

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.03.013

马赫, 李雅, 吴杰, 等. 复合生物保鲜剂对鲜湿面保鲜效果及其品质变化的影响[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(3): 125-131.

MA H, LI Y, WU J, et al. Influence of composite biopreservatives on the preservation effect and quality changes of fresh wet noodles[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(3): 125-131.

# 复合生物保鲜剂对鲜湿面保鲜效果及其品质变化的影响

马赫, 李雅, 吴杰, 李江珊, 刘常金✉

(天津科技大学 食品科学与工程学院, 天津 300457)

**摘要:** 鲜湿面由于含水量较高, 极易滋生微生物而腐败变质, 迅速失去食用价值。以常见生物保鲜剂壳聚糖、乳酸链球菌素(Nisin)和茶多酚为材料, 通过正交实验进行优化组合, 研究复合生物保鲜剂对鲜湿面货架期及贮藏品质中品质变化的影响。结果表明: 添加0.25%壳聚糖、0.025% Nisin和0.012%茶多酚的组方可以延长鲜湿面的货架期达到48 h, 在室温和相对湿度60%环境中产品符合国家标准, 菌落总数小于5.0 lg(CFU/g), 风味良好。对照组样品在相同条件下, 12 h菌落总数超标, 吸水率下降26.07%, 失去食用价值。

**关键词:** 鲜湿面; 复合生物保鲜剂; 货架期; 品质

中图分类号: TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)03-0125-07

网络首发时间: 2024-05-09 15:12:24

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20240509.1209.032>

## Influence of Composite Biopreservatives on the Preservation Effect and Quality Changes of Fresh Wet Noodles

MA He, LI Ya, WU Jie, LI Jiang-shan, LIU Chang-jin✉

(College of Food Science and Technology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** Due to the high water content of fresh wet noodles, it is easy for microorganisms to breed and spoil, and quickly loses its edible value. The effect of composite biopreservatives such as chitosan, Nisin and tea polyphenols and their formula on shelf-life and storage quality of fresh wet noodles was investigated in this study. The results showed that the prescription 0.25% chitosan, 0.025% Nisin and 0.012% tea polyphenols can prolong the fresh wet noodles shelf-life to 48 hours under room temperature and relative humidity 60%, and the total number of colonies was less than 5.0 lg(CFU/g), which complied with national standards. However, under the same conditions, the total number of colonies of CK group have exceeded the national standard within 12 hours and the water absorption rate decreased by 26.07%

收稿日期: 2023-10-21

基金项目: 抗衰老中草药安徽省工程技术研究中心开放课题(FSKFKT006)

Supported by: Anti-aging Chinese Herbal Medicine in Anhui Province Engineering Technology Research Center Open Subject (No. FSKFKT006)

作者简介: 马赫, 女, 1997年出生, 硕士, 研究方向为农产品保鲜物流与加工。E-mail: 2648850097@qq.com

通讯作者: 刘常金, 男, 1969年出生, 博士, 副教授, 研究方向为粮食油脂及农产品保鲜物流与加工。E-mail: cjliu@tust.edu.cn

whose edible value was lost.

**Key words:** fresh wet noodle; composite biopreservative; shelf-life; quality

生鲜面为最低限度加工食品且没有经过严格热处理、没有化学防腐剂而且储存方便<sup>[1]</sup>, 故在全球范围内广受欢迎<sup>[2]</sup>。面条天然风味和质地加工过程中略有变化, 使鲜面在味道和营养成分上比传统的干面和速炸面更具优势。但是较高的水分会导致面条迅速变质, 引起味道和白度变化甚至导致鲜面发酸、发霉, 使得货架期缩短, 不易开拓市场, 成为阻碍鲜面工业化生产的严重问题。

壳聚糖具有出色的抗菌活性、可食用性和无毒性<sup>[3]</sup>。有研究报道称将壳聚糖添加于虾、猪肉片、草莓可以明显延长货架期<sup>[4]</sup>。Lin 等<sup>[5]</sup>使用 Nisin 应用于牛肉, 保鲜效果较好, 不影响牛肉的色泽与质地。Alhatim 等<sup>[6]</sup>将茶多酚添加到方便面中, 保质期从 9 天延长到 3 个月。Zhao 等<sup>[7]</sup>利用壳聚糖-Nisin-茶多酚复配保鲜猪肉, 结果表明细菌数量显著减少。目前由于新型生物保鲜剂的抑菌机理仍在探索阶段, 成本较高未能广泛应用于市场, 寻求多种保鲜剂复配不仅扩大抑菌范围而且增强抑菌效果。对于探究壳聚糖-Nisin-茶多酚复配保鲜面条以及研究其在贮藏过程中的品质变化报道较少。

本研究主要采用壳聚糖、Nisin、茶多酚作为保鲜剂, 探究三者复配对生鲜面的保鲜效果以及在 25 °C 贮藏过程中的菌落总数、白度、蒸煮特性、质构与挥发性气味的变化, 明确复配保鲜剂可以抑制鲜面腐败, 为鲜面工业化生产提供理论基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

小麦粉(五得利, 其水分、蛋白质、脂肪和灰分分别为 12.5%、13%、1.20%、0.3%): 五得利面粉集团有限公司; 无水乙醇、葡萄糖、氯化钠(均为分析纯): 天津市江天化工技术股份有限公司; 琼脂、胰蛋白胨、酵母浸粉: 天津索罗门生物科技有限公司; 茶多酚: 天津瑞根特商贸有限公司; 壳聚糖、乳酸链球菌素: 河南万邦化工科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

和面机(MM-ESC1500): 广东美的生活电器制造有限公司; 压面机(QM-1): 常州墅乐厨具有限公司; 超净工作台(AlphaClean 1300): 力康精密科技(上海)有限公司; 生化培养箱(HPS-250): 哈尔滨市东联电子技术开发有限公司; 色差计(NR60CP+): 深圳市三恩时科技有限公司; 质构仪(TA-XT plus): 英国 Stable Micro Systems 公司; 电子鼻(PEN3): 德国 AIRSENSE 公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 生鲜面的制作

面条的制作参照 LS/T 3202—1993《面条用小麦粉》。按面粉质量计算, 称量 60% 去离子水和不同配比的生物保鲜剂加入面粉中, 将面粉倒入和面机, 和面机采用慢速 52 r/min 搅拌 4 min 后, 再用中速 73 r/min 搅拌 3 min, 成团之后揉搓成面团状, 取出面团用保鲜膜覆盖醒发 20 min, 使用压面机进行复合折叠压延, 至面片表面光滑无褶皱, 压延后切条, 最后切成宽长 2 mm × 20 cm 的面条。将所有样品分装于无菌包装袋进行密封, 在温度为 25 °C, 湿度条件为 60% 的环境下贮藏。

#### 1.3.2 微生物菌落总数的测定

参考 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物检验 菌落总数测定》方法测定贮藏期间鲜湿面菌落总数, 参考 NY/T 1512—2014《绿色食品 生面食米粉制品》中微生物限量, 检测阈值为 5 lg(CFU/g)。

#### 1.3.3 色差测定

色差参照 Li 等<sup>[8]</sup>的方法测定, 随机取同批样品中的三根生鲜面样品, 将其并排摆在水平桌面上, 不留空隙, 每隔一定时间用色差计测定颜色变化, 取三次数的平均值, 记录  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值的变化。 $L^*$  值、 $a^*$  值、 $b^*$  值分别代表黑白度、红绿度及黄蓝度, 其中  $L^*$  值越小说明样品越黑, 反之越白;  $a^*$  值越小说明样品越绿, 反之越红;  $b^*$  值

越小说明样品越蓝，反之越黄。

### 1.3.4 蒸煮特性测定

参照华燕菲<sup>[9]</sup>的方法，在不锈钢锅中加入 500 mL 蒸馏水，取 15 根长度为 15 cm，且外表均一的面条，称量生面条质量 ( $m_1$ )，蒸馏水沸腾后，将面条放入沸水煮 3 min，捞出并过冷水，称量煮熟面条质量 ( $m_2$ )。把面汤全部转移至 500 mL 容量瓶中，用蒸馏水定容，摇匀，取 100 mL 于恒重烧杯中 ( $m_0$ )，以 105 °C 烘箱烘干水分至恒重 ( $m_3$ )。吸水率和蒸煮损失率计算见式 (1)~(2)。浊度测定方法：定容好的面汤静置 15 min，取上清液于 720 nm 测吸光度。

$$\text{吸水率} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad \text{式 (1)}$$

式中： $m_1$  为煮前生面条质量 (g)； $m_2$  为煮熟面条质量 (g)。

$$\text{蒸煮损失率} = \frac{(m_3 - m_0) \times 5}{m_1 \times (1 - w)} \times 100\% \quad \text{式 (2)}$$

式中： $m_1$  为煮前生面条质量 (g)； $m_0$  为恒重烧杯质量 (g)； $m_3$  为蒸煮残渣质量 (g)； $W$  为煮前面条水分含量质量分数 (%)。

### 1.3.5 煮熟面条质构特性测定

参照李曼<sup>[10]</sup>的方法，并作以下修改：25 根新鲜面条 (20 cm，平均重量 0.8 g) 煮至最佳蒸煮时间 3 min，并浸入冷水中 30 s 擦干表面多余水分，用保鲜膜覆盖，取三根面条平行放置于载物台上，5 min 内完成质构特性测试。使用参数如下：压缩比 80%，间隔时间 5 s，测前速度 2.0 mm/s，测试速度 1.0 mm/s，测后速度 1.0 mm/s，触发模式 5 g。

### 1.3.6 煮熟面条感官评价

参考 NY/T 1512—2014 《绿色食品 生面食米粉制品》，由 8 人组成评分小组对色泽 (10 分)、表观状态 (10 分)、适口性 (20 分)、韧性 (25 分)、粘性 (25 分)、光滑性 (5 分)、食味 (5 分) 等内容进行评分，满分 100 分 (表 1)。

表 1 生鲜面感官评分标准

Table 1 Sensory scoring standard of fresh noodles

项目	满分/分	含义	评分标准
色泽	10	指面条的颜色和亮度	面条洁白光亮为 8.5~10 分；面条呈奶白色 6~8.4 分；亮度发暗、发灰为 1~5.9 分
表观状态	10	指面条表面光滑和膨胀程度	表面结构细密、光滑为 8.5~10 分；表面结构组织较细密为 6.0~8.4 分；表面粗糙、膨胀、变形严重为 1~5.9 分
适口性	20	用牙咬断一根面条所需力的大小	力适中得分为 17~20 分；稍偏硬或软 12~16 分；太硬或太软 1~11 分
韧性	25	面条在咀嚼时，咬劲和弹性的大小	有咬劲、富有弹性为 22~25 分；咬劲和弹性适中为 15~21 分；咬劲差、弹性不足为 1~14 分
粘性	25	指在咀嚼过程中，面条粘牙强度	咀嚼时爽口、不粘牙为 22~25 分；较爽口、稍粘牙为 15~21 分；不爽口、发粘为 1~14 分
光滑性	5	指在品尝面条时口感的光滑程度	光滑为 4.3~5 分；光滑程度适中为 3~4.2 分；光滑程度差为 1~2.9 分
食味	5	指品尝时的味道	具麦清香味 4.3~5 分；基本无异味 3~4.2 分；有异味为 1~2.9 分

### 1.3.7 挥发性气味的测定

参照孙莹<sup>[11]</sup>的方法，并稍加修改。

## 1.4 数据处理

采用 origin Pro 2021 以及 SPSS Statistics 25.0 对实验数据进行处理及显著性统计分析，结果表示为平均值±标准差， $P < 0.05$  表示数据间差异显著，且所有实验重复 3 次。

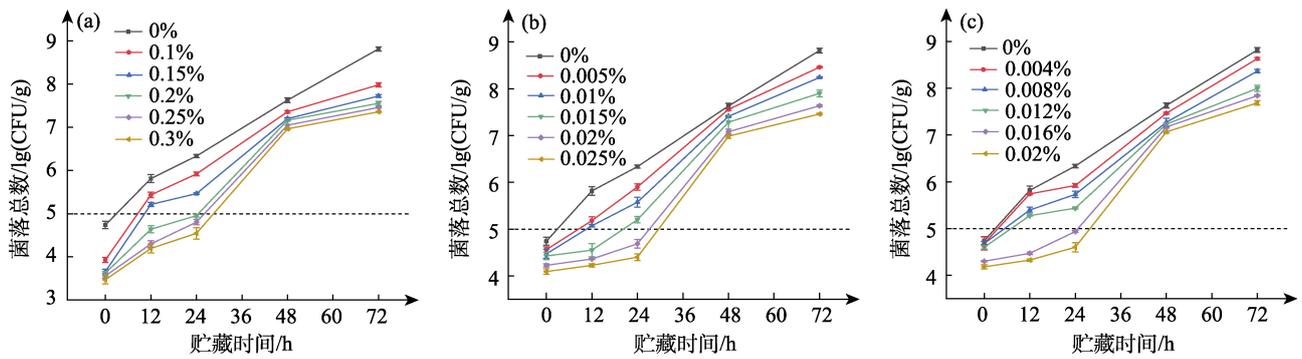
## 2 结果与分析

### 2.1 壳聚糖、Nisin、茶多酚对生鲜面菌落总数的影响

根据前期预实验与国标中规定壳聚糖、Nisin、茶多酚的最大添加量确定保鲜剂添加范围。如图 1 所示，贮藏期间所有样品的菌落总数均呈快速增长趋势，贮藏 12 h 时，对照组菌落

总数已超过阈值失去食用价值。同一贮藏时间内,添加保鲜剂的菌落总数仍没有超过阈值。如图 1-a 所示壳聚糖对生鲜面的抑菌效果最好,不同浓度(0.2%、0.25%、0.3%)和对照组相比延长了货架期,随着壳聚糖浓度的增加,更多的伯氨基参与细菌细胞膜的相互作用,干扰正常的膜

功能,从而抑制微生物活性<sup>[12]</sup>。图 1-b 所示 Nisin 添加量为 0.02%、0.025% 时,在贮藏 24 h 时菌落总数未超过国家标准。图 1-c 所示茶多酚的抗菌机制包括细胞正常的生理和形态变化、蛋白质合成和表达的障碍<sup>[13]</sup>,使其菌落总数降低,贮藏期延长至 24 h。



注: a-壳聚糖添加量; b-Nisin 添加量; c-茶多酚添加量。

Note: a-Addition of Chitosan; b-Nisin addition; c-Addition of tea polyphenols.

图 1 保鲜剂添加量对生鲜面菌落总数的影响

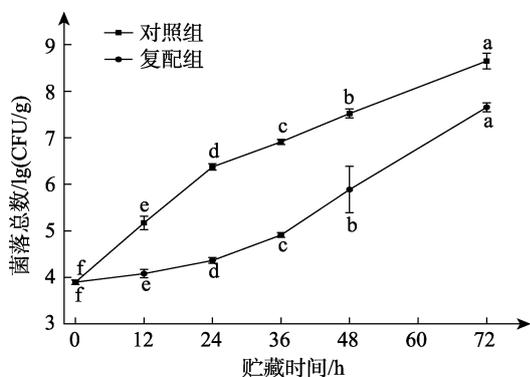
Fig.1 Effect of preservative addition on the total number of colonies in fresh noodles

## 2.2 生鲜面在最佳配方条件下贮藏期的确定

将生鲜面中添加最优配方(前期实验进行壳聚糖、Nisin、茶多酚单因素实验,利用正交实验对复合保鲜剂添加量进行优化,筛选出最优配方为 0.25% 壳聚糖、0.025% Nisin、0.012% 茶多酚)在 25 °C 贮藏条件下测定微生物的变化,如图 2 所示复配组的菌落总数明显低于对照组,对照组在贮藏 12 h 超过国家标准而复配组在 48 h 时才超过限量。

## 2.3 生鲜湿面贮藏过程中色差的变化规律

颜色被认为是面条适销性的重要决定因素,而鲜湿面颜色的变化主要是面粉中的多酚氧化酶(PPO)引起的酶促褐变<sup>[14]</sup>,鲜湿面在 25 °C 贮藏条件下的变化如表 2,在贮藏过程中,对照组与复配组的  $L^*$  逐渐降低,贮藏 48 h 后复配组  $L^*$  值下降 21.4 而对对照组  $L^*$  值下降 28.55,说明添加复配保鲜剂可以减缓褐变的发生。在贮藏过程中复配组与对照组的  $a^*$  值显著上升 ( $P < 0.05$ ) 且复



注: 同一折线图中的小写字母上标在  $P < 0.05$  时显著不同。

Note: The lowercase letters in the same line chart were marked differently when  $P < 0.05$ .

图 2 最佳处理组微生物数量与贮藏时间的关系

Fig.2 Relationship between the number of microorganisms in the best treatment group and storage time

表 2 鲜湿面贮藏过程中色差的变化

Table 2 Color change of fresh and wet noodles during storage

样品类型	贮藏时间/h	$L^*$	$a^*$	$b^*$
对照组	0	79.20±0.42 <sup>a</sup>	0.66±0.01 <sup>b</sup>	17.66±0.28 <sup>c</sup>
	12	75.03±1.24 <sup>a</sup>	0.68±0.01 <sup>b</sup>	20.56±0.22 <sup>b</sup>
	24	64.23±2.72 <sup>b</sup>	0.71±0.02 <sup>b</sup>	22.00±0.76 <sup>b</sup>
	48	50.65±0.69 <sup>c</sup>	0.77±0.01 <sup>a</sup>	23.70±0.78 <sup>a</sup>
复配组	0	77.83±0.13 <sup>a</sup>	-0.93±0.01 <sup>d</sup>	9.67±2.49 <sup>a</sup>
	12	74.00±1.20 <sup>b</sup>	0.74±0.01 <sup>c</sup>	9.79±0.09 <sup>a</sup>
	24	63.87±0.87 <sup>c</sup>	0.97±0.02 <sup>b</sup>	10.76±0.21 <sup>a</sup>
	48	56.43±1.44 <sup>d</sup>	1.15±0.04 <sup>a</sup>	12.45±1.41 <sup>a</sup>

注: 同一列中对照组与复配组不同的上标字母显著不同, 差异  $P < 0.05$ 。

Note: In the same column, the different superscript letters of the control group and the compound group were significantly different ( $P < 0.05$ ).

配组  $a^*$  值大于对照组, 这可能与天然色素有关, 复配组中有茶多酚影响了生鲜湿面的颜色。原样和复配组的  $b^*$  值在贮藏过程中逐渐上升, 但复配组  $b^*$  值低于对照组说明在贮藏过程中保鲜剂的添加可以提高鲜面的白度。

## 2.4 生鲜面贮藏过程中蒸煮特性的变化

鲜湿面条的吸水率和损失率可以用来评估面条筋道感、硬度、弹性和滑口感<sup>[15]</sup>。如表 3 所示, 在贮藏 48 h 后, 与对照组相比添加保鲜剂的鲜面吸水率较高 (从  $56.64\% \pm 0.69\%$  升至  $69.06\% \pm 1.28\%$ ), 损失率较低 (从  $8.97\% \pm 0.02\%$  降至  $7.36\% \pm 0.14\%$ ), 浊度降低 ( $0.42 \pm 0.01$  NTU 降至  $0.11 \pm 0.01$  NTU)。结果表明, 鲜湿面条在贮藏过程中面筋质量不断下降, 蛋白质结构及淀粉组成发生变化, 使得鲜湿面条在蒸煮过程中对水的容纳力降

表 3 鲜湿面在贮藏过程中蒸煮特性的变化  
 Table 3 Changes of cooking characteristics of fresh and wet noodles during storage

样品类型	贮藏时间/h	吸水率/%	损失率/%	浊度/NTU
对照组	0	$82.71 \pm 2.05^a$	$4.79 \pm 0.28^c$	$0.04 \pm 0.01^c$
	12	$77.47 \pm 1.39^b$	$6.03 \pm 0.01^b$	$0.06 \pm 0.01^c$
	24	$70.96 \pm 0.99^c$	$7.83 \pm 0.09^a$	$0.10 \pm 0.02^b$
	48	$56.64 \pm 0.69^d$	$8.97 \pm 0.02^a$	$0.42 \pm 0.01^a$
复配组	0	$90.63 \pm 1.94^a$	$3.85 \pm 0.02^d$	$0.02 \pm 0.01^c$
	12	$79.94 \pm 0.30^b$	$5.70 \pm 0.08^c$	$0.04 \pm 0.02^c$
	24	$73.73 \pm 0.61^c$	$6.23 \pm 0.14^b$	$0.06 \pm 0.01^b$
	48	$69.06 \pm 1.28^d$	$7.36 \pm 0.14^a$	$0.11 \pm 0.01^a$

注: 同一列中对照组与复配组不同的上标字母显著不同, 差异  $P < 0.05$ 。

Note: In the same column, the different superscript letters of the control group and the compound group were significantly different ( $P < 0.05$ ).

表 4 鲜湿面贮藏过程中质构的变化

Table 4 Texture changes of fresh and wet noodles during storage

样品类型	贮藏时间/h	硬度/g	弹性	咀嚼性/g	回复性
对照组	0	$7\ 664.53 \pm 0.50^a$	$0.57 \pm 0.01^a$	$3\ 167.01 \pm 85.52^a$	$0.39 \pm 0.08^a$
	12	$6\ 735.56 \pm 4.18^b$	$0.58 \pm 0.05^a$	$2\ 994.60 \pm 1.42^b$	$0.34 \pm 0.01^{ab}$
	24	$5\ 030.88 \pm 14.84^c$	$0.51 \pm 0.02^a$	$1\ 674.05 \pm 39.07^c$	$0.33 \pm 0.02^{ab}$
	48	$1\ 753.49 \pm 45.14^d$	$0.34 \pm 0.01^b$	$223.29 \pm 14.21^d$	$0.20 \pm 0.07^b$
复配组	0	$7\ 526.00 \pm 1.27^a$	$0.67 \pm 0.12^a$	$1\ 897.28 \pm 1.95^a$	$0.21 \pm 0.06^{ab}$
	12	$6\ 814.60 \pm 1.20^b$	$0.44 \pm 0.01^b$	$1\ 684.32 \pm 20.90^b$	$0.16 \pm 0.01^b$
	24	$5\ 348.99 \pm 38.19^c$	$0.46 \pm 0.03^b$	$2\ 048.11 \pm 25.91^c$	$0.26 \pm 0.01^a$
	48	$3\ 095.90 \pm 3.75^d$	$0.48 \pm 0.01^b$	$594.81 \pm 1.42^d$	$0.17 \pm 0.03^{ab}$

注: 同一列中对照组与复配组不同的上标字母显著不同, 差异  $P < 0.05$ 。

Note: In the same column, the different superscript letters of the control group and the compound group were significantly different ( $P < 0.05$ ).

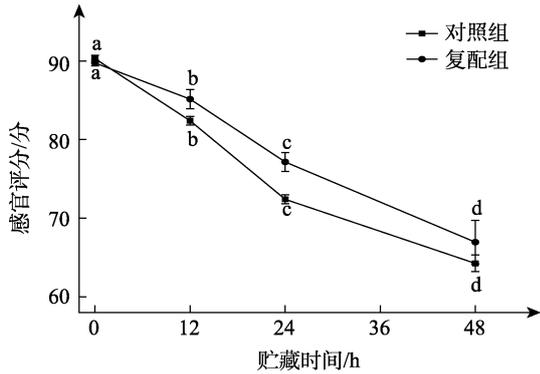
低<sup>[16]</sup>。鲜湿面条的蒸煮损失率逐渐上升, 这是因为微生物在贮藏过程中的大量繁殖破坏了生鲜湿面的面筋结构, 蛋白质结构发生变化。但添加保鲜剂的鲜面在贮藏 48 h 后吸水率比对照组高 4.5%, 损失率降低 0.67%, 浊度低于对照组, 说明添加保鲜剂可以提高鲜面的品质。

## 2.5 煮熟面条质构特性测定

如表 4 所示, 在 25 °C 贮藏 48 h 后, 对照组与复配组弹性和回复性变化不显著 ( $P > 0.05$ ), 与对照组相比, 添加保鲜剂的鲜面硬度 (从  $7\ 526.00 \pm 1.27$  g 至  $3\ 095.90 \pm 3.75$  g) 和胶粘性 ( $3\ 526.43 \pm 14.93$  g.sec 至  $1\ 342.37 \pm 55.19$  g.sec) 以及咀嚼性 (从  $1\ 897.28 \pm 1.95$  g 至  $594.81 \pm 1.42$  g) 都有所降低, 结果显示在贮藏过程中微生物对面筋网络的破坏使得未添加保鲜剂的鲜湿面条各项指标都呈现下降趋势, 而添加保鲜剂的鲜面可以抑制微生物的生长防止其腐败变质, 这与 Man Li 等<sup>[17]</sup>研究结果一致。复配组各项指标的下降趋势都比对照组低, 因为壳聚糖对蛋白质具有吸附絮凝作用, 麦谷蛋白与麦醇溶蛋白通过形成面筋网络结构, 可以提升面团的筋力、硬度<sup>[18]</sup>。

## 2.6 生鲜湿面在贮藏过程中感官评价的变化规律

如图 3 所示, 在贮藏过程中面条逐渐失去光泽, 出现发酸、发黏等品质劣变现象。复配组的综合指标比对照组高, 因为复配组可以抑制微生物的生长, 使其在贮藏期间品质提高, 但是食味有所下降, 原因是 Nisin 具有独特的微苦味,



注：同一折线图中小写字母上标在  $P < 0.05$  时显著不同。

Note: The lowercase letters in the same line chart were marked differently when  $P < 0.05$ .

图 3 生鲜湿面在贮藏过程中感官评价的变化

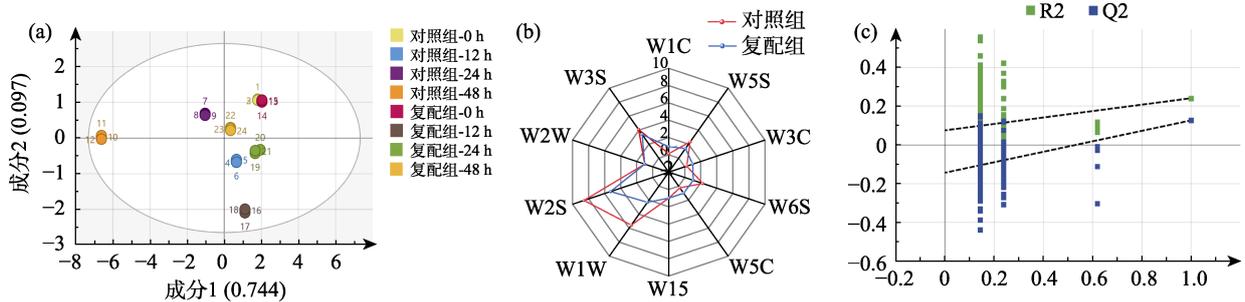
Fig.3 Changes of sensory evaluation of fresh wet noodles during storage

当添加量比较大时，这种味道就比较明显，与面条麦香味的差异影响了鲜湿面的食味品质。

### 2.7 复配保鲜剂处理对生鲜面挥发性气味的影响

由图 4-a 所示，各组样品分析数据点分布在各

自区域，能明显的被区分开。贮藏 24 h 后，复配组均位于图的右半轴，而对照组分布于图的左半轴，在贮藏 48 h 后，对照组距离新鲜样品（贮藏 0 h）距离最远，鲜面变得发黏、有异味，而复配组距离贮藏 0 h 较近，由此可见当贮藏 48 h 后，鲜面已完全变质但添加保鲜剂的鲜面腐败程度低于对照组。如图 4-b 所示，在 10 个传感器中，贮藏 48 h 后复配组中的 W2S 与 W1W 明显低于对照组，说明添加保鲜剂可以抑制鲜面碳氢类及硫化物物质的生成。图 4-c 所示，自变量拟合指数 ( $R_x^2$ ) 为 0.842，因变量拟合指数为 ( $R_y^2$ ) 为 0.286，模型预测指数 ( $Q^2$ ) 为 0.539， $R^2$  与  $Q^2$  超过 0.5 表示模型拟合结果可以接受<sup>[19]</sup>。 $Q^2$  回归线与纵轴相交点小于 0，说明模型有效，认为该结果可用于鲜面添加复配保鲜剂在不同贮藏下香气的鉴别分析。综上，电子鼻技术可以较好的评价贮藏过程中保鲜剂对鲜面挥发性气味的影响，并且可以明显的区分出对照组与复配组。



注：a-OPLS-DA；b-贮藏 48 h 后雷达图；c-模拟交叉验证结果。W1C：对芳香性化合物敏感；W5S：对氮氧化物敏感；W3C：对氨类和芳香性化合物敏感；W6S：对氢气有选择性；W5C：对烯烃和芳香性化合物敏感；W1S：对烃类物质敏感；W1W：对无机硫化物敏感；W2S：对醇类物质敏感；W2W：对芳香化合物和有机硫化物敏感；W3S：对碳氢化合物敏感。

Note: a-OPLS-DA; b-Radar chart after storage for 48 h; c-Simulation cross-validation results. W1C: sensitive to aromatic compounds; W5S: sensitive to nitrogen oxides; W3C: sensitive to ammonia and aromatic compounds; W6S: selective for hydrogen; W5C: sensitive to olefins and aromatic compounds; W1S: sensitive to hydrocarbon substances; W1W: sensitive to inorganic sulfide; W2S: sensitive to alcohol; W2W: sensitive to aromatic compounds and organic sulfides; W3S: sensitive to hydrocarbons.

图 4 鲜面添加复配保鲜剂在不同贮藏时间的风味变化

Fig.4 Flavor changes of fresh noodles with compound preservatives during different storage time

## 3 结论

本文研究了 Nisin(0.025%)、壳聚糖(0.25%)、茶多酚(0.012%)复配对鲜湿面保鲜效果及挥发性风味变化，探究了鲜湿面条在 25 °C 贮藏过程中色差、质构、蒸煮特性、感官及挥发性风味的变化。结果表明：在贮藏过程中复配保鲜剂可有效抑制鲜湿面腐败变质，货架期从 12 h 延长到 48 h，说明壳聚糖-Nisin-茶多酚复配可以抑制细菌

的生长。 $L^*$ 值、 $b^*$ 值低于对照组，表明复配保鲜剂可以降低 PPO 的活性使其颜色变白变亮。由于微生物对面筋网络的破坏作用导致硬度、胶黏性、咀嚼性显著下降，但是添加保鲜剂的鲜面表面粘连现象明显低于对照组，这是由于壳聚糖对蛋白质的吸附絮凝作用使其网络结构不易松散。蒸煮特性显示鲜湿面条在贮藏期间面筋质量下降，蛋白质结构发生变化导致其吸水率降低，微生物的大量繁殖破坏了生鲜湿面的面筋结构，使得损失

率上升。添加保鲜剂的鲜面腐败程度低于对照组使得感官综合评价上升。复配组与对照组在不同贮藏时间下气味响应值没有重叠区域,因此可将鲜面在常温贮藏过程中气味变化进行较好的区分。本研究为壳聚糖-Nisin-茶多酚复配保鲜面条以及探究其在贮藏过程中的变化提供理论基础。

### 参考文献:

- [1] ANUMUDU C, HART A, MIRI T, et al. Recent advances in the application of the antimicrobial peptide nisin in the inactivation of spore-forming bacteria in foods[J]. *Molecules* (Basel, Switzerland), 2021, 26(18): 5552.
- [2] ZHANG L L, GUAN E Q, YANG Y L, et al. Impact of wheat globulin addition on dough rheological properties and quality of cooked noodles[J]. *Food Chemistry*, 2021, 362(2): 130170.
- [3] FLORZE M, GUERRA-RODRIGUEZ E, GAZON P, et al. Chitosan for food packaging: Recent advances in active and intelligent films[J]. *Food Hydrocolloids*, 2022, 124: 107328.
- [4] LIU X, LIAO W, XIA W. Recent advances in chitosan based bioactive materials for food preservation[J]. *Food hydrocolloids*, 2023, 140: 108612.
- [5] LIN L, LUO C, LI C, et al. A novel biocompatible ternary nanoparticle with high antibacterial activity: synthesis, characterization, and its application in beef preservation[J]. *Foods*, 2022, 11(3): 438.
- [6] ALHATIM R R, ALALNABI D I B, ALYOUNIS Z K, et al. Extraction of tea polyphenols based on orthogonal test method and its application in food preservation[J]. *Food Science and Technology*, 2022, 42: e70321.
- [7] ZHAO S, LI N, LI Z, et al. Shelf life of fresh chilled pork as affected by antimicrobial intervention with nisin, tea polyphenols, chitosan, and their combination[J]. *International Journal of Food Properties*, 2019, 22(1): 1047-1063.
- [8] LI M, ZHU K, GUO X, et al. Effect of water activity (aw) and irradiation on the shelf-life of fresh noodles[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2011, 12(4): 526-530.
- [9] 华燕菲. 低 GI 小米绿豆面条配方优化及其品质特性的研究 [D]. 河北经贸大学, 2020.  
HUA Y F. Study on formula optimization and quality characteristics of low GI millet mung bean noodles[D]. Hebei University of Economics and Business, 2020.
- [10] 李曼. 生鲜面制品的品质劣变机制及调控研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014: 15-16.  
LI M. Study on quality deterioration mechanism and regulation of fresh noodle products[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014: 15-16.
- [11] 孙莹, 苗榕芯, 江连洲. 电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析贮存条件对马铃薯面包挥发性成分的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(2): 222-228.
- SUN Y, MIAO R X, JIANG L Z. Analysis of the effect of storage conditions on volatile components of potato bread by electronic nose combined with gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food Science*, 2019, 40(2): 222-228.
- [12] WANG J, POTOROKO I, TSIRULNICHENKO L. Wood vinegar and chitosan compound preservative affects on fish balls stability[J]. *Food Bioscience*, 2021, 42(4): 101102.
- [13] YI S, LI J, ZHU J, et al. Effect of tea polyphenols on microbiological and biochemical quality of Collichthys fish ball[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2011, 91(9): 1591-1597.
- [14] ASENSTORFER R E, APPELBEE M J, MARES D J. Impact of protein on darkening in yellow alkaline noodles[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2010, 58(7): 4500-4507.
- [15] CAO Z, LIU Y, ZHU H, et al. Effect of soy protein isolate on textural properties, cooking properties and flavor of whole-grain flat rice noodles[J]. *Foods*, 2021, 10(5): 1085.
- [16] 李运通, 陈野, 李书红, 等. 生鲜面常温贮藏过程中的品质变化规律[J]. *食品科学*, 2017, 38(1): 258-262.  
LI Y T, CHEN Y, LI S H, et al. Quality changes of fresh noodles during storage at room temperature[J]. *Food Science*, 2017, 38(1): 258-262.
- [17] MAN LI, MA M, ZHU K X, et al. Delineating the physico-chemical, structural, and water characteristic changes during the deterioration of fresh noodles: Understanding the deterioration mechanisms of fresh noodles[J]. *Food Chemistry*, 2017, 216(1): 374-381.
- [18] CHEN H, GUO X N, ZHU K X. The effect of chitosan oligosaccharides on the shelf-life and quality of fresh wet noodles[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2023, 309: 120704.
- [19] YUN J, CUI C, ZHANG S, et al. Use of headspace GC/MS combined with chemometric analysis to identify the geographic origins of black tea[J]. *Food Chemistry*, 2021, 360(11): 130033. 

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。