

3 种精油处理对鲜切西兰花品质的影响

Quality evaluation of fresh-cutting broccoli under different essential oil treatments based on principal component analysis

黄文部 马苑笛 文豪 何靖柳 秦文

HUANG Wen-bu MA Wan-di WEN Hao HE Jing-liu QIN Wen

(四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014)

(Institute of Food, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

摘要:为探究肉桂、牛至、茴香精油对鲜切西兰花贮藏品质的影响,采用主成分分析法分析 11 个指标,并建立综合评价函数,筛选最佳精油处理组。主成分分析筛选出 3 个主成分,第 1 主成分反映菌落总数、呼吸强度、失重率、V_C 含量、叶绿素含量、香气得分和褐变程度得分 7 个指标的信息;第 2 主成分反映总黄酮、多酚氧化酶和过氧化物酶的信息;第 3 主成分反映总酚的信息。3 个主成分累积方差贡献率为 86.462%,能够较好地反映原始数据的信息。结果表明,3 种精油中以肉桂精油处理组的综合得分最高,可有效延缓叶绿素、V_C 的下降,保持较高的总酚和总黄酮,有利于鲜切西兰花的贮藏保鲜。

关键词:鲜切西兰花;精油;品质;主成分分析

Abstract: 11 traits of the effect of cinnamon, oregano, fennel oil on quality of fresh-cutting broccoli were analyzed by principal component analysis (PCA) method in this study. An assessment model was established to screen the best essential oil treatment. 3 principal components were screened out through principal component analysis which accounted for 86.462% of the total variance. First principal component reflect the information of the total number of colonies, respiration intensity, weight loss rate, VC content, chlorophyll content, aroma score and browning degree score. The second one used to obtain the information of the total flavonoids, PPO and POD. The third one reflected the information of the total phenolic. The results showed that the quality score of fresh cut broccoli treated with different essential oils was the highest (0.34) in the cinnamon group (2 d), as to effectively delayed the decline of chlorophyll, vitamin C, maintaining a high total phenol and total flavonoids. Thus, the cinnamon oil was conducive to fresh-cutting broccoli preservation.

作者简介:黄文部,男,四川农业大学在读硕士研究生。

通信作者:秦文(1967—),女,四川农业大学教授,博士。

E-mail: 420942276@qq.com

收稿日期:2017-02-07

Keywords: fresh-cutting broccoli; essential oil; quality; principal component analysis

西兰花(*brassica oleracea* L. var. *italica*)又名绿菜花、青花菜。它非常适合于鲜切加工,以其新鲜、方便、营养、无公害、可供消费者直接食用或烹饪等特点,有着广阔的市场前景^[1],然而西兰花采后代谢活动十分旺盛,易发生褪绿黄化、切面褐变、腐烂等品质劣变^[2-3],货架期缩短,大大降低鲜切蔬菜的商品价值。目前,鲜切西兰花的保鲜有物理法、化学法和生物法三类。物理保鲜方法成本较高;化学保鲜方法有臭氧^[4]、曲酸^[5]、水杨酸^[6]处理等,但很多化学物质对人体健康会产生不良影响,王丹等^[7]以次氯酸钠、去离子水及酸性电解水清洗鲜切西兰花,发现酸性电解水清洗的保鲜效果可等同次氯酸钠。随着人们食品安全意识的提高,安全、高效的天然提取物越来越被重视。

植物精油(Plant Essential Oil),也称挥发油(Volatile Oil)是萃取于植物中的特有芳香物质^[8]。植物精油安全无毒且具有一定的抗菌性,是一类绿色、健康的天然保鲜剂。近年来,植物精油用于鲜切果蔬保鲜成为国内外学者的研究热点^[9]。研究发现植物精油对莴苣^[10]、生菜^[11-12]、杏^[13]、苹果^[14-15]和哈密瓜^[16]等鲜切果蔬具有很好的抗菌保鲜效果,说明植物精油在鲜切果蔬上具有一定研究和应用价值。植物精油在鲜切果蔬上的应用主要有 2 个方面:① 植物精油对鲜切果蔬病原菌的抑菌作用;② 植物精油对鲜切果蔬品质的影响。Azarakhsh 等^[17]研究了不同质量浓度(0.1%, 0.3%, 0.5%)的柠檬草精油结合甘油等涂膜剂对鲜切菠萝保鲜效果的影响,发现柠檬草精油可以降低鲜切菠萝的呼吸速率和菌落总数,0.3%和 0.5%的柠檬草精油可以使微生物总数显著低于对照组($P < 0.05$)。冯可等^[18]研究发现当含有 0.3%, 0.5%牛至精油时,鲜切菠萝的过氧化物酶和过氧化氢酶活性呈下降趋势,而其他处理组则显著升高。在鲜切苹果

上,肉桂精油比迷迭香精油能更有效抑制呼吸作用^[19]。研究发现,肉桂精油对细菌、霉菌和酵母均有很强的抑制作用,对霉菌的抑制效果最佳^[20];牛至精油对鼠伤寒沙门氏菌有较好抑制作用,与白藜芦醇具有协同抑菌作用^[21]。目前未见植物精油应用于鲜切西兰花的报道。

主成分分析(Principal Component Analysis,PCA)是通过降维技术把多个变量化为少数几个主成分,能客观地确定各个指标的权重,已被广泛应用到果蔬品质分析中^[22-23],目前尚未有采用PCA分析西兰花品质的报道。

项目组前期分离纯化的西兰花病原真菌(NCBI 登录号:MF040794)为链格孢菌属真菌(*Alternaria*, spp),与刘毅^[24]的研究结果一致,回接 24 h 后鲜切西兰花切面严重褐变,花球部分黄化,说明该菌对鲜切西兰花货架期品质有重要影响。通过精油抑菌预试验发现牛至精油、茴香精油和肉桂精油的抑菌效果较好,对应的最小杀菌浓度(Minimum Fungicidal Concentration, MFC)分别为 0.60, 0.60, 0.15 $\mu\text{L/mL}$ 。因此,本试验进一步研究植物精油对鲜切西兰花的保鲜效果,以期为鲜切西兰花能更好地供应市场提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

西兰花(*brassica oleracea* L.var.*italica*):冬至绿,雅安市吉选超市;

植物精油:吉安市国光香料厂;

丙酮、没食子酸、碳酸钠、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、无水乙醇、芦丁、冰醋酸、乙酸钠、邻苯二酚、石英砂、碳酸钙、邻苯二甲酸氢钾、酚酞、抗坏血酸、偏磷酸、三氯乙酸、硫代巴比妥酸、草酸、氯化钼:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;

福林酚:分析纯,北京索莱宝科技有限公司。

1.1.2 主要仪器与设备

全波长酶标仪:Varioskan flash 型,美国 Thermo Fisher Scientific 公司;

微波科学实验炉:ORW08S-3H 型,南京澳润微波科技

有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-1800PC 型,上海美谱达仪器有限公司;

高速冷冻离心机:X3R 型,美国 Thermo Fisher Scientific 公司;

单人双面净化工作台:SW-CJ-1F 型,苏州净化工程公司。

1.2 方法

1.2.1 精油处理 选择花球整齐紧凑、花形好、色泽深绿、花蕾小、大小基本一致的西兰花,切分成 5 cm 左右的花球,用一定浓度的精油溶液(0.60 $\mu\text{L/mL}$ 牛至精油、0.60 $\mu\text{L/mL}$ 茴香精油、0.15 $\mu\text{L/mL}$ 肉桂精油)按照料液比 1:10 (g/mL)清洗 2 min,于超净工作台中沥干,采用单层 PE 保鲜膜(厚度 0.021 mm)包装,每盘约 50 g,以无菌水清洗的鲜切西兰花为对照组,于(4±0.5)℃下贮藏,每 2 d 随机抽取 2 盘,测定相关指标,共测定 6 次。

1.2.2 指标测定

(1) 感官评价:预试验中发现 4℃条件下,西兰花的花球黄化、质地、亮度和开放程度无显著差异,因此主要测定香气和褐变程度。参考文献[25]制订的感官评价标准见表 1。评价小组由 10 名经过专业培训的食品专业学生组成。

(2) 呼吸强度测定:静置法^{[26]46-48},西兰花约为 100 g,密闭时间 1 h,重复 3 次。

(3) 叶绿素含量测定:分光光度法^{[26]32-33},称取 2.0 g 果蔬样品用 80%丙酮进行研磨提取,在波长 663,645 nm 处分别比色测定提取液的吸光度值。重复 3 次。按 Amon 公式计算提取液中叶绿素 a 和叶绿素 b 的质量浓度,果蔬组织中叶绿素的含量为叶绿素 a 和叶绿素 b 的质量浓度之和,以每克果蔬组织鲜重中所含叶绿素的质量表示,即 mg/g。

(4) 失重率测定:称重法^{[26]21},拆开包装称重,称重结束后立即用保鲜膜包装。每个样品重复 3 次,取平均值。按式(1)计算失重率。

$$C=\frac{m_1-m_2}{m_2}\times 100\%,$$

(1)

式中:

表 1 感官评价标准
Table 1 Standard of sensory evaluation

分值	香气	切面褐变程度	颜色	亮度	花球质地	花球开放程度
5 分	气味清香	无褐变	呈深绿色,无黄化	明亮有光泽	坚硬挺拔,花球紧凑	无开放花苞
4 分	气味较淡	轻微褐变,褐变面积占 0~1/6	呈深绿色,出现极少黄化	较有光泽,局部无明显光泽	较有弹性,花球较紧凑	有个别花苞开放
3 分	无明显气味	少部分褐变,褐变面积占 1/6~1/3	呈浅绿色,黄化面积占 1/6~1/3	表面轻亮,无光泽面积占 1/6~1/3	略有弹性,局部花球花球松散,不超过 1/3	开放花苞数占 1/6~1/3
2 分	气味较不适	部分褐变,褐变面积占 1/3~2/3	呈浅绿色,黄化面积占 1/3~2/3	表面灰暗,无光泽面积占 1/3~2/3	略有弹性,部分花球松散,不超过 2/3	开放花苞数占 1/6~1/3
1 分	有明显异味,非常不适	明显褐变,褐变面积超过 2/3	花球枯黄,黄化面积超过 2/3	无光泽,花球整体灰暗	花球整体松散柔软	花苞基本开放,超过 2/3

C——失重率, %
 m_1 ——贮藏前质量, g;
 m_2 ——贮藏后质量, g。
(5) V_c 含量测定: 紫外分光光度快速测定法^[27], 在波长 243 nm 处测定其吸光度, 用抗坏血酸标品绘制标准曲线。
(6) 多酚氧化酶(Polyphenol Oxidase, PPO)和过氧化物酶(Peroxidase, POD)活性的测定: 参照曹建康^[26]101~104 的分光光度法并稍作修改。分别在波长 470, 420 nm 处测定 OD 值, 每隔 30 s 记录一次, 连续测定, 获取 6 个点的数据, 重复 3 次。
(7) 总酚含量的测定: 参考冯晓汀等^[28]的福林酚法, 并稍作修改, 准确称取 2 g 样品, 加入 70% 丙酮 10 mL, 研磨。浸提 2 h 后离心, 收集上清液稀释 20 倍备用; 取稀释后的上清液 1.0 mL, 加入去离子水 1 mL, 取 0.5 mL 稀释 2 倍的福林酚溶液, 加入 10% 碳酸钠 2 mL, 室温下反应 2 h, 并于 765 nm 处测定吸光度值; 从标准曲线[式(2)]上查得相对应的浓度, 计算出样品中总酚的含量。
 $A = 0.025\ 3C + 0.003\ 4\ (R^2 = 0.999\ 8),$ (2)
式中:
A——吸光值;

C——测定试管中(总体积 4.5 mL)总酚含量, μg。
(8) 总黄酮含量的测定: NaNO₂—Al(NO₃)₃ 比色法^[29], 准确称取 2 g 样品, 加入 70% 乙醇 20 mL, 研磨。80 ℃ 加盖浸提 1 h 后离心(10 000 × g, 20 min, 4 ℃), 收集上清液(记录上清液体积); 取上清液 1.0 mL, 置于 15 mL 比色管中, 加入 70% 乙醇 2 mL, 5% NaNO₂ 0.6 mL, 放置 5 min 后, 加入 10% 的 Al(NO₃)₃ 的溶液 0.6 mL, 摇匀, 再放置 5 min 后加入质量分数 4% NaOH 溶液 4 mL, 用 70% 乙醇定容至 15 mL, 摇匀, 放置 10 min 后, 在 510 nm 波长处测定吸光值。
(9) 菌落总数的测定: 按 GB 4789.2—2016 执行。

1.3 数据处理

采用 SPSS 20.0 软件对数据进行方差分析和主成分分析, 用最小显著性差异法(Least Significant Difference, LSD)对差异显著性进行分析, P<0.05 表示差异显著, P<0.01 表示差异极显著。用 Origin 8.0 对数据进行拟合并作图。

2 结果与分析

2.1 鲜切西兰花贮藏期间品质指标数值与相关性分析

精油处理对鲜切西兰花贮藏品质的影响见表 2。
由表 2 可知, 鲜切西兰花贮藏期的品质评价指标较多,

表 2 精油处理对鲜切西兰花贮藏品质的影响[†]

Table 2 Effects of essential oil treatments on fresh-cutting broccoli during storage

组别	贮藏天 数/d	PPO/ (ΔOD ₄₂₀ · min ⁻¹ · g ⁻¹)	POD/ (ΔOD ₄₇₀ · min ⁻¹ · g ⁻¹)	菌落总数/ (lg CFU · g ⁻¹)	呼吸强度/ (mg · kg ⁻¹ · h ⁻¹)	失重率%	Vc/ (10 ⁻² mg · g ⁻¹)
牛至 精油	0	0.13±0.01 ^a	72.57±0.61 ^{ab}	3.54±0.11 ^a	39.49±0.76 ^a	0.00±0.00 ^a	90.97±3.62 ^a
	2	0.19±0.01 ^a	105.16±4.01 ^a	4.74±0.20 ^a	22.73±0.97 ^a	1.14±0.01 ^a	82.84±4.21 ^a
	4	0.15±0.01 ^a	120.16±3.20 ^a	5.09±0.32 ^a	44.11±1.21 ^a	2.56±0.08 ^a	70.06±1.49 ^a
	6	0.15±0.01 ^a	110.45±0.88 ^a	5.87±0.56 ^a	64.26±2.13 ^a	3.50±0.11 ^a	64.94±2.23 ^a
	8	0.13±0.01 ^a	95.76±0.91 ^a	6.02±0.31 ^a	60.31±1.57 ^a	4.73±0.24 ^a	58.92±1.46 ^a
茴香 精油	10	0.10±0.01 ^a	96.00±2.31 ^a	6.35±0.45 ^a	64.93±1.67 ^a	5.50±0.21 ^a	46.22±0.81 ^a
	0	0.14±0.01 ^a	75.44±1.35 ^b	3.61±0.11 ^a	38.52±0.67 ^a	0.00±0.00 ^a	92.43±1.01 ^a
	2	0.19±0.01 ^a	109.67±4.24 ^a	4.23±0.16 ^b	29.39±0.31 ^b	1.22±0.03 ^a	78.59±2.13 ^a
	4	0.20±0.01 ^b	134.50±2.14 ^b	4.96±0.23 ^a	32.70±0.81 ^b	2.72±0.11 ^a	70.62±1.45 ^a
	6	0.18±0.01 ^b	98.60±1.23 ^b	5.09±0.29 ^b	58.24±1.24 ^b	3.65±0.14 ^a	58.24±1.05 ^b
肉桂 精油	8	0.12±0.01 ^a	107.78±2.78 ^b	5.31±0.12 ^b	60.78±1.35 ^a	4.30±0.21 ^a	51.49±0.81 ^b
	10	0.14±0.01 ^b	84.80±3.22 ^b	6.23±0.30 ^a	58.84±1.77 ^b	5.65±0.20 ^a	48.32±1.53 ^a
	0	0.13±0.01 ^a	70.27±2.13 ^a	3.48±0.16 ^a	38.98±1.03 ^a	0.00±0.00 ^a	93.72±4.33 ^a
	2	0.18±0.01 ^a	130.18±1.57 ^b	4.32±0.22 ^b	27.05±0.51 ^c	1.48±0.07 ^b	82.54±1.42 ^a
	4	0.15±0.01 ^a	124.38±4.12 ^b	4.98±0.24 ^a	37.05±0.65 ^c	3.30±0.23 ^b	79.17±2.40 ^b
CK	6	0.17±0.01 ^{ab}	109.02±3.24 ^a	5.25±0.24 ^b	50.32±1.35 ^c	4.94±0.27 ^b	73.15±2.11 ^c
	8	0.13±0.01 ^a	93.04±0.81 ^{ac}	5.54±0.31 ^b	50.82±1.48 ^b	5.88±0.32 ^b	67.02±0.51 ^c
	10	0.11±0.01 ^a	86.46±0.92 ^b	5.88±0.28 ^a	50.85±2.47 ^c	6.14±0.21 ^a	58.48±0.94 ^b
	0	0.12±0.01 ^a	69.04±1.20 ^a	4.23±0.21 ^b	40.89±2.43 ^a	0.00±0.00 ^a	93.76±2.13 ^a
	2	0.17±0.01 ^{ab}	125.74±1.32 ^b	4.90±0.27 ^a	24.86±0.83 ^{ac}	1.99±0.05 ^c	87.09±2.58 ^a
CK	4	0.24±0.02 ^c	147.60±5.69 ^c	5.34±0.31 ^b	39.52±0.91 ^c	3.77±0.21 ^b	84.21±2.95 ^b
	6	0.18±0.01 ^b	109.64±2.12 ^a	5.90±0.25 ^a	51.74±1.85 ^c	5.65±0.17 ^c	74.01±1.74 ^c
	8	0.15±0.01 ^a	92.44±2.04 ^c	6.10±0.34 ^c	56.17±2.53 ^a	6.87±0.26 ^c	64.79±1.04 ^{bc}
CK	10	0.15±0.01 ^c	103.47±1.69 ^c	6.43±0.32 ^a	58.28±2.54 ^b	7.65±0.24 ^b	50.52±1.54 ^a

续表 2

组别	贮藏天数/d	叶绿素/ (mg·g ⁻¹)	香气得分	褐变程度 得分	总酚/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)	总黄酮/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)
牛至精油	0	0.22±0.01 ^a	4.38±0.31 ^a	5.00±0.27 ^a	53.21±0.67 ^a	55.82±0.89 ^a
	2	0.20±0.01 ^a	4.20±0.22 ^a	4.88±0.20 ^a	65.40±0.89 ^a	90.23±1.01 ^a
	4	0.15±0.01 ^a	4.14±0.11 ^a	4.13±0.17 ^a	61.48±1.21 ^a	113.62±2.34 ^a
	6	0.12±0.01 ^a	4.13±0.09 ^a	4.00±0.14 ^a	53.84±1.42 ^a	85.82±0.77 ^a
	8	0.09±0.01 ^a	3.83±0.31 ^a	3.71±0.25 ^a	55.67±1.94 ^a	75.03±2.13 ^a
	10	0.10±0.01 ^a	3.57±0.23 ^a	3.29±0.15 ^a	52.98±1.32 ^a	55.82±1.04 ^a
茴香精油	0	0.21±0.01 ^a	3.90±0.11 ^a	5.00±0.14 ^a	57.19±1.55 ^b	64.49±1.45 ^b
	2	0.16±0.01 ^b	3.86±0.17 ^a	3.88±0.17 ^b	49.04±0.31 ^b	112.49±0.81 ^b
	4	0.15±0.01 ^a	3.71±0.13 ^b	3.38±0.20 ^b	56.71±0.78 ^b	95.44±0.99 ^b
	6	0.14±0.01 ^a	3.33±0.24 ^b	3.38±0.12 ^b	60.32±2.13 ^b	84.49±3.41 ^a
	8	0.11±0.00 ^a	3.25±0.12 ^b	3.29±0.13 ^b	48.72±1.43 ^b	55.77±1.41 ^b
	10	0.11±0.01 ^a	2.80±0.09 ^b	2.50±0.10 ^b	48.79±0.87 ^b	64.49±1.48 ^b
肉桂精油	0	0.22±0.01 ^a	4.85±0.08 ^b	5.00±0.09 ^a	56.62±2.33 ^b	58.76±1.27 ^a
	2	0.16±0.01 ^b	4.20±0.22 ^a	5.00±0.06 ^a	64.26±1.45 ^a	116.50±2.33 ^b
	4	0.15±0.01 ^a	4.14±0.15 ^a	4.50±0.17 ^a	51.01±0.98 ^c	129.17±1.37 ^c
	6	0.13±0.01 ^a	3.83±0.19 ^{ab}	4.43±0.21 ^a	78.75±0.42 ^c	98.76±1.78 ^b
	8	0.11±0.00 ^a	3.75±0.12 ^a	4.33±0.14 ^c	54.88±0.88 ^a	61.57±1.36 ^b
	10	0.11±0.01 ^a	3.71±0.07 ^a	3.71±0.10 ^c	54.05±1.45 ^a	58.76±1.78 ^a
CK	0	0.21±0.01 ^a	5.00±0.07 ^b	5.00±0.11 ^a	54.33±1.74 ^a	61.35±2.04 ^{ab}
	2	0.16±0.01 ^b	4.00±0.12 ^a	4.78±0.06 ^a	47.73±1.77 ^b	93.16±2.34 ^a
	4	0.17±0.01 ^a	4.00±0.17 ^{ab}	3.56±0.11 ^b	60.53±1.03 ^a	104.54±1.26 ^d
	6	0.12±0.01 ^a	3.88±0.20 ^{ab}	3.25±0.12 ^b	99.13±3.16 ^d	71.35±2.78 ^c
	8	0.09±0.01 ^a	3.83±0.12 ^a	3.07±0.10 ^b	52.70±2.11 ^a	65.38±2.35 ^b
	10	0.08±0.00 ^a	3.14±0.10 ^{ab}	2.00±0.11 ^d	48.61±0.84 ^b	41.35±1.06 ^c

† 表中 a、b、c 表示差异显著性,有相同字母表示差异不显著。

而且随着贮藏时间的变化而变化。贮藏期间经过茴香精油处理的西兰花其菌落总数上升较慢,贮藏 8 d 为 5.31 lg CFU/g,高于肉桂精油组(5.54 lg CFU/g)和牛至精油组(6.02 lg CFU/g),但是香气得分在三者中最低,无法对鲜切西兰花进行准确的分析和评价。针对这种情况,通过相关性分析,各指标之间若具有一定的相关性,可采用主成分分析。由表 3 可知,不同样品不同贮藏期的指标之间有一定的相关

性,PPO 和 POD、总黄酮的相关性较大,菌落总数和呼吸强度、失重率、V_c 含量、叶绿素含量、香气得分、褐变程度相关性较大,说明西兰花的呼吸强度、失重率、褐变程度等与微生物的繁殖有较大关系。因此采用主成分分析方法,可以将 11 个指标转换为 2~3 个主成分,并且这些主成分既互不相关,又能综合反映原指标,从而对不同精油处理后鲜切西兰花的品质进行评价,筛选出合适的精油处理组。

表 3 鲜切西兰花贮藏品质指标之间的相关性分析

Table 3 Correlation analysis among quality indicators on fresh-cutting broccoli during storage											
参数	PPO	POD	菌落总数	呼吸强度	失重率	V _c	叶绿素	香气	褐变程度	总酚	总黄酮
PPO	1.000										
POD	0.743	1.000									
菌落总数	-0.091	0.215	1.000								
呼吸强度	-0.479	-0.283	0.703	1.000							
失重率	-0.114	0.139	0.929	0.701	1.000						
V _c	0.283	-0.041	-0.845	-0.786	-0.816	1.000					
叶绿素	0.178	-0.185	-0.918	-0.734	-0.918	0.900	1.000				
香气	-0.025	-0.154	-0.656	-0.523	-0.701	0.823	0.728	1.000			
褐变程度	-0.049	-0.155	-0.798	-0.647	-0.803	0.827	0.783	0.804	1.000		
总酚	0.347	0.167	0.035	-0.034	0.077	0.173	0.053	0.139	0.076	1.000	
总黄酮	0.642	0.729	-0.209	-0.534	-0.286	0.315	0.193	0.214	0.303	0.167	1.000

2.2 不同精油处理鲜切西兰花品质指标的主成分分析

采用隶属函数进行标准化处理,通过 SPSS 20.0 软件对标准化值进行主成分分析。经 SPSS 软件分析得到,KMO (Kaiser-Meyer-Olkin)检验系数为 0.790,且巴特利特球形检验(Bartlett)统计值的显著概率为 0.000,说明原始变量可以进行主成分分析^[30]。通过 SPSS 20.0 软件将鲜切西兰花贮藏期间的 11 项指标转化为 11 个主成分(表 4)。结果表明,前 3 个主成分的贡献率分别为 53.381%,23.765%,9.316%,累计贡献率为 86.462%,可以代表各成分大部分的信息。因此,选取前 3 个主成分作为鲜切西兰花贮藏品质的重要主成分。

通过 SPSS 20.0 软件绘制鲜切西兰花贮藏期间的 3 个主成分的特征向量(表 5)和 11 项指标的载荷图,见图 1。第 1 主成分反映菌落总数、呼吸强度、失重率、V_c含量、叶绿素含量、香气得分和褐变程度得分 7 个指标的信息;第 2 主成分方差反映总黄酮、PPO 和 POD 3 个指标的信息;第 3 主成分方差反映总酚的信息。通过载荷绝对值大小进行分析,绝对值越大对成分贡献率越大,由此得到第 1 主成分中贡献率大小顺序为:V_c含量>叶绿素含量>失重率>菌落总数>褐变程度得分>呼吸强度>香气得分,第 2 主成分中贡献率大小顺序为:POD>PPO>总黄酮。

通过成分得分系数矩阵(表 6),以第 1、2、3 主成分(Y₁、

表 4 精油处理对鲜切西兰花贮藏品质影响的特征值和贡献率

Table 4 Eigenvalue and contribution rate of effects of essential oil treatments on fresh-cutting broccoli during storage

成分	初始特征值		
	合计	方差的/%	累积/%
1	5.872	53.381	53.381
2	2.614	23.765	77.146
3	1.025	9.316	86.462
4	0.581	5.284	91.746
5	0.304	2.767	94.513
6	0.229	2.085	96.599
7	0.128	1.161	97.759
8	0.102	0.929	98.688
9	0.068	0.614	99.302
10	0.048	0.432	99.734
11	0.029	0.266	100.000

Y₂、Y₃)的得分系数为权重,得出式(3)~(5),计算 3 个主成分的得分,最后根据贡献率(表 4)得到式(6),通过式(6)计算各个处理组对鲜切西兰花保鲜效果的综合得分(Z)(图 2)。

表 5 3 个主成分的特征向量

Table 5 The eigenvectors of 3 PCAs

主成分	PPO	POD	菌落总数	呼吸强度	失重率	V _c	叶绿素	香气	褐变程度	总酚	总黄酮
1	0.256	-0.014	-0.916	-0.835	-0.924	0.954	0.939	0.814	0.885	0.097	0.409
2	0.871	0.936	0.207	-0.311	0.157	-0.006	-0.163	-0.193	-0.189	0.350	0.771
3	0.035	-0.163	0.095	0.191	0.154	0.124	0.009	0.213	0.063	0.914	-0.165

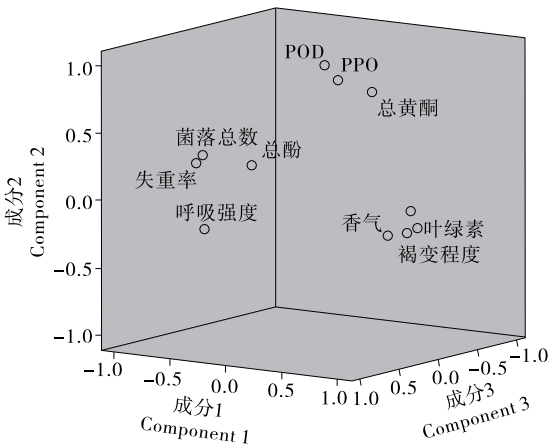


图 1 精油处理对鲜切西兰花贮藏品质影响在主成分空间上的载荷

Figure 1 Loading diagram in principal component space of effects of essential oil treatments on fresh-cutting broccoli during storage

表 6 精油处理对鲜切西兰花贮藏品质影响的成分得分系数矩阵

Table 6 Component score coefficient of effects of essential oil treatments on fresh-cutting broccoli during storage

因子	成分		
	1	2	3
PPO(X ₁)	0.044	0.333	0.034
POD(X ₂)	-0.002	0.358	-0.159
菌落总数(X ₃)	-0.156	0.080	0.093
呼吸强度(X ₄)	-0.142	-0.118	0.186
失重率(X ₅)	-0.157	0.061	0.150
V _c (X ₆)	0.163	-0.003	0.121
叶绿素(X ₇)	0.160	-0.061	0.009
香气(X ₈)	0.139	-0.074	0.208
褐变程度(X ₉)	0.151	-0.073	0.061
总酚(X ₁₀)	0.017	0.134	0.892
总黄酮(X ₁₁)	0.070	0.295	-0.162

$$Y_1 = 0.044X_1 - 0.002X_2 - 0.156X_3 - 0.142X_4 - 0.157X_5 + 0.163X_6 + 0.16X_7 + 0.139X_8 + 0.151X_9 + 0.017X_{10} + 0.07X_{11}, \tag{3}$$
$$Y_2 = 0.333X_1 + 0.358X_2 + 0.08X_3 - 0.118X_4 + 0.061X_5 - 0.003X_6 - 0.061X_7 - 0.074X_8 - 0.073X_9 + 0.134X_{10} + 0.295X_{11}, \tag{4}$$
$$Y_3 = 0.034X_1 - 0.159X_2 + 0.093X_3 + 0.186X_4 + 0.150X_5 + 0.121X_6 + 0.009X_7 + 0.208X_8 + 0.061X_9 + 0.892X_{10} - 0.162X_{11}, \tag{5}$$
$$Z = 0.533\ 52Y_1 + 0.237\ 8Y_2 + 0.093\ 16Y_3。 \tag{6}$$

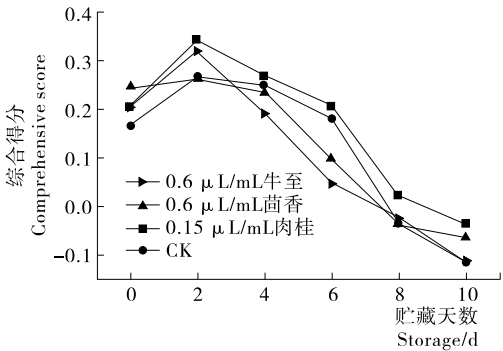


图 2 精油处理对鲜切西兰花贮藏品质影响的综合得分

Figure 2 Comprehensive score of effects of essential oil treatments on fresh-cutting broccoli during storage

由图 2 可知,4 种处理贮藏 0 d 的综合得分低于贮藏 2 d 的,原因是经过切割处理的西兰花呼吸强度显著高于贮藏 2 d 的,呼吸强度越大,综合得分越低。同时,贮藏期间总酚和总黄酮含量呈现上升趋势,总酚和总黄酮含量越大,综合得分越高。不同精油处理对鲜切西兰花的影响差异较大。贮藏 2 d 时,综合得分肉桂精油>牛至精油>茴香精油和对照组。但随着贮藏时间的延长,牛至精油组的综合得分迅速下降。整个贮藏期间,综合得分以肉桂精油组最高,且持续高于对照组和其它精油组,说明肉桂精油对鲜切西兰花具有良好的保鲜效果。

3 结论

本研究通过测定不同精油处理鲜切西兰花的 PPO 活性、POD 活性、菌落总数、呼吸强度、失重率、V_c 含量、叶绿素含量、香气得分、褐变程度得分、总酚和总黄酮含量 11 个指标,利用主成分分析法,建立综合评价函数,得到每个处理的最终综合得分,并以此筛选最佳的精油种类。结果表明,通过主成分分析有效地提取了前 3 个主成分,累积方差贡献率达到 86.462%,能够代表原来 11 个品质指标的绝大部分信息;通过因子得分系数和贡献率计算主成分得分及综合得分,根据综合得分得到肉桂精油对鲜切西兰花的保鲜效果最好,但牛至和茴香精油保鲜效果不显著,可能是浓度不适宜,也可能是这 2 种精油不适合用于西兰花。综上所述,可以认为 0.15 μL/mL 的肉桂精油适合用于鲜切西兰花的保鲜。

肉桂精油在果蔬保鲜上具有一定应用价值,但精油使用的最大问题在于其对感官品质的影响,如果结合电子鼻、气相色谱-质谱联用技术进一步分析精油残留及其对感官的影响,会更加完善肉桂精油用于鲜切西兰花的理论。

参考文献

[1] 李光普, 胡云峰, 欧燕, 等. 微加工西兰花流通保鲜技术研究[J]. 中国农学通报, 2005(12): 101-102.

[2] 叶保华, 赵继承, 朱胜龙. 鲜切西兰花贮藏保鲜技术研究[J]. 包装与食品机械, 2009, 27(3): 18-21.

[3] 赵桂芳, 张晓宇, 王华瑞. 西兰花采后贮藏研究初报[J]. 山西农业科学, 2013(10): 1 119-1 121.

[4] 王宏延, 曾凯芳, 贾凝, 等. 不同质量浓度臭氧化水对鲜切西兰花贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2012(2): 267-271.

[5] 李庆鹏, 崔文慧, 郭芹, 等. 曲酸处理对鲜切西兰花品质及生理变化的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(9): 1 664-1 668.

[6] 陈双颖, 赵习姮, 刘洪竹, 等. 水杨酸和 H₂O₂ 处理对鲜切青菜抗氧化特性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(2): 260-264.

[7] 王丹, 李雪, 马越, 等. 不同清洗剂对鲜切西兰花贮藏期间品质的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(5): 190-193.

[8] 张轲. 植物精油生物活性及其保鲜剂的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2011: 10-13.

[9] ANTUNES M D, GAGO C M, CAVACO A M, et al. Edible coatings enriched with essential oils and their compounds for fresh and fresh-cut fruit[J]. Recent Patents on Food Nutrition & Agriculture, 2012, 4(2): 114-122.

[10] 马杰, 胡文忠, 毕阳, 等. 茉莉酸甲酯处理对鲜切莴苣和甘蓝萃丙烷代谢的影响[J]. 食品工业科技, 2013(7): 333-335.

[11] KIM D, KIM H, CHUNG H, et al. Browning control of fresh-cut lettuce by phytoncide treatment[J]. Food Chemistry, 2014, 159: 188-192.

[12] CHEN Xiang-ning, REN Lu-pei, LI Meng-lin, et al. Effects of clove essential oil and eugenol on quality and browning control of fresh-cut lettuce[J]. Food Chemistry, 2017, 214: 432-439.

[13] HASHEMI S M B, MOUSAVI Khaneghah A, GHADERI Ghahfarrokhi M, et al. Basil-seed gum containing Origanum vulgare subsp. viride essential oil as edible coating for fresh cut apricots[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 125: 26-34.

[14] ZHAO Rui-peng, CHEN Su-fen, ZHANG Yun-bin, et al. Investigation of Essential Oil Microemulsion on the Fresh-cut Apple Qualities[J]. Food Industry, 2014, 35(10): 87-89.

[15] GUERREIRO A C, GAGO C M L, FALEIRO M L. Edible coatings enriched with essential oils for extending the shelf-life of ‘Bravo de Esmolfe’ fresh-cut apples [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2016, 51(1): 87-95.

[16] MARTI ON ME, MOREIRA R G, CASTELL-PEREZ ME, et al. Development of a multilayered antimicrobial edible coating for shelf-life extension of fresh-cut cantaloupe (Cucumis melo L.) stored at 4 °C [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 56(2): 341-350.

[17] AZARAKHSH N, OSMAN A, GHAZALI H M, et al. Lemon-

grass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 88: 1-7.

[18] 冯可, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 壳聚糖涂膜与牛至精油复配对鲜切菠萝的保鲜作用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015(7): 2 475-2 481.

[19] CHIABRANDO V, GIACALONE G. Effect of essential oils incorporated into an alginate-based edible coating on fresh-cut apple quality during storage[J]. *Quality Assurance & Safety of Crops & Foods*, 2014, 1(1): 81-83.

[20] 王步江, 刘金福, 樊秀花, 等. 肉桂精油抑菌活性研究[J]. *食品与机械*, 2011, 27(6): 166-167.

[21] 李群英, 廖红梅, 方正, 等. 牛至精油-白藜芦醇乳液的制备及抑菌活性研究[J]. *食品与机械*, 2017, 33(3): 110-114.

[22] GUILLÉN-CASLA V, ROSALES-CONRADO N, LEÓN-GONZÁLEZ M E, et al. Principal component analysis (PCA) and multiple linear regression (MLR) statistical tools to evaluate the effect of E-beam irradiation on ready-to-eat food [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2011, 24(3): 456-464.

[23] 谢丽源, 彭卫红, 唐杰, 等. 基于主成分分析法分析不同包装材料对双孢蘑菇品质的影响[J]. *食品科学*, 2016(16): 286-291.

[24] 刘毅. 西兰花采后黑斑病的鉴定以及致病机理的研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2009: 15-23.

[25] MOREIRA M D R, ROURA S I, PONCE A. Effectiveness of chitosan edible coatings to improve microbiological and sensory quality of fresh cut broccoli[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2011, 44(10): 2 335-2 341.

[26] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 32-101.

[27] 郑京平. 水果、蔬菜中维生素 C 含量的测定: 紫外分光光度快速测定方法探讨[J]. *光谱实验室*, 2006, 23(4): 731-735.

[28] 冯晓汀, 刘洪丽, 吴秀, 等. 乙醇对鲜切西兰花品质及其生理、生化代谢的影响[J]. *食品科学技术学报*, 2015(6): 18-23.

[29] 王慧倩, 郑聪, 王华东, 等. 乙醇熏蒸处理对鲜切西兰花活性成分和抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2014(16): 250-254.

[30] 伍婧, 王远亮, 李珂, 等. 基于主成分分析的不同醒发条件下挂面的特征质构[J]. *食品科学*, 2016(21): 119-123.

(上接第 117 页)

[16] STERN W. Handbook of package design research[M]. New York: John Wiley & Sons, 1981: 1-105.

[17] 王小芳. 基于“人—包交互”理念的食品及药品包装研究[J]. *食品工业*, 2017, 38(8): 203-207.

[18] RENEE Wever. Touching tubs and grabbing gable-tops: an editorial to the special issue on human-packaging interaction[J]. *Packaging Technology and Science*, 2016, 29(12): 603-606.

[19] 李珍, 苟秉宸, 初建杰, 等. 一种基于眼动追踪的产品用户需求获取方法[J]. *计算机工程与应用*, 2015, 51(9): 233-237.

[20] 石庆馨, 孙向红, 张侃. 可用性评价的焦点小组法[J]. *人类工效学*, 2005, 11(3): 64-67.

[21] 高锐涛, 郭晓燕, 徐宁. 产品设计中的人性因素和人体工学[J]. *包装工程*, 2011, 32(22): 61-63, 71.

[22] GOWRI Asaithambi. Research on how to promote the brand loyalty of online brand community members[J]. *International Journal of Intelligent Information and Management Science*, 2016, 5(3): 15.

[23] 刘丁菊. 有机食品包装的叙事性设计研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2015: 19-27.

[24] 郑子云. 基于材料感知体验的产品设计创新方法研究[J]. *包装工程*, 2017, 38(2): 197-200.

[25] 李润. 3D 数字化行为建模技术在饮料包装容器中的应用研究[J]. *工业仪表与自动化装置*, 2016(5): 33-35.

[26] 程超. 感性工学在包装设计中的可行性研究[J]. *包装工程*, 2016, 37(4): 14-17.

[27] LIN Jerry, LO Cheng-hung. Affordances feature on package design has preference effect on content[J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2015(9 187): 87-94.

[28] POUSETTE S, LÖFGREN M, NILSSON B, et al. An extended method to measure overall consumer satisfaction with packaging[J]. *Packaging Technology and Science*, 2014, 27(9): 727-738.

(上接第 121 页)

[13] 孙婧, 李媚, 侯军, 等. 不同温湿度条件下青花菜失水率预测模型的建立[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(12): 69-71.

[14] GIANNAKOUROU M C, TAOUKIS P S. Kinetic modelling of Vitamin C loss in frozen green vegetables under variable storage conditions[J]. *Food Chemistry*, 2003, 83(1): 33-41.

[15] JUHASZ M, KITAHARA Y, TAKAHASHI S, et al. Thermal stability of vitamin C: Thermogravimetric analysis and use of total ion monitoring chromatograms[J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2012, 59(3): 190-193.

[16] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化试验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 31.

[17] 林永艳, 谢晶, 朱军伟, 等. 真空预冷对青菜贮藏品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(21): 314-317.

[18] AGUERO M V, PONCE A G, MOREIRA M R, et al. Lettuce quality loss under conditions that favor the wilting phenomenon[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2011, 59(2): 124-131.

[19] 谢晶, 张利平, 高志立, 等. 鸡毛菜的品质动力学分析及货架期预测模型[J]. *食品科学*, 2014, 35(10): 268-272.

[20] 张立奎. 鲜切生菜在贮藏期间的微生物生长模型[J]. *食品与发酵工业*, 2004, 30(2): 49-49.

[21] ALLENDE A, LUO Y, MCEVOY J L, et al. Microbial and quality changes in minimally processed baby spinach leaves stored under super atmospheric oxygen and modified atmosphere conditions[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2004, 33(1): 51-59.

[22] 徐晓霞, 陈安均, 桑伟娜, 等. 不同温度贮藏鲜切生菜腐败细菌的分离及鉴定[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(1): 53-58.

[23] 王超, 刘斌, 巩玉芬, 等. 鲜切菠菜在不同冷藏温度下品质变化的动力模型[J]. *制冷学报*, 2015, 36(6): 98-103.