

张 巧, 商飞飞, 段振华, 等. 荸荠贮藏期间 2 株腐败菌鉴定及其特性[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(1): 189-194.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.01.027

荸荠贮藏期间 2 株腐败菌鉴定及其特性

张 巧^{1,2,3}, 商飞飞^{1,2,3}, 段振华^{1,2,3}, 唐小闲^{1,2,3}

(1. 贺州学院食品与生物工程学院, 广西 贺州 542899; 2. 贺州学院食品科学与工程技术研究院, 广西 贺州 542899; 3. 广西果蔬保鲜和深加工研究人才小高地, 广西 贺州 542899)

摘要: 为确定引起荸荠腐烂的细菌种类及其主要生物学特性, 从腐烂的荸荠中分离到 2 株细菌, 经 16S RNA 基因序列结果分析, 确定其分别为木糖氧化无色杆菌(*Achromobacter xylosoxidans*) 和产气肠杆菌(*Enterobacter aerogenes*)。对其生物学特性进行研究后发现, 2 株腐败菌生长速度较快; 产气肠杆菌的耐酸、耐温、耐盐性较强, 培养液初始 pH 3.5, 培养温度 45 ℃, 或培养液中添加 7.5% 的 NaCl, 仍不能完全抑制其生长, 而木糖氧化无色杆菌的耐酸、耐温、耐盐性则较差; 此外, 2 株菌株对青霉素、红霉素、链霉素及氯霉素的抗性较强, 最低抑制质量浓度均高于 1 024 μg/ml, 对庆大霉素、万古霉素及四环素的最低抑制质量浓度均低于 1 024 μg/ml, 且产气肠杆菌的耐受力强于木糖氧化无色杆菌。本研究结果为荸荠贮藏过程中的抗菌防腐提供了理论依据。

关键词: 荸荠; 贮藏; 腐败菌; 鉴定

中图分类号: S645.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2019)01-0189-06

Identification and characteristics of two spoilage bacteria from water chestnut during storage

ZHANG Qiao^{1,2,3}, SHANG Fei-fei^{1,2,3}, DUAN Zhen-hua^{1,2,3}, TANG Xiao-xian^{1,2,3}

(1. College of Food and Biological Engineer, Hezhou University, Hezhou 542899, China; 2. Institute of Food Science and Engineering Research, Hezhou University, Hezhou 542899, China; 3. Guangxi Talent Highland for Preservation and Deep Processing Research of Fruits and Vegetables, Hezhou 542899, China)

Abstract: In order to learn about the species and characteristics of bacteria which cause the corruption of water chestnut, two bacteria were isolated from the rotten water chestnut, and then they were identified as *Achromobacter xylosoxidans* and *Enterobacter aerogenes* by 16S RNA sequence analysis. Results of biological characteristics showed that two strains of spoilage bacteria had fast growth rate. *E. aerogenes* grew slightly under the condition of initial pH3.5, culture temperature 45 ℃ or 7.5% NaCl addition, while for *A. xylosoxidans*, the acid, temperature and NaCl endurance were weaker. In addition, two spoilage bacteria presented strong resistance to ampicillin, erythromycin, streptomycin and chloramphenicol, and the minimum inhibitory concentration (MIC) was higher than 1 024 μg/ml. However, MIC for gentamicin, vancomycin and tetracycline was less than 1 024 μg/ml, and *E. aerogenes* showed stronger resistance than *A. xylosoxidans*. These results provide theoretical basis for antimicrobial and antiseptic storage of water chestnut.

Key words: water chestnut; storage; spoilage bacteria; identification

收稿日期: 2018-10-29

基金项目: 广西高校中青年教师基础能力提升项目(2018KY0557);
贺州学院食品学科与工程广西一流学科培育项目(GXY-LXKP1825)

作者简介: 张 巧(1990-), 女, 湖南衡阳人, 硕士, 助教, 主要从事农产品贮藏保鲜和深加工研究。(Email) zq2203@126.com

荸荠(*Eleocharis tuberosa*), 又名马蹄, 属单子叶莎草科, 多年生水生农作物, 其肉质嫩白, 汁多爽脆^[1], 富含多酚类物质, 具有抗氧化、抗菌、抗癌等

保健作用。且荸荠性寒、味甘、无毒,具有清热化痰、生津止渴、消食开胃、明目醒酒等功效,是一种果蔬兼用型的经济作物^[2]。

荸荠主要分布于广西、广东、江苏、安徽等地,其中广西的荸荠种植面积占全国一半以上,当地很多农民以种植荸荠作为主要经济来源。荸荠每年的产量虽然巨大,但是由于采后的荸荠鲜果不耐贮藏,货架期短,荸荠的季节性生产还是不能满足其常年的市场需求,因此,荸荠的贮藏保鲜研究一直是许多科研工作者关注的难题。对于鲜切荸荠而言,在贮藏过程中容易发生黄化,品质下降,其贮藏方法有涂膜保鲜、热处理、护色剂、氮气保鲜等技术^[3-5],但由于保鲜效果不显著,资金投入大,营养及安全性受影响等限制,在实际生产中应用较少。而采后的整果荸荠,一般采用传统的贮藏保鲜方法,如地窖贮藏、陶缸贮藏、堆藏法、细沙贮藏、溶液贮藏等^[6],此类方法简便经济,且贮藏时间较长,但不适合荸荠的长途运输及工业化生产。因此,寻求经济、简便、安全的荸荠贮藏方法,有助于荸荠的精深加工及农民收入水平的提高。

荸荠在贮藏过程中逐渐腐烂,与此同时,其中的腐败微生物得到不断地生长,研究其中的腐败微生物,对荸荠的贮藏保鲜具有重要的意义。鲍建荣等^[7]曾报道新月弯孢霉(*Curvularia lunata*)是荸荠茎腐病的病原真菌;颜梅新等^[8-9]曾研究了引起荸荠腐烂的 3 株病原真菌,分别为根串珠霉(*Thiella violacea*)、根霉(*Rhizopus* sp.)和尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum* Schlecht)。荸荠贮藏期间的腐败微生物,前期研究的主要对象是霉菌,而对腐烂荸荠中腐败细菌的筛选鉴定还未见报道。因此,本研究从贮藏期间的腐烂荸荠中分离出一些造成荸荠腐败的细菌,并进行其生物学特性研究,为开发新型的整果荸荠贮藏保鲜方法提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

荸荠从贺州农户购买。营养琼脂(NA)培养基购自广州环凯生物技术有限公司,细菌基因组 DNA 提取试剂盒购自天根生化科技(北京)有限公司,蛋白胨、NaCl 等药品由国药集团化学试剂有限公司生产。

1.2 仪器与设备

生化培养箱(上海博讯实业有限公司医疗设备厂产品),KRQ-250A 人工气候箱(上海齐欣科学仪器有限公司产品),DL-CJ-2N 型超级洁净工作台(北京东联哈尔仪器制造有限公司产品),K5600 型微量分光光度计(北京凯奥科技发展有限公司产品)。

1.3 菌株的分离及纯化

将采后的新鲜荸荠贮藏在温度 20 ℃,相对湿度 80% 的人工气候箱中。10 d 后,取腐烂后的荸荠样品 10 g,用无菌剪刀剪成小块,加入到 90 ml 的无菌生理盐水中,充分摇匀后静置。将上层液体稀释至多个梯度,吸取 1 ml 不同梯度的稀释液至培养基表面,涂布均匀,摇匀后冷却凝固,37 ℃ 下倒置培养 24~36 h,观察细菌的生长情况。

从上述培养皿中挑出菌落形态不一的单菌落,转接至 LB 培养液中(酵母粉 5 g/L,蛋白胨 10 g/L,NaCl 10 g/L),37 ℃、200 r/min 条件下培养 24 h。取菌液划线于 NA 琼脂培养基中,获得单菌落,如此重复 3 次,获得纯化菌株,并观察菌落形态,进行革兰氏染色。

1.4 腐败验证试验

洗净后的荸荠果肉 100 g,置于超净工作台中用紫外杀菌 45 min,装入灭菌后的 250 ml 三角瓶中,分别接种 1 ml 分离出的可疑腐败菌菌液,以接种 1 ml 无菌水作对照,37 ℃ 条件下培养,定期观察荸荠腐败情况。

1.5 基因组 DNA 提取、PCR 扩增及测序^[10]

采用细菌试剂盒提取各菌株的 DNA,并通过微量分光光度计对其浓度和纯度进行测定,要求基因组 DNA 质量浓度 ≥ 50 ng/ μ l, $2.0 \geq A_{260}/A_{280} \geq 1.8$,PCR 扩增及测序由青岛英派生物技术有限公司完成。

1.6 不同培养条件对腐败菌生长的影响

1.6.1 生长曲线的测定 在 5 ml 已灭菌的 LB 培养液中,接种 50 μ l 待测菌株的过夜培养液,37 ℃、200 r/min 条件下培养 24 h,每隔 2 h 取样,测定培养液在 600 nm 处的吸光值,结果为测定 3 次的平均值,以 0 h 的培养液作为空白对照。

1.6.2 不同 pH 对腐败菌生长的影响 在 5 ml 已灭菌的 LB 培养液中,接种 50 μ l 待测菌株的过夜培养液,培养液初始 pH 分别为 3.0、3.5、4.0、4.5,温度

为 37 ℃, 转速为 200 r/min, 培养 24 h 后, 测定培养液在 600 nm 处的吸光值, 结果为测定 3 次的平均值, 以 0 h 的培养液作为空白对照。

1.6.3 不同培养温度对腐败菌生长的影响 在 5 ml 已灭菌的 LB 培养液中, 接种 50 μl 待测菌株的过夜培养液, 培养温度分别为 35 ℃、40 ℃、45 ℃、50 ℃, 转速为 200 r/min, 培养 24 h 后, 测定培养液在 600 nm 处的吸光值, 结果为测定 3 次的平均值, 以 0 h 的培养液作为空白对照。

1.6.4 不同盐质量浓度对腐败菌生长的影响 在 5 ml 已灭菌的 LB 培养液中, 接种 50 μl 待测菌株的过夜培养液, 灭菌前的培养基中分别添加 2.5%、5.0%、7.5%、10.0% 的 NaCl, 37 ℃、200 r/min 条件下培养 24 h 后, 测定培养液在 600 nm 处的吸光值, 结果为测定 3 次的平均值, 以 0 h 的培养液作为空白对照。

1.6.5 不同抗生素对腐败菌生长的影响 参照 Peres 等^[11]的方法。在 5 ml 灭菌冷却后的 LB 培养液中, 分别添加不同种类的抗生素(青霉素、氯霉素、红霉素、庆大霉素、卡那霉素、链霉素、四环素、万古霉素), 添加质量浓度分别为 2 μg/ml、4 μg/ml、8 μg/ml、16 μg/ml、32 μg/ml、64 μg/ml、128 μg/ml、256 μg/ml、512 μg/ml 和 1 024 μg/ml, 接种 50 μl 待测菌株的过夜培养液, 37 ℃、200 r/min 条件下培养 24 h 后, 测定培养液在 600 nm 处的吸光值, 结果为测定 3 次的平均值, 以 0 h 的培养液作为空白对照。

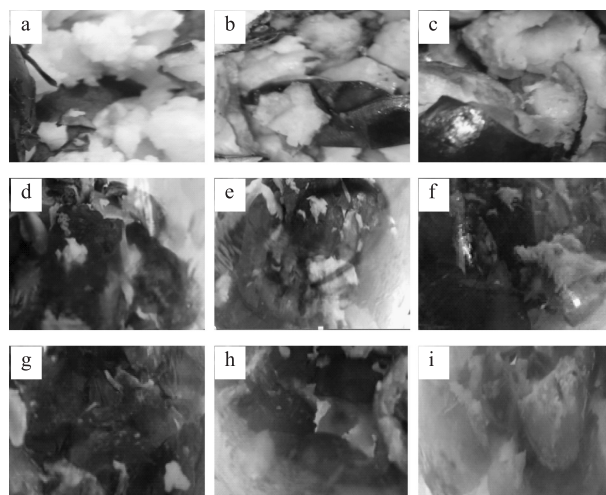
2 结果

2.1 菌株腐败验证结果

从腐烂荸荠中分离出 20 株菌落形态不一的细菌分别接种至荸荠果肉中, 37 ℃ 条件下贮藏, 结果发现, 分别接种其中的 2 株细菌(B-3 和 B-8), 荸荠的腐烂程度明显比对照组高, 贮藏 20 h、30 h、40 h 后荸荠的腐败情况如图 1 所示。

由图 1 可知, 对照组荸荠在贮藏 20 h、30 h 时, 果肉发生黄化, 但是没有发生明显的腐烂, 贮藏 40 h 时, 荸荠果肉有少量的腐烂。与对照组相比, 接种菌株 B-3, 贮藏 20 h 后的荸荠有明显黄化, 30 h 出现轻微的腐烂, 至 40 h 时, 腐烂面积增加, 且果肉颜色变暗。接种菌株 B-8, 贮藏 20 h 后的荸荠果肉黄化, 贮藏 30 h, 果肉开始腐烂, 至贮藏 40 h, 出现严重的腐烂, 且变成灰黄色, 有明显的酸臭味, 具体结果见表

1。因此, 确定菌株 B-3 和 B-8 为荸荠致腐菌, 且 B-8 的致腐败能力强于 B-3。



a、b、c 分别为对照组贮藏 20 h、30 h、40 h; d、e、f 分别为接种菌株 B-3 贮藏 20 h、30 h、40 h; g、h、i 为接种菌株 B-8 贮藏 20 h、30 h、40 h。

图 1 接种腐败菌后不同贮藏时间下荸荠的腐烂程度

Fig.1 Degree of decay for water chestnut stored at different time after inoculation with different spoilage bacteria

2.2 腐败菌鉴定结果

B-3 的菌落形态为圆形, 较湿, 微黄色, 不透明, 大而凸起, 表面较光滑, 边缘整齐, 而 B-8 的菌落形态为椭圆形, 较湿, 白色, 半透明, 小而凸起, 表面光滑, 边缘整齐, 且 2 株菌株经革兰氏染色均显示为阴性。最终经基因组 16S RNA 鉴定, B-3 和 B-8 分别为木糖氧化无色杆菌(*Achromobacter xylosoxidans*)和产气肠杆菌(*Enterobacter aerogenes*)。

2.3 2 株腐败菌的生长曲线

木糖氧化无色杆菌和产气肠杆菌在 37 ℃、200 r/min 条件下的生长情况见图 2。

由图 2 可知, 产气肠杆菌在 0~6 h 为缓慢生长期, OD_{600} 值增长较慢, 6~14 h 为对数生长期, OD_{600} 呈对数增长, 15~22 h 基本趋于稳定, 22 h 后开始有所下降。与产气肠杆菌相比, 木糖氧化无色杆菌的缓慢生长期较长, 为 0~10 h, OD_{600} 值从 0 增加至 0.82, 对数生长期为 11~16 h, OD_{600} 从 0.82 增加至 2.36, 经 17~20 h 的稳定期后开始下降。结果表明, 在 0~24 h, 产气肠杆菌的生长速度大于木糖氧化无色杆菌。

表 1 接种腐败菌的荸荠腐败情况

Table 1 Spoilage of water chestnut inoculated into spoilage bacteria

处理	贮藏时间 (h)			
	0	20	30	40
对照组	新鲜荸荠	果肉部分黄化,其他无变化	黄化加深,其他无变化	果肉出现少许腐烂
接种腐败菌 B-3	新鲜荸荠	果肉黄化	果肉出现腐烂	腐烂面积增加,颜色暗淡
接种腐败菌 B-8	新鲜荸荠	果肉黄化	果肉腐烂较多	腐烂成灰褐色,酸臭味明显

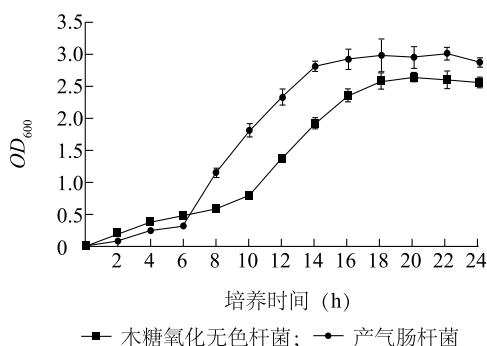


图 2 木糖氧化无色杆菌和产气肠杆菌的生长曲线

Fig.2 Growth curves of *Achromobacter xylosoxidans* and *Enterobacter aerogenes*

2.4 培养基初始 pH 对腐败菌生长的影响

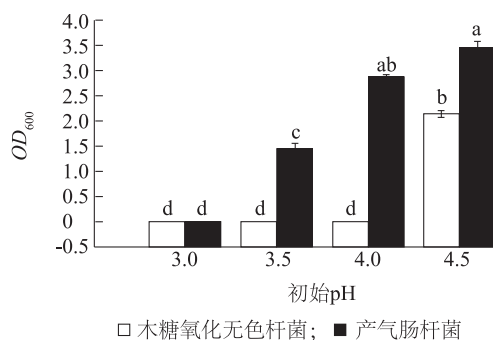
由图 3 可知,产气肠杆菌的耐酸性较强,pH 为 3.5、4.0、4.5 条件下均生长较好, OD_{600} 分别达到 0、1.45、2.88 和 3.45;相比较而言,木糖氧化无色杆菌的耐酸性则较弱,pH 4.5 时的 OD_{600} 为 2.14, pH 为 3.0、3.5、4.0 时,菌株的生长则受到完全抑制。因此,木糖氧化无色杆菌的最大耐受酸度为 pH4.5,而产气肠杆菌的最大耐受酸度为 pH3.5。

2.5 培养温度对腐败菌生长的影响

由图 4 可知,木糖氧化无色杆菌和产气肠杆菌在 35℃、40℃、45℃ 和 50℃ 培养 24 h,随着培养温度的增加, OD_{600} 逐渐下降。35℃ 下两菌株生长良好, OD_{600} 值分别达到 2.37 和 2.85;40℃ 时,木糖氧化无色杆菌的生长受到明显抑制,而产气肠杆菌受到的影响不是很大, OD_{600} 值分别为 0.96 和 2.67;45℃ 时,木糖氧化无色杆菌完全不能生长,而产气肠杆菌仍有少量的生长, OD_{600} 值分别为 0 和 0.47;至 50℃ 时,两菌株的生长均受到完全抑制。因此,木糖氧化无色杆菌和产气肠杆菌的最高耐受温度分别为 40℃ 和 45℃,前者的耐温性低于后者。

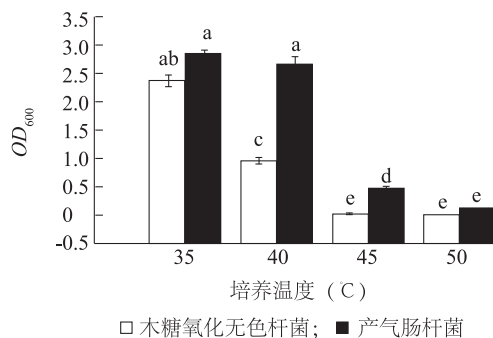
2.6 盐质量浓度对腐败菌生长的影响

由图 5 可知,添加较高质量浓度的 NaCl 对木糖



不同小写字母表示存在显著差异 ($P < 0.05$)。

图 3 培养基初始 pH 对木糖氧化无色杆菌和产气肠杆菌生长的影响

Fig.3 Effect of different initial pH on the microbial growth of *A. xylosoxidans* and *E. aerogenes*

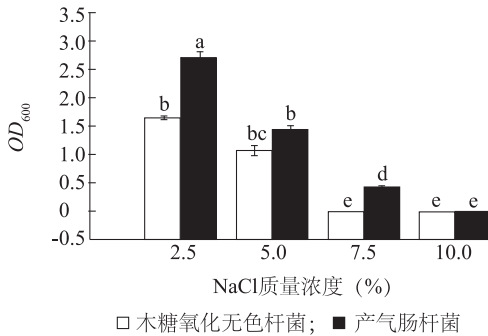
不同小写字母表示存在显著差异 ($P < 0.05$)。

图 4 培养温度对木糖氧化无色杆菌和产气肠杆菌生长的影响

Fig.4 Effect of different incubation temperatures on the microbial growth of *A. xylosoxidans* and *E. aerogenes*

氧化无色杆菌和产气肠杆菌的生长均起到一定的抑制作用,当 NaCl 的添加质量浓度为 7.5% 时,两菌株的 OD_{600} 值分别为 0 和 0.435,木糖氧化无色杆菌的生长受到完全抑制,产气肠杆菌仍有少量的生长,当 NaCl 的添加质量浓度为 10.0% 时,两菌株的生长均受到完全抑制。因此,木糖氧化无色杆菌和产气肠

杆菌的最高耐受 NaCl 添加质量浓度分别为 5.0% 和 7.5%, 前者的耐盐性低于后者。



不同小写字母表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

图 5 NaCl 添加质量浓度对木糖氧化无色杆菌和产气肠杆菌生长的影响

Fig.5 Effect of different NaCl addition concentration on the microbial growth of *A. xylosoxidans* and *E. aerogenes*

表 2 不同抗生素对木糖氧化无色杆菌和产气肠杆菌的最低抑制质量浓度

Table 2 Minimum inhibitory concentration of different antibiotics against *A. xylosoxidans* and *E. aerogenes*

菌株	抗生素质量浓度 (μg/ml)							
	青霉素	卡那霉素	庆大霉素	链霉素	红霉素	氯霉素	万古霉素	四环素
木糖氧化无色杆菌	>1 024	128~256	8~16	>1 024	>1 024	>1 024	128~256	2~4
产气肠杆菌	>1 024	128~256	128~256	>1 024	>1 024	>1 024	>1 024	128~256

3 讨论

从腐烂荸荠中分离的 2 株腐败细菌, 分别鉴定为木糖氧化无色杆菌 (*A. xylosoxidans*) 和产气肠杆菌 (*E. aerogenes*), 2 株菌株对荸荠贮藏期间均有一定的腐败能力。其中木糖氧化无色杆菌主要分布于土壤、井水等潮湿环境中, 是一种条件致病菌, 能够破坏人体的免疫系统, 引起多种疾病, 如肺炎、脓肿、脑膜炎等^[12]。以前对木糖氧化无色杆菌的报道主要是临床研究, 但近年来有研究发现该菌株也能引起一些动植物食品的腐败。叶罗娜首次发现木糖氧化无色杆菌能引起鸡腿菇的细菌性病害^[13]; 高磊等^[14]从变质冷鲜鸡腿肉中分离出 5 株优势腐败菌, 分别鉴定为类产碱假单胞菌、热杀索丝菌、腐生葡萄球菌、木糖氧化无色杆菌和格氏沙雷氏菌。产气肠杆菌属于肠杆菌科, 是产氢的主要菌属之一, 能有效利用各种糖类物质进行厌氧发酵制氢^[15], 同时也是

2.7 腐败菌对不同抗生素的耐受力

由表 2 可知, 2 株腐败菌对青霉素、链霉素、红霉素和氯霉素的耐受力较强, 在添加 1 024 μg/ml 的上述抗生素, 两菌株均生长良好, 说明其最低抑制质量浓度均大于 1 024 μg/ml; 两菌株对卡那霉素、庆大霉素和四环素的耐受力较弱, 产气肠杆菌对这 3 种抗生素的最低抑制质量浓度为 128~256 μg/ml, 而木糖氧化无色杆菌对这 3 种抗生素的最低抑制质量浓度分别为 128~256 μg/ml、8~16 μg/ml 和 2~4 μg/ml; 此外, 产气肠杆菌对万古霉素的最低抑制质量浓度高于 1 024 μg/ml, 而木糖氧化无色杆菌对万古霉素的最低抑制质量浓度为 128~256 μg/ml。产气肠杆菌对庆大霉素、万古霉素和四环素的最低抑制质量浓度均高于木糖氧化无色杆菌, 说明前者对这 3 种抗生素的耐受力强于后者。

一种食品腐败菌。刘丽莎等^[16]从浸泡的大豆中筛选到 1 株产气肠杆菌, 经致腐回接试验确定该菌株与豆浆的腐败现象有直接关系; 郭全友等^[17]从大黄鱼中分离的主要腐败细菌均属肠杆菌科, 其中包括产气肠杆菌。

对 2 株腐败菌的耐酸、耐温性试验结果表明, 产气肠杆菌的耐酸、耐温性强于木糖氧化无色杆菌。董湘熔在对木糖氧化无色杆菌降解吡啶酮和邻氨基苯甲酸的研究中发现, 该菌的适宜温度范围为 25~35 ℃, 在 pH 5~10 条件下可以完全降解吡啶酮^[18]。而产气肠杆菌在 15~40 ℃ 条件下均能发酵产氢, 耐酸范围为 pH 4.5~7.0^[19], 本研究的结果与此基本相符。此外, 虽然木糖氧化无色杆菌对氨基糖苷类药物敏感 (卡那霉素、庆大霉素、链霉素), 但也有人认为, 该菌对某些氨基糖苷类药物存在固有耐药^[12]。在本研究中, 2 株菌株对青霉素、链霉素、红霉素和氯霉素的抗性较强, 最低抑制质量浓度均大

于1 024 $\mu\text{g/ml}$,对卡那霉素、庆大霉素、万古霉素和四环素则较为敏感。

参考文献:

- [1] 张 怡,胡月珍,李小根.荸荠营养成分及保健价值的研究[J]. 科技创业家,2013(3):198.
- [2] 刘 兵,段振华,马蹄的贮藏保鲜与加工利用研究进展[J]. 食品研究与开发,2016,37(18):212-215.
- [3] PAN Y G, LI Y X, YUAN M Q. Isolation, purification and identification of etiolation substrate from fresh-cut Chinese water chestnut (*Eleocharis tuberosa*) [J]. Food Chemistry, 2015, 186:119-122.
- [4] 尹 璐,彭 勇,梅 俊,等.不同涂膜保鲜处理对荸荠品质变化的影响[J].食品科学,2013,34(20):297-301.
- [5] YOU Y L, JIANG Y M, SUN J, et al. Effects of short-term anoxia treatment on browning of fresh-cut Chinese water chestnut in relation to antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2012, 132(3): 1191-1196.
- [6] 王 强.荸荠贮藏保鲜的六种方法[J].农家顾问,2011(1):50.
- [7] 鲍建荣,詹有才,吴学素,等.荸荠茎腐病原菌鉴定及生物学特性的研究[J].植物保护学报,1993,20(4):307-311.
- [8] 颜梅新,袁高庆,陈世伟,等.荸荠贮藏期真菌性病害种类调查鉴定初探[J].广西农业生物科学,2003,22(2):96-99.
- [9] 颜梅新,廖旺姣,袁高庆,等.广西荸荠贮藏期腐烂病原菌鉴定[J].广西农业科学,2009,40(7):840-843.
- [10] 田 伟,张 琦,邓珍珍,等.利用16S rRNA 分析传统四川发酵泡菜中的细菌多样性[J].食品科学,2013,34(17):215-218.
- [11] PERES C M, ALVES M, HERNANDEZ- MENDOZA A, et al. Novel isolates of lactobacilli from fermented Portuguese olive as potential probiotics[J]. LWT- Food Science and technology, 2014, 59:234-246.
- [12] 梁 亮.木糖氧化无色杆菌研究进展[J].右江医学,2017,45(1):112-115.
- [13] 叶罗娜.鸡腿菇柄腐烂病原鉴定与防治技术初探[D].武汉:华中农业大学,2017.
- [14] 高 磊,谢 晶,叶 藻,等.冷鲜鸡腿肉中优势腐败菌的分离机腐败能力研究[J].食品与发酵工业,2015,41(8):48-53.
- [15] 戚 峰.生物质高效水解及发酵产氢的机理研究[D].杭州:浙江大学,2007.
- [16] 刘丽莎,彭义交,鲍鲁生,等.大豆浸泡过程中腐败微生物对豆浆品质的影响[J].食品科学,2015,36(14):161-164.
- [17] 郭全友,何 木,李保国,等.大黄鱼腐败细菌鉴定及 PLFAs 初级模型的建立[J].现代食品科技,2015,31(12):227-234.
- [18] 董湘熔.吡啶酮和邻氨基苯甲酸降解菌株的选育及降解性能研究[D].郑州:郑州大学,2011.
- [19] 张全国,赫倚风,胡建军,等.产气肠杆菌厌氧发酵产氢工艺实验[J].农业机械学报,2014,45(2):176-180.

(责任编辑:陈海霞)