

复配型护色剂对菠菜生鲜面贮藏品质的调控

赵迪¹, 温青玉^{1,2}, 张康逸^{1,2}, 周豫飞³, 王燕芳³, 张力争⁴

(1. 河南省农业科学院农副产品加工研究中心, 河南郑州 450002) (2. 河南省全谷物小麦制品加工国际联合实验室, 河南省全谷物鲜食加工工程技术研究中心, 河南郑州 450002) (3. 河南省安康食品科技研究院, 河南郑州 450006) (4. 洛宁云鹤食品有限公司, 河南洛宁 471700)

摘要: 本研究通过色差和感官评分为目标参数, 探讨复配型护色剂氯化钠、D-异抗坏血酸钠、叶绿素铜钠添加量对菠菜生鲜面色泽和品质的影响, 以及3种添加剂调控菠菜生鲜面色泽和品质的协同效应。研究表明在25℃和4℃下, 正交实验优化配方为D-异抗坏血酸钠添加量0.06%、叶绿素铜钠添加量0.015%、氯化钠添加量1.50%。由验证性实验可知, 在25℃和4℃的储藏温度下菠菜生鲜面中多酚氧化酶和过氧化酶的酶活力与对照组相比受到明显的抑制作用; 在25℃条件下储藏2 d菌落总数达到 $5.41 \pm 0.04 \lg(\text{CFU/g})$, 而4℃条件下储藏28 d内则在 $5.48 \lg(\text{CFU/g})$ 以下, 在同样贮藏时间下, 比对照组菌落总数少, 且4℃储藏环境更适合生鲜面的贮藏。同时, 在25℃条件下储藏3 d内最优组酸度为 1.47 mL/10 g , 在4℃条件下储藏21 d内其酸度为 1.23 mL/10 g , 均低于对照组。此外, 叶绿素含量和pH则都高于对照组, 说明提出的复配型护色剂对菠菜生鲜面贮藏过程中色泽和品质变化起到一定的积极作用。本研究通过复配型护色剂对菠菜生鲜面贮藏过程中色泽和品质变化的探讨, 为产品的护色、延长货架期等商业化发展提供理论支持。

关键词: 护色剂; 菠菜生鲜面; 贮藏品质; 色泽

文章编号: 1673-9078(2021)04-139-148

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.4.0804

The Regulation of a Compound Color-protecting Agent on the Storage Quality of Fresh Spinach Noodles

ZHAO Di¹, WEN Qing-yu^{1,2}, ZHANG Kang-yi^{1,2}, ZHOU Yu-fei³, WANG Yan-fang³, ZHANG Li-zheng⁴

(1.Center of Agricultural Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China) (2.Henan Province International Joint Laboratory for Whole Grain Wheat Processing, Province Whole Grain Fresh Food Processing Engineering Technology Research Center, Zhengzhou 450002, China) (3.Henan Ankang Food Science and Technology Research Institute, Zhengzhou 450006, China) (4.Luoning Yunhe Food Co. Ltd., Luoning 471700, China)

Abstract: In this study, the effects of the amounts of sodium chloride, sodium D-isoascorbate and sodium copper chlorophyll on the color and quality of fresh spinach noodles were investigated using color difference and sensory score as the target parameters, along with the synergistic effect of the three additives on the color and quality of spinach fresh noodles. The study showed that under the conditions of 25℃ and 4℃, the optimized formula obtained through the orthogonal experiments was: 0.06% of sodium D-isoascorbate, 0.015% of sodium copper chlorophyll, and 1.50% of sodium chloride. The confirmatory experiments revealed that at the storage temperature of 25℃ and 4℃, the activities of polyphenoloxidase and peroxidase in the fresh spinach noodles were significantly inhibited compared with the control group; the total number of bacterial colonies in fresh spinach noodles reached $5.41 \pm 0.04 \lg(\text{CFU/g})$ during the 2-day storage at 25℃, but below $5.48 \lg(\text{CFU/g})$ during the 28-day storage at 4℃; For the same storage time, the total number of colonies were lower than that of the control group

引文格式:

赵迪,温青玉,张康逸,等.复配型护色剂对菠菜生鲜面贮藏品质的调控[J].现代食品科技,2021,37(4):139-148

ZHAO Di, WEN Qing-yu, ZHANG Kang-yi, et al. The regulation of a compound color-protecting agent on the storage quality of fresh spinach noodles [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(4): 139-148

收稿日期: 2020-08-27

基金项目: 河南省农业科学院科技发展专项 (2019CY010); 百千万创新驱动助力工程企业关键技术协同创新项目 (豫科协发〔2019〕101号); 农业农村部农业科技创新能力条件建设小麦传统制品加工技术集成基地项目 (豫财建〔2017〕248号 2130106)

作者简介: 赵迪 (1990-), 女, 研究实习员, 研究方向: 农副产品加工

通讯作者: 张康逸 (1981-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 农副产品加工

while the storage environment at 4 °C seemed more suitable for storing fresh noodles. In the meantime, the acidity of the optimal group was 1.47 mL/10 g within the 3-day storage at 25 °C, and was 1.23 mL/10 g within the 21-day storage at 4 °C, both of which were lower than that of the control group. In addition, the chlorophyll content and pH were higher than those of the control group, indicating that the compound color-protecting agent proposed in this study has a positive effect on the color and quality changes of fresh spinach noodles during storage. In this study, the influences of the compound color-protecting agents on the color and quality changes of fresh spinach noodles during the storage process were examined, which provides a theoretical support for the commercial development of agents for product color protection and shelf-life extension.

Key words: color protection; fresh spinach noodles; storage quality; color

面条是我国人们生活中比不可缺少的主食,深受人们的喜爱。但近年来随着国家倡导绿色生活,人们的消费观念也发生了巨大的改变,饱腹已不是第一选择,营养、健康、品质则是人们的首选。菠菜具有丰富的膳食纤维和维生素,能够很好弥补传统面条中营养成分单一的缺点,而且制备出菠菜生鲜面因水分含量较高、色泽诱人、口感爽滑,具有很大的市场潜力^[1,2]。目前市面上的菠菜生鲜面在贮藏过程中面条的品质和褪色问题已经严重影响其品质,不利于长途运输和保存,因此制约其发展^[3,4]。因此,菠菜生鲜面贮藏期间色泽褐变问题成为产业化发展亟需解决的问题。

目前,菠菜生鲜面护色剂的研究主要集中在单一原料,缺乏复配型护色剂的研究。Ye Yili 等^[5]研究发现添加适度的氯化钠,面条的亮度会随之增加而增加;余远江^[6]等研究发现 D-异抗坏血酸钠和抗氧化剂维生素 C,不仅可以抑制果蔬面条中的褐变,还可以优化生鲜面的风味,改善生鲜面的色泽。但目前市面上未发现氯化钠在菠菜生鲜面护色方面的研究,而且在使用单一的添加剂添加量较高,增加了菠菜生鲜面的护色成本和安全隐患。叶绿素铜钠盐是叶绿素的衍生物,是一种稳定、安全天然食用色素^[7],可以在菠菜生鲜面护色过程中使用。因此,针对菠菜生鲜面的护色效果及生产成本方面的技术瓶颈,利用护色剂的协同效应开发菠菜生鲜面的复配型护色剂,不仅能够节约成本和无安全风险而且也能够提高护色效果。

因此,本实验以氯化钠、D-异抗坏血酸钠和叶绿素铜钠盐为主要护色剂,在 25 °C 和 4 °C 贮藏期进行研究,旨在寻求最佳的护色配方,并通过测定多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)的活性、叶绿素、pH、酸度和菌落总数进行验证,以提高菠菜生鲜面贮藏的品质,为菠菜生鲜面产业化提供理论参考和依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

冻干菠菜粉,龙海优联食品有限公司;小麦粉,

金龙鱼高筋麦芯粉;食用酒精,河南天冠企业集团有限公司;食盐,河南省卫群多品种盐有限公司;D-异抗坏血酸钠,百勤异 VC 钠有限公司;叶绿素铜钠,浙江一诺生物科技有限公司;三氯甲烷、氢氧化钠、甲醇、乙醇、丙酮、邻苯二酚、碳酸钠、二水磷酸二氢钠、十二水磷酸氢二钠、没食子酸、过氧化氢、平板计数琼脂培养基、孟加拉红培养基等均为分析纯。

1.2 仪器与设备

MTJ30 台式面条机,广州旭众食品机械有限公司;B10-B 型和面机,如东嘉华食品机械;A590 双光束紫外可见分光光度计,翱艺仪器有限公司;AL204 分析天平,梅特勒-托利多有限公司;YXQ-LS 立式压力蒸汽灭菌器,上海博讯医疗生物仪器股份有限公司;SPX-250B-Z 型生化培养箱,上海博讯医疗生物仪器股份有限公司;PHS-3C 型 pH 计,上海雷磁仪器厂;CS-580A 分光测色仪,杭州彩谱科技有限公司;TMS-Pro 质构分析仪,美国 FTC 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 菠菜生鲜面的工艺流程

菠菜生鲜面的制备工艺如下:

小麦粉+菠菜粉+盐+护色剂+水+食用酒精→和面→熟化→压片→切条→装袋

制面前所有器具用食用酒精进行消毒。以面粉为基数,添加菠菜粉、食盐、护色剂、饮用水、食用酒精,充分混合后,进行和面,熟化 20 min,以利于面絮充分吸水。在面条机上反复压片以形成薄厚均匀、平整光滑、组织细密厚度约 0.7 mm 的面片,进行切条、装袋^[5]。

1.3.2 菠菜生鲜面的贮藏条件

制备的样品(100 g/袋),分别贮藏于 25 °C、4 °C 条件下,分别按一定时间间隔(25 °C 每隔 1 d;4 °C 每隔 7 d)取样进行各项指标的测定。

1.3.3 菠菜生鲜面护色配方正交实验

1.3.3.1 单因素实验

选取氯化钠添加量 0.00%、0.50%、1.00%、1.50%、2.00%，D-异抗坏血酸钠添加量 0.00%、0.04%、0.06%、0.08%、0.010%，叶绿素铜钠添加量 0.000%、0.005%、0.010%、0.015%、0.020%进行菠菜生鲜面护色实验。分别以其中一个因素为变量，其他因素不变，考察单个因素对菠菜生鲜面贮藏过程中品质的影响，选出不同因素的最优水平。

1.3.3.2 正交实验

以氯化钠、D-异抗坏血酸钠和叶绿素铜钠三因素为考察因素，根据单因素实验结果选择护色效果较好的 3 个水平，采用了 $L_9(3^3)$ 正交实验表对菠菜生鲜面的护色剂配方进行优化，并以褐变指数和感官评分的综合评分为评价指标，考察不同因素对菠菜生鲜面品质的影响。

1.3.4 菠菜生鲜面测定指标

1.3.4.1 色泽测定

参考徐国良^[8]和李华等^[9]方法，略作修改。将制作好的面条平铺放入分光测色仪上，取 6 个位置分别测定其 L^* 、 a^* 、 b^* 值，计算各自平均值。其中 L^* 表示面条颜色的亮度， L^* 值越大亮度越大； a^* 表示面条的红绿色值，正值越大偏向红色的程度越大，负值绝对值越大偏向绿色的程度越大； b^* 表示面条的黄蓝色值，正值越大偏向黄色的程度越大，负值绝对值越大

偏向蓝色的程度越大。以 ΔE 表示面条在某段时间的总体褐变程度^[10]，计算公式如下：

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

式中： ΔL^* 表示菠菜生鲜面不同时间段的 L^* 变化值； Δa^* 表示不同时间段的 a^* 变化值； Δb^* 表示不同时间段 b^* 变化值。

ΔE 表示面条在某时间段的总体褐变程度， ΔE 越大，表明某时间段内面条表观颜色变化愈明显，且 ΔE 值与人眼观察感觉之间的关系是：当 ΔE 值介于 1.0~3.0 时，感觉不到差异；当 ΔE 值处于 3.0~6.0 时，可以感觉到差异；当 ΔE 值位于 6.0~9.0 时，感觉到较显著的差异；当 ΔE 值落入 9.0~12.0 时，差异很明显；当 ΔE 值大于 12.0~15.0 时，感觉颜色完全不同^[11]。

1.3.4.2 感官评价测定

参考任顺成等^[12]和温青玉等^[13]方法，略作修改。量取 500 mL 饮用水于小锅中（直径 20 cm）煮沸，称取 50 g 面条样品，放入锅内，煮至面条芯的白色刚好消失，立即将面条捞出，用饮用水冲淋 10 s，放入盘中。由感官评价小组（5 位经过专业培训的人员组成）对菠菜面条的色泽、质地、食味、霉变等进行评价。感官评价采用 100 分制，当评分为低于 50 分（包括 50 分）时，面条出现酸味或霉变，不能食用。评价指标体现见表 1。

表 1 菠菜生鲜面感官评价标准

Table 1 Sensitive evaluation criteria of spinach fresh noodles

分值	色泽	质地	食味	有无菌点或霉点
80.1~100.00	具有蔬菜辅料颜色，有光泽	质地致密，光滑	具有浓厚菠菜清香味	无
50.1~80.0	浅绿色，面条亮度一般	质地较致密	菠菜香味较淡	无
30.1~50.0	色泽变暗，略有光泽	质地疏松，弹性差	无菠菜香味，有异味	有少量菌斑过霉点
0~30.0	发黄变暗，亮度差	表面粗糙，变性严重	有较大异味	有大量菌斑或霉点

1.3.4.3 PPO 活性测定

按照吴倩^[14]的方法，略有改动。称取 (1 ± 0.01) g 生鲜面，用 10 mL pH 6.0 的磷酸二氢钠-磷酸氢二钠缓冲溶液研磨匀浆。将匀浆液全部转入离心管中，以 4000 r/min 离心 20 min，上清液定容至 10 mL 容量瓶，即为粗酶液。将 2 mL 0.12 mol/L 邻苯二酚加入 8 mL pH 6.0 磷酸缓冲液中，再加入 2 mL 粗酶液，立即放入 37 °C 恒温磁力搅拌器中搅拌，氧化反应 20 min 后迅速放入 0 °C 冰水中，静置 3 min 终止反应，于波长 420 nm 下测定吸光度值，以不加酶提取液的反应液作对照。

1.3.4.4 POD 活性测定

称取生鲜面 (1 ± 0.01) g 加入 10 mL pH 6.0 的磷酸二氢钠-磷酸氢二钠缓冲溶液，冰浴研磨成匀浆，4 °C 下 4000 r/min 离心 15 min，上清液即为粗酶液。

0.1 mol/L pH 6.0 的磷酸缓冲液 50 mL 于烧杯中，加入愈创木酚溶液 28 μ L，磁力搅拌器加热搅拌使之完全溶解，冷却后加入 30% H_2O_2 19 μ L 混合，配制成反应液备用。20 μ L 酶液加 3 mL 反应液于比色皿中，在 470 nm 下每隔 1 分钟读数一次，共读三次，以每分钟吸光度变化值表示酶活力的大小。

1.3.4.5 叶绿素含量测定

依据 NY/T3082-2017 进行叶绿素含量的测定。

1.3.4.6 pH 测定

参照 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》进行测定。称取面条 25 g，置于 225 mL 纯水中，用酸度计测定 pH 值，即为面条的 pH 值。

1.3.4.7 酸度测定

参照 GB5009.239-2016《食品安全国家标准 食品酸度的测定》进行测定。

1.3.4.8 菌落总数测定

参照 GB4789.2-2016《食品安全国家标准 食品微生物检验 菌落总数测定》进行细菌菌落总数测定。

1.3.4.9 数据统计与分析

实验数据平行三次取平均值。采用 SPSS 16.0 统计处理数据处理, Origin 8.0 进行绘图处理。

2 结果与分析

2.1 菠菜生鲜面的护色优化

2.1.1 不同氯化钠添加量对菠菜生鲜面感官品质及褐变指数的影响

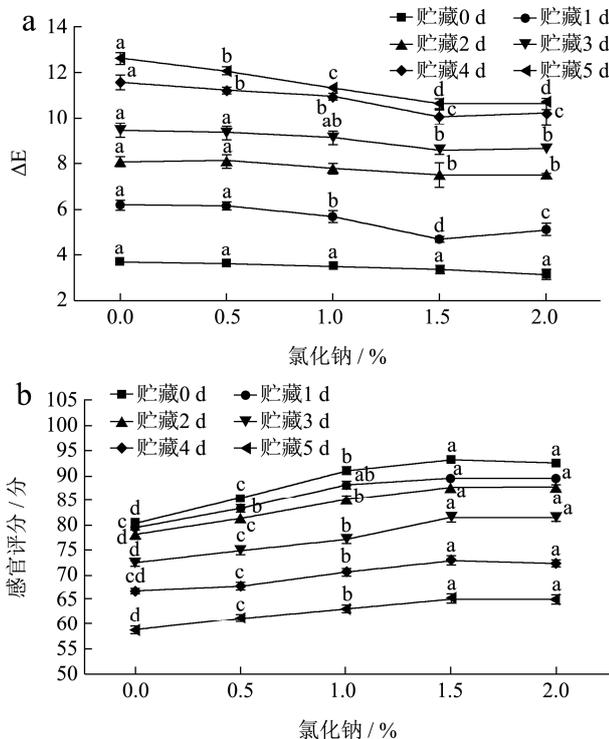


图1 在 25 °C下氯化钠添加量对菠菜生鲜面 ΔE 和感官评分的影响

Fig.1 Effect of sodium chloride addition at 25 °C on the ΔE and senses of fresh spinach noodles

氯化钠是一种常用的添加剂,在生鲜面中不仅能够促进面筋的收缩,增强面筋弹性,减少生鲜面断条,还能够抑制酶活性和抑制杂菌生长,防止酸败,且有调味作用^[5]。图1和图2分别表示25 °C和4 °C条件下,氯化钠添加量对菠菜生鲜面 ΔE 值和感官评分的影响。由图1和图2可知,在25 °C和4 °C贮藏过程中随着添加量的增加 ΔE 都有不同程度的减小,且在相同添加量不同贮藏时间,随着贮藏时间的增加,菠菜面条 ΔE 呈上升趋势,说明菠菜生鲜面褐变越严重。对比图1和图2可知,25 °C条件下生鲜面品质变化比4 °C条件下变化快,说明4 °C更适宜于生鲜面色泽的

稳定。在2种贮藏条件下,感官评分均呈现先上升后下降的趋势。当氯化钠的添加量<1.50%时,随着氯化钠添加量的增加感官评分呈上升趋势,添加量为1.50%时感官评分达到最高值,当氯化钠的添加量>1.50%时,随着氯化钠添加量的增加感官评分呈现下降趋势。这与徐国良^[8]的研究结果一致。综上所述,在同样贮藏温度和贮藏时间下,菠菜生鲜面中氯化钠添加量为1.50%时, ΔE 值最小,感官评分最高。其主要原因是氯化钠添加量太少时,面粉中的小麦蛋白中二硫键未充分形成,交联程度较低,面条韧性较低,面筋网络结构未充分形成,造成口感不筋道,但添加量过多时口感偏咸^[15,16],故食盐添加量1.50%为最佳。

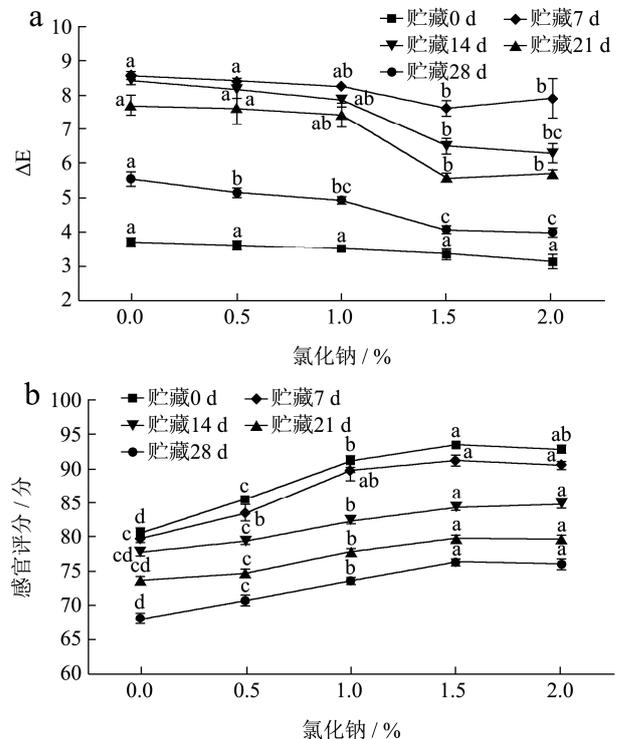
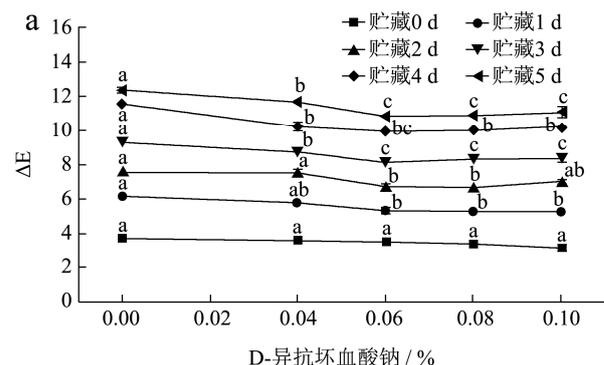


图2 在 4 °C下氯化钠添加量对菠菜生鲜面 ΔE 和感官评价的影响

Fig.2 Effect of sodium chloride addition at 4 °C on the ΔE and senses of fresh spinach noodles

2.1.2 不同 D-异抗坏血酸钠添加量对菠菜生鲜面品质的影响



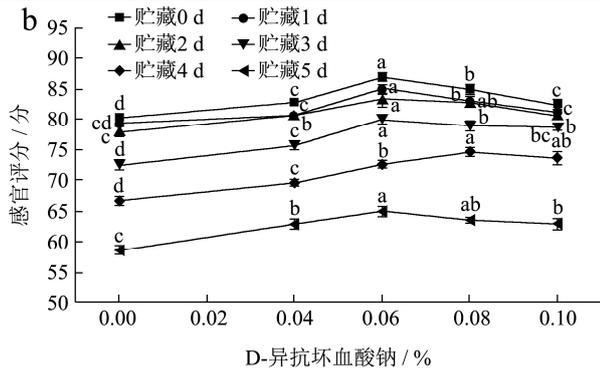


图3 在25 °C下D-异抗坏血酸钠添加量对菠菜生鲜面 ΔE 和感官评分的影响

Fig.3 Effect of D-Sodium isoascorbate addition at 25 °C on the

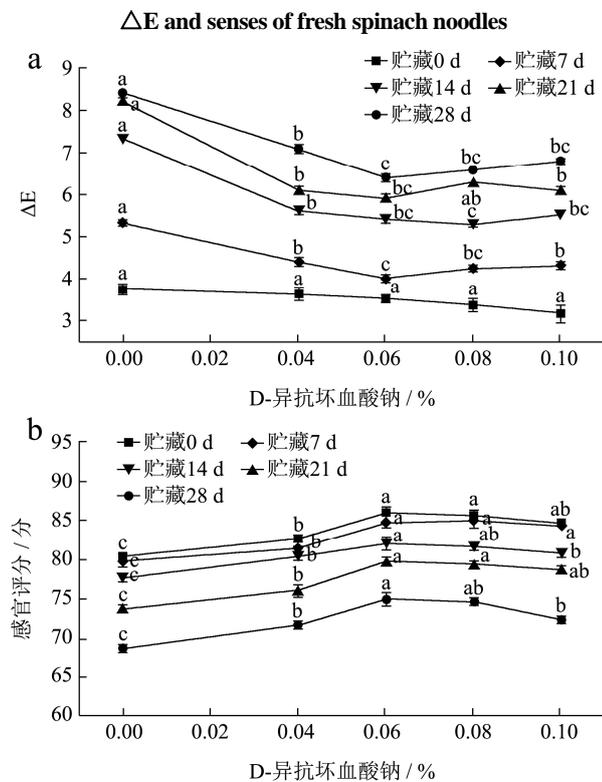


图4 在4 °C下D-异抗坏血酸钠添加量对菠菜生鲜面 ΔE 和感官评分的影响

Fig.4 Effect of D-Sodium isoascorbate addition at 4 °C on the ΔE and senses of fresh spinach noodles

D-异抗坏血酸钠护色效果较好,原因是它有较强的还原性^[17],有研究发现添加D-异抗坏血酸钠可控制山药加工过程中的色变^[18],而且对胡萝卜汁也有很好的护色作用^[19]。图3和图4分别表示在25 °C和4 °C的贮藏条件下,D-异抗坏血酸钠对菠菜生鲜面 ΔE 值和感官评分的影响。由图可知,在25 °C和4 °C贮藏过程中, ΔE 随着添加量的增加而逐渐变小,当D-异抗坏血酸钠的添加量>0.06%时, ΔE 的增长变化趋势逐渐减小,所以当D-异抗坏血酸钠的添加量为0.06%时, ΔE 值增长较小,菠菜生鲜面褐变程度较低。

随着D-异抗坏血酸钠添加量的增加,感官评分呈现先上升后下降的趋势。当D-异抗坏血酸钠的添加量<0.06%时,随着D-异抗坏血酸钠添加量的增加感官评分呈上升趋势,添加量为0.06%时感官评分达到最高值,当D-异抗坏血酸钠的添加量>0.06%时,随着氯化钠添加量的增加感官评分呈现下降趋势。综上所述,在同样贮藏温度和贮藏时间下,D-异抗坏血酸钠添加量为0.06%的菠菜生鲜面比其他添加量的生鲜面 ΔE 值增长较小,感官评价分值最高。

2.1.3 不同叶绿素铜钠添加量对菠菜生鲜面品质的影响

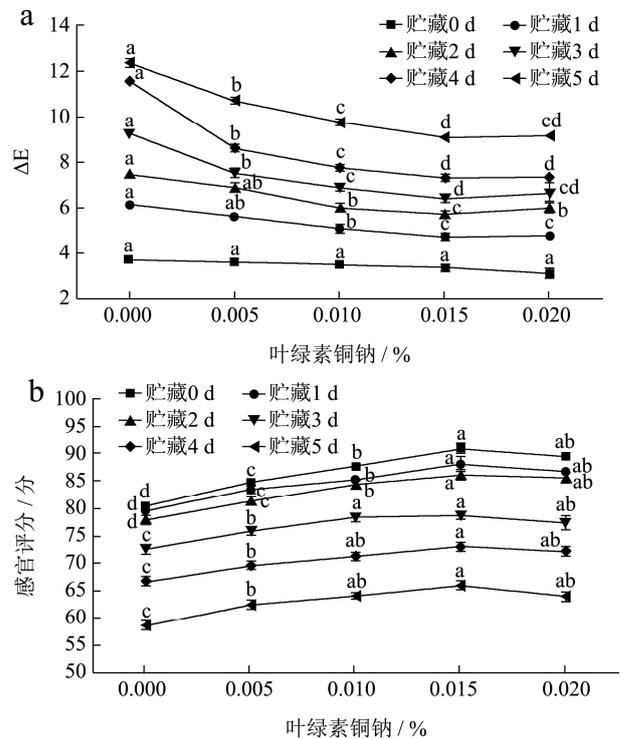


图5 25 °C下叶绿素铜钠添加量对菠菜生鲜面 ΔE 和感官评分的影响

Fig.5 Effect of sodium copper chlorophyll addition at 25 °C on the ΔE and senses of fresh spinach noodles

叶绿素铜钠盐是叶绿素的一种衍生物,是一种安全无毒的天然食用色素,而且叶绿素铜钠是我国食品添加剂中唯一允许使用的天然绿色色素,且铜离子浓度低于安全标准即可达到较理想的护色效果^[20]。图5和图6分别表示在25 °C和4 °C的贮藏条件下,叶绿素铜钠对菠菜生鲜面 ΔE 值和感官评分的影响。从图中可以看出贮藏期间 ΔE 值和感官评分都具有显著性差异($p < 0.05$),随着贮藏时间的延长, ΔE 值整体呈上升状态,感官评分整体呈下降状态,而在同一贮藏时间内, ΔE 随着叶绿素铜钠添加量的增加而减小。对比图5和图6可以看出,25 °C条件下生鲜面品质变化比4 °C条件下变化快,说明4 °C更适宜于生鲜面色泽的稳定。

在同样贮藏温度和贮藏时间下, 分析结果与陈灿等^[21]的研究结果相一致, 即叶绿素铜钠添加量为0.015%的菠菜生鲜面比其他添加量的生鲜面 ΔE 值变化小, 感官评价分值最高。

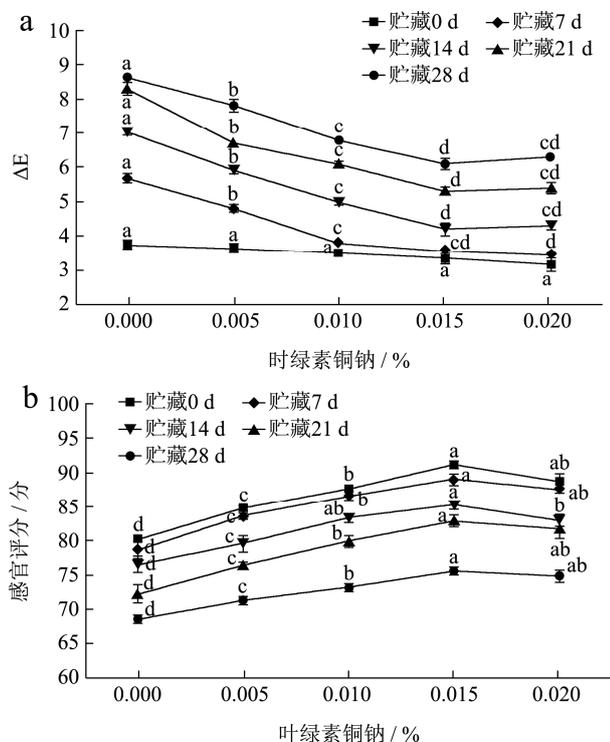


图6 4 °C下叶绿素铜钠添加量对菠菜生鲜面 ΔE 和感官评分的影响

Fig.6 Effect of sodium copper chlorophyll addition at 4 °C on the ΔE and senses of fresh spinach noodles

2.1.4 正交实验分析护色剂对菠菜生鲜面品质的影响

通过三种护色剂对菠菜生鲜面不同贮藏温度和贮藏时间品质的影响研究, 发现在25 °C贮藏4 d和在4 °C贮藏21 d后生鲜面品质较差。因此选取在该条件下, 以褐变指数和感官评分的综合评分为评价指标, 考察三种护色剂对菠菜生鲜面品质的影响。正交试验因素和水平见表2。

表2 正交因素水平表

因素水平	A (氯化钠/%)	B (D-异抗坏血酸钠/%)	C (叶绿素铜钠/%)
1	1.00	0.04	0.010
2	1.50	0.06	0.015
3	2.00	0.08	0.020

菠菜生鲜面25 °C贮藏4 d的正交结果见表3和表4。由表3可知, 影响菠菜生鲜面品质因素的大小顺序为D-异抗坏血酸钠>叶绿素铜钠>氯化钠。这说明D-异抗坏血酸钠添加量对菠菜生鲜面品质得分影响最

大, 其次是叶绿素铜钠, 氯化钠添加量影响最小。从各因素3个水平的均值可看出, A₂B₂C₂为最优组合, 并对最优组合进行验证, 综合得分77.58, 可得出最优组合为A₂B₂C₂, 即氯化钠添加量为1.50%、D-异抗坏血酸钠添加量为0.06%、叶绿素铜钠添加量为0.015%。由表4可知, 三个因素不同添加量均对面条综合评分的影响差异显著。

表3 25 °C贮藏4 d的菠菜生鲜面正交试验设计及结果

Table 3 Orthogonal test design and results of fresh spinach noodles in storage of 4 d at 25 °C

实验号	因素			ΔE	感官评分	综合评分
	A	B	C			
1	1	1	1	70.0	70.18	70.84
2	1	2	2	73.0	78.24	75.62
3	1	3	3	72.0	75.84	73.92
4	2	1	2	73.0	77.94	75.47
5	2	2	3	76.0	74.82	75.41
6	2	3	1	75.0	73.96	74.48
7	3	1	3	74.0	74.06	74.03
8	3	2	1	75.0	75.50	75.25
9	3	3	2	76.0	74.32	75.16
k1	73.46	73.45	73.52			
k2	75.12	75.43	75.42			
k3	74.81	74.82	74.45			
R	1.66	1.98	1.89			

主次顺序 B>C>A
最优水平 A₂B₂C₂

注: 综合评分是由 ΔE 和感官评分综合评定, 两者分值比例为1: 1。 ΔE 值1~3对应分值90~100分、 ΔE 值3~6对应分值80~90分、 ΔE 值6~9对应分值70~80分、 ΔE 值9~12对应分值60~70分、 ΔE 值12~15对应分值50~60分。

表4 25 °C贮藏4 d的菠菜生鲜面方差分析结果

Table 4 Analysis results of fresh spinach noodles in storage of 4 d at 25 °C

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	显著性
A	6.97	2	3.48	27.36	*
B	7.01	2	3.50	27.52	*
C	10.08	2	5.03	39.57	*
误差	0.25	2	0.12		

注: 用**表示极显著 ($p < 0.01$), 用*表示显著 ($p < 0.05$); $p > 0.05$ 为不显著。

菠菜生鲜面4 °C贮藏21 d的正交结果见表5和表6。通过对实验结果进行极差分析, 比较3个因素的极差R, 发现影响菠菜生鲜面品质因素的大小顺序为D-异抗坏血酸钠>叶绿素铜钠>氯化钠, 这与25 °C

贮藏条件下的结果一致。从各因素3个水平的均值可看出, A3B2C2为最优组合, 并对最优组合进行验证, 综合得分90.14, 可得出最优组合为A3B2C2, 即氯化钠添加量为2.00%、D-异抗坏血酸钠添加量为0.06%、叶绿素铜钠添加量为0.015%。由表4可知, 三个因素不同添加量对菠菜生鲜面综合评分的影响差异显著。

表5 4℃贮藏21 d的菠菜生鲜面正交试验设计及结果

实验号	因素			△E	感官评分	综合评分
	A	B	C			
1	1	1	1	83.0	82.68	82.84
2	1	2	2	85.0	90.14	87.57
3	1	3	3	86.0	83.28	84.64
4	2	1	2	84.5	87.34	85.92
5	2	2	3	85.0	88.86	86.93
6	2	3	1	86.0	83.96	84.98
7	3	1	3	85.0	85.36	85.18
8	3	2	1	86.0	87.72	86.86
9	3	3	2	87.0	88.30	87.65
k1	85.02	84.65	84.89	-	-	-
k2	85.94	87.12	87.05	-	-	-
k3	86.56	85.76	85.58	-	-	-
R	1.55	2.47	2.15	-	-	-
主次顺序			B>C>A			
最优水平			A3B2C2			

注: 综合评分是由△E和感官评分综合评定, 两者分值比

表7 菠菜生鲜面贮藏过程中PPO活力和POD活力的变化

Table 7 Changes of PPO and POD activity in the storage of fresh spinach noodles

贮藏温度/℃	贮藏时间/d	PPO/(U/g·min)		POD (U/g·min)	
		最优组	对照组	最优组	对照组
25	0	2.12±0.32 ^d	2.69±0.34 ^e	2.16±0.30 ^d	2.59±0.31 ^e
	1	2.86±0.34 ^c	3.82±0.31 ^d	3.04±0.31 ^c	3.83±0.30 ^d
	2	3.75±0.31 ^b	4.67±0.37 ^c	3.62±0.26 ^c	5.17±0.29 ^c
	3	5.12±0.29 ^a	5.54±0.27 ^b	4.87±0.28 ^b	6.05±0.17 ^b
	4	5.67±0.28 ^a	6.19±0.28 ^a	6.31±0.27 ^a	7.69±0.27 ^a
4	0	2.12±0.31 ^d	2.69±0.33 ^e	2.16±0.30 ^d	2.59±0.28 ^e
	7	2.66±0.28 ^{cd}	3.78±0.32 ^c	2.74±0.32 ^{cd}	3.68±0.30 ^d
	14	3.15±0.27 ^c	4.01±0.33 ^c	3.62±0.31 ^c	4.75±0.29 ^c
	21	4.33±0.29 ^b	5.35±0.31 ^b	4.68±0.33 ^b	5.83±0.28 ^b
	28	5.47±0.28 ^a	6.08±0.30 ^a	5.83±0.31 ^a	7.15±0.27 ^a

注: 平均值±标准差; 同一列英文字母上标不同表示均值之间存在显著性差异 ($p<0.05$)。

面条褐变是由氧化和非氧化反应引起的, 氧化或者酶促褐变是氧与酚类物质在PPO和POD等催化作用下发生的一种反应。国内外研究表明PPO是面制品发

例为1:1。△E值1~3对应分值90~100分、△E值4~6对应分值80~90分、△E值6~9对应分值70~80分、△E值9~12对应分值60~70分、△E值12~15对应分值50~60分。

根据在25℃和4℃条件下正交优化的结果, 食盐对护色不起主要作用, 且过度添加不利于健康, 因此确定在25℃和4℃条件下D-异抗坏血酸钠添加量为0.06%、叶绿素铜钠添加量为0.015%, 氯化钠添加量为1.50%。

表6 4℃贮藏21 d的菠菜生鲜面方差分析结果

Table 6 Analysis results of fresh spinach noodles in storage of 21 d at 4 °C

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	显著性
A	4.58	2	2.29	24.85	*
B	7.86	2	3.93	42.63	*
C	7.02	2	3.51	38.09	*
误差	0.18	2	0.09	-	-

注: 用**表示极显著 ($p<0.01$), 用*表示显著 ($p<0.05$); $p>0.05$ 为不显著。

2.2 验证实验

将正交试验得到的护色效果最优的护色剂添加量设为最优组, 以不添加护色剂的菠菜生鲜面作为对照组, 测定菠菜生鲜面在25℃和4℃贮藏条件下PPO活力、POD活力、叶绿素、pH、酸度和菌落总数等变化, 来验证复配护色剂的护色和品质变化效果。

2.2.1 菠菜生鲜面贮藏过程中PPO活力和POD活力的变化

生酶促褐变的主要因素, POD与面制品褐变也有关^[20,22]。菠菜生鲜面贮藏过程中PPO活力和POD活力的变化见表7。由表7可知, 在4℃条件下2种酶活力整体

低于25℃下的酶活力,卢帮贵^[23]研究表明低温可以有效抑制面团中PPO活性。酶活力越高对面条褐变程度影响越大,与王涛^[24]研究结果一致。在相同贮藏时间和条件下最优组的PPO活力和POD活力比对照组的低,说明复配型护色剂能有效抑制两种酶活力,减小生鲜面褐变程度。

2.2.2 菠菜生鲜面贮藏过程中叶绿素含量的变化

表8 菠菜生鲜面贮藏过程中叶绿素含量的变化

Table 8 Changes in chlorophyll content during storage of fresh spinach noodles

贮藏温度/℃	贮藏时间/d	叶绿素含量/(mg/g)	
		最优组	对照组
25	0	0.13±0.00 ^a	0.12±0.00 ^a
	1	0.11±0.01 ^b	0.11±0.00 ^b
	2	0.10±0.00 ^{bc}	0.09±0.00 ^{bc}
	3	0.10±0.00 ^c	0.09±0.00 ^c
	4	0.07±0.00 ^d	0.07±0.00 ^d
4	0	0.13±0.01 ^a	0.12±0.00 ^a
	7	0.12±0.01 ^b	0.11±0.01 ^b
	14	0.11±0.00 ^c	0.10±0.00 ^c
	21	0.10±0.00 ^d	0.09±0.00 ^d
	28	0.08±0.00 ^e	0.07±0.00 ^e

注:平均值±标准差;同一列英文字母上标不同表示均值之间存在显著性差异($p<0.05$)。

叶绿素是菠菜生鲜面中绿色的主要来源,但其化学性质极不稳定,叶绿素中心的镁可被H⁺取代,形成脱镁叶绿素,使菠菜生鲜面呈黄色或黄褐色,影响其

感官品质。加工过程中,添加某些金属离子能增加叶绿素的稳定性。目前研究应用最多的是用金属铜、锌、钙盐护色,如果用Cu²⁺、Zn²⁺、Ca²⁺取代Mg²⁺,则会形成更加稳定的叶绿素铜、锌、钙配位化合物,绿色就能更好地得到保存^[25]。菠菜生鲜面贮藏过程中叶绿素含量的变化见表8。菠菜生鲜面的叶绿素含量在贮藏过程中逐渐降低,从0.12 mg/g降至0.08 mg/g左右,4℃贮藏条件下的生鲜面叶绿素含量整体略高于25℃贮藏条件下的生鲜面叶绿素含量,这与Martins^[26]等的研究相似,贮藏温度高会导致叶绿素脱镁,贮藏温度低会形成金属-叶绿素化合物使菜豆颜色稳定。在25℃和4℃贮藏条件下,复配护色剂的添加对菠菜生鲜面中叶绿素含量有显著影响,能够明显延缓叶绿素降解的速度。最优组叶绿素含量整体高于对照组,可能是因为最优组护色剂中添加了叶绿素铜钠中Cu²⁺能取代Mg²⁺形成稳定的叶绿素铜配位化合物。叶绿素含量越高,菠菜生鲜面的色泽越绿。

2.2.3 菠菜生鲜面贮藏过程中pH值和酸度的变化

菠菜生鲜面贮藏过程中pH值和酸度的变化见表9。由表9可以看出,在25℃和4℃贮藏过程中,生鲜面的pH值逐渐降低,酸度逐渐上升。在25℃贮藏3d内,pH值显著下降、酸度显著增加,可能是由于生鲜面条贮藏期间微生物生长繁殖过程中发酵产酸引起^[27]。酸度的升高导致生鲜面有酸味,影响了菠菜生鲜面的品质。在相同贮藏时间和条件下,最优组的pH值比对照组下降慢,酸度值较对照组上升缓慢,推测复配护色剂对菠菜生鲜面的品质劣变起到了延缓作用。

表9 菠菜生鲜面贮藏过程中pH值和酸度的变化

Table 9 Changes in pH and acidity during storage of fresh spinach noodles

贮藏温度/℃	贮藏时间/d	pH值		酸度/(mL/10g)	
		最优组	对照组	最优组	对照组
25	0	6.41±0.09 ^a	6.29±0.02 ^a	0.67±0.06 ^e	0.95±0.06 ^e
	1	6.35±0.04 ^b	6.11±0.03 ^b	1.05±0.09 ^d	1.13±0.07 ^d
	2	6.21±0.03 ^c	5.96±0.02 ^c	1.28±0.11 ^c	1.40±0.09 ^c
	3	5.85±0.06 ^d	5.23±0.04 ^d	1.47±0.09 ^b	1.81±0.08 ^b
	4	5.31±0.07 ^e	4.56±0.10 ^e	1.63±0.13 ^a	2.08±0.06 ^a
4	0	6.41±0.09 ^a	6.29±0.02 ^a	0.67±0.06 ^e	0.95±0.06 ^e
	7	6.23±0.04 ^b	6.13±0.01 ^b	0.79±0.07 ^d	1.21±0.11 ^d
	14	6.18±0.02 ^c	6.01±0.03 ^c	0.91±0.06 ^c	1.44±0.03 ^c
	21	6.05±0.03 ^d	5.75±0.02 ^d	1.23±0.07 ^b	1.69±0.04 ^b
	28	5.84±0.04 ^e	5.43±0.05 ^e	1.34±0.08 ^a	1.87±0.01 ^a

注:平均值±标准差;同一列英文字母上标不同表示均值之间存在显著性差异($p<0.05$)。

2.2.4 菠菜生鲜面贮藏过程中菌落总数的变化

表 10 菠菜生鲜面贮藏过程中菌落总数的变化

Table 10 Changes of total number of colonies during storage of fresh spinach noodles

贮藏温度/℃	贮藏时间/d	菌落总数/lg(CFU/g)	
		最优组	对照组
25	0	4.33±0.01 ^e	5.35±0.01 ^{de}
	1	4.94±0.02 ^d	5.78±0.02 ^d
	2	5.41±0.04 ^c	6.34±0.01 ^c
	3	5.92±0.01 ^b	7.01±0.04 ^b
	4	6.01±0.03 ^a	7.78±0.02 ^a
4	0	4.33±0.01 ^e	5.35±0.01 ^e
	7	4.87±0.01 ^d	5.61±0.03 ^d
	14	4.92±0.03 ^c	5.88±0.01 ^c
	21	5.25±0.02 ^b	6.32±0.02 ^b
	28	5.47±0.01 ^a	6.74±0.04 ^a

注: 平均值±标准差; 同一列英文字母上标不同表示均值之间存在显著性差异 ($p < 0.05$)。

菠菜生鲜面贮藏过程中菌落总数的变化见表 10。25 ℃条件下最优组菌落总数在 2 d 内迅速增长至 2.57×10^5 CFU/g, 而生鲜面中的菌落总数超过 NY/T 1512-2007《绿色食品 生面食、米粉制品》^[28]中生面食菌落总数应 $\leq 3 \times 10^5$ CFU/g (5.48 lg(CFU/g)) 的要求时, 面条即达到变质标准。最优组菌落总数在 3 d 内增长至 (5.92±0.01) lg(CFU/g), 超过了变质标准。4 ℃条件下贮藏 28 d 内菠菜生鲜面最优组菌落总数均在 5.48 lg(CFU/g) 以下, 所以 4 ℃更适合生鲜面的贮藏。在同样贮藏时间下, 最优组比对照组菌落总数少, 产酸能力低, 酸度低, pH 值高, 生鲜面的品质较好。在 4 ℃条件下生鲜面的 pH 比 25 ℃条件下要高, 酸度低, 说明 4 ℃贮藏的生鲜面菌落总数较少, 产酸能力较弱。可推测 pH 值越低, 酸度越大, 对生鲜面的菌落总数的影响越大, 进而影响菠菜生鲜面的品质。

3 结论

本文通过研究菠菜生鲜面在 25 ℃和 4 ℃的贮藏过程中氯化钠、D-异抗坏血酸钠、叶绿素铜钠的添加量对其色泽和品质的影响, 利用单因素实验进行筛选, 以褐变指数和感官评分的综合评分为评价指标, 以正交设计法对三种添加剂进行优化, 发现影响菠菜生鲜面色泽和品质因素的最优配方为 D-异抗坏血酸钠添加量 0.06%, 叶绿素铜钠添加量 0.015%, 氯化钠添加量 1.50%。通过对优选出的复配护色剂进行验证性实验得出, 在 25 ℃和 4 ℃的储藏温度下菠菜生鲜面中多酚氧化酶和过氧化酶的酶活力与对照组相比受到明

显的抑制作用; 同时, 在相同贮藏时间下, 最优组比对照组菌落总数少, 得出 4 ℃储藏环境更适合生鲜面的贮藏; 且 25 ℃和 4 ℃的储藏温度下最优组酸度均低于对照组; 此外, 叶绿素含量和 pH 都高于对照组, 证明复配型护色剂对菠菜生鲜面贮藏过程中色泽和品质变化具有一定的积极作用。本研究为菠菜生鲜面的市场流通以及产品化提供了一定的科学依据。

参考文献

- [1] 冯国军, 刘大军. 菠菜的营养价值与功能评价[J]. 北方园艺, 2018, 10: 175-180
FENG Guo-jun, LIU Da-jun. The nutritional value and function evaluation of spinach [J]. Northern Horticulture, 2018, 10: 175-180
- [2] 张笑笑, 李瑜, 张利苹. 菠菜营养面条工艺研究[J]. 粮食加工, 2017, 42(1): 62-65
ZHANG Xiao-xiao, LI Yu, ZHANG Li-ping. Study on the technology of spinach nutritious noodles [J]. Food Processing, 2017, 42(1): 62 - 65
- [3] 王波, 孟资宽, 康建平, 等. 鲜湿面保鲜技术及护色技术的研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2017, 53(6): 85-89, 110
WANG Bo, MENG Zi-kuan, KANG Jian-ping, et al. Research progress in fresh-preservation technology and color protection technology of fresh wet noodles [J]. Food and Fermentation Technology, 2017, 53(6): 85-89, 110
- [4] 李洁, 朱科学. 生鲜面保鲜技术的研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2010, 10: 21-23
LI Jie, ZHU Ke-xue. Research progress of fresh noodle preservation technology [J]. Food and Feed Industry, 2010, 10: 21-23
- [5] Ye Yili, Zhang Yan, Yan Jun, et al. Effects of flour extraction rate, added water, and salt on color and texture of Chinese white noodles [J]. Cereal Chemistry, 2009, 86(4): 477-485
- [6] 余远江, 陈军, 李红柳, 等. 果蔬即食湿面加工工艺及护色变化研究[J]. 轻工科技, 2016, 2: 1-2, 15
YU Yuan-jiang, CHEN Jun, LI Hong-liu, et al. Research on the processing technology and color protection of fruit and vegetable instant wet noodles [J]. Light Industry Science and Technology, 2016, 2: 1-2, 15
- [7] 丁同英. 茭白叶中提取叶绿素制备叶绿素铜钠盐研究[J]. 齐鲁工业大学学报(自然科学版), 2017, 31(1): 29-32
DING Tong-ying. Study on the preparation of sodium copper chlorophyll by extracting chlorophyll from zizania leaves [J]. Journal of Qilu University of Technology (Natural Science Edition), 2017, 31(1): 29-32

- [8] 徐国良.绿茶生鲜面的品质调控研究[J].食品研究与开发,2014,35(8):19-22
XU Guo-liang. Study on quality control of green tea fresh noodles [J]. Food Research and Development, 2014, 35(8): 19-22
- [9] 李华,韩金玉,陆启玉,等.不同有机酸对鲜湿面护色效果的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版),2014,35(6):41-44
LI Hua, HAN Jin-yu, LU Qi-yu, et al. The effect of different organic acids on the color protection of fresh and wet noodles [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2014, 35(6): 41-44
- [10] 代昕.绿茶生鲜面的品质调控与保鲜研究[D].无锡:江南大学,2013
DAI Xin. Study on the quality control and preservation of green tea fresh noodles [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [11] 李里特.食品物性学[M].北京:中国农业出版社
LI Li-te. Food properties [M]. Beijing: China Agriculture Press
- [12] 任顺成,王涛,李翠翠.生鲜湿面条常温下的品质变化与防腐保鲜[J].河南工业大学学报(自然科学版),2010, 31(6): 6-10
REN Shun-cheng, WANG Tao, LI Cui-cui. The quality change and preservation of fresh wet noodles at room temperature [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2010, 31(6): 6-10
- [13] 温青玉,张康逸,赵迪,等.不同贮藏条件下菠菜生鲜面的品质分析[J].现代食品科技,2020,36(6):105-113
WEN Qing-yu, ZHANG Kang-yi, ZHAO Di, et al. Quality analysis of fresh spinach noodles under different storage conditions [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(6): 105-113
- [14] 吴倩,余元善,刘淑媚,等.橄榄多酚氧化酶和过氧化物酶的抑制剂筛选及其热失活动力学[J].现代食品科技,2019, 35(2):157-162
WU Qian, YU Yuan-shan, LIU Shu-mei, et al. Screening of inhibitors of olive polyphenol oxidase and peroxidase and their thermal inactivation kinetics [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(2): 157-162
- [15] 郭祯祥,姚显伟,刘东华,等.鲜湿面护色技术研究进展[J].粮食与饲料工业,2009,10:15-16
GUO Zhen-xiang, YAO Xian-wei, LIU Dong-hua, et al. Research progress of fresh and wet noodle color protection technology [J]. Food and Feed Industry, 2009, 10: 15-16
- [16] Kitabatake N, Megard D, Cheftel J C. Continuous gel formation by HTST extrusion-cooking: Soy proteins [J]. Journal of Food Science, 1985, 50(5): 1260-1265
- [17] 陆启玉,郭祀远,李炜.麦醇溶蛋白对湿面条品质的影响[J].河南工业大学学报,2010,31(1):1-3
LU Qi-yu, GUO Si-yuan, LI Wei. The effect of gliadin on the quality of wet noodles [J]. Journal of Henan University of Technology, 2010, 31(1): 1-3
- [18] Asenstorfer R E, Appelbee M J, Mares D J. Physical-chemical analysis of non-polyphenol oxidase (non-PPO) darkening in yellow alkaline noodles [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(12): 5556-5562
- [19] Siah S, Quail K J. Factors affecting Asian wheat noodle color and time-dependent discolouration-A review [J]. Cereal Chemistry, 2018, 95(2): 189-205
- [20] Asenstorfer R E, Appelbee M J, Mares D J. Impact of protein on darkening in yellow alkaline noodles [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(7): 4500-4507
- [21] 陈灿,张正竹,宛晓春.绿茶面条加工工艺优化及护色技术研究[J].食品工业科技,2012,33(17):184-189.
CHEN Can, ZHANG Zheng-zhu, YUAN Xiao-chun. Optimization of the manufacture processing and preserving coloration for green tea noodle [J]. Technology of Food Industry, 2012, 33(17): 184-189.
- [22] Jimenez A R, Hembndez E G, Villanova B G. Browning indicators in bread [J]. Journal of Agriculture Food Chemistry, 2000, 48: 4176-4181
- [23] 卢帮贵.鲜湿面条褐变控制技术研究[D].郑州:河南农业大学,2012
LU Bang-gui. Research on the browning control technology of fresh wet noodles [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2012
- [24] 王涛.生鲜湿面条的保鲜与品质改良研究[D].郑州:河南工业大学,2011
WANG Tao. Study on the preservation and quality improvement of fresh wet noodles [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2011
- [25] 周志娥,张小明,曾桃娟,等.葡萄糖酸锌用于艾叶护绿研究初报[J].西北农业学报,2007,16(5):167-170
ZHOU Zhi-e, ZHANG Xiao-ming, ZENG Tao-juan, et al. Preliminary report on the application of zinc gluconate to protect the green of mugwort leaves [J]. Northwest Journal of Agricultural Sciences, 2007, 16(5): 167-170

(下转第 130 页)