

配餐食品中绿叶蔬菜的护绿保脆工艺优化

余以刚¹, 伍惠仪¹, 胡郁汉², 李志成², 李秀华³, 肖性龙¹

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

(2. 广州酒家集团利口福食品有限公司, 广东广州 511442)(3. 华南理工大学化学与化工学院, 广东广州 510640)

摘要: 为解决配餐食品中绿叶蔬菜在较高温度($\geq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$)保存下变黄发软的问题, 提出了一种护绿保脆工艺。首先, 通过单因素试验探究碳酸氢钠浓度、抗坏血酸钙浓度、漂烫时长、氯化钙浓度、氯化钙浸泡时长对绿叶蔬菜色泽和硬度的影响, 然后采用因子设计筛选出碳酸氢钠浓度、漂烫时长和氯化钙浓度为显著性因素, 最后应用中心组合响应面法优化工艺条件。结果表明, 最佳工艺条件为: 碳酸氢钠浓度 0.4% (m/m), 抗坏血酸钙浓度 0.01% (m/m), 漂烫时长 50 s, 氯化钙浓度 0.1% (m/m), 氯化钙浸泡时长 35 min。常见的四种绿叶蔬菜在最佳工艺条件下高温保存 4 h 后, 色差值 Δa^* 均下降, 最低降至 -5.59 ± 0.33 , 叶绿素保留率最高提升了 170%, 护绿效果在保温的前 2 h 尤为明显, 而两种绿叶蔬菜的硬度有所提高, 最高提升至 $47.49 \pm 1.67\text{ N}$, 总体感官品质良好。此工艺能有效维持绿叶蔬菜的绿色色泽和较脆的口感, 为配餐食品中绿叶蔬菜的加工提供重要的技术支持。

关键词: 绿叶蔬菜; 护绿; 硬度; 响应面法; 叶绿素

文章编号: 1673-9078(2020)10-190-199

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.10.1206

Optimization of Processing Technology to Maintain Green and Firmness of Green Leafy Vegetables in Bento

YU Yi-gang¹, WU Hui-yi¹, HU Yu-han², LI Zhi-cheng², LI Xiu-hua³, XIAO Xing-long¹

(1. College of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2. Guangzhou Restaurant Group Likoufu Food Co., Ltd, Guangzhou 511442, China)

(3. College of Chemistry and Chemical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In this study, a processing technology to preserve green color and firmness was developed to solve the quality problem of blanched green leafy vegetables during thermal storing ($\geq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$). Firstly, the effects of sodium bicarbonate concentration, calcium ascorbate concentration, blanching time, calcium chloride concentration and immersing time on color and hardness of blanched green leafy vegetables were studied by single factor experiment. Secondly, factorial design was applied to select significant factors, including sodium bicarbonate concentration, blanching time and calcium chloride concentration. Finally, the processing conditions were optimized by response surface based on central composite design. The results showed that the optimal processing conditions were as follows: sodium bicarbonate concentration of 0.4% (m/m), calcium ascorbate concentration of 0.01% (m/m), blanching time of 50 s, calcium chloride concentration of 0.1% (m/m) and immersing time of 35 min. The optimal conditions were validated by four kinds of common green leafy vegetables. After thermal storage for 4 h, all color difference Δa^* decreased and the lowest one was -5.59 ± 0.33 , the highest retention rate of chlorophyll was 170%, this effect was most significant 2 hours before preservation. The firmness increased in two kinds of common green leafy vegetables, the highest firmness reached $47.49 \pm 1.67\text{ N}$. All green leafy vegetables showed good sensory quality under the optimal conditions. This processing technology can preserve the color and firmness of blanched green leafy vegetables effectively. The optimal processing conditions can provide important technical support for the processing of green leafy vegetables in bento.

引文格式:

余以刚, 伍惠仪, 胡郁汉, 等. 配餐食品中绿叶蔬菜的护绿保脆工艺优化[J]. 现代食品科技, 2020, 36(10): 190-199

YU Yi-gang, WU Hui-yi, HU Yu-han, et al. Optimization of processing technology to maintain green and firmness of green leafy vegetables in bento [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(10): 190-199

收稿日期: 2019-12-07

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0400805); 广东省重点研发计划项目 (2019B020212003)

作者简介: 余以刚 (1968-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品安全与质量控制

Key words: green leafy vegetables; green-keeping; firmness; response surfaces; chlorophyll

绿叶蔬菜是均衡膳食所必需的,它们富含矿物质、维生素和色素^[1],已被研究证实可通过减少活性氧和金属离子等自由基和改变体内氧的利用^[2,3],从而对缓解心血管疾病、慢性疾病、神经退化性疾病和某些类型的癌症^[1,4]有一定帮助。这些对疾病的有益作用,在某种程度上是得益于绿叶蔬菜中的抗氧化物质,包括酚类物质、类黄酮、 β -胡萝卜素、叶绿素和抗坏血酸^[1,5,6]。

绿叶蔬菜是配餐食品中的重要食材,漂烫是其主要的加工手段,也是去除农药残留和降低微生物污染的有效方法^[7]。经过漂烫的绿叶蔬菜始终需要在较高温度($\geq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$)下保存,以确保食品安全。但是,在这高温的加工和保存的过程中,蔬菜色泽严重发黄、质地变软,严重影响产品品质和降低消费者的食欲,导致中央厨房配餐食品生产鲜少使用绿叶蔬菜。现有的防褐变和保脆技术多见于真空袋装冷藏新鲜蔬菜、鲜切水果和瓜类,通过使用食品添加剂或优化工艺来实现护绿和保脆。李永新等^[8]发现鲜切苹果片浸泡 0.2 mol/L 的抗坏血酸钙 5 min 后,可保持 30 d 不褐变。Mola^[9]等使用 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的亚氯酸钠、氯化钙和抗坏血酸钙混合溶液浸泡鲜切苹果 3 min ,在 9 d 内延迟了褐变并保持了硬度。Sillveria^[10]等将加利亚瓜切片浸入 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的抗坏血酸钙、氯化钙、乳酸钙混合溶液(钙浓度为 0.4%) 中 1 min ,增加了组织中总钙的含量,从而保持了良好的硬度且不影响产品的感官质量。

目前,配餐食品中绿色蔬菜的护绿保脆工艺研究

在国内外尚未有见,本研究提出了一种配餐食品中绿叶蔬菜的护绿保脆的新工艺,通过单因素试验探究碳酸氢钠浓度、抗坏血酸钙浓度、漂烫时长、氯化钙浓度、氯化钙浸泡时长对漂烫绿叶蔬菜色泽和硬度的影响,最后应用中心组合响应面法得到最佳的护绿保脆工艺条件,为解决配餐食品中绿叶蔬菜的变黄发软问题提供了重要且可行的解决方案。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

春菜、小白菜、奶白菜、小绍菜,购自广州市龙口东华润万家超市;食品级碳酸氢钠、抗坏血酸钙、氯化钙,购自河南万邦实业有限公司;分析纯无水乙醇、丙酮,购自天津市百世化工有限公司。

1.2 仪器与设备

Mate Vue VS3200 成像分光光度计,美国 X-Rite 公司;TMS-PRO 食品物性分析仪,美国 Food Technology Corporation 公司;Spectrumlab 752s 紫外可见分光光度计,上海棱光技术有限公司;Legend Micro 17 微量离心机,美国 Thermo Scientific Fisher 公司;SHF-L60 微波盒饭加热回温设备,济宁凯锐自动装备有限公司;HP-65 食品保温箱,广州齐天冷链科技有限公司;GZX-9023 电热温鼓风干燥箱,上海博讯实业有限公司。

表 1 因子设计水平设置

Table 1 Experimental design of 2-level factorial design

编号	因素	单位	编码水平和实际水平	
			-1	+1
X_1	碳酸氢钠浓度	%, m/m	0.05	0.40
X_2	抗坏血酸浓度	%, m/m	0.01	0.04
X_3	漂烫时长	s	10	60
X_4	氯化钙浓度	%, m/m	0.10	1.0
X_5	氯化钙浸泡时长	min	10	60

表 2 CCD 响应面试验设计

Table 2 Experimental design of CCD-RSM

编号	因素	单位	编码水平和实际水平				
			$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
X_1	碳酸氢钠浓度	%, m/m	0.3	0.34	0.4	0.46	0.50
X_2	漂烫时长	s	10	22	40	58	70
X_3	氯化钙浓度	%, m/m	10	20	35	50	60

1.3 试验方法

1.3.1 配餐食品中绿叶蔬菜护绿保脆加工流程

将蔬菜清洗干净后切成 5~6 cm 长的小段, 在 45 °C 的氯化钙溶液中浸泡保脆, 然后在加有碳酸氢钠和抗坏血酸钙的沸水中进行漂烫护绿。漂烫后沥水, 称重装进饭盒, 放进微波加热回温设备, 控制复热后温度为 75~85 °C; 复热后在食品保温箱中保存 4 h。

1.3.2 单因素试验

研究碳酸氢钠浓度 (0.05%、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%, *m/m*)、抗坏血酸钙浓度 (0.005%、0.01%、0.02%、0.03%、0.04%, *m/m*)、漂烫时长 (10 s、20 s、40 s、60 s、80 s、100 s)、氯化钙浓度 (0.01%、0.05%、0.1%、0.2%、0.4%、1%, *m/m*)、氯化钙浸泡时长 (10、20、30、40、50、60 min) 五个因素对热烫绿叶蔬菜色泽和硬度的影响, 分别进行单因素试验。

1.3.3 因子设计

根据单因素试验结果, 选取出各因素具有显著差异的作用水平范围的最低值和最高值, 设为因子设计试验的低水平 (-1) 和高水平 (+1) (表 1), 以筛选出对绿叶蔬菜护绿保脆效果有显著影响的因素。

1.3.4 响应面优化设计

根据因子设计的试验结果, 以各因素的最佳取值作为中心组合设计 (CCD, Central composite design) 的中心值, 采用 CCD 响应面法对方差分析中得到的

显著因素的组合条件进行优化。试验因素水平见表 2~5。

1.3.5 色差的测定

采用成像分光光度计对样品进行色差测定, 选择 CIE 标准日光 D65-10 为照射光源。以新鲜叶为对照, 检测结果以色差值 a^* 来表示样品的偏红或偏绿程度, 当 Δa^* 为正值时表示颜色较红, 为负值时表示颜色较绿, 绝对值越大表示颜色越红或越绿。为减少样品本身带来的误差, 同一样品取三个不同部位进行测定取平均值作为一次试验的测定结果。

1.3.6 硬度的测定

采用 TPA (Texture profile analysis) 测定样品的硬度, 具体参数设置: 100 N 的压力感应元、直径为 2 cm 的圆柱形探头, 停留时间 5 s, 形变百分比 60%, 测试起始和后返回高度 10 cm, 测试前后速度 30 mm/min, 测试速度 40 mm/min, 触发力 0.1 N。

1.3.7 叶绿素含量的测定

参考 E.Ergun^[11]和胡秉芬^[12]等方法, 采用丙酮-乙醇 (体积比 1:1) 浸提法提取样品中的叶绿素, 分别在 663 nm 和 645 nm 处测量吸光度, 按照唐凤银^[13]修正的 Arron 公式计算其叶绿素 *a*、叶绿素 *b* 和总叶绿素含量。

1.3.8 感官评定

组织 10 名有经验的食品从业人员, 对验证试验中的四种绿叶蔬菜进行感官评定, 感官评定标准见表 3。

表 3 绿叶蔬菜感官评分标准

Table 3 Sensory evaluation standards of green leafy vegetables

评定项目				分值
色泽	气味	口感	滋味	
亮绿色	香味浓郁, 无异味	硬度适中, 咀嚼性强	味道好, 无苦涩味	20~25
深绿色	香味较浓郁, 无异味	硬度适中, 咀嚼性较强	味道较好, 无苦涩味	15~20
浅绿色	香味微弱, 无异味	硬度较差, 咀嚼性一般	味道一般, 无苦涩味	10~15
局部发黄	香味微弱, 有异味	硬度差, 咀嚼性一般	略微带苦涩味	5~10
严重发黄	无香味, 有异味	硬度差, 无咀嚼性	苦涩味明显	0~5

1.3.9 数据统计分析

每组试验重复三次, 结果以平均值±标准偏差表示。使用 Origin Pro 2018 对数据进行统计分析和绘图, 采用独立样本 T 检验进行均值检验, 采用单向方差分析 (ANOVA) 确定因素的影响显著性, 通过 Design Expert 8.0.6.1 进行因子设计和响应面的设计和分析。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验结果

由图 1a 和图 1b 可知, 绿叶蔬菜的色差值 Δa^* 随

着碳酸氢钠浓度和抗坏血酸浓度的逐渐升高先降低至最低值再升高, 其中当碳酸氢钠浓度为 0.4% (*m/m*), 或抗坏血酸钙浓度为 0.01% (*m/m*), 色差值达到最低值且为负值, 说明在此浓度下能起到显著的护绿效果, 绿叶蔬菜在高温保存 4 h 后依然保持绿色。

绿叶蔬菜变为黄褐色的主要原因是叶绿素的降解, 这与叶片衰老时颜色变化的原理相似, 其次是氧化酶引起的氧化褐变, 如多酚氧化酶、过氧化物酶。叶绿素降解的早期步骤, 是黄绿色的叶绿素 *b* 被叶绿素还原酶还原为蓝绿色的叶绿素 *a*^[14-16], 而导致叶绿素呈现褐色的关键步骤是随后叶绿素 *a* 脱镁形成褐色

的脱镁叶绿素 $a^{[17,18]}$ 。叶绿素吡咯环中的镁离子在酸性条件下,即使没有叶绿素酶的催化作用也极易被氢离子取代从而脱去镁离子 $^{[19,20]}$ 。因此,在碳酸氢钠形成的碱性条件下,叶绿素中的镁离子难以被游离的氢离子取代,起到了显著的护绿效果,而抗坏血酸则是通过其抗氧化作用,降低漂烫后残留的氧化酶的活性 $^{[21]}$,从而发挥一定的护绿作用。

延长漂烫时长色差值 Δa^* 仍为正值(图 1c),说明只通过漂烫无法完全防止绿叶蔬菜变黄,只能减缓变黄的程度,可能是由于虽然长时间的漂烫能使绝大部分酶类失活,能阻断有酶类参与的叶绿素降解途径,但无法防止叶绿素 a 脱镁。

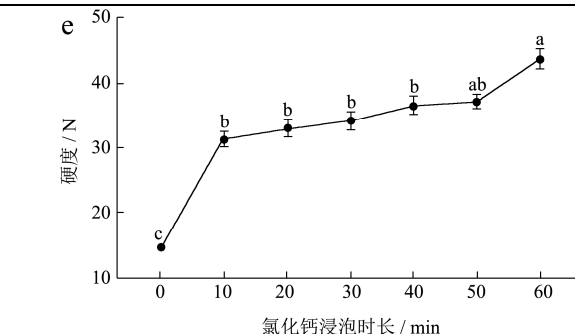
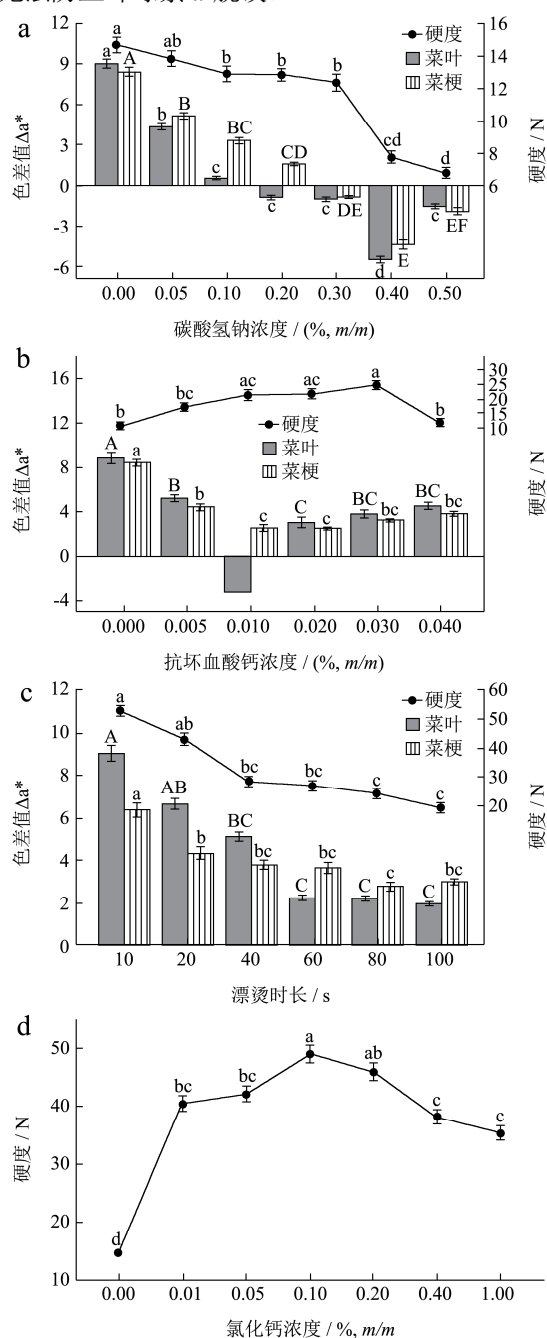


图1 碳酸氢钠浓度(a)、抗坏血酸钙浓度(b)、漂烫时长(c)、氯化钙浓度(d)和氯化钙浸泡时长(e)对绿叶蔬菜色差值 Δa^* 和硬度的影响

Fig.1 The effects of sodium bicarbonate concentration (a), calcium ascorbate concentration (b), blanching time (c), calcium chloride concentration (d) and immersing time (e) on the color difference and firmness of blanched green leafy vegetables

注: 字母不同表示差异显著 ($p < 0.01$ 或 $p < 0.05$), 字母相同表示差异不显著 ($p > 0.01$ 或 $p > 0.05$), 其中大写字母表示显著水平为 $p < 0.01$, 小写字母表示显著水平为 $p < 0.05$ 。

另一方面, 绿叶蔬菜的硬度与碳酸氢钠浓度、漂烫时长呈负相关关系, 在碳酸氢钠浓度高于 0.4% (m/m) 或漂烫时长多于 40 s 时, 硬度大大降低(图 1a, 1c)。蔬菜的质构变化与细胞壁组成成分的改变有关, 如半纤维素的降解、果胶物质的分解和溶解 $^{[22]}$, 这从而导致硬度的下降。果胶物质是一类结构复杂的酸性多糖类物质 $^{[23]}$, 包括原果胶、果胶酸和果胶酸。果胶物质很容易被植物自身的聚半乳糖醛酸酶和果胶裂解酶解聚成水溶性物质, 而碱性环境还能进一步促进果胶的溶解 $^{[24]}$ 。因此这很可能是碳酸氢钠会大大降低绿叶蔬菜的硬度, 的原因。在 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的温度下漂烫会导致植物组织结构的变化, 如细胞膜的破坏、半纤维素、纤维素和果胶网络的疏松以及细胞壁孔隙大小的变化 $^{[7,25]}$ 。

由图 1b 和图 1d 可知, 随着抗坏血酸钙浓度和氯化钙浸泡浓度的升高, 硬度先逐渐上升然后下降, 其中当抗坏血酸钙浓度为 0.03% (m/m), 或氯化钙浸泡时长为 0.10% (m/m) 时硬度达到最大值, 保脆效果最佳。与前人的研究结论不同 $^{[26,27]}$, 根据抗坏血酸钙的特性, 可推测是抗坏血酸钙的抗氧化能力阻碍了 ATP 氧化的能量生成反应 $^{[21]}$, 降低了酶类的活性, 缓解了果胶物质的解聚和溶解, 从而使硬度有所提高, 而不是通过游离出的钙离子进入蔬菜组织与果胶酸形成果胶-钙桥来达到保脆的效果。当氯化钙浓度超过 0.1% (m/m) 时, 硬度持续下降, 这可能是细胞外在

高渗透压条件下,细胞内的溶质和水分泄漏造成的^[22]。浸泡氯化钙溶液的时间越长,硬度越高(图1e),这是因为更有利于钙离子进入蔬菜组织,蔬菜中的果胶酸形成钙桥,使蔬菜的纤维-果胶网络结构更加牢固^[26]从而增强其硬度,充足的浸泡能发挥显著的保脆作用。

综合考虑各因素对绿叶蔬菜色差和硬度的影响,选取各因素的单向效应水平端值分别为:碳酸氢钠浓度0.05、0.4% (m/m),抗坏血酸钙浓度0.01、0.04% (m/m),漂烫时长10、60 s,氯化钙浓度0.10、1.0% (m/m),氯化钙浸泡时长10、60 min。

2.2 因子设计结果

试验结果见表4,通过方差分析得出显著影响因

素是碳氢酸钠浓度、漂烫时长和氯化钙浸泡时长。三个回归模型的显著性 p 值均小于0.01,调整决定系数 R^2_{adj} 均达到0.99以上,信噪比均高于30,说明三个回归模型极显著、拟合度高和响应灵敏,可对绿叶蔬菜护绿保脆的工艺条件进行预测分析,回归方程分别为:

$$\text{菜叶色差值 } \Delta a^* = -1.14 - 3.52X_1 + 0.13X_2 - 1.79X_3 - 0.12X_4 + 1.02X_5 + 0.6X_1X_2 + 1.29X_1X_3 + 0.15X_1X_4 + 0.41X_1X_5 + 0.047X_2X_3 - 0.072X_2X_4 + 0.24X_2X_5 + 0.062X_3X_4$$

$$\text{菜梗色差值 } \Delta a^* = 2.44 - 2.15X_1 - 1.69X_3 - 0.12X_4 + 0.069X_5 - 0.36X_1X_2 - 0.52X_1X_3 - 0.15X_1X_4 + 0.3X_1X_5 - 0.25X_2X_3 - 0.086X_2X_4 + 0.16X_2X_5 + 0.34X_3X_4 - 0.048X_3X_5 - 0.46X_4X_5$$

$$\text{硬度/N} = 39.69 - 0.61X_1 - 0.33X_2 - 13.11X_3 + 4.66X_5 + 0.34X_1X_2 - 2.41X_1X_3 - 2.83X_1X_4 + 1.9X_1X_5 + 1.9X_2X_3 - 1.2X_2X_4 + 2.73X_2X_5 + 1.22X_3X_4 + 1.64X_3X_5 + 1.67X_4X_5$$

表4 因子设计试验方案和结果

Table 4 Experimental design matrix (actual and coded) and results of factorial design

编号	因素和编码水平					响应值		
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	菜叶色差值 Δa^*	菜梗色差值 Δa^*	硬度/N
1	+1	+1	+1	+1	+1	-2.75	-2.44	34.09
2	-1	+1	+1	+1	-1	-2.19	4.45	23.74
3	-1	+1	-1	-1	-1	4.44	6.23	47.01
4	-1	+1	-1	+1	+1	5.39	5.56	55.96
5	+1	+1	+1	-1	-1	-6.07	-3.54	17.42
6	+1	+1	-1	+1	-1	-5.26	1.67	39.73
7	+1	-1	-1	-1	-1	-6.13	2.68	57.22
8	-1	-1	+1	-1	-1	-0.50	3.09	24.27
9	+1	-1	-1	+1	+1	-3.59	1.64	56.35
10	-1	+1	+1	-1	+1	-0.01	3.50	31.85
11	+1	-1	+1	+1	-1	-6.91	-1.10	15.69
12	+1	-1	+1	-1	+1	-4.91	-0.59	27.01
13	-1	-1	-1	-1	+1	6.66	5.76	45.88
14	-1	-1	-1	+1	-1	5.35	5.47	55.17
15	-1	-1	+1	+1	+1	-0.08	2.61	38.53
16	+1	+1	-1	-1	+1	-1.64	4.02	65.10

综合三个响应值,通过回归方程计算出各因素的最佳水平取整后为:碳酸氢钠浓度0.4% (m/m),抗坏血酸钙浓度0.01% (m/m),漂烫时长40 s,氯化钙浓度0.1% (m/m),氯化钙浸泡时长35 min。

2.3 响应面优化结果

2.3.1 回归模型和方差分析

试验结果见表5,通过方差分析得出三个回归模型的显著性 p 值均小于0.01,调整决定系数 R^2_{adj} 均达到0.90以上,信噪比均高于30,失拟项不显著

($p>0.05$),说明三个回归模型极显著、拟合度较高、响应灵敏和精确度高,可对绿叶蔬菜护绿保脆的工艺条件进行预测分析,回归方程分别为:

$$\text{菜叶色差值 } \Delta a^* = -4.65 - 1.95X_1 - 2.63X_2 + 0.17X_3 + 1.57X_1X_2 + 1.3X_1X_3^2 + 1.59X_2^2 + 0.5X_3^2$$

$$\text{菜梗色差值 } \Delta a^* = -2.24 - 1.13X_1 - 2.08X_2 + 0.53X_3 + 0.43X_1X_2 + 0.41X_1X_3 - 0.57X_2X_3 + 0.8X_2^2 + 1.52X_3^2$$

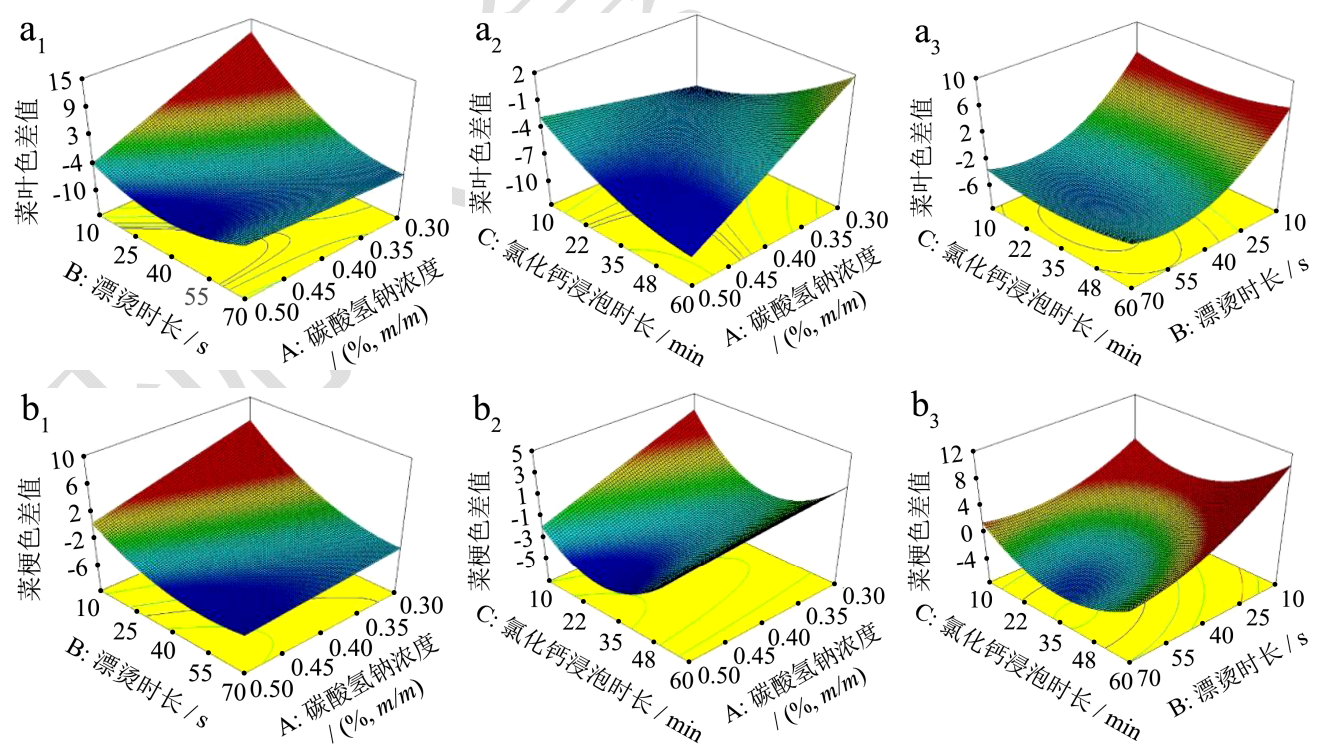
$$\text{硬度(N)} = 34.42 - 3.74X_1 - 8.21X_2 + 1.03X_3 + 2.06X_1X_2 + 2.4X_1X_3 - 4.78X_1^2 - 2.55X_2^2 - 1.37X_3^2$$

表 5 响应面试验方案和结果

Table 5 Experimental design matrix (actual and coded) and results of RSM

编号	因素和编码水平			响应值		
	X_1	X_2	X_3	菜叶色差值 Δa^*	菜梗色差值 Δa^*	硬度/N
1	0	0	0	-4.38	-0.81	35.69
2	0	$+\alpha$	0	-5.14	-3.62	14.66
3	-1	+1	-1	-4.51	-1.85	24.11
4	0	0	0	-4.19	-3.63	34.57
5	0	0	0	-4.89	-2.47	32.44
6	0	0	0	-4.96	-1.32	34.16
7	0	0	0	-4.84	-2.20	32.45
8	+1	-1	+1	-5.49	2.93	27.11
9	$-\alpha$	0	0	-3.04	-0.64	21.16
10	0	$-\alpha$	0	4.71	3.94	40.79
11	-1	-1	-1	2.48	3.03	45.53
12	$+\alpha$	0	0	-7.11	-3.66	21.68
13	+1	+1	+1	-6.26	-2.53	14.32
14	0	0	$+\alpha$	-3.20	1.75	36.58
15	-1	+1	+1	-2.41	-0.38	18.45
16	+1	+1	-1	-7.26	-3.13	10.48
17	0	0	0	-5.10	-3.01	36.05
18	-1	-1	+1	5.72	4.29	39.37
19	+1	-1	-1	-2.47	-2.47	23.58
20	0	0	$-\alpha$	-4.39	-2.63	25.55

2.3.2 响应面分析



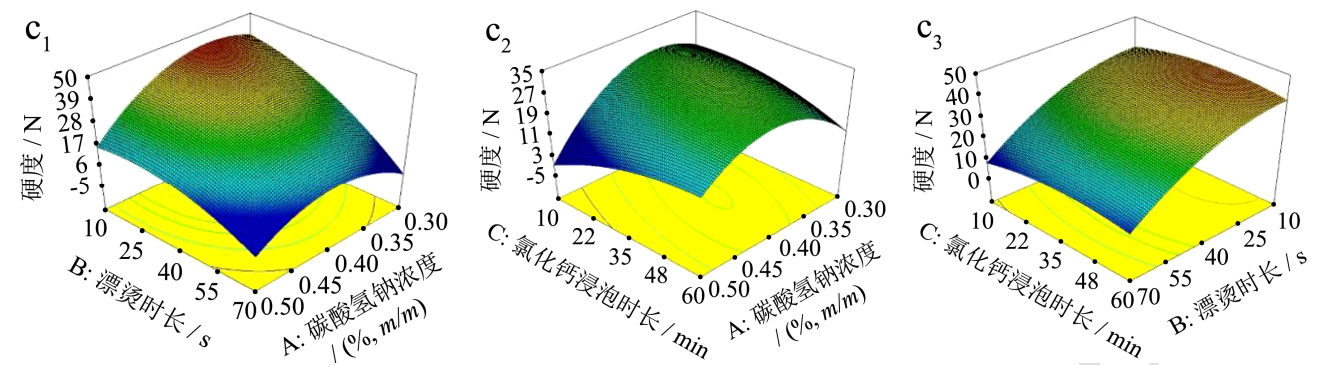


图2 碳酸氢钠浓度(a)、漂烫时长(b)和氯化钙浸泡时长(c)的响应面图

Fig.2 The response surface plot of interactions between sodium bicarbonate concentration (a), blanching time (b), immersing time (c) on color difference of leaf (a₁-a₃), on color difference of stem (b₁-b₃) and on firmness (c₁-c₃)

由图2可知,碳酸氢钠浓度与漂烫时长、氯化钙浸泡时长都有显著的交互作用。碳酸氢钠浓度越高、漂烫时长越长,绿叶蔬菜的色差值越低,同时硬度降低。当漂烫时长少于40s左右时,因为与叶绿素降解及褐变的酶类得不到充分的热力灭活,碳酸氢钠浓度对绿叶蔬菜的色差值和硬度都有极显著的影响(图2a₁, b₁, c₁),可以通过提高碳酸氢钠浓度从而使色差值为负值,即有效阻止绿叶蔬菜变黄。

长于40s的漂烫时间有利于绿叶蔬菜绿色的保持(图2a₁, a₃, b₁, b₃),但漂烫时长与硬度成反比,而且难以通过使用氯化钙改善绿叶蔬菜的硬度(见图2c₁, c₃)。当碳酸氢钠浓度高于4%(m/m)时,氯化钙浓度的提高对有助于增强护绿效果(图2a₂, b₂),而碳酸氢钠浓度在0.3~0.4%(m/m)时对氯化钙的保脆效果也有显著协同影响(图2c₂)。

2.3.3 最佳条件及验证试验分析

表6 四种实验用绿叶蔬菜

Table 6 Four green leafy vegetables used in verification experiment

俗名(拉丁名)	图像	俗名(拉丁名)	图像
春菜 (<i>Lactucasativa linnaeusvar. sativa</i> (Linnaeus) Moris)		小白菜 (<i>Brassica rapavar. chinensis</i> Communis)	
奶白菜 (<i>Brassica campestris subsp. chinensisi</i> (Loureiro))		小绍菜 (<i>Brassica pekinensis</i> (Loureiro) Ruprecht)	

表7 最佳护绿保脆条件验证试验结果

Table 7 Results of verification experiments of optimal conditions

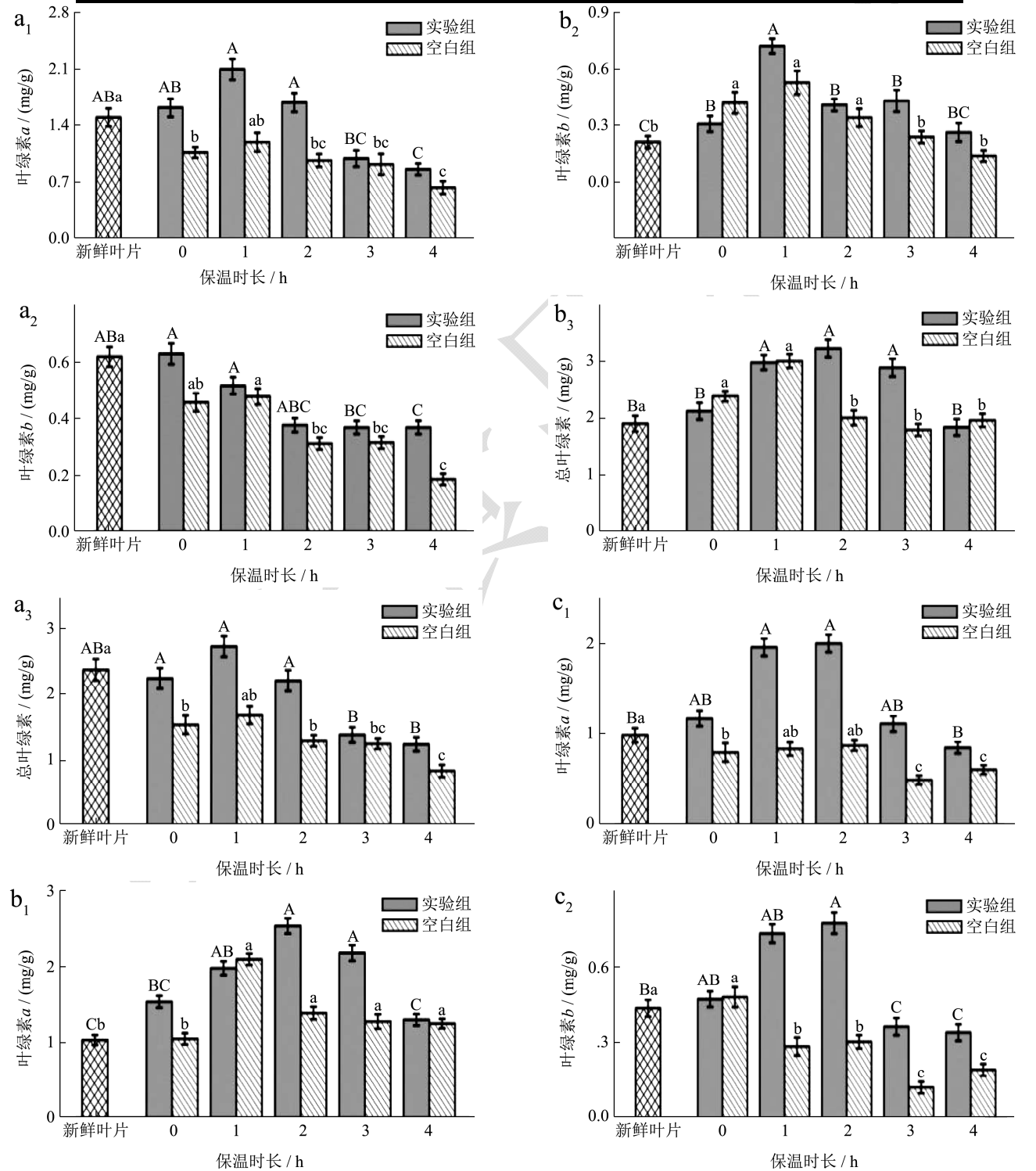
品种	组别	菜叶		菜梗		硬度
		色差值	成像颜色	色差值	成像颜色	
春菜	试验组	-3.12±0.21 ^B		-0.74±0.05 ^B		24.28±0.69 ^a
	空白组	8.91±0.62 ^A		8.34±0.51 ^A		27.26±0.92 ^b
奶白菜	试验组	-5.59±0.33 ^B		-3.36±0.13 ^b		47.49±1.67 ^A
	空白组	6.10±0.57 ^A		-1.60±0.08 ^a		26.93±0.69 ^B
小白菜	试验组	-4.50±0.21 ^B		-0.66±0.04 ^B		10.62±0.56 ^b
	空白组	9.33±0.61 ^A		0.416±0.03 ^A		14.89±0.72 ^a
小绍菜	试验组	-2.58±0.17 ^B		-2.84±0.10 ^B		35.80±1.43 ^A
	空白组	9.39±0.65 ^A		-1.49±0.07 ^A		25.78±0.47 ^B

注: 在同一品种绿叶蔬菜中, 同列数据上标的大写字母不同表示差异极显著 ($p<0.01$), 上标的小写字母不同表示差异显著

($p<0.05$)。

表 8 最佳条件下四种绿叶蔬菜的感官评定结果

品种	评定项目				
	外观	色泽	口感	滋味	总分
春菜	20.00±1.38	18.75±1.38	18.75±0.82	18.75±0.82	76.25±3.46
奶白菜	18.33±1.41	17.50±1.38	18.33±0.84	17.92±0.84	72.08±3.30
小白菜	20.42±1.37	20.00±1.10	20.42±1.03	19.58±0.98	80.42±3.42
小绍菜	18.75±1.47	18.75±1.26	18.33±0.98	18.33±0.98	74.17±3.68



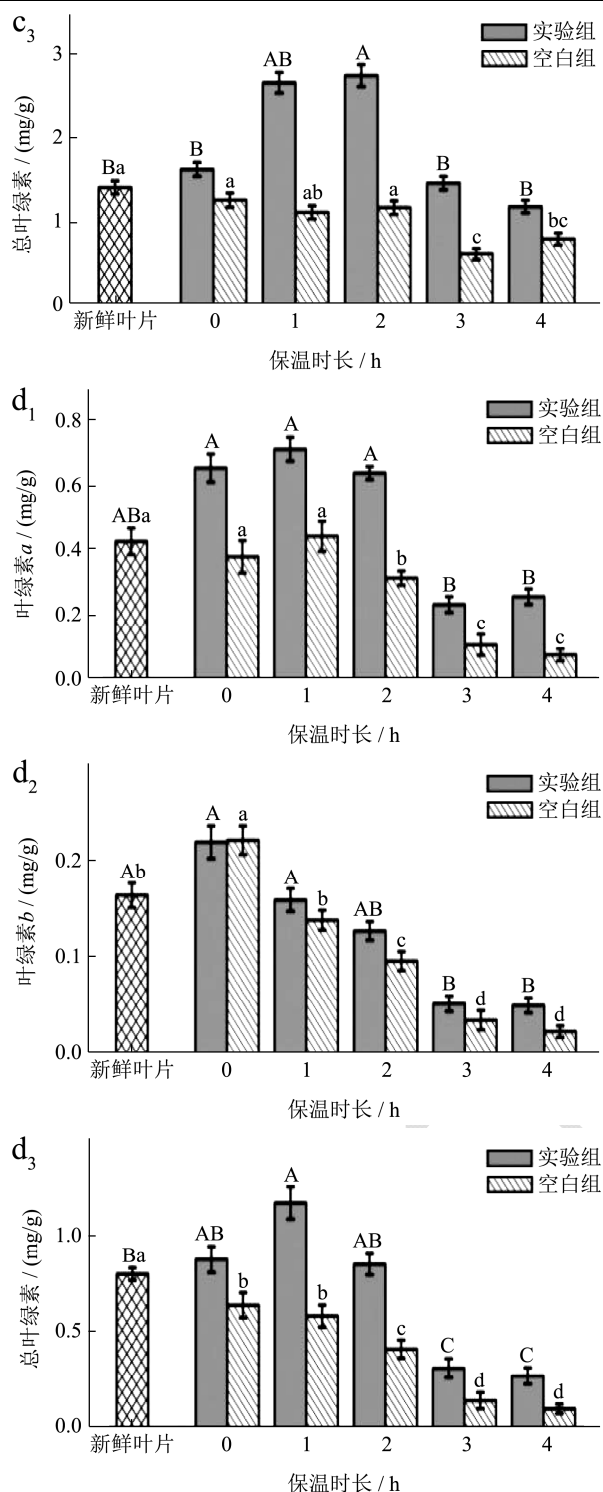


图3 最佳条件下四种绿叶蔬菜在保温过程中叶绿素含量变化

Fig.3 The contents changes of chlorophyll of green leafy vegetables during thermal storing under optimal conditions

注: a: 春菜; b: 奶白菜; c: 小白菜; d: 小绍兴菜。

由回归方程计算的结果并经修整后可得, 最佳护绿保脆条件为: 碳酸氢钠浓度 0.4% (m/m), 抗坏血酸钙浓度 0.01% (m/m), 漂烫时长 50 s, 氯化钙浓度 0.1% (m/m), 氯化钙浸泡时长 35 min。在此条件下菜叶色差、菜梗色差和硬度的预测值分别为-5.00、-3.02

和 29.94 N, 可达到理想的护绿保脆效果。

四种绿叶蔬菜(表6)的验证试验结果见表7, 四种绿叶蔬菜的色差值均降至负值, 说明护绿效果显著, 其中奶白菜的菜叶色差值 Δa^* 最低, 为 -5.59 ± 0.33 , 而小白菜的菜叶色差值 Δa^* 下降幅度最大, 颜色改善最明显。奶白菜和小绍兴菜的硬度得到显著提升, 分别为 47.49 ± 1.67 N 和 35.80 ± 1.43 N, 这可能是由于这两种蔬菜的梗部比较厚实, 更有利于钙盐发挥保脆作用。

在最佳条件下, 四种绿叶蔬菜在高温保存 4 h 后的感官评定结果见表 8, 四种绿叶蔬菜在各项评分中和总分上都无显著差异, 各项平均分均在 15 分以上, 为评定标准里的中上水平。其中, 小白菜的各项评分均比其他绿叶蔬菜略高, 整体的感官品质最佳。

四种绿叶蔬菜以最佳条件处理后, 在高温保存过程中的叶绿素含量变化见图 3, 叶绿素的含量均所提高, 尤其是在前 2 h 内保留效果尤为明显。其中, 奶白菜的绿色最深, 叶绿素含量最高, 总叶绿素含量保的留率提升了 170%, 与色差值 Δa^* 最低的结论一致。这与蔬菜本身叶绿素含量有关, 原本蔬菜颜色越绿, 叶绿素含量越高, 越有利于叶绿素的保留。最佳护绿保脆条件更利于叶绿素 a 的保留, 或者是促进叶绿素 b 转化为叶绿素 a, 使得蔬菜颜色更绿, 从而达到热烫绿叶蔬菜的护绿效果。

3 结论

本研究提出了一种适用于配餐食品绿叶蔬菜的护绿保脆工艺, 最佳工艺条件为: 碳酸氢钠浓度 0.4% (m/m), 抗坏血酸钙浓度 0.01% (m/m), 漂烫时长 50 s, 氯化钙浓度 0.1% (m/m), 氯化钙浸泡时长 35 min。其中, 碳酸氢钠和漂烫对绿叶蔬菜发挥着显著的护绿作用, 使绿叶蔬菜保持绿颜色, 浸泡氯化钙有助于维持蔬菜的硬度和硬度。碳酸氢钠与其他因素存在显著的相互作用。常见的四种绿叶蔬菜在最佳工艺条件下高温保存 4 h 后, 色差值 Δa^* 均下降, 最低降至 -5.59, 叶绿素保留率最高提升了 170%, 护绿效果在保温的前 2 h 尤为明显, 而两种绿叶蔬菜的硬度有所提高, 最高提升至 47.49 N, 且四种绿叶蔬菜的感官品质依然保持良好。此护绿保脆工艺能有效地保护绿叶蔬菜的绿色色泽和硬度不被长时间的高温保存影响, 填补了在配餐食品中对绿叶蔬菜进行护绿保脆的空白, 为实际生产提供了可行的工艺技术参考。

参考文献

- [1] Jiménez-Aguilar D M, Grusak M A. Minerals, vitamin C,

- phenolics, flavonoids and antioxidant activity of Amaranthus leafy vegetables [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2017, 58: 33-39
- [2] Gunathilake K D P P, Ranaweera K K D S. Antioxidative properties of 34 green leafy vegetables [J]. Journal of Functional Foods, 2016, 26: 176-186
- [3] Del Rio D, Rodriguez-Mateos A, Spencer J P E, et al. Dietary (Poly) polyphenols in human health: structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases [J]. Antioxidants and Redox Signaling, 2013, 18: 1818-1892
- [4] Subhasree B, Baskar R, Laxmi Keerthana R, et al. Evaluation of antioxidant potential in selected green leafy vegetables [J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1213-1220
- [5] Andarwulan N, Kurniasih D, Apriady R A, et al. Polyphenols, carotenoids, and ascorbic acid in underutilized medicinal vegetables [J]. Journal of Functional Foods, 2012, 4(1): 339-347
- [6] Derrien M, Badr A, Gosselin A, et al. Optimization of a green process for the extraction of lutein and chlorophyll from spinach by-products using response surface methodology (RSM) [J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 79: 170-177
- [7] XIAO Hong-wei, PAN Zhong-li, DENG Li-zhen, et al. Recent developments and trends in thermal blanching-A comprehensive review [J]. Information Processing in Agriculture, 2017, 4(2): 101-127
- [8] LI Yong-xin, Wills R B H, Golding J B. Sodium chloride, a cost effective partial replacement of calcium ascorbate and ascorbic acid to inhibit surface browning on fresh-cut apple slices [J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 64(1): 503-507
- [9] Mola S, Uthairatanakij A, Srilaong V, et al. Impacts of sodium chlorite combined with calcium chloride, and calcium ascorbate on microbial population, browning, and quality of fresh-cut rose apple [J]. Agriculture and Natural Resources, 2016, 50(5): 331-337
- [10] Silveira A C, Aguayo E, Chisari M, et al. Calcium salts and heat treatment for quality retention of fresh-cut 'Galia' melon [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 62(1): 77-84
- [11] Ergun E, Demirata B, Gumus G, et al. Simultaneous determination of chlorophyll a and chlorophyll b by derivative spectrophotometry [J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2004, 379: 803-811
- [12] 胡秉芬, 黄华梨, 季元祖, 等. 分光光度法测定叶绿素含量的提取液的适宜浓度[J]. 草业科学, 2018, 35(8): 1965-1974
- HU Bing-fen, HUANG Hua-li, JI Yuan-zu, et al. Evaluation of the optimum concentration of chlorophyll extract for determination of chlorophyll content by spectrophotometry [J]. Pratacultural Science, 2018, 35(8): 1965-1974
- [13] 唐银凤. 叶绿素含量测定中 Arnon 公式的系数误差对结果的影响[J]. 江苏农业科学, 1996, 3: 26-27
- Tang Y F. Effect of coefficient error of Arnon formula on results of chlorophyll content determination [J]. Jiangsu Agricultural Science, 1996, 3: 26-27
- [14] Rüdiger W. The Last Steps of Chlorophyll Synthesis [M]. America: Academic Press, 2003
- [15] Tanaka A, Tanaka R. Chlorophyll metabolism [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2016, 9(3): 248-255
- [16] 韩敏. 苦苣菜护绿机理的研究进展[J]. 山东化工, 2015, 44(2): 46-49
- HAN Min. Development of *Sonchus oleraceus* L green protection mechanism [J]. Shandong Chemical Industry, 2015, 44(2): 46-49
- [17] Hörtensteiner S, Kräutler B. Chlorophyll breakdown in higher plants [J]. Biochimica et Biophysica Acta-Bioenergetics, 2011, 12: 977-988
- [18] Queiroz Zepka L, Jacob-Lopes E, Roca M. Catabolism and bioactive properties of chlorophylls [J]. Current Opinion in Food Science, 2019, 26: 94-100
- [19] Chen J, Ren G, Kuai B. The mystery of mendel's stay-green: magnesium stays chelated in chlorophylls [J]. Molecular Plant, 2016, 9(12): 1556-1558
- [20] Christ B, Hörtensteiner S. Mechanism and significance of chlorophyll breakdown [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2014, 33: 4-20
- [21] Aguayo E, Requejo-Jackman C, Stanley R, et al. Effects of calcium ascorbate treatments and storage atmosphere on antioxidant activity and quality of fresh-cut apple slices [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 57(1): 52-60
- [22] Mercado J A, Matas A J, Posé S. Fruit and vegetable texture: role of their cell walls [M]. Netherlands: Elsevier, 2019
- [23] REN Jing-nan, HOU Yuan-yuan, FAN Gang, et al. Extraction of orange pectin based on the interaction between sodium caseinate and pectin [J]. Food Chemistry, 2019, 283: 265-274
- [24] Van Buren J P. Function of Pectin in Plant Tissue Structure and Firmness[M] America: Academic Press, 1991

(下转第 267 页)