

影响腌制芥菜贮藏品质的非热加工因素通径分析

李共国¹, 何礼涛¹, 孙志栋^{2*}

(¹浙江万里学院 浙江宁波 315100

²宁波市农业科学研究院 浙江宁波 315040)

摘要 为探索一种优质、安全的腌制芥菜保藏方法,采用四因素三水平的正交试验方法,研究了臭氧杀菌,添加山梨酸钾、焦亚硫酸钠和柠檬酸对腌制芥菜保藏品质的影响。结果表明:37℃破坏性贮藏 1 周后,总酸含量是影响芥菜细菌总数的决定因素;反映芥菜降解程度的氨基态氮含量为影响细菌总数变化的限制因素,主要通过焦亚硫酸钠抑制芥菜降解对细菌总数产生较大的间接负向作用;O₃ 处理是促进亚硝酸盐含量下降的决定因素。贮藏 2 周后,山梨酸钾成为影响芥菜颜色变淡的限制因素,主要通过抑菌抑制芥菜的色素分解对芥菜 L 值产生较大的间接负向作用;芥菜黄色程度与细菌总数($r = 0.858, P = 0.003$)和亚硝酸盐含量($r = 0.851, P = 0.004$)之间均呈极显著的正相关关系,可作为外观品质评价指标。最佳工艺组合为 0.8 mg/L 臭氧处理 3 min,焦亚硫酸钠含量 0.30 mg/mL,柠檬酸含量 1.00 mg/mL。

关键词 腌制芥菜;非热加工;细菌总数;亚硝酸盐;通径分析

文章编号 1009-7848(2022)11-0318-08 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.11.033

芥菜(*Brassica juncea*)又名苦菜、辣菜、春菜,是十字花科芸薹属芥菜品种^[1]。它生长适应性强,产量高,是我国南方地区普遍栽培的腌制加工用蔬菜。它的类型和品种很多,有大叶芥菜、花叶芥菜、瘤柄芥菜、包心芥菜和分蘖芥菜(雪里蕻)等多种芥菜类型。芥菜含有许多天然的植物化学物质^[2],可以预防并抑制多种疾病,传统中医认为芥菜具有一定的食补功效,具有温胃散热以及治疗腹胀气滞、预防便秘的作用^[3]。叶用芥菜因有辛辣味,作为新鲜蔬菜的消耗量很小,通常以腌制加工的方式得以保藏。目前,腌制菜大多经脱盐与压榨、调味与装袋、封口与杀菌等热加工工序后流通^[4],加热杀菌会不同程度地破坏食品的质构和营养成分,改变其颜色和口味,导致其品质的劣变^[5]。腌制菜非热加工产品的鲜度更好、口感更脆,然而,其在贮藏过程中存在易氧化褐变、细菌数量大的问题,从而影响产品的货架期。一般在腌制蔬菜中添加山梨酸钾、焦亚硫酸钠等食品添加剂或其它食品抑菌剂可抑制微生物生长繁殖。臭氧是一种强氧化性气体,分解后没有残留,对细菌细胞壁的杀灭作用比氯气更强,已被美国食品药品监督管理局

(FDA)列入安全绿色保鲜气体,并对多种果蔬有较好的保鲜作用^[6]。本文尝试通过正交试验的方法,考察臭氧杀菌,添加防腐剂、抗褐变剂和酸味调节剂等非热加工因素对腌制芥菜贮藏品质的影响,特别关注非热因素影响腌制芥菜细菌总数和亚硝酸盐含量的变化路径,开发一种腌制芥菜的非热加工技术。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器设备

1.1.1 材料与试剂

1.1.1.1 材料 包心芥(酸菜)菜坯,取于宁波某腌制蔬菜厂的周转池。

1.1.1.2 试剂 焦亚硫酸钠,湖南岳阳三湘化工有限公司(食品级);柠檬酸,潍坊英轩实业有限公司(食品级);山梨酸钾,宁波王龙科技股份有限公司(食品级);氯化钠、亚铁氰化钾、乙酸锌、硼酸钠、对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺、邻苯二甲酸氢钾、盐酸、酚酞均为分析纯级,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 仪器与设备 SW-CJ-2D 双人单面净化工作台,苏州净化设备有限公司;LD2F-50L-II 立式高压蒸汽灭菌器,上海申安医疗器械厂;H1850R 离心机,湘仪离心机仪器有限公司;ST-756P 紫外分光光度计,上海光谱仪器有限公司;PHS-3CpH

收稿日期:2021-11-13

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0400405)

第一作者:李共国,男,硕士,教授

通信作者:孙志栋 E-mail: zdsun.cn@163.com

计,上海圣科仪器设备有限公司;YP30002 电子天平,上海佑科仪器有限公司;臭氧生成器(水中臭氧气体质量浓度可达 0.8 mg/L),台州市龙昌农业

科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 工艺流程 腌制芥菜加工流程见图 1。

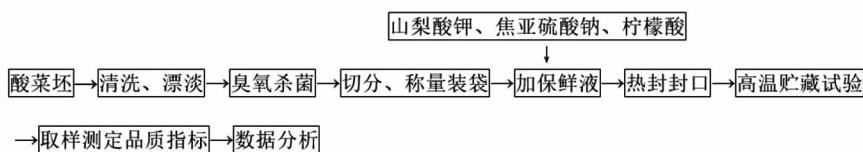


图 1 加工工艺流程图

Fig.1 Processing technology flow chart

1.2.2 正交试验设计 根据对生产酸菜工厂的实地考察,酸菜坯经过清洗、漂淡工艺流程,最后进入 O_3 水杀菌池。根据工厂生产所用的 O_3 杀菌条件,设置本试验的 O_3 水杀菌条件,即 0.8 mg/L O_3 水杀菌时间设置为 3, 5 min 和 7 min。保鲜剂包括防腐剂山梨酸钾、防褐变剂焦亚硫酸钠和酸味调节剂柠檬酸。根据胡秀虹等^[7]的研究结果,当山梨

酸钾的质量浓度到达 0.3 mg/mL 时,对腐败菌的抑制率可达 89%;吴金松等^[8]的研究发现,腌制液中添加 0.3 mg/mL 的焦亚硫酸钠可以有效延长鲜红辣椒的货架期,并且 SO_2 的残留量符合国家标准;方子斌等^[9]用 2.0 mg/mL 的柠檬酸处理竹笋取得较好的护色效果。表 1 为四因素三水平的正交试验设计表。

表 1 因素水平表 $L_9(3^4)$

Table 1 Factors and levels table of $L_9(3^4)$

因素		$O_3(A)/\text{min}$	山梨酸钾(B)/mg·mL ⁻¹	焦亚硫酸钠(C)/mg·mL ⁻¹	柠檬酸(D)/mg·mL ⁻¹
水平	1	7	0.00	0.00	0.00
	2	5	0.15	0.15	1.00
	3	3	0.30	0.30	2.00

注: 1)包装袋材料为 PA/PE,厚度 0.014 mm; 2)37 °C 贮藏,1 周测 1 次。

1.2.3 样品处理及指标测定 取正交试验各组 and 对照组芥菜各 1 包,各试验组先留出一小部分用于测定芥菜的色泽变化,其余样品用食品匀浆机将其打碎,备用。细菌总数采用平板计数法^[10],将试样经过梯度稀释后在 PCA 平板上(37±1)°C 培养 48 h,肉眼观察记录相应的菌落数量。酸度(总酸含量)采用酸碱滴定法测定,根据酸碱中和的原理,用碱液滴定以酚酞为指示剂,根据碱液的消耗量计算食品中的总酸含量^[11]。氨基态氮含量采用甲醛法测定,加入甲醛固定氨基的碱性,使羧基显示出酸性,用氢氧化钠标准溶液滴定后定量,以 pH 计测定终点^[12]。亚硝酸盐含量采用盐酸奈乙二胺法测定^[13]。芥菜的色泽采用色差仪测定,得到的色泽参数为 L 值、a 值和 b 值,其中 L 代表亮度轴,0 表示黑色,100 表示白色;a 代表红绿轴,正值表示红,负值表示绿;b 代表黄蓝轴,正值表示黄,负值表示蓝^[14]。

1.2.4 综合评分 对总酸含量、氨基态氮含量、亮度 L 赋值 5 分,数值越大分值越高;亚硝酸盐含量、菌落总数赋值各 5 分,数值越大分值越小,然后给与综合评分。

1.3 数据处理

分别以腌制芥菜细菌总数、亚硝酸盐含量和芥菜亮度为因变量(y),以臭氧杀菌时间(x_1)、山梨酸钾含量(x_2)、焦亚硫酸钠含量(x_3)、总酸含量(x_4)、氨基态氮含量(x_5)、芥菜亮度 L 值(x_6)和黄色程度(x_7)等为自变量,分析非热加工因素对腌制芥菜贮藏品质的影响。应用 DPS 数据处理系统,首先进行多元逐步回归分析^[15];其次,对进入回归方程的因子,作进一步的通径分析,分析软件直接将自变量与因变量之间的相关系数分解为直接通径系数和间接通径系数。通径系数绝对值大的自变量因子,其对因变量的影响也大,否则对因变量的影响就小^[16]。最后,计算各自变量对应变量综合作

用的决定系数,如某自变量的决定系数值最大,且为正值,则该自变量成为影响因变量大小的决定因素;如某自变量的决定系数值最小,且为负值,则该自变量构成影响因变量波动的限制因素^[17]。

2 结果与分析

表2 正交试验结果与极差分析

Table 2 Results of orthogonal test and range analysis

试验号	O ₃ (A)	山梨酸 钾(B)	焦亚硫 酸钠(C)	柠檬酸 (D)	氨基态氮/ g·(100 g) ⁻¹	总酸/ g·kg ⁻¹	亮度 (L值)	黄度 (b值)	亚硝 酸盐/ mg·kg ⁻¹	细菌 对数/lg (CFU·g ⁻¹)	综合 评分
1	7	0.00	0.00	0.00	0.105	1.26	50.31	14.07	4.48	8.00	14.0
2	7	0.15	0.15	1.00	0.152	2.34	37.11	15.94	3.45	8.00	13.5
3	7	0.30	0.30	2.00	0.244	2.7	41.4	18.39	3.45	8.00	15.5
4	5	0.00	0.15	2.00	0.261	3.78	48.44	13.94	4.14	8.30	14.5
5	5	0.15	0.30	0.00	0.192	1.98	51.63	14.26	4.83	7.70	16.5
6	5	0.30	0.00	1.00	0.170	3.42	44.5	16.79	4.14	8.65	12.5
7	3	0.00	0.30	1.00	0.301	5.58	50.17	17.59	7.24	8.18	17.0
8	3	0.15	0.00	2.00	0.142	9.18	41.02	15.58	4.83	8.70	13.5
9	3	0.30	0.15	0.00	0.140	7.38	53.09	22.29	5.52	8.30	16.0
CK	-	-	-	-	0.237	7.74	39.07	16.36	4.83	8.40	14.5
k ₁	0.17	0.222	0.139	0.146	影响氨基态氮含量的主要因子为 C						
k ₂	0.21	0.162	0.184	0.208							
k ₃	0.19	0.185	0.246	0.216							
极差	0.04	0.060	0.107	0.070							
k ₁	2.10	3.54	4.62	3.54	影响酸度的主要因子为 A						
k ₂	3.06	4.50	4.50	3.78							
k ₃	7.38	4.50	3.42	5.22							
极差	5.28	0.96	1.20	1.68							
k ₁	42.94	49.46	45.28	51.68	影响酸菜亮度的主要因子为 D						
k ₂	48.19	43.25	46.21	43.93							
k ₃	48.09	46.33	47.73	43.62							
极差	5.25	6.21	2.45	8.06							
k ₁	16.13	15.20	15.48	16.87	影响酸菜黄色程度的主要因子为 B						
k ₂	15.00	15.26	17.39	16.77							
k ₃	18.49	19.16	16.75	15.97							
极差	3.49	3.96	1.91	0.90							
k ₁	3.79	5.29	4.48	4.94	影响亚硝酸盐含量的主要因子为 A						
k ₂	4.37	4.37	4.37	4.94							
k ₃	5.86	4.37	5.17	4.14							
极差	1.96	0.92	0.80	0.80							
k ₁	8.00	8.16	8.45	8.00	影响细菌总数的主要因子为 C						
k ₂	8.22	8.13	8.2	8.22							
k ₃	8.39	8.32	7.96	8.39							
极差	0.39	0.19	0.49	0.39							

注:CK 为对照组。

2.1 高温贮藏试验 1 周

2.1.1 正交试验结果与极差分析 芥菜包在 37℃贮藏 1 周后,正交试验结果与极差分析见表 2。所有芥菜贮藏品质指标在各试验号之间均无显著差异。

从表 2 的极差值可见,影响芥菜氨基态氮含量、细菌总数的主要因子均为焦亚硫酸钠含量(C),影响芥菜酸度、亚硝酸盐含量的主要因素均为臭氧杀菌时间(A),影响芥菜亮度和黄色程度的主要因素分别为柠檬酸含量(D)和山梨酸钾含量(B)。综合评分以 7 号处理(A₃B₁C₃D₂)为最高 17.0,其次是 5 号处理和 9 号处理,6 号处理综合评分最低 12.5。

2.1.2 非热加工因素与腌制芥菜细菌总数、亚硝

酸盐含量之间的关系 非热加工因素与细菌总数、亚硝酸盐含量之间的逐步多元回归方程见表 3(P≤0.0322)。由表 3 中决定系数的数值可见,总酸含量是影响酸芥菜细菌总数的决定因素,而氨基态氮含量是影响芥菜细菌总数波动的限制因素。影响腌制芥菜亚硝酸盐含量的决定因素是 O₃ 处理,总酸含量是影响芥菜亚硝酸盐含量波动的限制因素。

表 3 非热加工因素与芥菜细菌总数、亚硝酸盐含量之间的关系

Table 3 Relationships between processing factors and total bacterial count, nitrite content of mustard

品质 指标	样本 数量	多元回归方程	重要因素及决定系数		r	P
			决定因素 (决策系数)	限制因素 (限制系数)		
细菌总数	9	$y = 7.57 + 0.82x_2 - 2.73x_3 + 0.05x_4 + 3.69x_5$; 其中,y 为芥菜细菌总数;x ₂ 为山梨酸钾含量;x ₃ 为焦亚硫酸钠含量;x ₄ 为总酸含量;x ₅ 为氨基态氮含量	总酸含量 (0.409)	氮氮含量 (-0.729)	0.997	0.0002
亚硝酸盐含量	9	$y = 6.29 - 0.73x_1 - 5.33x_2 - 0.26x_4 + 0.24x_8$; 其中,y 为芥菜亚硝酸盐含量;x ₁ 为 O ₃ 处理时间;x ₂ 为山梨酸钾含量;x ₄ 为总酸含量;x ₈ 为酸菜 b 值	O ₃ 处理 (0.491)	总酸含量 (-0.937)	0.945	0.0322

为探究加工因子影响芥菜细菌总数和亚硝酸盐含量的机制,作以下通径分析:焦亚硫酸钠影响芥菜细菌总数的直接作用效果最大(表 4),作用系数达-1.093(绝对值最大),而其通过氨基态氮对细菌总数产生较大的间接正向作用(作用系数 0.525),致使焦亚硫酸钠对芥菜细菌总数的综合作用并非最大,它们之间的相关系数小于总酸含量与细菌总数间的相关系数;氨基态氮含量对芥菜细菌总数的直接作用系数绝对值仅次于焦亚硫酸钠,为 0.742,而其通过焦亚硫酸钠对细菌总数产生的间接负向作用(-0.773)较大,致使氨基态氮含量对芥菜细菌总数的综合作用由正向变为负

向,它们之间的相关系数绝对值最小。总酸含量对芥菜细菌总数的综合作用效果最大,由于总酸含量对芥菜细菌总数的决定系数为最大正值(0.409),且与细菌总数之间的偏相关系数[r(y, X_{总酸含量}) = 0.9817, P = 0.0005] 达到极显著水平。可见,总酸含量是影响细菌总数的决定因素;氨基态氮含量对细菌总数的决定系数最小,且为负值-0.729,并与细菌总数之间的偏相关系数[r(y, X_{氨基态氮})] = -0.9864 (P < 0.01) 达到极显著水平。由此,氨基态氮含量是细菌总数变化的限制因素,主要通过焦亚硫酸钠抑菌效应对细菌总数产生较大的间接负向作用。

表 4 非热加工因子对芥菜细菌总数的通径分析

Table 4 Path analysis of non-thermal processing factors on total bacterial count in mustard

因子	相关系数	直接作用 系数	间接作用 系数之和	间接作用系数			
				→山梨酸钾	→焦亚硫酸钠	→总酸	→氨基态氮
山梨酸钾	0.209	0.326	-0.117		-0.000	0.068	-0.185
焦亚硫酸钠	-0.653	-1.093	0.440	0.000		-0.085	0.525
总酸	0.687	0.436	0.251	0.051	0.213		-0.013
氨基态氮	-0.120	0.742	-0.862	-0.081	-0.773	-0.008	

注:决策系数:总酸(0.409)>焦亚硫酸钠(0.233)>山梨酸钾(0.030)>氨基态氮(-0.729)。

影响芥菜亚硝酸盐含量最大的直接作用因子为 O_3 处理 (表 5), 作用系数 (绝对值最大) 达 -1.075 ; 其次为总酸, 作用系数为 -0.600 , 而总酸通过 O_3 杀菌处理对亚硝酸盐含量产生较大的间接正向作用 (作用系数 0.921), 致使总酸对芥菜亚硝酸盐含量的综合作用由负向变为正向。从相关系数值可见, O_3 处理对芥菜亚硝酸盐含量的综合作用效果排序第一, 总酸含量排序第二。因 O_3 处理对芥菜亚硝酸盐含量的决定系数最大, 且

为正值 0.491 , 并与亚硝酸盐含量之间的偏相关系数 $[r(y, X_{O_3\text{处理}})] = -0.8482 (P < 0.05)$ 达到显著水平。因此, O_3 处理成为芥菜亚硝酸盐含量 (下降) 的决定因素; 总酸含量对亚硝酸盐含量的决定系数虽最小, 也为负值 -0.937 , 但与亚硝酸盐含量之间的偏相关系数 $[r(y, X_{\text{总酸含量}})] = -0.6658 (P > 0.05)$ 未达到显著水平, 未构成亚硝酸盐含量变化的限制因子。

表 5 非热因子对芥菜亚硝酸盐含量的通径分析

Table 5 Path analysis of non-thermal processing factors on nitrite content in mustard

因子	相关系数	直接作用 系数	间接作用 系数之和	间接作用系数			
				→ O_3 处理	→山梨酸钾	→总酸	→酸菜 b 值
O_3 处理	-0.766	-1.075	0.309		-0.000	0.515	-0.206
山梨酸钾	-0.339	-0.592	0.253	-0.000		-0.094	0.347
总酸	0.481	-0.600	1.081	0.921	-0.092		0.251
酸菜 b 值	0.291	0.540	-0.249	0.410	-0.380	-0.280	

注: 决策系数: O_3 处理时间 (0.491) > 山梨酸钾 (0.051) > 酸菜 b 值 (0.023) > 总酸 (-0.937)。

2.2 高温贮藏试验 2 周

芥菜 $37\text{ }^\circ\text{C}$ 高温贮藏试验 2 周后, 综合评分也以 7 号处理最高 21.5, 其次是 6 号处理和 8 号处理, 3 号处理的综合评分最低 10.0。

非热加工因素 (x) 与腌制芥菜 L 值 (y) 之间的逐步多元回归方程通过了显著性检验, $y = 39.80 - 0.47x_1 + 15.47x_2 - 1.61x_4 + 47.27x_5$ ($n=9, r = 0.972, P = 0.0091$)。其中, y 为芥菜 L 值; x_1 为臭氧处理时间; x_2 为山梨酸钾含量; x_4 为总酸含量; x_5 为氨基态氮含量。影响酸菜 L 值的最大直接作用因素为氨基态氮 (表 6), 作用系数达 0.824 , 而其通过山梨酸钾对芥菜 L 值产生较大的间接负向作用 (作用系数 -0.356), 致使氨基态氮对芥菜 L 值的综合作用

并非最大; O_3 处理对芥菜 L 值的直接作用系数绝对值虽然最小, 作用系数为 -0.282 , 而其通过氨基态氮对芥菜 L 值产生较大的间接负向作用 (作用系数 -0.304), 致使 O_3 处理对芥菜 L 值的综合作用排序第一, 它们两者之间的相关系数为 -0.557 。值得注意的是, 山梨酸钾对芥菜 L 值的直接作用系数为 0.694 , 而其通过 (抑制腐败菌分解芥菜产生) 氨基态氮对芥菜 L 值产生较大的间接负向作用 -0.422 , 从而使山梨酸钾与芥菜 L 值之间的相关系数最小。由于山梨酸钾对芥菜 L 值的决定系数最小, 且为负值 -0.267 , 并与 L 值之间的偏相关系数 $[r(y, X_{\text{山梨酸钾}})] = 0.9190, P = 0.0098$ 达到极显著水平。因此, 山梨酸钾是影响芥菜 L 值变化的

表 6 非热加工因素对酸菜亮度 (L 值) 的通径分析

Table 6 Path analysis of non-thermal processing factors on the brightness (L value) of mustard

因子	相关系数	直接作用 系数	间接作用 系数之和	间接作用系数			
				→ O_3 处理	→山梨酸钾	→总酸含量	→氨基态氮
O_3 处理	-0.557	-0.282	-0.275		0.000	0.029	-0.304
山梨酸钾	0.157	0.694	-0.537	-0.000		-0.115	-0.422
总酸含量	-0.434	-0.698	0.264	0.012	0.115		0.138
氨基态氮	0.456	0.824	-0.368	0.104	-0.356	-0.117	

注: 决策系数: O_3 处理 (0.235) > 氨基态氮 (0.119) > 细菌总数 (0.073) > 山梨酸钾 (-0.267)。

限制因素,主要通过(抑菌抑制芥菜降解产生)氨基态氮对芥菜 L 值产生较大的间接负向作用。而 O_3 处理对芥菜 L 值的决定系数虽为最大正值(0.235),但其与芥菜 L 值之间的偏相关系数 [$r(y, X_{O_3\text{处理}}) = -0.7316, P = 0.0984$] 未达到显著水平,不构成影响芥菜 L 值的决定因素。另外,酸菜黄色程度与细菌总数 ($r = 0.858, P = 0.003$) 和亚硝酸盐含量 ($r = 0.851, P = 0.004$) 之间均呈极显著的正相关关系,可作为外观品质评价指标。

3 讨论

一般认为,腌制蔬菜中的乳酸菌是通过产酸达到抑制腐败菌的目的^[18],本试验研究表明,非热加工酸芥菜的细菌总数随着酸度的增大而显著增加 ($n = 9, r = 0.687, P = 0.041$, 表 4),可见,这里的细菌总数主要是指乳酸菌,乳酸菌产酸使芥菜的酸度增大。氨基态氮含量主要来自芥菜的腐败解体,酸芥菜中的乳酸菌有助于菜体蛋白质降解,使氨基态氮含量升高^[19]。王日思等^[20]研究发现,焦亚硫酸钠和山梨酸钾对南酸枣皮均有抑菌作用,焦亚硫酸钠不仅可以起到护色作用且抑菌效果要好于山梨酸钾。这是氨基态氮含量对芥菜细菌总数既有较大的直接正向作用系数,又能通过焦亚硫酸钠的抑菌作用对细菌总数产生较大的间接负向作用的缘故(表 4)。由于腌制芥菜中的亚硝酸盐产生自腌制过程中细菌分泌的硝酸还原酶对蔬菜中累积的硝酸盐的转化^[21],所以可通过减少细菌总数来降低腌制芥菜亚硝酸盐含量。试验表明,臭氧处理抑制了芥菜亚硝酸盐的产生,提示 O_3 处理是促使芥菜亚硝酸盐含量下降的最大直接作用因子(表 5),而总酸含量可通过 O_3 杀菌处理(减少乳酸菌)间接促进了亚硝酸盐含量的上升,这是因为乳酸菌有抑制亚硝酸盐产生的作用^[19]。综上, O_3 对酸芥菜杀菌处理不宜过度。

贮藏后期,芥菜随着不断被降解产生氨基态氮,芥菜中的色素物质也会发生变化,其中叶绿素和花青素不稳定、易褪色,而胡萝卜素和叶黄素在贮藏过程中比较稳定、不易变色,使蔬菜的外观变黄^[22],这使腌制芥菜的色泽变得淡而白,并使氨基态氮含量成为影响芥菜 L 值最大的直接作用因子(表 6)。然而,山梨酸钾可通过抑菌抑制芥菜的降

解,阻断色素的分解,减缓腌制芥菜颜色变淡的进程。另外,山梨酸钾还有保持腌制芥菜黄色程度的作用(表 2)。

4 结论

高温贮藏试验 1 周后,总酸含量是酸芥菜(乳酸菌)细菌总数的决定因素,氨基态氮含量是影响细菌总数变化的限制因素,主要通过焦亚硫酸钠抑菌效应对细菌总数产生较大的间接负向作用。 O_3 处理是酸芥菜亚硝酸盐含量下降的决定因素。高温试验 2 周后,山梨酸钾是芥菜 L 值变化的限制因素,主要通过抑菌抑制芥菜的色素分解对芥菜 L 值产生较大的间接负向作用。酸菜细菌总数和亚硝酸盐含量随着酸菜黄色程度的加深而极显著增大,外观品质黄色程度可作为酸菜品质评价的指标。综合第 1 周、第 2 周贮藏试验的酸菜品质评分,处理 7 号 $A_3B_1C_3D_2$ (0.8 mg/L O_3 臭氧处理 3 min, 焦亚硫酸钠含量 0.3 mg/mL 和柠檬酸含量 1.0 mg/mL) 为酸芥菜非热加工最佳工艺。

参 考 文 献

- [1] 张德纯. 叶用芥菜[J]. 中国蔬菜, 2014(9): 64.
ZHANG D C. Leaf mustard[J]. Chinese Vegetables, 2014(9): 64.
- [2] 杨小维, 刘斐, 王英英, 等. 芥菜营养价值及发展趋势[J]. 北京农业, 2010(16): 51.
YANG X W, LIU F, WANG Y Y, et al. Nutritional value and development trend of mustard[J]. Beijing Agriculture, 2010(16): 51.
- [3] 金伟林. 芥菜的营养价值及高产高效栽培技术[J]. 蔬菜, 2014(6): 40-41.
JIN W L. Nutritional value and high yield and high efficiency cultivation techniques of mustard[J]. Vegetables, 2014(6): 40-41.
- [4] 李菲. 日本与韩国特色腌制菜生产工艺[J]. 农产品加工, 2012(9): 26-27.
LI F. Production technology of special pickled vegetables in Japan and Korea[J]. Farm Products Processing, 2012(9): 26-27.
- [5] 赵彩萍, 许秀举. 非热加工食品的安全性进展[J]. 包头医学院学报, 2011, 27(3): 118-119.
ZHAO C P, XU X J. Safety progress of non-ther-

- mal processed food[J]. Journal of Baotou Medical College, 2011, 27(3): 118-119.
- [6] 张慧杰, 纪海鹏, 张晓军, 等. 臭氧处理对采后西兰花贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(23): 9-14.
- ZHANG H J, JI H P, ZHANG X J, et al. Effect of ozone treatment on the quality of postharvest broccoli[J]. Food Research and Development, 2019, 40(23): 9-14.
- [7] 胡秀虹, 黄意, 汤承浩, 等. 防腐剂对腌制韭菜根中腐败细菌的抑制效果研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(3): 67-72.
- HU X H, HUANG Y, TANG C H, et al. Study on the inhibition effect of preservatives on putrefactive bacteria in pickled leek roots[J]. China Condiment, 2020, 45(3): 67-72.
- [8] 吴金松, 王辉, 田宝明, 等. 鲜红辣椒腌制保藏技术的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(21): 317-321, 326.
- WU J S, WANG H, TIAN B M, et al. Curing preservation technology of red pepper[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(21): 317-321, 326
- [9] 方子斌, 李海平, 郑剑. 腌制竹笋防褐变无硫护色剂的研发[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(23): 53, 167-168.
- FANG Z C, LI H P, ZHENG J. Study on inhibition of browning of pickled bamboo shoots with non-sulfites[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2011, 17(23): 53, 167-168.
- [10] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.1-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. National standard for food safety microbiological examination of food determination of total bacterial count: GB 4789.1-2016 [S]. Beijing: China Standards Press, 2016.
- [11] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中总酸的测定: GB 12456-2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- National Health Commission, State Administration for Market Regulation. National standard for food safety determination of total acid in food: GB 12456-2021 [S]. Beijing: China Standards Press, 2021.
- [12] 卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 酱油卫生标准的分析方法: GB/5009.39-2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- Ministry of Health, China National Standardization Management Committee. Analysis method of hygienic standard for soy sauce: GB/5009.39-2003 [S]. Beijing: China Standards Press, 2003.
- [13] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中亚硝酸盐和硝酸盐的测定: GB 5009. 33-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. Determination of nitrite and nitrate in food: GB 5009. 33-2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.
- [14] 易俊洁, 李琳, 冯仑, 等. 超高压处理酸菜褐变机理初探[J]. 食品工业科技, 2010, 31(12): 97-99, 103.
- YI J J, LI L, FENG L, et al. Preliminary study on browning mechanism of sour Chinese cabbage after high hydrostatic pressure treatment [J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(12): 97-99, 103.
- [15] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统-实验设计、统计分析及数据挖掘[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 636-644.
- TANG Q Y, FENG M G. DPS data processing system - Experimental design, statistical analysis and data mining[M]. Beijing: Science Press, 2007: 636-644.
- [16] 陈鹏, 叶辉, 刘建宏. 云南瑞丽桔小实蝇成虫种群数量变动及其影响因子分析[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 2801-2809.
- CHEN P, YE H, LIU J H. Population dynamics of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) along with analysis on the factors influencing the population in Ruili, Yunnan Province [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 2801-2809.
- [17] 袁志发, 周静芋, 郭满才, 等. 决策系数——通径分析中的决策指标[J]. 西北农林科技大学学报, 2001, 29(5): 131-133.
- YUAN Z F, ZHOU J Y, GUO M C, et al. Decision coefficient the decision index of path analysis [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2001, 29(5) : 131-133.
- [18] 张锐, 吴祖芳, 沈锡权, 等. 榨菜低盐腌制过程的微

- 生物群落结构与动态分析[J]. 中国食品学报, 2011, 11(3): 175-180.
- ZHANG R, WU Z F, SHEN X Q, et al. Microbial community structure and its dynamic analysis during the processing of low-salinity pickled mustard tuber [J] Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(3): 175-180.
- [19] 高世阳, 孙志栋, 杜新勇, 等. 乳酸菌对低盐腌制榨菜理化性质及风味成分的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(11): 2663-2668.
- GAO S Y, SUN Z D, DU X Y, et al. Physico-chemical properties and flavor components of low-salt pickle inoculated with lactic acid bacteria [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(11): 2663-2668.
- [20] 王日思, 褚贝贝, 凌华山, 等. 不同贮藏温度下山梨酸钾和焦亚硫酸钠对南酸枣皮浆品质的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(11): 152-158.
- WANG R S, CHU B B, LING H S, et al. Effects of potassium sorbate and sodium pyrosulfite on storage quality of *Choerospondias axillaris* peel pulp in different temperatures[J]. Food and Machinery, 2019, 35(11): 152-158.
- [21] 马巍, 孙海侠. 酱腌菜和肉制品中亚硝酸盐的研究进展[J]. 吉林省教育学院学报, 2013, 29(12): 143-144.
- MA W, SUN H X. Research progress of nitrite in pickles and meat products[J]. Journal of Educational Institute of Jilin Province, 2013, 29(12): 143-144.
- [22] 罗自生. 果蔬原料加工时的变色和护色措施[J]. 食品科技, 1997(6): 23-24.
- LUO Z S. Discoloration and color protection measures during processing of fruit and vegetable raw materials [J]. Food Science and Technology, 1997(6): 23-24.

Path Analysis of Effects of Non-thermal Processing Factors on Storage Quality of Pickled Mustard

Li Gongguo¹, He Litao¹, Sun Zhidong^{2*}

¹Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, Zhejiang

²Ningbo Academy of Agricultural Sciences, Ningbo 315040, Zhejiang)

Abstract In order to explore a high quality and safe preservation method of pickled mustard, the effects of ozone sterilization, potassium sorbate, sodium pyrosulfite and citric acid on the preservation quality of pickled mustard were studied by orthogonal test with four factors and three levels. The results showed that the total acid content was the decisive factor affecting the total bacterial count of mustard after one week of destructive storage at 37 °C, and the content of amino nitrogen, which reflected the degradation degree of mustard, was the limiting factor affecting the fluctuation of the total bacterial count, mainly through the inhibition of mustard degradation by sodium pyrosulfite, which had a large indirect negative effect on the total bacterial count; O₃ treatment was the decision factor to promote the decrease of nitrite content. After 2 weeks of storage, potassium sorbate was the limiting factor affecting the discoloration of mustard, and it had produced a great indirect negative effect on the L value of mustard, mainly through inhibiting the pigment decomposition of mustard by bacteriostasis. There was a significant positive correlation between the yellow degree of mustard and the total number of bacteria ($r=0.858$, $P=0.003$) and nitrite content ($r=0.851$, $P=0.004$), which could be used as an evaluation index of appearance quality. The optimal process combination was 0.8 mg/L O₃ treatment for 3 min, sodium pyrosulfite content of 0.30 mg/mL, citric acid content of 1.00 mg/mL.

Keywords pickled mustard; non thermal processing; total number of bacteria; nitrite; path analysis