

不同品种芥菜发酵过程中亚硝酸盐变化规律的研究

张雁¹, 黄丽慧², 陈于陇², 魏振承², 马永轩²

(1. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

(2. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北武汉 430070)

摘要: 在 20 °C、4%的食盐浓度自然发酵条件下, 研究了4种品种芥菜发酵过程中亚硝酸盐的变化规律, 并通过分析发酵过程中硝酸盐含量、可溶性糖含量、硝酸还原酶活性和卤水 pH 值的变化, 对亚硝酸盐的变化机制进行了初步探讨。结果表明, 发酵过程中不同品种芥菜中的亚硝酸盐变化趋势一致, 但品种间亚硝酸盐含量呈现差异: 发酵第 1 d 出现亚硝峰, 峰值: 水东芥菜(36.39 mg/kg) > 雪菜(6.15 mg/kg) > 包心芥菜(5.04 mg/kg) > 春芥(4.59 mg/kg)。第 2 d 亚硝酸盐含量下降, 但在第 3 d 上升并呈现次亚硝峰, 此后逐渐下降。发酵芥菜成品中亚硝酸盐均低于 1 mg/kg, 其中包心芥菜最低。芥菜中硝酸盐积累量及发酵卤水中的硝酸还原酶活性与亚硝峰峰值正相关; 芥菜中的可溶性糖对发酵产酸及亚硝峰消失有促进作用。

关键词: 芥菜; 品种; 亚硝酸盐; 变化规律研究

文章编号: 1673-9078(2013)9-2152-2157

Dynamic Change of Nitrite in Different Mustard Cultivars during Fermentation

ZHANG Yan¹, HUANG Li-hui², CHEN Yu-long², WEI Zhen-cheng², MA Yong-xuan²

(1. The Sericulture and Agri-food Research Institute of Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangdong Open Access Laboratory of Agricultural Product Processing, Guangzhou 510610, China)

(2. College of Food Science and Technology, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Fermentation of four mustard cultivars was carried out at 20 °C in 4% (*m/V*) brine. The dynamic change of nitrite was investigated. Nitrate and soluble sugar in mustards, nitrate reductase (NR) activity in both brine and plant tissue, as well as pH of brine were observed to study the variation mechanism of nitrite. Results showed that nitrite contents among cultivars displayed the same trend, whereas contents of nitrite had significant difference. The nitrite contents increased to a peak value after the first day of fermentation with sequence of values in different cultivars: Shuidong mustard (36.39 mg/kg) > Potherb mustard (6.15 mg/kg) > Leaf mustard (5.04 mg/kg) > Chun mustard (4.59 mg/kg). Contents of nitrite decreased but then increased to the second nitrite peak at the third day. A steady decline of nitrite was observed since the second nitrite peak. Less than 1 mg/kg of nitrites was found in the fermented products, whereas the highest nitrite content was found in fermented potherb mustard product. The nitrate accumulation in mustards and the activity of nitrate reductase in brine significantly correlated to the nitrite peak value. In addition, sugar in mustard promoted the lactic acid fermentation and the disappearance of nitrite peak.

Key words: mustard; cultivars; nitrite; study on the change rule of nitrite

发酵蔬菜是我国传统的蔬菜加工制品。利用新鲜蔬菜表面附着的乳酸菌等微生物发酵, 能产生大量芳香物质和益生菌, 因此赋予了发酵蔬菜产品独特的风味及优良的保健功能。

蔬菜经过发酵加工, 其中累积的硝酸盐会被大量还原为亚硝酸盐^[1~2], 引起发酵蔬菜产品中亚硝酸盐累

收稿日期: 2013-04-22

基金项目: 广东省现代农业产业技术体系特色蔬菜团队岗位专家项目(粤财农[2012]282)

作者简介: 黄丽慧(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向为果蔬保鲜与加工

通讯作者: 张雁(1967-), 女, 博士, 研究员, 研究方向为食品生物化学

积, 而影响产品的安全性。目前研究认为, 蔬菜发酵过程中亚硝酸盐含量呈先增加后减少的趋势, 中期达到一个亚硝酸盐积累的至高点, 即亚硝峰。Mundt 等^[3]研究发现, 新鲜蔬菜上乳酸菌的数量较少, 在发酵初期仍处于增殖阶段, 酸性环境尚未形成, 因此各种有害菌迅速繁殖, 引起亚硝酸盐含量上升。随着发酵的进行, 乳酸菌代谢形成的酸性环境会抑制杂菌的生长^[4], 亚硝酸盐的生成减少, 但亚硝酸盐的分解仍在继续, 因此亚硝酸盐含量开始下降。

关于发酵蔬菜中亚硝酸盐形成与变化机理的研究一直延续至今。有关发酵蔬菜中亚硝酸盐的调控, 前

人的研究多集中在工艺条件调控、发酵菌种筛选等领域^[5],通过合适蔬菜品种发酵调控亚硝酸盐的报道较少。基于我国丰富的蔬菜种质资源考虑,品种选择是调控发酵蔬菜中亚硝酸盐的可行方式。本实验选取华南地区4种芥菜为实验材料,在相同的工艺条件下发酵。对芥菜的硝酸盐含量、亚硝酸盐含量、可溶性糖含量、卤水和芥菜的硝酸还原酶酶活、卤水 pH 值等可能影响亚硝酸盐变化的因素进行研究,试图找出不同品种芥菜发酵中亚硝酸盐变化的不同之处并加以分析,从而为通过选择合适芥菜发酵调控亚硝酸盐提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

四种芥菜:春芥、水东芥菜、雪里蕻、包心芥菜。均购于华南理工大学菜市场。

主要试剂:亚铁氰化钾、乙酸锌、冰醋酸、硼酸钠、盐酸、对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺盐酸盐、亚硝酸钠、磺胺、氨基磺酸铵、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、萘基乙烯二胺、硝酸钾、L-半胱氨酸盐酸盐、乙二胺四乙酸二钠盐、还原性辅酶 I (NADH) 二钠盐、牛血清蛋白。

SHZ-D(III)型予华牌循环水式真空泵,巩义市予华仪器有限公司;HWS-24 型电热恒温水浴锅,上海一恒科技有限公司;UV-1800 型紫外可见分光光度计,日本岛津有限公司;MJ-25BM02C 型美的搅拌机,美的集团有限公司;JJ1000 型电子秤,常熟市双杰测试仪器厂;FreeZone7948030 真空冷冻干燥机,Labconco 公司;PB-10 Sartorius 型精密 pH 计,德国赛多利斯集团;TD6 离心机,长沙湘智离心机仪器有限公司;Biofuge Stratos 离心机,德国 heraeus 有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 发酵蔬菜的制作工艺

新鲜蔬菜→晾晒→洗净→切分→晾干→混匀→装坛→加食盐水→发酵→成品

将新鲜芥菜晾晒至原重的 50% 左右,洗净,切成 3×3 cm 的小段,自然晾干。配制质量浓度为 4% 的食盐水,煮沸,冷却至室温。称取 1500 g 蔬菜,将其排紧压实装坛,按芥菜:食盐水=1:2 (m/V) 的比例量取 3000 mL 食盐水,倒入坛中。在坛中加入一些经灭菌的石块,压紧,以保证乳酸菌生长的厌氧环境。坛口沿处加水密封。盖上坛盖,置于 20 °C 的恒温箱中自然发酵。

每发酵 1 d 取 1 次样,上中下部分取均匀,菜叶与菜梗比例适当。每次取 3 个平行,取样 15 d。

1.2.2 指标的测定

1.2.2.1 亚硝酸盐的测定

每隔 24 h 测定发酵芥菜中亚硝酸盐含量,测定 15 d。测定方法参考 GB 5009.33-2010。在样品液中添加 2 g 活性炭进行脱色处理,以消除色素和 Vc 对于亚硝酸盐测定的干扰。

1.2.2.2 硝酸盐的测定

采用比色法测定蔬菜中的硝酸根。由于有机物质在 220 nm 与 275 nm 下都有吸收,为排除干扰,采用双波长法进行校正,即 $\Delta A = A_{220} - A_{275}$, ΔA 即为样品溶液中硝酸根的吸光度。采用 1.3.1 中的方法处理完样品,取抽滤后的滤液 2 mL,至 50 mL 的容量瓶中,加入 1 mol/L 盐酸 1 mL,再加入 50 g/L 的氨基磺酸铵溶液 2 mL,定容并摇匀,测定样品溶液的吸光度,并做全程空白。每隔 24 h 测定泡菜中硝酸盐含量,测定 15 d。

1.2.2.3 发酵卤水及发酵芥菜的硝酸还原酶活性的测定

参照何淑玲等^[6]中的方法对发酵 0~5 d 卤水的硝酸还原酶活力、发酵 0~4 d 芥菜的硝酸还原酶活力进行测定。

1.2.2.4 可溶性糖含量的测定

采用苯酚硫酸法对发酵第 0、1、2、4、7、12、15 d 芥菜中的可溶性糖含量进行测定,实验中为避免取样时水分造成的误差,将发酵芥菜冻干后进行测定。

取冻干后蔬菜 0.2 g,共 3 份。分别放入 3 支刻度试管中,加入 5~10 mL 蒸馏水,塑料薄膜封口,于沸水浴中提取 30 min (提取 3 次),定容至 50 mL 的容量瓶中,摇匀。吸取 0.5 mL 样品提取液于试管中,加 0.5 mL 蒸馏水,按标准曲线测定步骤测定样品液吸光度,计算出可溶性糖含量。

1.2.2.5 pH 值的测定

每发酵 1 d 取 10 mL 卤汁,测定其 pH 值。

1.3 数据统计与分析

采用 SPSS 17 软件进行数据统计分析。不同品种各指标比较采用 One-way ANOVA 进行方差分析。 $p < 0.05$ 表示差异显著, $p < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与讨论

2.1 芥菜发酵过程中的亚硝酸盐含量的变化

2.1.1 不同品种芥菜发酵过程中的亚硝酸盐含

量的变化

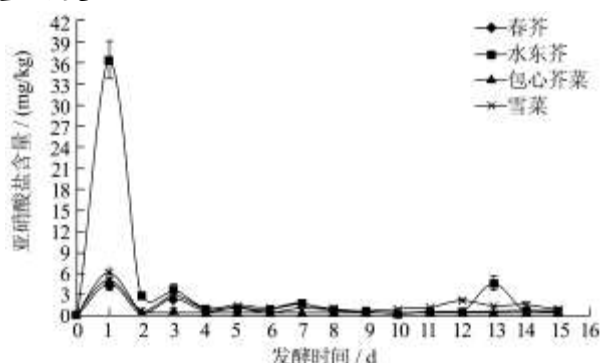


图1 不同品种芥菜发酵过程中亚硝酸盐含量的变化

Fig.1 The changes of nitrite contents in four mustard cultivars

四种芥菜中亚硝酸盐含量的变化规律如图 1 所示。发酵第 1 d, 芥菜中亚硝酸盐含量达到最高值, 即亚硝峰。在发酵第 2 d 亚硝酸盐含量显著下降, 但在第 3 d, 芥菜中亚硝酸盐含量有所回升, 出现次亚硝峰。次亚硝峰之后亚硝酸盐含量逐渐下降。

在 20 °C, 4% 食盐浓度实验条件下, 亚硝峰到来快, 并迅速消失。亚硝峰出现早, 一方面是由于低盐度发酵液抑菌作用差; 另一方面, 发酵温度高, 杂菌快速生长, 使大量硝酸盐迅速还原成亚硝酸盐。亚硝峰消失快, 是因为乳酸菌在高温低盐条件下, 发酵产酸快, 杂菌生长被抑制, 亚硝酸盐生成减少, 并通过与酸或酶作用而分解。

2.1.2 各发酵阶段不同品种种芥菜中亚硝酸盐含量比较

新鲜蔬菜: 晾晒前新鲜芥菜中亚硝酸盐含量均低于 1 mg/kg, 未达到显著性差异 ($p>0.05$)。

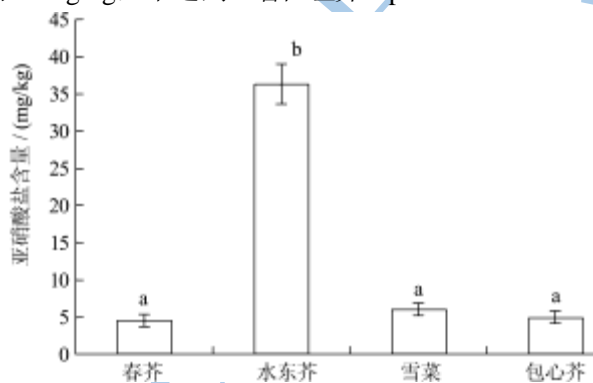


图2 发酵第 1 天发酵芥菜的亚硝峰峰值

Fig.2 The nitrite peak value in mustards at the first day of fermentation

亚硝峰: 如图 2 所示, 发酵第 1 d 亚硝峰峰值为: 水东芥菜 (36.39 mg/kg) > 雪菜 (6.15 mg/kg) > 包心芥菜 (5.04 mg/kg) > 春芥 (4.59 mg/kg)。水东芥的亚硝峰峰值最高 ($p<0.01$), 而雪菜、包心芥菜和春芥亚硝峰峰值之间未达到显著性差异 ($p>0.05$)。水东芥菜

的峰值很高, 可能原因有: 水东芥菜硝酸盐含量最高; 水东芥菜呈鸡心冠状, 相比于雪菜、春芥和包成半球型的包心芥菜, 蔬菜表面附着的杂菌会较难清洗。

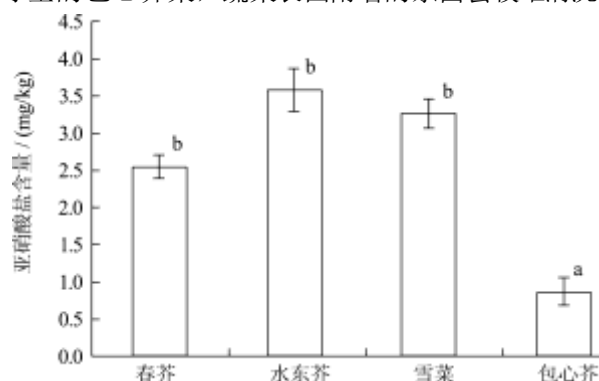


图3 发酵第 3 天发酵芥菜的次亚硝峰峰值

Fig.3 The second nitrite peak value in mustards at the third day of fermentation

次亚硝峰: 如图 3 所示, 发酵第 3 d 次亚硝峰峰值: 水东芥菜 (3.59 mg/kg) > 雪菜 (3.27 mg/kg) > 春芥 (2.55 mg/kg) > 包心芥 (0.86 mg/kg)。包心芥菜次亚硝峰峰值最低 ($p<0.05$)。

在发酵第 3 d 出现次亚硝峰, 这可能与杂菌对酸性环境形成一定适应性, 抑制生长作用减弱有关; 也有可能是取样时有空气进入, 促进杂菌繁殖, 造成亚硝酸盐含量回升; 另外, 由于食盐浓度较低 (4%), 丁酸细菌繁殖产生的氨类物质, 在适当条件下, 会形成亚硝酸^[7], 而有助于次亚硝峰的形成。

发酵结束: 发酵第 15 d 芥菜中亚硝酸盐含量: 雪菜 (0.87 mg/kg) > 春芥 (0.42 mg/kg) > 水东芥 (0.39 mg/kg) > 包心芥 (0.30 mg/kg)。此时, 雪菜的亚硝酸盐含量显著高于其它品种 ($p<0.05$)。

在第 15 d, 发酵芥菜亚硝酸盐含量很低, 酸香味浓、口感佳。因此认为在第 15 d 芥菜发酵成熟, 得到成品。

2.2 芥菜发酵过程中硝酸盐含量的变化

如图 4 所示, 发酵芥菜中的硝酸盐含量呈下降趋势。晾晒前芥菜中硝酸盐积累量: 水东芥菜 (4121 mg/kg) > 雪菜 (3265 mg/kg) > 春芥 (2984 mg/kg) > 包心芥菜 (2776 mg/kg)。水东芥中硝酸盐含量最高 ($p<0.05$), 除春芥与包心芥、春芥与雪菜硝酸盐积累量无显著差异 ($p>0.05$) 外, 其它每两个品种芥菜硝酸盐含量均存在显著性差异 ($p<0.05$)。确证了不同品种蔬菜硝酸盐积累量相差有悬殊^[8]。发酵芥菜成品的硝酸盐积累量: 雪菜 (2235 mg/kg) > 水东芥 (1944 mg/kg) > 包心芥 (1809 mg/kg) > 春芥 (1390 mg/kg)。

不同品种蔬菜硝酸盐含量差异主要受基因型控

制, 根系吸收硝酸盐的能力、植株的硝酸还原酶活性大小及种植条件是影响蔬菜硝酸盐积累量的因素^[8]。

目前认为, 蔬菜发酵过程中硝酸盐含量的减少有两方面的原因, 一是由于硝酸盐在硝酸还原酶的作用下, 逐渐被还原为亚硝酸盐; 二是硝酸盐会通过渗透到发酵液中而减少^[9]。对比图 1 和图 5 发现, 在发酵初始 1~3 d, 即亚硝峰和次亚硝峰形成期, 硝酸盐含量下降显著, 说明硝酸盐的大量分解导致了亚硝峰和次亚硝峰的形成。在发酵周期中, 硝酸盐的变化具有一定波动性, 这是因为在发酵过程中, 微生物的呼吸作用使密闭容器中的氧化还原电位迅速下降, 而亚硝酸并不是一个稳定的物质, 微生物可将它继续还原为氨或氮气, 在一定条件下进一步转化为硝态氮^[7,10]。

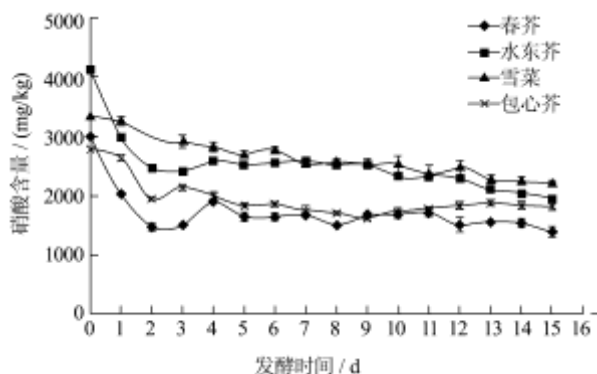


图 4 不同品种芥菜发酵过程中硝酸盐含量变化

Fig.4 The changes of nitrate contents in four mustard cultivars

2.3 发酵芥菜与卤水中的硝酸还原酶活性的变化

2.3.1 卤水中的硝酸还原酶活性的变化

卤水中的硝酸还原酶活性的变化规律见图 5。发酵第 1 d, 酶活上升至最高值, 与亚硝峰形成时间吻合。亚硝峰期卤水中酶活: 水东芥 (2.89 $\mu\text{g/g}\cdot\text{h}$) > 包心芥 (1.82 $\mu\text{g/g}\cdot\text{h}$) > 雪菜 (1.35 $\mu\text{g/g}\cdot\text{h}$) > 春芥 (1 $\mu\text{g/g}\cdot\text{h}$)。水东芥菜发酵卤水中的酶活性最高 ($p < 0.01$), 其它芥菜发酵卤水中的酶活性无显著差异 ($p > 0.05$)。亚硝峰期, 酶活与不同品种间亚硝峰峰值大小呈正相关。

第 1 d 后, 卤水中的酶活性开始下降, 第 5 d 卤水中酶活均降至 1 $\mu\text{g/g}\cdot\text{h}$ 以下并趋于稳定。将图 3 和图 5 对比可知, 亚硝峰期水东芥菜卤水的高硝酸还原酶活性是亚硝酸盐大量积累的原因。卤水中酶活与亚硝酸盐的变化趋势相同, 说明卤水中杂菌所分泌的硝酸还原酶活力与亚硝酸盐含量呈正相关。

本实验中, 四种发酵芥菜卤水中的硝酸还原酶活力与亚硝酸盐呈相同的变化规律, 这与前人的众多研究结果一致^[11], 说明杂菌分泌的硝酸还原酶与亚硝酸

盐有直接关系。

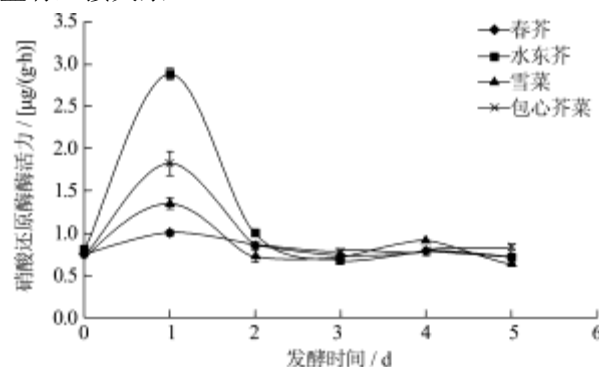


图 5 卤水中的硝酸还原酶活力的变化

Fig.5 The changes of nitrate reductase activity in brine

2.3.2 芥菜中的硝酸还原酶活性的变化

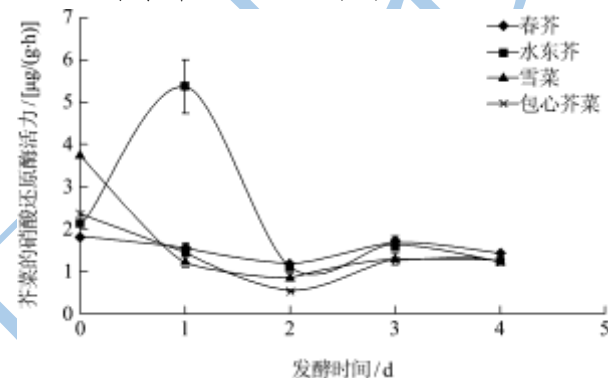


图 6 发酵芥菜中的硝酸还原酶活力的变化

Fig.6 The changes of nitrate reductase activities in mustards

发酵芥菜中的硝酸还原酶活性的变化如图 6。新鲜芥菜中的硝酸还原酶活性: 雪菜 (3.77 $\mu\text{g/g}\cdot\text{h}$) > 包心芥菜 (2.37 $\mu\text{g/g}\cdot\text{h}$) > 水东芥菜 (2.15 $\mu\text{g/g}\cdot\text{h}$) > 春芥 (1.83 $\mu\text{g/g}\cdot\text{h}$)。随着发酵的进行, 春芥、包心芥、雪菜的酶活力开始下降, 但不同于其它三个品种, 水东芥菜酶活力在发酵第 1 d 上升, 这可能与不同品种芥菜的硝酸还原酶特性存在差异有关。

发酵芥菜中硝酸还原酶活性下降的原因, 可能有以下几点: 蔬菜中硝酸盐含量的减少, 使底物对硝酸还原酶的诱导作用降低^[12]; 蔬菜的硝酸还原酶对其所处环境敏感, pH、温度、 CO_2 浓度等条件的改变, 对硝酸还原酶活力产生了影响^[13]; 亚硝酸盐进一步在亚硝酸还原酶的作用下生成 NH_4^+ , NH_4^+ 会对蔬菜中同化性硝酸盐还原酶的合成和活力产生抑制作用^[14]。

蔬菜发酵过程中, 蔬菜中的硝酸还原酶活性的变化规律有两种研究结果。一种是酶活呈逐渐下降趋势, 另一种是酶活与亚硝酸盐的变化相同, 呈先增后减的规律^[11]。前人并未对研究结果差异的原因做深入探究, 蔬菜的硝酸还原酶活性是否与亚硝酸盐的变化相关仍无结论。

在本实验中, 水东芥菜的硝酸还原酶活力与亚硝

酸盐含量的变化趋势相同,而另三种芥菜中的硝酸还原酶活性呈下降趋势。由于蔬菜的硝酸还原酶活性高度遗传,不同品种芥菜中的硝酸还原酶活性变化不同与遗传特性的差异有关^[8]。

2.4 芥菜发酵过程中可溶性糖含量的变化

发酵过程中芥菜中可溶性糖的变化规律如图7。作为乳酸发酵的碳源,蔬菜中的糖含量逐渐减少。以干样计,新鲜芥菜中含糖量:水东芥菜(91.78%)>包心芥菜(89.37%)>春芥(73.34%)>雪菜(36.79%),雪菜的含糖量极显著低于其它品种($p<0.01$)。发酵第1天芥菜可溶性糖的下降速率:水东芥>包心芥>春芥>雪菜,说明含糖量高的芥菜糖的代谢转化更快。以干样计,发酵芥菜成品中糖含量:包心芥(18.54%)>春芥(16.97%)>雪菜(15.30%)>水东芥(14.90%),各品种剩余糖含量无显著差异($p>0.05$)。

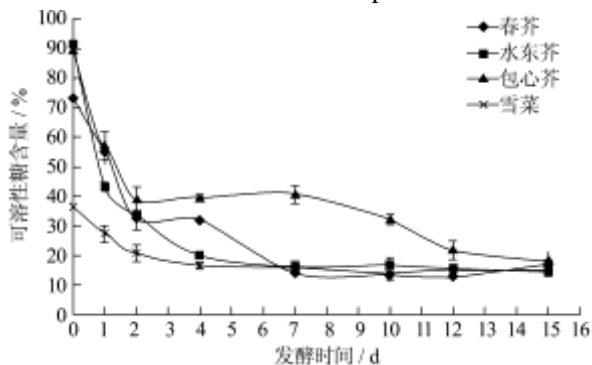


图7 不同品种芥菜发酵过程中可溶性糖含量的变化

Fig.7 The changes of soluble sugar contents in four mustard cultivars

原料中含糖量的多少直接影响到发酵作用和酸的生成量^[15]。李基银^[6]认为由于蔬菜的发酵作用与含糖量成正比关系,因此可认为 NO_2^- 含量与蔬菜的含糖量成反比关系,并通过萝卜与白菜发酵实验得到验证。本实验中,雪菜由于含糖量低而发酵产酸较少,而其发酵成品中亚硝酸盐含量最高($p<0.05$),这与李基银的观点相符。

纪凤娣等^[9]、Miyao等^[17]证明糖类物质对微生物分泌的的硝酸还原酶有激活作用,这是有关蔬菜含糖量对发酵蔬菜中亚硝酸盐影响的新观点。本实验中含糖量较高的两种芥菜即水东芥和包心芥菜在亚硝峰期卤水中硝酸还原酶活性高于另两种芥菜,这是否存在糖类对NR活性的促进作用,还需进一步研究。

2.5 芥菜发酵过程中卤水的pH值的变化

由图8可知,芥菜发酵初期产酸很快,pH值下降迅速,在发酵第1d卤水pH降至5左右,第2d降至

4.5左右。发酵周期中,发酵雪菜卤水pH值一直维持在较高水平。在发酵第14d,卤水pH值为:包心芥(3.41)<春芥(3.69)<水东芥(3.97)<雪菜(4.58),且各品种间存在极显著性差异($p<0.01$)。

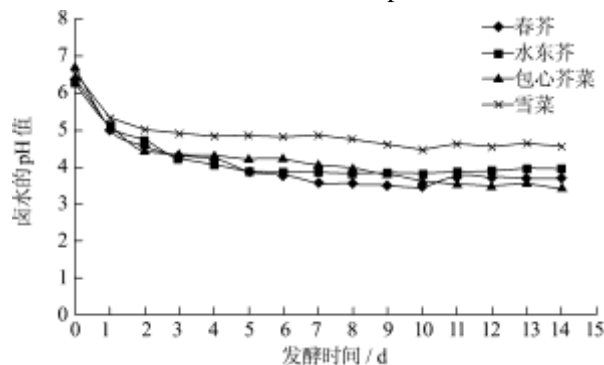


图8 不同品种芥菜发酵过程中卤水pH值的变化

Fig.8 The changes of pH in brine of fermented mustards

20℃接近乳酸菌生长的最适温度25~30℃,并且4%的低食盐浓度对乳酸菌的抑制作用很小,因此芥菜发酵初期产酸快,快速形成的酸性环境使亚硝酸盐快速分解,亚硝峰消失。

雪菜发酵过程中pH下降缓慢,说明产酸量显著低于其它品种。这可能与雪菜中的可溶性糖很少有关。乳酸菌发酵产酸少,不利于亚硝酸盐的分解,这可能是发酵雪菜成品中亚硝酸盐含量显著高于其它芥菜($p<0.05$)的原因之一。

3 结论

3.1 本实验研究表明,在温度20℃,食盐浓度4%、自然发酵工艺条件下,4种芥菜都会在发酵第1d出现亚硝峰,峰值:水东芥菜(36.39mg/kg)>雪菜(6.15mg/kg)>包心芥菜(5.04mg/kg)>春芥(4.59mg/kg)。发酵第2d亚硝酸盐含量便开始下降,但在第3d出现次亚硝峰。发酵结束时产品中亚硝酸盐含量都低于1mg/kg,其中发酵雪菜成品中亚硝酸盐含量显著高于其它类型($p<0.05$)。从以上数据可以发现,在发酵过程中,春芥和包心芥菜亚硝酸盐积累量低于水东芥菜和雪菜。

3.2 发酵过程中,硝酸盐含量呈逐渐下降趋势,在亚硝峰形成期下降显著,说明硝酸盐的大量分解促进了亚硝峰的形成。硝酸盐是硝酸还原酶活性的诱导底物。水东芥菜和春芥硝酸盐积累量较高,而亚硝峰和次亚硝峰的峰值也高于另两种芥菜,说明蔬菜的硝酸盐积累量与发酵初期亚硝酸盐生成量相关。

3.3 卤水中的硝酸还原酶活性与亚硝酸盐含量呈正相关;水东芥菜中的硝酸还原酶活性与硝酸盐含量呈正相关,但其它芥菜中的硝酸还原酶活性与亚硝酸盐

无相关性。

3.4 以干样计,新鲜芥菜中含糖量:水东芥菜(91.78%)>包心芥菜(89.37%)>春芥(73.34%)>雪菜(36.79%),新鲜雪菜中含糖量显著低于其它芥菜($p<0.05$)。这可能是雪菜发酵过程中产酸量显著低于其它品种,卤水pH下降缓慢的原因。

参考文献

- [1] Ji F D, Ji B P, Bo L, et al. Effect of fermentation on nitrate, nitrite and organic acid contents in traditional pickled Chinese cabbage [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2009, 33: 175-186
- [2] Rolf A. Nitrate reduction during fermentation by Gram-negative bacterial activity in carrots [J]. International Journal of Food Microbiology, 1985, 2: 219-225
- [3] Mundt J O, Graham W E, McCarty I E. Spherical lactic acid-producing bacteria of southerngrown raw and processed vegetables [J]. Applied Microbiology, 1967, 15: 1303-1308
- [4] Cagno R D, Surco R F, Siragusa S, et al. Selection and use of autochthonous mixed starter for lactic acid fermentation of carrots, French beans or marrows [J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 127: 220-228
- [5] Yan P M, Xue W T, Tan S S, 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
- [6] 何淑玲,李博,籍保平.泡菜发酵过程中硝酸盐还原酶活性的研究[J].食品科技,2005,1: 94-97
He S L, Li B, Ji B P. Study on nitrate reductase activity during the fermentation of pickled vegetable [J]. Food Science and Technology, 2005, 1: 94-97
- [7] 赵学慧.乳酸发酵在酸腌菜加工中的作用[J].华中农学院学报,1982,4:94-98
Zhao X H. The application of lactic acid fermentation in the process of vegetable pickling [J]. Journal of Huazhong agriculture college, 1982, 4: 94-98
- [8] 沈明珠,翟宝杰,东惠茹,等.蔬菜硝酸盐累积的研究 I -不同蔬菜硝酸盐、亚硝酸盐含量评价[J].园艺学报,1982,9(4): 41-48
Shen M Z, Zhai B J, Dong H R, et al. Research on the nitrate accumulation in vegetables-the evaluation of nitrate and nitrite contents in different vegetables [J]. Acta horticulturae sinica, 1982, 9(4): 41-48
- [9] 纪凤娣.蔬菜发酵过程中微生物变化和亚硝酸盐形成降解规律研究[D].北京:中国农业大学,2007
Ji F D. Research on the microbe change and formation and degradation rules of nitrites of nitrites during the process of vegetable fermentation [D]. Beijing: China agriculture university, 2007
- [10] 沈继斌.腌制黄瓜硝酸盐与亚硝酸盐的动态变化[D].武汉:华中农业大学,2007
Shen J B. Content changes of nitrate and nitrite in pickled cucumber [D]. Wuhan: Huazhong agriculture university, 2007
- [11] 黄丽慧,张雁,陈于陇,等.发酵蔬菜中亚硝酸盐消长规律及调控技术研究进展[J].食品科学,2013,34(5):303-307
Huang L H, Zhang Y, Chen Y L, et al. Research advances in dynamic change and control technology of nitrite in fermented vegetables [J]. Food science, 2013, 34(5): 303-307
- [12] 周阮宝,谷丽萍.植物硝酸还原酶的研究进展[J].植物杂志,1994,3:5-7
Zhou R B, Gu L P. Research progress of nitrate reductase enzyme in plants [J]. Plants, 1994, 3: 5-7
- [13] Crawford N M. Nitrate nutrient and signal for plant growth [J]. Plant Cell, 1995, 7(7): 859-868
- [14] Stewart B. Nitrate respirations in relation to facultative metabolism in enterobacteria [J]. Microbiol Rely, 1988, 52: 190-232
- [15] Chang L W, Ma Y Y, Chen M H, et al. Effect of pH on Nitrite Reduction of Pickled Chinese Cabbage [J]. Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2010, 4: 1-4
- [16] 李基银.蔬菜腌渍过程亚硝酸盐生成规律与危害防治[J].食品科学,1998,3:1-6
Li J Y. The forming rules of nitrites and hazard prevention in the process of vegetable fermentation [J]. Food science, 1998, 3: 1-6
- [17] Miyao S, Ogawa T. Effect of nitrite on destruction of bacteria related to fermented pickles [J]. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 1990, 37: 665-456