

云南新平腌菜发酵过程中品质变化规律

The quality change of Yunnan Xinping pickles during fermentation

王馨蕊 李宏 马伊然 刘毕琴 史巧

WANG Xin-rui LI Hong MA Yi-ran LIU Bi-qin SHI Qiao

(云南省农业科学院农产品加工研究所, 云南 昆明 650000)

(Institute of Agro-products Processing, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650000, China)

摘要:目的:获得云南传统新平腌菜最佳发酵时间。方法:对不同发酵时间下新平腌菜进行感官评价和质构测定,并按国标法测定pH值和亚硝酸盐含量。结果:随着发酵进行,感官方面,新平腌菜色泽和质地得分逐渐上升,6 d后趋于平稳,香气和滋味得分先升高,7 d后开始下降;质构方面,菜柄的咀嚼性从发酵第7天开始趋于稳定;发酵7 d时pH值为4.67,之后下降并稳定在4.3左右;发酵20 h时出现亚硝峰,2 d后亚硝酸盐含量下降到1~3 mg/kg。结论:综合考虑感官、质构、pH值及亚硝酸盐含量变化,发酵7 d左右的新平腌菜品质最佳。

关键词:新平腌菜;芥菜;感官品质;质构;亚硝酸盐

Abstract: Objective: This study aimed to obtain the best fermentation time of Yunnan traditional Xinping pickles. Methods: Sensory evaluation and texture measurement of Xinping pickles under different fermentation times were carried out, and the pH value and nitrite content were determined according to the national standard method. Results: As the fermentation progressed, the sensory aspect of Xinping pickles gradually increased in color and texture, and stabilized after 6 days. The aroma and taste scores increased firstly, and then began to decline after 7 days. In terms of texture, the chewiness of the shank started to stabilize from Day 7. The pH value was 4.67 when it reached maturity after 7 days of fermentation, and then dropped and stabilized at around 4.3. The nitrite peak appeared at 20 hr of fermentation, and the nitrite content dropped to 1~3 mg/kg after 2 days. Conclusion: Considering the sensory, texture, pH and nitrite content changes, Xinping pickles that are fermented for about 7 days have the best quality.

Keywords: Xinping pickles; mustard greens; sensory quality;

texture; nitrite

新平腌菜是云南省新平县的一种传统特色发酵蔬菜,是将新平当地叶用芥菜晾至半干后经低盐工艺快速发酵而成。经发酵后的芥菜,营养成分更加丰富,抗氧化能力增强,对人体健康具有一定的功能性^[1-2]。目前对云南新平腌菜发酵过程中的品质变化尚缺乏系统研究,产品适宜发酵天数、出厂品质还没有统一的标准,不利于其产业的长远发展。研究拟对不同发酵时间的云南新平腌菜进行感官评价和质构分析,并测定pH值及亚硝酸盐含量,以期探明其品质变化规律,确定适宜发酵时间,为云南新平腌菜的标准化生产、产品质量稳定性控制提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

叶用芥菜(*Brassica juncea*):峨山翠嘎商贸有限公司;
食盐:云南省盐业有限公司;
红糖:新平波蚩食品有限公司;
大红袍花椒、辣椒粉、八角、小茴香:昆明家乐福超市有限公司;
牛栏山二锅头白酒:北京顺鑫农业股份有限公司;
亚铁氰化钾:分析纯,天津市风船化学试剂科技有限公司;
乙酸锌、冰乙酸、硼酸钠、对氨基苯磺酸:分析纯,天津市致远化学试剂有限公司;
盐酸:分析纯,四川西陇科学有限公司;
盐酸蔡乙二胺:分析纯,上海展云化工有限公司;
亚硝酸钠基准试剂:99.99%,上海麦克林生化科技有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

质构仪:TMS-Touch型,美国FTC公司;

基金项目:云南省科技厅重大科技专项(编号:202002AE320006)

作者简介:王馨蕊,女,云南省农业科学院研究实习员,硕士。

通信作者:李宏(1974—),男,云南省农业科学院研究员,硕士。

E-mail:lihong@yaas.org.cn

收稿日期:2021-07-19

pH 计:FE20 Plus 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

酶标仪: MULTISKAN GO 型,美国 Thermo Fisher Scientific 公司;

鼓风干燥箱:DHG-9140A 型,上海一恒科学仪器有限公司;

电子天平:AUY220 型,岛津制作所。

1.2 方法

1.2.1 腌菜制作 挑选无病害的原料菜,去除黄叶,晾晒 2~3 d,至重量为鲜菜的 65%左右。轻轻搓揉清洗菜叶,挤干水分。根据晾晒后的菜重,称取配料并混匀,配料有

3%食盐、1.6%红糖、0.4%大红袍花椒、1.3%辣椒粉、0.5%八角及 0.2%小茴香。将配料均匀揉搓于菜叶上,即可入坛,入坛时需按压紧实。封坛前,在腌菜顶部倒入 5 mL 高度白酒,扣盖,在坛沿倒入冷开水封坛,常温下自然发酵 10 d。重复 3 个批次,每个取样时间点从不同坛中取 3 组样品,开坛取样过的坛子不再从中取样。试验在 11—12 月进行,白天气温 18~21 ℃,夜间温度 7~10 ℃。

1.2.2 感官评价 选取 10 名感官评定人员,对各发酵阶段的腌菜进行感官评价,针对腌菜的色泽、质地、香气及滋味 4 项指标进行打分,感官评价标准见表 1。

表 1 新平腌菜发酵感官指标评分标准
Table 1 Sensory evaluation standard of Xinping pickles

色泽(10 分)	质地(20 分)	香气(35 分)	滋味(35 分)
色泽金黄(10~7 分)	脆嫩可口(20~14 分)	具有腌菜特有的酸香味(35~24 分)	味道鲜美,酸甜适宜,无苦涩味(35~24 分)
色泽青黄(7~4 分)	菜质较脆(14~8 分)	有酸味,无异味(24~13 分)	微酸,甜咸适宜,无苦涩味(24~13 分)
色泽偏绿(4 分以下)	菜质生硬,咀嚼感差(8 分以下)	酸气刺鼻,有霉味(13 分以下)	偏咸偏苦,过酸(13 分以下)

1.2.3 质构测定 以修剪为 2 cm×3 cm 的条状菜柄进行全质构(TPA)测试。采用 TMS 10 mm 圆柱探头,参数设置为测前速度 1.0 mm/s,测试速度 0.5 mm/s,测后上行速度 1.0 mm/s,两次压缩间隔时间 5 s,形变量 60%,触发力 0.1 N。测定指标包括硬度、弹性、破裂力、黏附性、内聚性及咀嚼性。每组样品进行 6 次测定。

1.2.4 酸碱度测定 根据 GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》进行测定。测定 3 个平行。

1.2.5 亚硝酸盐含量测定 根据 GB 5009.33—2016《食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》中第二法(分光光度法)进行测定。测定 3 个平行。

1.2.6 数据统计分析 采用 IBM SPSS Statistics 22 对数据进行单因素方差等分析,应用 OriginPro 9.1 绘图,应用 SIMCA 14.1 进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 食用品质分析

2.1.1 感官品质 感官评定人员根据评分标准对新平腌菜各发酵时间的评分情况如表 2 所示,发酵过程中腌菜的色泽、质地、香气及滋味变化情况见图 1。总体上,新平腌菜的感官品质分值呈先缓慢上升,后快速下降的趋势。发酵 7 d 总得分最高,其次为 6,8 d。色泽方面,腌菜由绿色逐渐变为黄绿色,最后变为金黄色。发酵第 6 天腌菜呈现出的金黄色较为均匀,之后色泽变化不显著。质地

方面的变化趋势与色泽类似,腌菜质地从发酵第 6 天开始脆嫩可口,得分稳定。腌菜的香气在发酵 7 d 时最佳,之后得分降低较快,研究显示发酵芥菜中优势的挥发性风味成分为以异硫氰酸烯丙酯为主的酯类物质,这类物质具有芳香和辛辣味,被认为是十字花科蔬菜产品中的特征成分^[3-4]。滋味方面,发酵 7 d 得分最高,其次为 6,8 d,腌菜中的蛋白质在微生物的作用下降解为氨基酸态

表 2 新平腌菜感官品质测定数据[†]

Table 2 Determination datas of sensory quality of Xinping pickles

发酵时间/d	色泽	质地	香气	滋味
1	2.17±0.29 ^d	9.33±0.58 ^e	14.67±0.58 ^b	8.67±0.58 ^e
2	2.47±0.06 ^d	10.67±1.15 ^d	16.33±0.58 ^e	10.33±0.58 ^f
3	2.50±0.10 ^d	12.33±0.58 ^e	18.67±1.15 ^f	12.33±0.58 ^e
4	4.50±0.50 ^c	13.33±0.58 ^e	20.67±0.58 ^e	16.33±1.53 ^d
5	5.83±1.04 ^b	16.33±0.58 ^b	22.33±0.58 ^d	21.33±1.53 ^c
6	7.13±0.32 ^a	17.50±0.50 ^{ab}	28.67±0.58 ^b	29.33±0.58 ^b
7	7.67±0.35 ^a	18.33±0.58 ^a	30.33±0.58 ^a	31.67±1.53 ^a
8	7.73±0.46 ^a	18.00±1.00 ^a	25.00±1.00 ^c	29.33±0.58 ^b
9	7.83±0.29 ^a	17.33±0.58 ^{ab}	13.33±1.15 ^b	8.33±0.58 ^e
10	7.67±0.58 ^a	17.33±0.58 ^{ab}	11.67±1.53 ⁱ	6.33±0.58 ^b

† 同列字母不同表示数据之间存在显著性差异(P<0.05)。

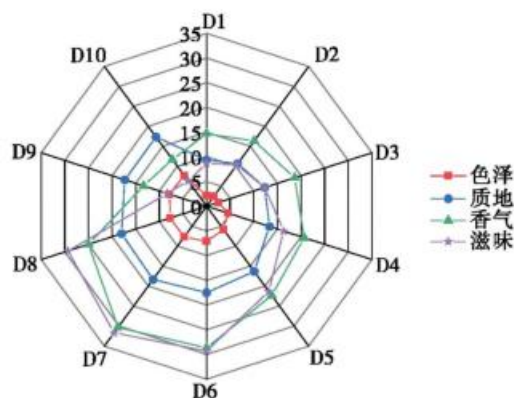
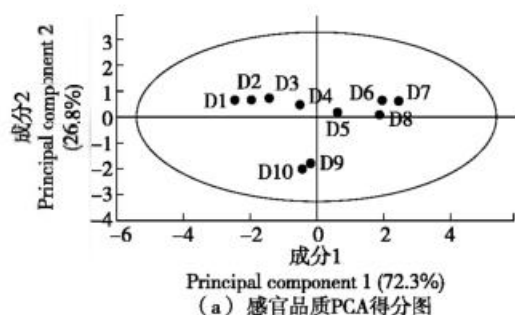
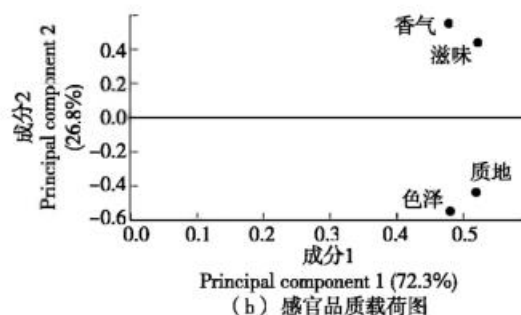


图 1 新平腌菜发酵过程中感官品质的变化

Figure 1 The change of sensory quality of Xinping pickles during fermentation



(a) 感官品质PCA得分图



(b) 感官品质载荷图

图 2 新平腌菜感官品质主成分分析

Figure 2 Principal component analysis of sensory quality of Xinping pickles

表 3 新平腌菜质构品质测定数据[†]

Table 3 Determination datas of texture quality of Xinping pickles

发酵时间/d	硬度/N	弹性/mm	破裂力/N	黏附性/MJ	内聚性	咀嚼性/MJ
1	38.62±1.29 ^a	1.55±0.55 ^{ab}	22.12±3.61 ^a	0.24±0.07 ^{ab}	0.16±0.04 ^a	10.79±0.35 ^a
2	35.69±3.21 ^{ab}	1.18±0.33 ^{ab}	18.61±3.09 ^{ab}	0.26±0.09 ^{ab}	0.13±0.04 ^{ab}	5.53±1.60 ^{bc}
3	35.13±2.61 ^b	1.13±0.51 ^{ab}	19.75±0.91 ^{ab}	0.23±0.05 ^{ab}	0.10±0.01 ^b	4.04±1.70 ^{cd}
4	34.69±3.24 ^{bc}	1.52±0.51 ^{ab}	19.86±3.65 ^{ab}	0.21±0.10 ^b	0.13±0.02 ^{ab}	6.51±0.48 ^b
5	32.46±1.52 ^{bcd}	1.59±0.44 ^{ab}	22.42±2.06 ^a	0.22±0.07 ^{ab}	0.12±0.04 ^{ab}	6.37±0.96 ^b
6	31.08±1.55 ^{cd}	1.94±0.78 ^a	18.07±2.66 ^{ab}	0.26±0.03 ^{ab}	0.12±0.03 ^{ab}	7.25±1.40 ^b
7	31.37±0.82 ^{cd}	1.26±0.34 ^{ab}	19.90±3.35 ^{ab}	0.36±0.09 ^a	0.10±0.01 ^b	4.19±0.43 ^{cd}
8	30.67±1.25 ^d	0.95±0.30 ^b	17.79±1.60 ^{ab}	0.24±0.10 ^{ab}	0.12±0.03 ^{ab}	3.31±1.24 ^d
9	31.40±0.54 ^{cd}	0.80±0.21 ^b	16.62±2.52 ^b	0.31±0.07 ^{ab}	0.10±0.01 ^b	2.58±0.63 ^d
10	29.29±1.16 ^d	0.88±0.38 ^b	17.44±1.18 ^{ab}	0.19±0.02 ^b	0.11±0.01 ^b	2.74±0.24 ^d

[†] 同列字母不同表示数据之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

酵的进行,破裂力在小范围内波动,变化不显著。发酵 7 d 时新平腌菜黏附性较高,但整体变化不大。内聚性总体稳定,发酵 1 d 时相对较强。咀嚼性为咀嚼固体样品时需要的能量,发酵 1 d 时所需能量最大,发酵 2~6 d 伴随轻微波动有所降低,发酵 7 d 后所需能量显著下降。对新平腌菜质构品质 PCA 分析如图 3(a) 所示,由于发酵 7 d 的腌菜黏附性较高,发酵 1 d 的腌菜内聚性和咀嚼性较强,这两个点与其他发酵天数明显分开。由图 3(b) 可以看出,除黏附性外,其余各项质构品质处于成分 1 正方向

上,呈正相关关系。氮,丰富了腌菜滋味^[5-6],发酵 9,10 d 的腌菜滋味由于过酸的原因,分值显著下降。由图 2(a) 可知,新平腌菜不同发酵天数大致聚为 3 簇,可看成发酵的 3 个阶段,发酵 1~4 d 为起始期,发酵 5~8 d 为成熟期,发酵 9~10 d 为过酸期。云琳^[7]对四川泡菜的研究发现对泡菜的整体喜好度影响较大的因素为甜味和发酵香。由图 2(b) 可知,在成分 1 正方向上,新平腌菜的滋味和香气距离最近,具有较强相关性。

2.1.2 质构品质 在食用新平腌菜时,菜柄是影响口感的主要部位,因此对新平腌菜菜柄进行全质构测试,结果见表 3。随着发酵的进行,腌菜不断失水,其硬度大致呈持续下降的趋势,发酵 5 d 后硬度基本保持稳定。发酵 6 d 时新平腌菜弹性较好,发酵 8 d 后逐渐减弱。随着发

上,呈正相关关系。

2.2 pH 值及亚硝酸盐含量变化分析

由于发酵初期腌菜亚硝酸盐含量变化较大,在发酵的前 40 h 测试间隔较短,每 10 h 对 pH 值及亚硝酸盐含量进行了测定,在发酵进行 2 d 即 48 h 时测定一次,之后每 24 h 测定一次,整个测定周期为 10 d。

2.2.1 pH 值 新平腌菜发酵过程中 pH 值的变化如图 4 所示,起始 pH 值约为 6.04,在发酵的前 3 d pH 值缓慢下降。发酵起始时,乳酸菌尚未适应发酵环境,产酸较少,

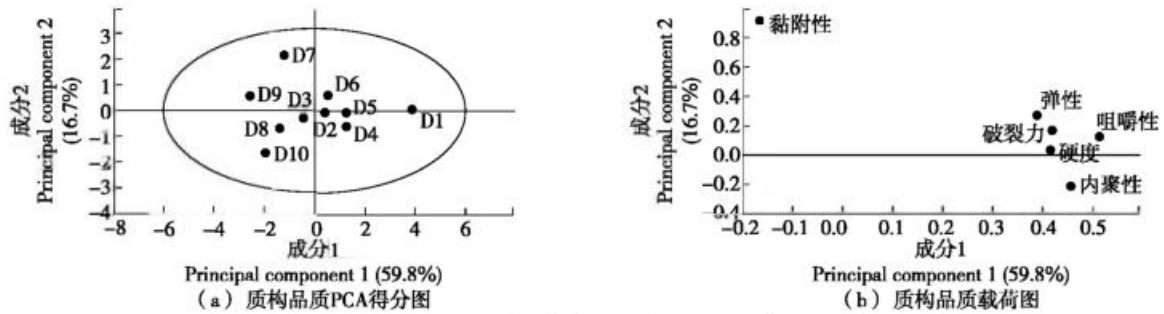


图3 新平腌菜质构品质主成分分析

Figure 3 Principal component analysis of texture quality of Xinping pickles

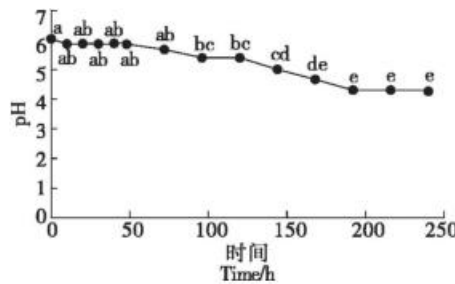
字母不同表示有显著性差异($P < 0.05$)

图4 新平腌菜发酵过程中pH值的变化

Table 4 Changes of pH value in Xinping pickles during fermentation

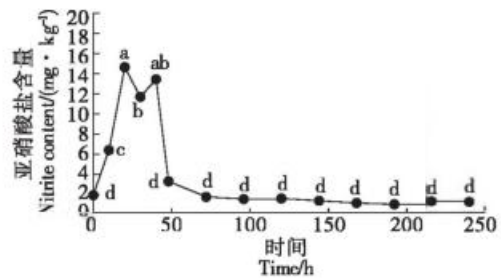
字母不同表示有显著性差异($P < 0.05$)

图5 新平腌菜发酵过程中亚硝酸盐含量的变化

Table 5 Changes of nitrite content in Xinping pickles during fermentation

故pH值降低速度较慢。发酵4~7 d pH值降低速度较快,从5.40下降至4.67左右。腌菜中的乳酸菌适应环境后,大量产酸,酸性环境在抑制其他杂菌生长的同时也促进了乳酸菌进一步繁殖。发酵8~10 d pH值基本稳定在4.3左右,不再降低。乳酸菌对酸性环境的适应性有一定限度,在pH值达到一定数值后,部分乳酸菌可能会受到抑制,导致腌菜pH值趋于稳定,不再下降。不同种类蔬菜、工艺条件等因素下,发酵蔬菜达到成熟的pH值有所不同,但大部分蔬菜达到发酵成熟后,pH值仍会继续下降,这将对产品食用品质造成不利影响。四川泡制小叶芥菜在pH值为3.5时可视为达到发酵成熟,继续发酵pH值降低至3.3左右^[8];泡制大白菜在发酵第8天pH值为4.7时达到出厂标准,之后pH值下降到4.6左右^[9];韩国泡卷心菜则被认为pH值在4.1左右发酵成熟,pH值低于此标准时将影响消费者购买意愿^[10]。试验发现发酵7 d的新平腌菜食用品质较佳,此时pH值为4.67左右,可以此作为产品出厂参考指标之一,pH值过低时产品品质将受到影响。

2.2.2 亚硝酸盐含量 如图5所示,发酵过程中新平腌菜的亚硝酸盐含量整体呈先增加后减少的趋势,在发酵的前40 h内,出现了亚硝峰及次亚硝峰。发酵20 h时亚硝酸盐含量最高,约为14.65 mg/kg;发酵30 h,亚硝酸盐含量有所下降;发酵40 h,出现次亚硝峰(13.45 mg/kg),之后由于腌菜中乳酸菌逐渐成为优势菌群,其亚硝酸还原酶不断将生成的亚硝酸盐还原,腌菜中的亚硝酸盐含

量显著减少^[11];发酵2 d后,亚硝酸盐含量无显著差异,稳定在1~3 mg/kg。从测定的数据看,新平腌菜亚硝酸盐含量最高值并未超过国家限量标准(20 mg/kg)。张静等^[12]对闽北不同方法腌制的芥菜测定发现其亚硝峰也出现在24~48 h,最后均稳定在4 mg/kg以下。试验在11—12月进行,在此期间发酵2 d后的新平腌菜亚硝酸盐引起的中毒风险较低。但由于试验测定的时间间隔有限,在亚硝酸盐含量上升的过程中,其峰值仍有可能超过测定值,此时食用存在安全隐患。后续研究中应在20~40 h增加检测点,以探明亚硝酸盐更为准确的变化规律。由于季节等原因,发酵温度升高,亚硝峰可能更早出现;而温度降低,亚硝峰可能出现得更晚,峰值更大,残留量超标的可能性也相应增加^[13]。因此在寒冷季节腌制时,应适当延后食用时间。纪淑娟等^[14]发现亚硝酸还原酶和酸是影响亚硝酸盐降解的主要因素,发酵初期亚硝酸盐的降解主要通过乳酸菌胞内亚硝酸还原酶来实现,当pH值降至4以下时,则通过大量积累的乳酸来降解亚硝酸盐。新平腌菜亚硝峰出现时间较早,还与其盐浓度较低有关,腌制时仅加入了晾干后菜重3%(约为鲜菜重量的2%)的食盐,属于低盐腌菜。韩兰英等^[15]对不同盐浓度腌制雪里蕻菜进行分析,发现5%盐浓度下亚硝峰出现的时间较20%盐浓度早6 d,5%盐浓度的峰值(7.59 mg/kg)较20%盐浓度(8.51 mg/kg)略低。这可能是由于发酵初期,乳酸菌尚未形成优势菌群,而较低的盐浓度对硝酸盐还原酶阳性菌抑制作用较弱,导致亚硝酸盐含量迅速上

升。因此在腌菜盐浓度较低时,应尽量避免过早食用。不同盐浓度还会影响新平腌菜中的细菌群落结构,从而影响腌菜的风味口感与保藏时间^[16],对新平腌菜盐浓度的标准化是控制其亚硝酸盐含量及风味的关键环节。

3 结论

云南新平腌菜发酵过程中,品质有一定变化规律。通过对其感官品质的分析,发现新平腌菜在感官评分上呈先缓慢上升后快速下降的趋势,总体评分为发酵7 d最佳。质构方面,咀嚼性从发酵7 d开始趋于稳定,与感官评价中对质地的得分规律接近。发酵7 d后,pH值下降较快,8 d后逐渐稳定,但由于过酸的原因,食用品质急剧下降。亚硝酸盐含量整体呈先增加后减少的规律,但始终在规定范围内,在发酵20 h时亚硝酸盐含量最高,应避免在发酵初期食用。综合考虑各项品质变化,试验条件下发酵7 d左右的新平腌菜品质最佳,相关生产企业可将此时新平腌菜各项指标作为出品参考标准,有利于保证产品品质一致性。但由于腌菜品质受到发酵温度等因素的影响,要实现周年化生产,保证不同季节品质统一,还需要借助环境控温、标准化盐浓度或接种特定菌种发酵^[17-18]等工艺手段。此外,如何采用非热灭菌、天然防腐剂等新型保质手段维持成品在后续保藏过程中的稳定性是下一步亟待解决的技术难点。

参考文献

- [1] KIM Yeon Bok, LEE Min-ki, KIM Sun-ju, et al. Accumulation of γ -aminobutyric acid and transcription of glutamate decarboxylase in *Brassica juncea* (L.) Czern[J]. *Plant Omics*, 2013, 6(4): 263-267.
- [2] PARK Seo-yeon, JANG Hye-lim, LEE Jong-hun, et al. Changes in the phenolic compounds and antioxidant activities of mustard leaf (*Brassica juncea*) kimchi extracts during different fermentation periods[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2017, 26(1): 105-112.
- [3] 侯爱香, 王一淇, 黄晴, 等. 自然发酵与人工接种发酵湖南芥菜的挥发性风味组分和品质分析[J]. *食品科学*, 2018, 39(6): 237-245. HOU Ai-xiang, WANG Yi-qi, HUANG Qing, et al. Analysis of volatile flavor components and quality of Hunan mustard vegetables fermented by natural fermentation and artificial inoculation[J]. *Food Science*, 2018, 39(6): 237-245.
- [4] 杜玫, 蔡玥, 贾利蓉, 等. 不同前处理方式对泡青菜挥发性风味成分的影响[J]. *中国调味品*, 2021, 46(4): 38-42, 49. DU Mei, CAI Yue, JIA Li-rong, et al. The effect of different pretreatment methods on the volatile flavor components of pickled vegetables[J]. *China Condiment*, 2021, 46(4): 38-42, 49.
- [5] 田艳, 赵玲艳, 陈秋佳, 等. 芥菜自然发酵过程中主要化学成分的变化[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2021, 47(1): 117-124. TIAN Yan, ZHAO Ling-yan, CHEN Qiu-jia, et al. Changes of main chemical components in mustard greens during natural fermentation[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2021, 47(1): 117-124.
- [6] 李文青, 罗凤莲, 卿泉, 等. 干芥菜接种发酵发酵剂优化[J]. *食品与机械*, 2020, 36(11): 195-201. LI Wen-qing, LUO Feng-lian, QING Quan, et al. Optimization of fermentation starter for dry mustard inoculation[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(11): 195-201.
- [7] 云琳. 不同发酵方式的萝卜泡菜风味特征解析及发酵剂菌种的筛选[D]. 无锡: 江南大学, 2020: 14-16. YUN Lin. Analysis of flavor characteristics of radish pickles with different fermentation methods and selection of the starter strains[D]. Wuxin: Jiangnan University, 2020: 14-16.
- [8] 杜玫, 蔡玥, 杨潇然, 等. 前处理方式对小叶芥菜发酵过程的影响[J]. *食品科技*, 2020, 45(12): 67-72. DU Mei, CAI Yue, YANG Xiao-ran, et al. Physicochemical properties and flavoring substances in fermented pickled mustard with different pretreatment methods[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(12): 67-72.
- [9] 刘亚, 张鉴明. 泡菜制作过程中亚硝酸盐和微生物的变化[J]. *中国调味品*, 2009, 34(3): 99-101. LIU Ya, ZHANG Jian-ming. Change of nitrite and microorganism during the pickles processing[J]. *China Condiment*, 2009, 34(3): 99-101.
- [10] MOON Eun Woo, YANG Ji-su, YOON So-ra, et al. Application of colorimetric indicators to predict the fermentation stage of kimchi[J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(12): 4 170-4 179.
- [11] 李共国, 孙志栋. 乳酸菌影响腌制芥菜亚硝酸盐含量的途径分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(6): 2 351-2 356. LI Gong-guo, SUN Zhi-dong. Path analysis of lactic acid bacteria affecting nitrite content in pickled mustard[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2021, 12(6): 2 351-2 356.
- [12] 张静, 徐颖惠, 黄艳, 等. 闽北芥菜腌制过程中亚硝酸盐变化规律的探讨[J]. *武夷学院学报*, 2016, 35(3): 9-14. ZHANG Jing, XU Ying-hui, HUANG Yan, et al. Discussion on the change of nitrite in the pickling process of northern Fujian mustard[J]. *Journal of Wuyi University*, 2016, 35(3): 9-14.
- [13] 郭江锋. 湖北省几种食品抽样检测及泡菜中亚硝酸盐变化规律的研究[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2012: 24-27. GUO Jiang-feng. Study on the sampling test of several foods in Hubei and the variation of nitrite in pickles[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2012: 24-27.
- [14] 纪淑娟, 孟宪军. 大白菜发酵过程中亚硝酸盐消长规律的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2001(2): 42-46. JI Shu-juan, MENG Xian-jun. Study on the law of nitrite growth and decline in the process of Chinese cabbage fermentation[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2001(2): 42-46.
- [15] 韩兰英, 陈海燕, 黄水萍. 雪里蕻菜腌制中亚硝酸盐的生长规律的研究[J]. *上饶师范学院学报*, 2007, 27(6): 56-59. HAN Lan-ying, CHEN Hai-yan, HUANG Shui-ping. Study on the growth law of nitrite in pickled potherb mustard[J]. *Journal of Shangrao Normal College*, 2007, 27(6): 56-59.

(下转第216页)

- method[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(3): 62-66.
- [9] 王梅, 雷尊国, 邓禄军, 等. 响应面法优化山药脆片干燥工艺[J]. 食品工业, 2020, 41(11): 33-37.
- WANG Mei, LEI Zun-guo, DENG Lu-jun, et al. Optimization of drying technology of yam chips by response surface methodology[J]. The Food Industry, 2020, 41(11): 33-37.
- [10] 龙成树, 刘清化, 李浩权, 等. 响应面法优化桑叶热泵干燥速率模型[J]. 现代农业装备, 2016(5): 24-32, 49.
- LONG Cheng-shu, LIU Qing-hua, LI Hao-quan, et al. Optimizing heat pump drying rate model of mulberry leaf by using response surface methodology[J]. Modern Agricultural Equipment, 2016(5): 24-32, 49.
- [11] 钱革兰, 崔政伟. 响应面分析热风微波耦合干燥胡萝卜片的形变[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 38-41.
- QIAN Ge-lan, CUI Zheng-wei. Analysis on shrinkage of carrots slices dried by coupling hot air and microwave by response surface methodology[J]. Food & Machinery, 2011, 27(3): 38-41.
- [12] 周新丽, 申炳阳, 张三强, 等. 超声波辅助冷冻干燥对胡萝卜品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(8): 196-202.
- ZHOU Xin-li, SHEN Bing-yang, ZHANG San-qiang, et al. Effect of ultrasonic assisted freeze drying on the quality of carrot[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(8): 196-202.
- [13] 陈瑞娟, 毕金峰, 陈芹芹, 等. 不同干燥方式对胡萝卜粉品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 48-53.
- CHEN Rui-juan, BI Jin-feng, CHEN Qian-qian, et al. Effects of different drying methods on carrot powder quality[J]. Food Science, 2014, 35(11): 48-53.
- [14] 代亚萍, 邓凯波, 卢旭, 等. 超声波辅助漂烫预处理对太阳能-热泵联合干燥南瓜片品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(9): 136-142, 148.
- DAI Ya-ping, DENG Kai-bo, LU Xu, et al. Effect of ultrasonic-assisted blanching pretreatment on the characteristics of solar-heat pump dried pumpkin slices[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(9): 136-142, 148.
- [15] MARIA A, STEFANO C, VINCENZA C. Experimental evaluation of quality parameters during drying of carrot samples[J]. Food Bioprocess Technol, 2012(5): 118-129.
- [16] 贾梦科, 吴忠, 赵武奇, 等. 气体射流冲击干燥苹果片的响应面试验及多目标优化[J]. 中国农业科学, 2019, 52(15): 2 695-2 705.
- JIA Meng-ke, WU Zhong, ZHAO Wu, et al. Response surface design and multi-objective optimization of apple slices dried by air-impingement[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(15): 2 695-2 705.
- (上接第 145 页)
- [19] 吴钊龙, 林芳, 陈振林, 等. 蚕蛹热泵干燥特性及其动力学模型研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(18): 1-6.
- WU Zhao-long, LIN Fang, CHEN Zhen-lin, et al. Heat pump drying characteristics and kinetic modeling of silkworm pupa[J]. Food Research and Development, 2020, 41(18): 1-6.
- [20] 林羨, 邓彩玲, 徐玉娟, 等. 不同高温热泵干燥条件对龙眼干品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(4): 30-34.
- LIN Xian, DENG Cai-ling, XU Yu-juan, et al. effects of different high temperature heat pump drying conditions on the quality of dried Longan[J]. Food Science, 2014, 35(4): 30-34.
- [21] 张群, 刘伟, 袁洪燕. 不同温度热风干燥对蓝莓果干品质的影响[J]. 湖南农业科学, 2018(6): 79-83.
- ZHANG Qun, LIU Wei, YUAN Hong-yan. Effects of hot-air-drying at different temperatures on blueberry quality[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2018(6): 79-83.
- [22] 张海生, 陈锦屏. 柿饼加工中脱湿和反湿机理的研究[J]. 食品工业科技, 2003(12): 39-40.
- ZHANG Hai-sheng, CHEN Jin-ping. Study on the destringenting and restringenting mechanisms of dried persimmons during its processing[J]. Science and Technology of Food Industry, 2003(12): 39-40.
- [23] 白冬红, 张雪丹, 卢昊, 等. 脱湿和干制对柿果抗氧化活性的影响[J]. 山东农业科学, 2016, 48(11): 47-52.
- BAI Dong-hong, ZHANG Xue-dan, LU Hao, et al. Effects of destringency and dehydration on antioxidant activities of persimmon fruits[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2016, 48(11): 47-52.
- [24] 郭婷, 吴燕, 陈益能, 等. 热风干燥温度对大果山楂干燥产品品质的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(8): 184-188.
- GUO Ting, WU Yan, CHEN Yi-neng, et al. Effect of hot air-drying temperature on the product quality for Malus domeri(Bois) Chev[J]. The Food Industry, 2020, 41(8): 184-188.

(上接第 204 页)

- [16] 周艺萍, 熊智, 李选文, 等. 盐分对新平酸腌菜主发酵期细菌多样性的影响[J]. 中国酿造, 2021, 40(4): 26-32.
- ZHOU Yi-ping, XIONG Zhi, LI Xuan-wen, et al. Effect of salt on bacterial diversity in the main fermentation period of Xinping pickles[J]. China Brewing, 2021, 40(4): 26-32.
- [17] 张国华, 何国庆. 传统发酵食品中乳酸菌多样性及其功能特性[J]. 中国食品学报, 2013, 13(9): 174-181.
- ZHANG Guo-hua, HE Guo-qing. Diversity and functional characteristics of lactic acid bacteria in traditional fermented food[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(9): 174-181.
- [18] 敖晓琳, 张小平, 史令, 等. 四川泡菜中两株优良乳酸菌的鉴定及不同发酵条件对其发酵泡菜品质的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 152-156.
- AO Xiao-lin, ZHANG Xiao-ping, SHI Ling, et al. Identification of two excellent lactic acid bacteria in Sichuan kimchi and the effect of different fermentation conditions on the quality of fermented kimchi[J]. Food Science, 2011, 32(11): 152-156.