
- [16] 梁惜雯, 顾思彤, 姜爱丽, 等. 自发气调在鲜切果蔬包装中的应用研究进展[J]. 包装工程, 2020, 41(15): 8-13.
- [17] 胡云峰, 贾冬梅, 魏增宇. 海藻糖涂膜对鲜切苹果品质的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(7): 10-15.
- [18] 吴欣蔚. 真空预冷同步结合气调技术对叶类蔬菜保鲜的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- [19] 徐茂军, 马卫兴, 华士川. 钼蓝比色法测定食品中的还原型维生素 C[J]. 食品与发酵工业, 1993, 5: 38-41.
- [20] 郭敏亮. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定还原糖[J]. 江苏农学院学报, 1990, 2: 40.
- [21] 关文强, 张怡, 刘莉莉, 等. 不同颜色菜花生长过程中抗氧化活性与成分的变化研究[J]. 华北农学报, 2013, 28(6): 186-191.
- [22] 赵小芳. 鲜切马铃薯褐变调控技术研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [23] 张玉华, 孟一, 朱金峰, 等. 超声- ϵ -聚赖氨酸盐酸盐复合处理对鲜切苹果的保鲜作用[J]. 食品工业科技, 2022, 43(19): 238-245.
- [24] 张慧欣, 张红, 汪梦, 等. 壳聚糖、壳寡糖涂膜保鲜对鲜切菠萝品质的影响[J]. 中国果菜, 2021, 41(12): 1-6.
- [25] Jančiću, Gorgieva S. Bromelain and nisin: the natural antimicrobials with high potential in biomedicine [J]. Pharmaceutics, 2021, 14(1): 76.
- [26] 王小佳, 于有伟, 张少颖. ϵ -聚赖氨酸对樱桃采后病原菌橘青霉和链格孢菌的抑菌作用研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(4): 1301-1309.
- [27] 申悦, 田密霞. 1-MCP 处理对鲜切生菜在贮藏期间理化性质的影响[J]. 现代园艺, 2019, 5: 3-6.