

不同乳杆菌强化发酵红薯叶及其酸菜品质的研究

Effects of different *Lactobacillus* on reinforce-fermented
sweet potato leaves on the quality of its pickles

宋文华^{1,2} 何佳^{1,2} 袁江月^{1,2} 芮蓬^{1,2} 刘锡铭^{1,2}

SONG Wen-hua^{1,2} HE Jia^{1,2} YUAN Jiang-yue^{1,2} RUI Peng^{1,2} LIU Xi-ming^{1,2}

(1. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023;

2. 洛阳市微生物发酵工程技术研究中心, 河南 洛阳 471023)

(1. School of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology,

Luoyang, Henan 471023, China; 2. Luoyang Engineering and Technology Research

Center of Microbial Fermentation, Luoyang, Henan 471023, China)

摘要:为筛选发酵红薯叶最适宜的乳酸菌菌种,以植物乳杆菌、嗜酸乳杆菌、鼠李糖乳杆菌和混合乳酸菌强化发酵红薯叶,结果表明,乳酸菌强化发酵酸菜的 pH 下降快、乳酸含量高、亚硝酸盐含量低,可溶性多糖含量高。其中,混菌发酵乳酸含量最高(6.19 mg/g, $P < 0.05$),亚硝酸盐含量最低(0.29 $\mu\text{g/mL}$, $P < 0.05$),多糖含量(22.90 mg/g)与单菌发酵无显著差异;混菌发酵红薯叶硬度、咀嚼性和紧实度均最大;混菌发酵有 24 种氨基酸,比自然发酵多 4 种,呈鲜味氨基酸最丰富,必需氨基酸最齐全且含量最高(1 561.72 $\mu\text{g/g}$, $P < 0.05$)。

关键词:强化发酵;红薯叶;亚硝酸盐;混菌;食用安全

Abstract: To screen the most suitable strain of lactobacillus for fermented sweet potato pickles, using *Lactobacillus plant*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus rhamnosus* and mixed bacteria to reinforce-ferment sweet potato leaves, the effects on the quality of lactic acid, nitrate, nitrite, polysaccharides, amino acid and texture were analyzed. The results showed that the pH value of lactobacillus reinforce-fermented pickles decreased rapidly, and the content of lactic acid and soluble polysaccharide were higher, with a lower content of nitrite. The content of mixed fermentation lactic acid was the highest (6.19 mg/g, $P < 0.05$), and the content of nitrite was lowest (0.29 $\mu\text{g/mL}$, $P < 0.05$); the content of polysaccharide (22.90 mg/g) was lower than that of single bacteria fermentation. The hardness, chewiness and firmness of mixed fermentation sweet potato leaves were best.

基金项目:河南省产学研合作项目(编号:142107000095);大学生研究训练计划项目(编号:2016071)

作者简介:宋文华,女,河南科技大学在读硕士研究生。

通信作者:何佳(1963—)男,河南科技大学教授,博士。

E-mail: hejia@haust.edu.cn

收稿日期:2019-09-16

The mixed fermentation contained 24 kinds of amino acids, with 4 kinds more than the natural fermentation, as well as the most abundant flavor amino acids, the most complete kinds of essential amino acids, and the highest content (1 561.72 $\mu\text{g/g}$, $P < 0.05$).

Keywords: reinforce-fermented; sweet potato leaves; nitrite; mixed *Lactobacillus*; edible safety

红薯叶有促进新陈代谢、抗氧化、抗肿瘤、抑制病菌等保健功能,氨基酸模式与联合国粮食及农业组织推荐的基本一致^[1]。目前有关红薯叶功能性成分分析的研究报道较多,如傅莉等^[2]研究发现,红薯叶黄酮能提高 2 型糖尿病大鼠的免疫能力;徐龙权等^[3]研究发现,红薯叶多糖对细菌的抑制能力大于苯甲酸钠;吴忆微等^[4]表明,红薯叶功效成分能抑制肿瘤细胞生长。中国红薯叶产量大,却因其储存性差,易腐烂,目前主要以鲜食为主,仅有红薯叶粗粮馒头^[5]、保健饮料^[6]、保健醋^[7]等少数几种产品,难以满足市场需求,红薯叶深加工技术和工业化生产已成为众多研究者关注的热点。

酸菜是中国传统的发酵制品,在微生物作用及一系列生化反应下,呈现特有的口感和风味,货架期较长^[8]。目前已有胡萝卜、甘蓝、白菜等 30 多种风味酸菜^[9],但是有关红薯叶酸菜的研究鲜有报道。传统发酵酸菜由于大量杂菌生长繁殖,常常存在亚硝酸盐含量高、发酵时间长及品质不稳定等突出问题^[10]。而众多研究表明,接种发酵方式能够解决上述难题,吴映明等^[11]研究发现,接种乳酸菌发酵泡菜能明显降低亚硝酸盐含量;崔松林等^[12]研究发现,接种嗜酸乳杆菌发酵白菜能缩短发酵周期,提高产品安全性。但是有关乳酸菌发酵红薯叶及其酸菜品质的研究鲜有报道。试验拟以红薯叶为原料,基于传统发

酵酸菜,接种不同乳酸菌进行强化发酵,以期为红薯叶的再利用和规模化加工提供理论和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

红薯叶:河南科技大学农学院红薯实验田;

植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*, HZLP-005)、鼠李糖乳杆菌(*Lactobacillus rhamnosus*, HZLR-023)、嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*, HZLA-008):实验室保藏;

食用盐:河南洛阳大张实业超市;

果葡糖浆:F55,商丘市饮之健生物科技有限公司;

硝酸钾:基准试剂,天津市科密欧化学试剂有限公司;

亚硝酸钠:基准试剂,上海市化学试剂一厂;

阳离子交换树脂:732 型,天津四科密欧化学试剂有限公司;

42 种游离氨基酸标样:德国曼默博尔公司;

MRS 培养基:广东环凯微生物科技有限公司;

3,5-二硝基水杨酸:化学纯,上海强顺化学试剂有限公司;

N-1-萘乙二胺盐酸盐:分析纯,天津市光伏精细化工研究所;

无水乙醇、亚铁氰化钾:分析纯,天津市德恩化学试剂有限公司;

乙酸锌:分析纯,天津市博迪化工有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电热恒温水浴锅:HH-S4 型,北京科伟永兴仪器有限公司;

生化培养箱:SPX-250 型,北京市永光明医疗仪器公司;

高速冷冻离心机:TGL-16M 型,上海卢湘仪离心机仪器有限公司;

分光光度计:UV-2100 型,尤尼柯(上海)仪器有限公司;

食品物性分析仪:TA.XT Epress Enhanced 型,英国 SMS 公司;

超声清洗仪:KQ-500DE 型,昆山市超声仪器有限公司;

旋转蒸发仪:RE 52-86A 型,上海亚荣生化仪器厂;

全自动氨基酸全自动分析仪:A300 型,德国曼默博尔公司。

1.2 方法

1.2.1 菌种活化与扩培 将前期试验确定的 3 种乳酸菌分别置于 MRS 液体培养基中活化,37 °C 静止培养 18 h,

将活化好的菌悬液分别按 1:10 扩大培养 18 h。

1.2.2 红薯叶酸菜的发酵 红薯叶清洗、入坛,以坛内总体积计,植物乳杆菌组、嗜酸乳杆菌组、鼠李糖乳杆菌组、混合乳酸菌组(植物乳杆菌:嗜酸乳杆菌:鼠李糖乳杆菌=2:3:2)4 个乳酸菌强化发酵处理组分别加入 2% 乳酸菌菌悬液、0.8% 果葡糖浆和 2% 食盐,以只加 2% 食盐为自然发酵对照组。加水至满坛,密封,25 °C 发酵 10 d。

1.2.3 食盐的添加量 前期试验中,在相同食盐浓度下 4 个处理组发酵终点时的酸菜 pH 值差异不显著,但混合乳酸菌组乳酸含量较高。故以混合乳酸菌为发酵菌种,考察发酵过程中食盐量对乳酸菌发酵红薯叶酸菜的影响。试验具体步骤:在装有待发酵红薯叶的菜坛中加入 2% 的混合乳酸菌菌悬液和 0.8% 的果葡糖浆,设 3 个食盐添加组,添加量分别为 2%,4%,8%,25 °C 强化发酵 5 d。

1.2.4 乳酸含量的测定 酸碱滴定法。

1.2.5 亚硝酸盐的测定 盐酸萘乙二胺法^[13],标准曲线方程为 $y=0.7388x-0.0014$,相关系数 $R^2=0.9992$ 。

1.2.6 硝酸盐的测定 双波长紫外分光光度法^[14],标准曲线方程为 $y=0.2381x-0.0078$,相关系数 $R^2=0.9996$ 。

1.2.7 可溶性多糖含量的测定 3,5-二硝基水杨酸法^[15],葡萄糖标准曲线方程为 $y=0.9302x-0.0493$,相关系数 $R^2=0.9955$ 。

1.2.8 剪切测试 参照刘刚等^[16]的方法,采用刀片探头(AMORS 型),测前速度 1 mm/s,测试速度 1 mm/s,测后速度 1 mm/s,剪切距离 8 mm,触发力 5.0 g,切到样品断开,得到红薯叶被切断时的硬度、咀嚼性和紧实度等指标。

1.2.9 游离氨基酸的提取 强酸型阳离子树脂交换法^[17]。取 1.00 g 红薯叶粉末置于锥形瓶,加蒸馏水 50 mL,超声 1 h,取出后加亚铁氰化钾和乙酸锌溶液,70 °C 水浴 15 min,降温过滤得粗提液,将粗提液浓缩后缓慢流入处理好的树脂柱,先用蒸馏水冲洗后用 80% 乙醇冲洗,再用蒸馏水冲洗,最后用 4 mol/L 氨水洗脱,收集洗脱液,65 °C 旋转蒸发,浓缩洗脱液至一定体积,收集样液备用。

1.2.10 游离氨基酸含量的测量 高效阳离子交换色谱(HPLC)—柱后茚三酮衍生化法^[18]。进样量 20 μ L,柱温 40 °C,反应器温度 70 °C,茚三酮溶液流速 180 μ L/min。

2 结果与分析

2.1 食盐量对乳酸菌强化发酵酸菜 pH 的影响

为确保发酵顺利进行,中国传统酸菜的食盐添加量

较高,为2%~10%^[19],大量添加食盐虽可抑制杂菌污染,但大大减缓发酵进程,同时食盐量过高对健康不利。从图1可看出,食盐含量越低,pH下降越快,越早降至最低pH值。食盐量2%的酸菜pH下降速率更快,pH值始终低于食盐量4%和8%。原因是较高的食盐量抑制乳酸菌活性,影响乳酸生成,而pH值是判断发酵程度的重要指标之一,pH快速降低对防止杂菌污染至关重要。因此,考虑乳酸菌迅速产酸和低盐饮食理念,以及酸菜的品质,选择食盐量为2%进行后续研究。

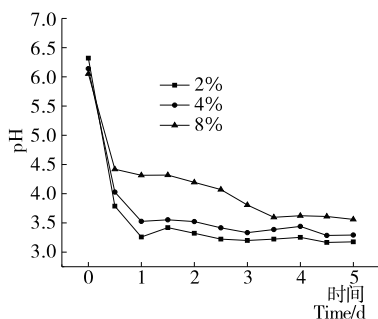


图1 食盐含量对酸菜 pH 影响

Figure 1 Effect of different salt content on pH of pickles

2.2 不同乳酸菌强化发酵对酸菜 pH 和乳酸含量的影响

据报道,酸菜成熟 pH 在 3.0~4.0^[20],其乳酸含量为 6~8 g/kg 时口感最佳^[21]。从图2可看出,乳酸菌强化发酵酸菜 pH 下降速率比自然发酵要快,第1天 pH 值降至 3.1~3.5,第10天 pH 值基本稳定在 3.05~3.22,混菌发酵 pH 下降最快,最先接近发酵终点,而自然发酵 pH 第4天才降到 3.5,第10天 pH 为 3.35。从图3可看出,乳酸菌强化发酵产酸快,乳酸含量高于自然发酵。第10天,混菌发酵乳酸含量为 6.19 mg/g,单菌发酵在 5.25~5.40 mg/g,而自然发酵乳酸含量为 4.75 mg/g。由此判断,第10天时混菌发酵红薯叶酸菜成熟,而单菌发酵和自然发酵均未成熟。可能原因是植物乳杆菌产酸能力强,在短时间内成为优势菌种,整个发酵过程占主导地位^[22],嗜酸乳杆菌产酸快,并且耐酸能力强,鼠李糖乳杆菌发酵初期产酸慢,但其耐酸能力强,在发酵中后期产酸量大,而自然发酵存在大量杂菌,乳酸菌含量少且产酸能力弱。试验结果与黄慧福等^[23]研究富源酸菜的结果相似。以上结果表明,乳酸菌强化发酵过程中发酵启动快,乳酸增加快,pH下降迅速,混菌发酵可以缩短时间,提高酸菜的安全性。

2.3 不同乳酸菌强化发酵对亚硝酸盐和硝酸盐含量的影响

亚硝酸盐是酸菜发酵过程中常见产物,是亚硝胺合成的前体物,而接种乳酸菌能够减少亚硝酸盐产生。从图4可看出,在第18 h,植物乳杆菌组、嗜酸乳杆菌组、鼠

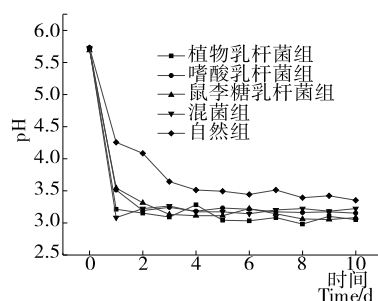


图2 不同乳酸菌对酸菜 pH 影响

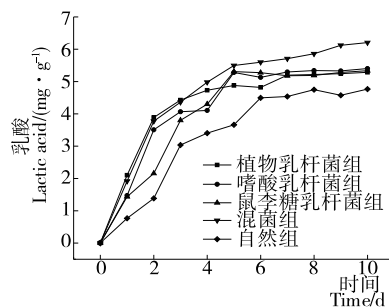
Figure 2 Effect of different *Lactobacillus* on pH of pickles

图3 不同乳酸菌对乳酸含量的影响

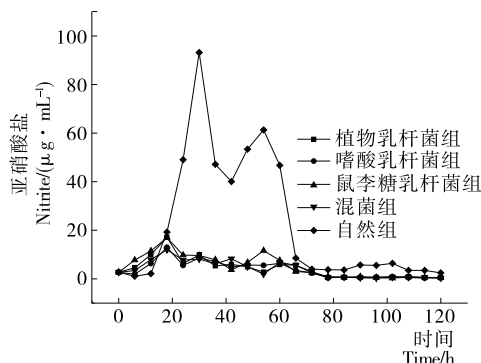
Figure 3 Effects of different *Lactobacillus* on lactic acid content

图4 不同乳酸菌对酸菜中亚硝酸盐含量的影响

Figure 4 Effects of different *Lactobacillus* on nitrite content in pickles

李糖乳杆菌组和混菌组出现“亚硝峰”,峰值分别为16.98, 12.87, 16.86, 11.85 $\mu\text{g/mL}$,均低于食品安全标准(20 mg/kg)。而自然组“亚硝峰”出现较晚,且峰值是强化发酵的6~14倍。在第120 h,强化发酵亚硝酸盐含量在 0.29~0.45 $\mu\text{g/mL}$,低于绿色腌制食品亚硝酸盐含量(4 mg/kg)。从图5可看出,在第18 h,强化发酵酸菜中硝酸盐有短暂回升,然后快速下降并趋于平缓,而自然发酵持续下降并趋于平缓。可能原因是发酵初期大量杂菌活性较高,使硝酸盐逐渐被还原,而乳酸菌不含细胞色素氧化酶系统,不能使硝酸盐还原成亚硝酸盐^[24],且其快速产

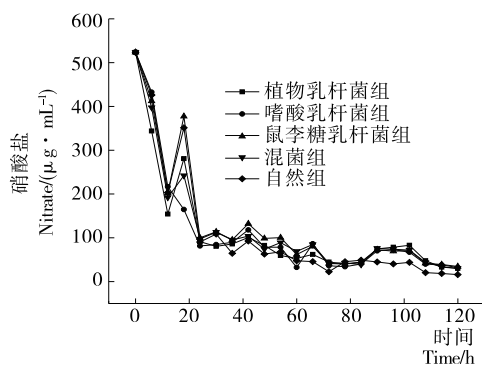


图 5 不同乳酸菌对酸菜中硝酸盐含量的影响

Figure 5 Effects of different *Lactobacillus* on nitrate content in pickles

酸能有效抑制还原菌生长。因此,整个发酵过程,强化发酵硝酸盐含量高于自然发酵,而混菌发酵硝酸盐变化与单菌发酵无明显差异。

张志国等^[25]研究香椿泡菜发现,植物乳杆菌对亚硝酸盐起到阻断作用,能够降低发酵过程的“亚硝峰”,与试验研究相似;Park 等^[26]研究发现乳酸菌在各泡菜类型降解亚硝酸盐发挥重要作用。Yan 等^[27]研究表明,乳酸菌能使泡菜中硝酸盐还原菌明显减少,并确定阴沟肠杆菌是主要硝酸盐还原菌。以上结果表明,乳酸菌强化发酵能将亚硝酸盐控制到最低,混菌发酵对亚硝酸盐的抑制强于单菌发酵($P < 0.05$),能保障红薯叶酸菜食用安全。

2.4 不同乳酸菌强化发酵对红薯叶多糖的影响

红薯叶中多糖含量高于其他蔬菜,是天然保健产物。从图 6 看出,随着发酵进行,单菌发酵红薯叶多糖含量先迅速减少后缓慢回升至平缓,混菌发酵缓慢下降至平缓,而自然发酵先迅速增加至最高,后快速下降至最低,接着缓慢上升至平稳。第 10 天,各组多糖含量均保持稳定,分别为植物乳杆菌组 25.15 mg/g、嗜酸乳杆菌组 27.61 mg/g、

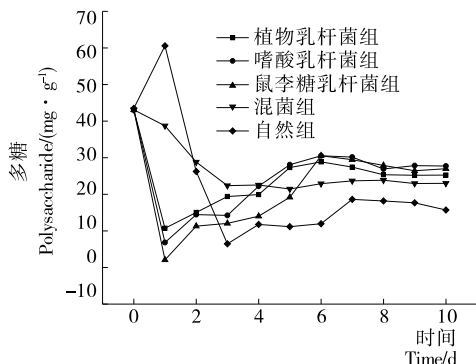


图 6 不同乳酸菌对红薯叶多糖的影响

Figure 6 Effects of different *Lactobacillus* on sweet potato leaf polysaccharide

鼠李糖乳杆菌组 26.88 mg/g,混菌组 22.90 mg/g 和自然组 15.62 mg/g。乳酸菌强化发酵多糖含量差异不显著,但都明显高于自然发酵,且差异显著($P < 0.05$)。可能是自然发酵中微生物分泌的酶类部分分解纤维素,其在初期对糖的利用速率较低^[28],随着乳酸大量增加,酶的产生及活性受到抑制,纤维素分解过程被阻断。而乳酸菌不具备分解纤维素的酶系统,不会破坏植物细胞组织,因此,乳酸菌强化发酵多糖含量不会上升。以上结果表明,乳酸菌强化发酵形成的酸性环境阻遏了杂菌对多糖的分解利用,较之自然发酵,降低了多糖的损失率。

2.5 不同乳酸菌强化发酵对游离氨基酸的影响

氨基酸的种类越多其功能越齐全。从表 1 可看出,无论强化发酵还是自然发酵均能增加产品中氨基酸含量。混菌组有 24 种氨基酸,比自然组多 4 种,比鼠李糖乳杆菌组多 3 种,仅在混菌组和鼠李糖乳杆菌组检测到所有必需氨基酸,且混菌组的必需氨基酸含量(1 561.72 $\mu\text{g/g}$)高于鼠李糖乳杆菌组(1 544.58 $\mu\text{g/g}$),占其氨基酸总量的 31.82%,其中含量最高的是亮氨酸(505.53 $\mu\text{g/g}$),其次是缬氨酸(466.12 $\mu\text{g/g}$),含量最少的是赖氨酸(13.72 $\mu\text{g/g}$)。Kim 等^[29]研究发现, γ -氨基丁酸具有降血压和抗抑郁等多种生理活性,混菌组 γ -氨基丁酸含量(278.23 $\mu\text{g/g}$)高于各单菌组。谷氨酸、甘氨酸和天冬氨酸是酸菜中常见的呈鲜味物质^[30],混菌组谷氨酸和甘氨酸含量最多,分别为 596.94,361.70 $\mu\text{g/g}$,占氨基酸总量的 12.21%,7.40%,仅天冬氨酸含量略低(332.79 $\mu\text{g/g}$)。

以上结果表明,乳酸菌强化发酵对红薯叶中游离氨基酸总量和种类有显著影响($P < 0.05$),混菌发酵氨基酸种类更均衡,更符合饮食健康标准。

2.6 不同乳酸菌强化发酵对酸菜质构的影响

从图 7 可看出,混菌发酵红薯叶硬度呈先增加后平稳的趋势,单菌发酵增加后又减少,而自然发酵波动较大,发酵终点,混菌组硬度为 685.94 g,大于其他 4 组;从图 8 可看出,5 组红薯叶咀嚼性快速增加并趋于稳定,发酵终点,混菌组咀嚼性为 3 178 g · s,各单菌组咀嚼性在 3 020~3 061 g · s,而自然组最低(2 940 g · s);从图 9 可看出,各组红薯叶紧实度不同程度的降低,发酵终点,混菌组红薯叶紧实度为 169.78 g · s,各单菌组在 135.06~162.43 g · s,而自然组最低(124.52 g · s)。发酵过程中,红薯叶紧实度变化趋势与硬度和咀嚼性变化趋势不同,可能原因是红薯叶细胞间层原果胶被水解,丧失粘连细胞的作用,导致紧实度降低,而细胞膨压减小后又恢复^[31],且纤维素未被分解,使剪切硬度和咀嚼性增加。以上结果表明,乳酸菌强化发酵能够改变红薯叶组织状态,使红薯叶柔软有韧性,混菌发酵对红薯叶硬度、咀嚼性和紧实度等影响明显大于单菌发酵($P < 0.05$)。

表 1 不同样品的氨基酸含量比较[†]

Table 1 Amino acid content and variety in sweet potato leaf pickles μg/g

名称	植物乳杆菌组	嗜酸乳杆菌组	鼠李糖乳杆菌组	混菌组	自然组	鲜红薯叶
磷丝氨酸	—	15.11±0.30 ^c	31.48±0.30 ^b	21.05±0.35 ^c	145.68±0.56 ^a	34.71±0.51 ^b
牛磺酸	108.93±0.08 ^c	92.16±0.41 ^d	174.02±0.44 ^b	114.79±0.49 ^c	174.73±0.61 ^b	210.45±0.65 ^a
天冬氨酸	306.60±0.39 ^c	240.24±0.27 ^d	308.29±0.80 ^c	332.79±0.45 ^b	387.58±0.91 ^a	161.00±0.56 ^e
苏氨酸 [*]	164.34±0.45 ^b	142.23±0.39 ^c	190.27±0.39 ^a	177.76±0.83 ^b	198.13±0.64 ^a	90.11±0.46 ^d
丝氨酸	120.18±0.23 ^c	145.58±0.36 ^b	142.64±0.40 ^b	122.34±0.94 ^c	160.88±0.50 ^a	95.07±0.57 ^d
谷氨酸	551.96±0.24 ^c	446.40±0.47 ^d	560.68±0.33 ^c	596.94±1.20 ^b	573.04±1.13 ^{bc}	629.50±0.90 ^a
谷氨酰胺	22.43±0.28 ^b	12.25±0.08 ^c	10.56±0.05 ^c	34.13±0.25 ^a	14.68±0.24 ^c	13.68±0.24 ^c
甘氨酸	279.23±0.55 ^c	219.72±0.56 ^d	310.77±0.72 ^b	361.70±0.94 ^a	313.62±0.73 ^b	39.79±0.92 ^e
丙氨酸	500.73±0.38 ^c	—	482.85±0.71 ^d	531.36±1.09 ^b	559.40±0.87 ^a	556.05±0.32 ^a
缬氨酸 [*]	467.04±0.52 ^b	312.40±0.30 ^d	400.64±0.62 ^c	466.12±1.40 ^b	513.80±1.07 ^a	244.44±0.29 ^e
异亮氨酸 [*]	205.69±0.48 ^{ab}	135.89±0.59 ^d	191.21±0.54 ^b	192.54±0.55 ^b	216.83±0.84 ^a	152.31±0.55 ^c
亮氨酸 [*]	506.50±0.60 ^a	—	505.19±0.71 ^{ab}	505.53±0.74 ^{ab}	488.33±0.90 ^b	234.50±0.85 ^c
酪氨酸	234.52±0.40 ^a	169.82±0.78 ^c	227.04±0.83 ^{ab}	214.08±0.59 ^b	208.23±0.72 ^b	61.61±0.78 ^d
苯丙氨酸 [*]	186.38±0.44 ^a	110.09±0.33 ^d	139.87±0.73 ^{bc}	124.40±0.55 ^{cd}	148.53±0.73 ^b	69.16±0.60 ^e
γ-氨基丁酸	254.95±0.27 ^{bc}	238.22±0.61 ^c	259.10±0.94 ^{bc}	278.23±1.12 ^b	368.10±1.90 ^a	103.28±0.60 ^d
鸟氨酸	59.67±0.56 ^d	54.45±0.51 ^{de}	83.11±0.52 ^c	55.05±0.58 ^e	92.91±0.54 ^b	107.14±0.71 ^a
赖氨酸 [*]	18.61±0.51 ^{bc}	16.83±0.34 ^c	20.64±0.50 ^{abc}	13.72±0.37 ^c	32.71±0.33 ^a	29.39±0.44 ^{ab}
精氨酸	426.89±0.50 ^c	369.37±0.64 ^d	666.07±0.70 ^a	439.76±0.76 ^c	601.73±0.71 ^b	703.42±2.10 ^a
胱氨酸	—	192.87±0.29 ^d	324.28±0.71 ^b	179.33±1.50 ^e	297.87±0.86 ^c	442.28±0.23 ^a
蛋氨酸 [*]	—	32.08±0.20 ^c	62.84±0.38 ^{ab}	54.87±0.47 ^c	57.59±0.44 ^b	—
色氨酸 [*]	—	25.37±0.36 ^a	33.92±0.50 ^a	26.78±0.59 ^a	—	—
脯氨酸	—	735.03±0.52 ^a	—	22.44±0.35 ^b	—	—
瓜氨酸	—	543.37±0.84	—	—	—	—
正亮氨酸	—	439.62±0.59	—	—	—	—
高胱氨酸	—	—	—	17.81±0.14	—	—
羟基脯氨酸	—	—	—	24.97±0.22	—	—
必需氨基酸	1 548.56±2.96 ^{ab}	774.89±2.34 ^c	1 544.58±4.18 ^{ab}	1 561.72±5.42 ^b	1 655.92±4.89 ^a	819.91±2.14 ^c
氨基酸总量	4 414.65±6.46 ^a	4 689.10±8.42 ^b	5 125.47±11.31 ^c	4 908.49±16.08 ^c	5 554.37±14.54 ^d	3 977.89±9.05 ^e

[†] 同行字母不同表示差异显著(P<0.05);“—”表示低于检出限;“*”表示必需氨基酸。

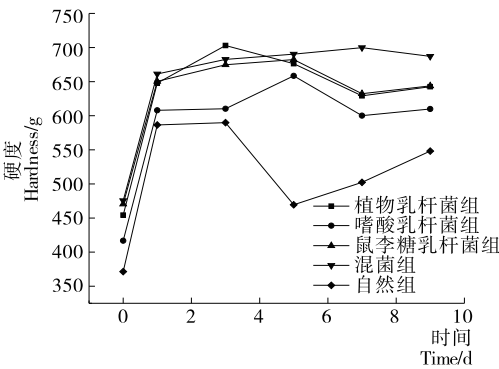


图 7 不同乳酸菌对红薯叶硬度的影响

Figure 7 Effects of different *Lactobacillus* on the hardness of sweet potato leaves

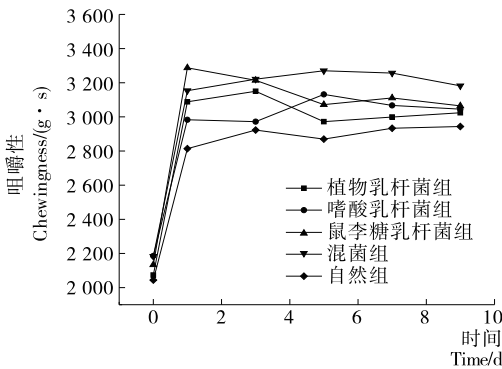


图 8 不同乳酸菌对红薯叶咀嚼性的影响

Figure 8 Effects of different *Lactobacillus* on the chewingness of sweet potato leaves

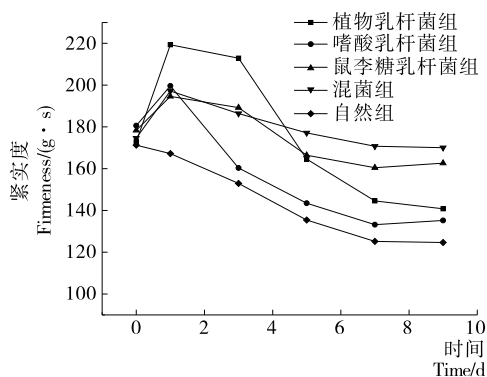


图 9 不同乳酸菌对红薯叶紧实度的影响

Figure 9 Effects of different *Lactobacillus* on the firmness of sweet potato leaves

3 结论

(1) 在 25 ℃、食盐量 2% 条件下,红薯叶混菌发酵乳酸含量最高 (6.19 mg/g),“亚硝峰”峰值最低 (11.85 μg/mL),发酵终点亚硝酸盐含量最低 (0.29 μg/mL),多糖含量 (22.90 mg/g) 与单菌发酵差异不显著 ($P < 0.05$),发酵时间短,产率高。混菌发酵氨基酸种类最多,其必需氨基酸含量最高 (1 561.72 μg/g),占总氨基酸的 31.82%,谷氨酸、甘氨酸和天冬氨酸等呈风味氨基酸最丰富。

(2) 乳酸菌强化发酵红薯叶质地柔软坚韧,混菌发酵红薯叶硬度 (685.94 g)、咀嚼性 (3 178 g · s) 和紧实度 (169.78 g · s) 均最大,可以作为评定红薯叶质构特性的参考。

(3) 后续试验需中试发酵和保藏性研究,对混菌发酵红薯叶进行感官评定、亚硝酸盐检测、挥发性成分分析,以及微生物(乳酸菌、酵母菌、霉菌、大肠杆菌等)的动态变化分析,研究出营养丰富,安全健康,口感独特的红薯叶酸菜,并与相关企业合作实现产业化应用。

参考文献

[1] 王秋亚,薛航.红薯叶有效成分的提取及开发应用研究进展[J].食品工业,2018,39(7):260-263.
 [2] 傅莉.红薯叶黄酮对糖尿病模型大鼠外周血 T 淋巴细胞亚群的影响[J].中国实验诊断学,2014,18(12):1 919-1 920.
 [3] 徐龙权,陆军,葛丽丽,等.红薯茎叶多糖提取物抑菌研究[J].食品科技,2011,36(1):163-166.
 [4] 吴忆微,蒋立勤.红薯叶功效成分及抗肿瘤作用研究进展[J].中国食物与营养,2013,19(12):63-65.
 [5] 张先淑,何华,杨婷婷.红薯叶粗粮馒头的研制[J].食品研究与开发,2016,37(17):62-65.
 [6] 叶文峰,冷桂华,黄宏伟.红薯叶果汁复合饮料的研制[J].食品研究与开发,2010,31(12):119-122.
 [7] 谢清霞,宁建中,岳春,等.红薯叶保健醋饮料的研制[J].

江西食品工业,2010(3):28-30,32.

[8] 彭灯水,闵锡祥,王文建,等.不同包装材质对泡菜脆口萝卜产品货架期的影响[J].中国调味品,2018,43(12):142-145.
 [9] KIM J, BANG J, BEUCHAT L R, et al. Controlled fermentation of kimchi using naturally occurring antimicrobial agents[J]. Food Microbiology, 2012, 32(1): 20-31.
 [10] 徐莹,李景军,何国庆.食用泡菜安全性分析[J].中国食物与营养,2005(4):56-57.
 [11] 吴映明,黄凯纯,李桂鸿,等.低亚硝酸盐甘蓝泡菜的研制[J].安徽农业科学,2019,47(2):153-155.
 [12] 崔松林.乳酸菌接种发酵酸菜的亚硝酸盐含量影响因素研究[J].安徽农业科学,2014,42(14):4 415-4 417.
 [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. 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[S/OL]. (2016-12-23) [2019-07-24]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/3/50419.html>.
 [14] 赵凤英,刘钧.腌渍咸菜中硝酸盐含量测定方法的探讨[J].中国保健:医学研究版,2007,15(19):17-18.
 [15] 张小贝,朱国鹏,祝志欣,等.利用 3,5-二硝基水杨酸法测定菜用甘薯叶中的多糖含量[J].热带生物学报,2017,8(3):359-363.
 [16] 刘刚,邓钱江,汪淑芳,等.发酵过程中韩式泡菜质构变化的研究[J].食品工业科技,2017,38(15):112-116.
 [17] 刘荣森,杨虹琦,黄郁维,等.植物中游离氨基酸的提取、纯化及分析方法[J].河南科技大学学报:自然科学版,2007,28(3):76-79.
 [18] 井然,冯雷,陈丽梅.茶叶中游离氨基酸分析方法的研究进展[J].安徽农业科学,2010,38(17):9 186-9 187,9 210.
 [19] 彭飞.我国传统泡菜自然发酵与接种发酵中微生物及其代谢特性研究[D].南昌:南昌大学,2015:6-8.
 [20] JUNG J Y, LEE S H, JEON C O. Kimchi microflora: History, current status, and perspectives for industrial kimchi production[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2014, 98(6):2 385-2 393.
 [21] RHEE S, LEE J E, LEE C H. Importance of lactic acid bacteria in Asian fermented food[J]. Microbial Cell Factories, 2011, 10(S1): S5.
 [22] 张其圣,陈功,申文熹,等.低盐泡菜乳酸菌群落演变及其优势菌群的探讨[J].中国食品学报,2018,18(9):109-119.
 [23] 黄慧福,肖玉雪.乳酸菌发酵对富源酸菜品质及安全性的影响[J].食品与机械,2019,35(5):191-194,201.
 [24] 姜薇薇.控制蔬菜发酵制品中亚硝酸盐含量的研究[D].济南:山东轻工业学院,2011:4-5.
 [25] 张志国,孙迪.泡制香椿亚硝酸盐变化规律及其降低措施研究[J].中国调味品,2016,41(1):30-34.
 [26] PARK J M, SHIN J H, LEE D W, et al. Identification of the lactic acid bacteria in Kimchi according to initial and

(下转第 236 页)

(上接第 186 页)

越大,保压时间越长,杀菌效果越好;对复合饮料的 pH、可溶性固形物、稳定系数均无显著性差异,但延长保压时间和增加高压时间占比,色差值 ΔE 增大。经试验研究,确定百香果—火龙果复合饮料的超高压最佳杀菌条件为:低高压压力组合 200 MPa/550 MPa,保压时间 12 min,低高压时间比 1:2,保压温度 30 ℃。在此条件下,菌落总数 <10 CFU/mL,产品符合饮料食品的卫生标准要求。此外,超高压处理百香果—火龙果复合饮料贮藏期间的品质变化有待进一步研究。

参考文献

- [1] 林日高. 沙田柚和西番莲复合果汁饮料的研制[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 204-206, 215.
- [2] 蒲海燕, 李影球, 李梅, 等. 雪莲果、百香果复合饮料的研制[J]. 食品与发酵科技, 2009, 45(6): 56-58.
- [3] 谢国芳, 周俊良, 韩秀梅, 等. 火龙果营养研究及开发现状[J]. 食品工业, 2013, 34(6): 171-174.
- [4] 段振华. 火龙果的营养评价与加工技术[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(10): 215-219.
- [5] 徐雪莹. 西番莲贮藏特性及保鲜技术研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2015: 4.
- [6] 盘喻颜, 段振华, 刘艳, 等. 火龙果片微波间歇干燥特性及其动力学研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 195-201.
- [7] 康欢, 马涛, 卢昕娜, 等. 超高压处理对南瓜复合汁杀菌效

果与品质的影响[J]. 食品工业, 2019, 40(5): 153-159.

- [8] 段振华. 现代高新灭菌技术及其在食品工业中的应用研究[J]. 中国食物与营养, 2006(9): 28-30.
- [9] 尹琳琳, 杨建涛, 刘海涛, 等. 中温协同超高压处理对草莓汁贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 106-111.
- [10] 万斌. 椰肉原浆耐压菌的分离及其中温协同超高压的研究[D]. 海口: 海南大学, 2015: 23-24.
- [11] 胡菲菲, 朱瑞, 杨楠, 等. 胡萝卜汁中大肠杆菌脉冲式超高压杀菌动力学研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(1): 178-183, 190.
- [12] 朱香瀚, 段振华, 刘艳, 等. 西番莲果汁饮料超高压灭菌工艺优化[J]. 食品工业, 2018, 39(11): 12-18.
- [13] 康蕊. 超高压处理椰肉原浆的实验研究[D]. 海口: 海南大学, 2013.
- [14] 李小鑫, 罗昱, 梁芳, 等. 浑浊型刺梨果汁饮料配方及其稳定性研究[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(7): 216-222.
- [15] 徐安书, 张洪礼, 刘炜. 龙眼胡萝卜番茄混合汁乳酸菌饮料稳定性研究[J]. 食品科技, 2013, 38(6): 125-130.
- [16] 姜斌, 胡小松, 廖小军, 等. 超高压对鲜榨果蔬汁的杀菌效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 234-238.
- [17] 任杰, 胡志和, 刘洋. 超高压处理对牛初乳中微生物的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(14): 173-176.
- [18] 方亮, 江波, 张涛, 等. 超高压中温协同处理对猕猴桃果汁品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(33): 10 843-10 844.
- [19] 张微. 超高压和热处理对热带果汁品质影响的比较研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010: 53-54.

(上接第 235 页)

study of catechin stability: Effects of pH, concentration, and temperature [J]. Journal of Agricultural and Food chemistry, 2012, 60(51): 12 531-12 539.

- [77] FALCO I, RANDAZZO W, GOMEZ-MASCARAQUE L, et al. Effect of (-)-epigallocatechin gallate at different pH conditions on enteric viruses [J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 81: 250-257.
- [78] ESPIN J C, GONZALEZ-SARRIAS A, TOMAS-BARBERAN F A. The gut microbiota: A key factor in the therapeutic effects of (poly) phenols [J]. Biochemical Pharmacology, 2017, 139: 82-93.
- [79] XIE Min-hao, CHEN Gui-jie, WAN Peng, et al. Effects of

dicafeoylquinic acids from Ilex kudingcha on lipid metabolism and intestinal microbiota in high-fat-diet fed mice [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 67(1): 171-183.

- [80] CHENG Mei, ZHANG Xin, MIAO Ying-jie, et al. The modulatory effect of (-)-epigallocatechin 3-O-(3-O-methyl) gallate (EGCG3''Me) on intestinal microbiota of high fat diet-induced obesity mice model [J]. Food Research International, 2017, 92: 9-16.
- [81] 李浩, 彭喜洋, 吴萍萱, 等. 植物多酚对肠道微生态影响的研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 222-226.
- [82] 杨洁钰, 曾凡坤, 钟金锋, 等. 海藻酸钠没食子酸衍生物的制备及性能分析[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 137-143.

(上接第 198 页)

over-ripened fermentation using PCR and 16S rRNA gene sequence analysis [J]. Food Science and Biotechnology, 2010, 19(2): 541-546.

- [27] YAN Ping-mei, ZHANG Hui, TAN Sze-sze, et al. Effect of inoculating lactic acid bacteria starter cultures on the nitrite concentration of fermenting Chinese Paocai [J]. Food Control, 2008, 19(1): 50-55.
- [28] 马艳弘, 魏建明, 侯红萍, 等. 发酵方式对山药泡菜理化特性

及微生物变化的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(17): 179-184.

- [29] KIM M J, KIM K S. Isolation and identification of γ -aminobutyric acid (GABA)-producing lactic acid bacteria from Kimchi [J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2012, 55(6): 777-785.
- [30] 孟繁博, 张万萍, 吴康云. 接种发酵对酸菜品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 179-183, 206.
- [31] 周涛. 蔬菜腌制制品的种类及腌制原理和保藏措施[J]. 中国调味品, 2000(5): 6-12.