

发酵食品中生物胺的研究现状

王波¹, 肖珊¹, 蔡燕雪¹, 张乐², 尹浩², 王际辉^{1,3*}, 李琳¹

(1. 东莞理工学院化学工程与能源技术学院, 食品营养健康工程与智能化加工研究中心, 东莞 523808;
2. 中储粮油脂工业东莞有限公司, 东莞 523147; 3. 大连工业大学生物工程学院, 大连 116034)

摘要: 发酵食品因具有多种多样的促进健康功能、特殊风味和便于储藏等优点而受到人们的喜爱。然而, 在发酵食品制作过程中, 会产生和蓄积大量的有害物质生物胺(biogenic amines, BA), 过量食用后会严重危害消费者的身体健康。BA 是一类非挥发性低分子量的含氮有机物, 由氨基酸脱羧形成。在食品发酵过程中, 由于微生物、化学和物理条件的影响, BA 的产生很难被控制, 因而使得发酵食品面临着严峻的安全问题。目前对于 BA 以及产 BA 微生物的检测已经有较成熟的方法, 但是对于如何清除发酵食品中的 BA 仍然缺乏有效的措施。较为可行的一种措施是 BA 酶降解法, 通过向发酵食品中添加能够降解 BA 的微生物来降低 BA 的含量, 但是此方法规模化的应用仍然有诸多问题需要探索。本文在现有文献的基础上, 对当前发酵食品中 BA 引发的问题、检测、预防以及微生物降解 BA 的研究进行论述, 旨在让人们了解发酵食品中 BA 的危害, 同时让发酵食品行业对于微生物降解 BA 这一新方向有较全面的认识。

关键词: 发酵食品; 生物胺; 食品安全; 生物胺降解

Research status of biogenic amines from fermented foods

WANG Bo¹, XIAO Shan¹, CAI Yan-Xue¹, ZHANG Le², YIN Hao², WANG Ji-Hui^{1,3*}, LI Lin¹

(1. Engineering Research Center of Health Food Design & Nutrition Regulation, School of Chemical Engineering and Energy Technology, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China; 2. Sinograin Oils & Fats Co., Ltd., Dongguan 523147, China; 3. College of Biological Engineering, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

ABSTRACT: Fermented foods are popular with people because of their diverse beneficial effects on health, special flavor, and storage convenience. However, the content of biogenic amines (BA) will arise and accumulate along with the process of fermentation. Excessive intake of BA will be harmful to human health. BA are non-volatile low-molecularweight nitrogenous organic bases, derived through decarboxylation of corresponding amino acids. For fermented foods, the control of BA generation is difficult due to the influence of microorganisms, chemical and physical conditions, which brings safety problem for the fermented foods. To date, there are relatively mature methods for the detection of BA and amino acid decarboxylase-positive microorganisms. However, the specific measures to eliminate BA from fermented foods are still scarce. The addition of microorganism with BA-degrading ability to the fermented foods is a feasible measure for the control of BA content. However, there are still many problems for the large-scale applications of this method. Based on the existing literature, this article reviewed the

基金项目: 东莞理工学院高层次人才(创新团队)科研启动项目(KCYCXPT2017007)、大豆油回色控制技术开发应用项目

Fund: Supported by the Institute of Science and Technology Innovation, DGUT (KCYCXPT2017007), and the Development and the Application of Soybean Oil Color Return Control Technology

*通讯作者: 王际辉, 教授, 主要研究方向为营养与食品安全。E-mail: wangjihui@dgut.edu.cn

*Corresponding author: WANG Ji-Hui, Professor, Engineering Research Center of Health Food Design & Nutrition Regulation, Dongguan 523808, China. E-mail: wangjihui@dgut.edu.cn

harmful effects of BA, the detection and strategies for prevention of BA accumulation, and the ability of food microorganisms to degrade BA, aiming to make people aware of the possible safety risks of BA, and at the same time make the fermentation industry know the feasibility of using BA-degrading microorganism.

KEY WORDS: fermented foods; biogenic amines; food safety; biogenic amines degradation

1 引言

发酵是一种古老的生物技术, 发酵食品是人们利用有益微生物加工制造的一类食品, 因其独特的感官特性、营养价值和利于储藏等特点而备受欢迎^[1,2]。近年来, 关于发酵食品的功能性研究越来越多^[3-5]。但是, 随着行业和社会的发展, 发酵食品正面临着一种全新的挑战: 发酵食品安全问题。食品在发酵过程中, 会产生一些副产物, 有些副产物具有生物危害性, 会对人体健康产生威胁。尤其是采用自然发酵工艺生产的传统发酵食品, 由于发酵过程难以控制, 一些有毒有害的物质[例如生物胺(biogenic amines, BA)]会大量富集, 过量摄入后会导致人体中毒, 引发食品安全问题^[6]。

BA 是一类无挥发性的含氮有机物, 在人体、动物、植物和微生物正常新陈代谢过程中都能够产生, 主要由相应的氨基酸在脱羧酶的作用下脱除羧基后形成^[7]。发酵食品常用的微生物有酵母菌、乳酸菌、醋酸菌、霉菌等, 而与 BA 形成相关的氨基酸脱羧酶广泛存在于这些微生物体内^[8]。发酵食品中 BA 按化学结构分为脂肪胺(酪胺、尸胺、精胺、亚精胺)、芳香胺(酪胺、苯乙基胺)、杂环胺(组胺、色胺), 其中组胺和酪胺毒性最大, 与发酵食品的安全性也最相关^[9,10]。此外, 这些 BA 都具有热稳定性的特点, 普通的热处理并不能使其失活。目前, 发酵食品中只能采取监测的手段来控制 BA 的生成量, 而对于清除已经生成的 BA 并没有非常有效的措施。近年来, 有研究发现从食品基质中分离得到的一些微生物菌株可以降解 BA, 尽管相关研究数据较少, 但是为解决发酵食品中 BA 问题提供了新的方向。

结合食品发酵行业对清除发酵食品中 BA 的迫切需求, 本文在现有文献资料的基础上对发酵食品中 BA 引起的安全问题、BA 的检测分析以及微生物降解 BA 的相关知识进行了论述, 以期对发酵食品工业和相关领域的研究人员提供一定的帮助, 同时也希望引起人们对利用微生物降解 BA 的可行性进行深入的探讨。

2 发酵食品中生物胺的危害

对于真核生物而言, 正常的生理代谢都会产生 BA, 并且适量的 BA 可以在机体内发挥重要的生理功能(表 1), 例如促进生长、增强代谢活力、控制血压和清除自由基等。因此, 日常摄取的食物当中含有 BA 属于正常现象。在正

常生理条件下, 食物中的 BA 会迅速被小肠粘膜上的胺氧化酶分解, 不会对人体产生危害。根据优先氧化氨基的数目不同, 胺氧化酶可以分为单胺氧化酶(monoamine oxidase, MAO)和二胺氧化酶(diamine oxidase, DAO)两大类, 除此以外, 组胺也会被甲酰或乙酰转移酶降解。然而, 当这些酶的功能失调时, 未被降解的 BA 就会进入人体血液循环, 对不同的器官发产生毒性作用, 危害人体健康^[11-13]。在发酵食品制作过程中, 由于不可控的微生物活动, 导致 BA 大量富集, 当消费者摄入这类发酵食品时, 高浓度的 BA 超出了胺氧化酶的解毒能力, 最终仍然会有大量未被降解的 BA 进入人体, 引起食物中毒。因此, BA 引起的食品安全问题普遍存在于发酵食品中。对于毒性最大的组胺和酪胺而言, 有研究发现, 当食物中组胺的含量超过 400 mg/kg 时^[14], 或者酪胺含量超过 125 mg/kg 时^[15], 就会对人体产生危害, 而 BA 在人体血液中的蓄积浓度最高可以达到 1000 mg/kg^[16,17]。

人体摄入过量 BA 后引发的食品安全事故, 根据症状的严重程度可以分为两级: 反应症状和中毒症状^[13]。反应症状较轻, 包括恶心、出汗、皮疹和轻微头痛; 中毒症状较严重, 主要包括呕吐、腹泻、明显的红疹、心跳过速、血压升高和偏头痛, 而由此引起的高血压还会对心脏和中央神经系统产生不可逆的损伤。还有研究发现, 食用高组胺的发酵食物可能会引起炎症相关的疾病, 例如克罗恩病、溃疡性结肠炎、结肠肿瘤等^[18]。此外, 有报道发现抑郁、精神分裂、帕金森综合症等与大脑中酪胺的含量偏高有关^[13], 而机体内过量的腐胺能够促进恶性肿瘤的迁移, 且能够与亚硝酸盐反应生成致癌物亚硝胺^[9,19]。除了毒理学的作用以外, BA 也会对人体肠道内的微生态产生影响。有研究发现酪胺能够提高大肠杆菌 1057H 在小肠上皮细胞的黏附能力, 从而提高该病原菌的致病能力^[20], 而腐胺与致病性革兰氏阴/阴性菌的毒性有关^[21]。鉴于以上危害的严重性, 有必要从整个发酵过程中来控制 BA 的含量, 以保证发酵食品的安全性。

3 发酵食品中生物胺的检测及预防富集的措施

3.1 生物胺以及产生物胺微生物的检测

发酵食品中 BA 的产生需要同时具备 3 个基本条件: (1)存在产生 BA 的前体物质, 如氨基酸; (2)具有氨基酸脱羧酶活性的微生物; (3)存在适合此类微生物生长的环境。而发酵食品由于工艺的特殊性, 很容易同时具备上述 3 个

条件,从而导致 BA 的产生和富集。因此,精确检测发酵过程中 BA 的含量对于发酵产品的安全性至关重要。此外,检测和监控发酵食品中 BA 的含量还可以评估不同因素对 BA 的产生和蓄积的影响,从而寻找有效控制 BA 的措施。目前,分析检测发酵食品中 BA 最有效的方法是高效液相色谱技术(high performance liquid chromatography, HPLC),该方法主要参考欧盟委员会制定的检测鱼类食品中组胺的方法(No. 2073/2005),采用柱前或柱后衍生技术进行检测。此外,也可以利用邻苯二甲醛(o-phthaldialdehyde, OPA)柱前衍生法测定荧光强度来检测 BA。关于检测方法的有效性可以参考欧洲食品安全委员会制定的标准^[22]。随着检测设备和方法的改进,未来对 BA 检测技术的要求除了精准度以外,还需要能够在短时间内同时定量检测出多种不同类型的 BA。

在食品发酵过程中具备氨基酸脱羧酶活性的微生物都会产生 BA。一些常见的腐败菌和致病菌,如链球菌属、杆菌属、梭菌属、埃希氏菌属、变形菌属、克雷伯氏菌属、假单胞菌属、沙丁氏菌属等都具有氨基酸脱羧酶活性。当前,主要是通过体外培养法以及特定的 PCR 技术检测基因编码的脱羧酶来检测产 BA 的微生物^[23-25]。例如,有研究发现利用多通道 PCR 技术可以测定酒中的产组胺、酪胺和腐胺的乳酸菌(lactic acid bacteria, LAB)^[26],利用 PCR 技术检测发酵乳制品中产 BA 的 LAB 也有报道^[27]。此外,利用实时定量 PCR 技术检测和定量分析产组胺、酪胺和腐胺微生物的方法目前也已经开发出来并成功应用于奶酪发酵中^[28]。利用 PCR 等生物信息学技术鉴定能够产 BA 微生物的方法具有较高的准确性,而且耗时较短,能够实现实时监控整个发酵体系在发酵过程中产 BA 微生物的状态,以便于调整发酵策略。

3.2 预防发酵食品中生物胺富集的措施

发酵食品中 BA 的产生受到内在和外在多种因素的影响,例如 pH、水分活度、原料基质组成、发酵体系中微生物的种类以及发酵时间和温度等。因此,从上述影响因素出发,发酵食品生产过程中预防和控制 BA 富集的措施主

要可以从以下 5 个方面进行考虑: 1)可以采用无法利用前体物质氨基酸产生 BA 的菌株作为起始菌株进行食品发酵^[29-32], PCR 技术可以应用于此类菌株的筛选和鉴定; 2)使用不产生氨基酸脱羧酶的发酵剂,并且在同样发酵和储存环境下的生长代谢速度要超过发酵原材料中的微生物^[33,34]; 3)降低发酵体系中 BA 前体物质氨基酸的水平,从而减少 BA 的生成; 4)采用腐败微生物抑制剂,一些天然产物及其提取物能够有效抑制发酵食品中 BA 的产生,例如大蒜、红辣椒、葱、生姜、丁香等提取物; 5)BA 酶法降解,可以在发酵体系中添加不具备氨基酸脱羧酶活性且具备胺氧化酶活性的微生物,可以胺氧化酶活性作为指标,利用 PCR 技术筛选此类益生菌添加到发酵过程中。除了上述措施以外,在发酵过程中要尽量采取能够抑制产 BA 微生物生长的操作,例如,通过巴氏杀菌来减少发酵乳制品中产 BA 的微生物数量; 在酒的发酵过程中,可以通过控制 pH、温度、有机酸等条件来抑制 LAB 中氨基酸脱羧酶的活性^[35]; 发酵果酒过程中通过添加亚硫酸盐以及通过控制相关的 BA 前体物质氨基酸可以降低 BA 的积累^[36,37]。总而言之,上述措施都可以有效控制 BA 的生成。然而对于不同的发酵产品而言,由于原料、产品的性质不同以及实际操作条件的差异,在实际生产中需要针对每种产品的特性去调整发酵使用的策略。

4 食品微生物降解生物胺的潜力

食物中的 BA 需要肠道内胺氧化酶降解进行解毒,而这种酶在微生物体内也有发现。表 2 列出了近年来从食物基质中分离出的具有降解 BA 能力的微生物,不同来源的微生物降解 BA 的种类和降解能力也存在差异。20 世纪 80 年代,学者从乳制品中分离出了一些菌株,这些菌株能够表达胺氧化酶来降解 BA,但同时这些菌株还能够表达酪氨酸和/或组氨酸脱羧酶来产生 BA^[38]。随后,有研究发现从食物中分离的植物乳杆菌、清酒乳杆菌、戊糖片球菌、乳酸片球菌等菌株可以在体外降解酪胺和组胺,为生物胺酶法降解的应用提供了理论依据^[39]。此后,这些能够降解

表 1 发酵食品中生物胺的生理功能及毒性作用

Table 1 Biogenic amines in fermented foods and their physiological and toxicological effects

生物胺	前体	生理功能	毒性作用
组胺	组氨酸	神经递质、激素、胃酸分泌、细胞分化和增殖、调节新陈代谢、体温控制、摄食、学习和记忆、免疫、过敏反应	头痛、出汗、面部潮红、红疹、头晕、水肿、荨麻疹、吞咽困难、腹泻、呼吸紊乱、支气管痉挛、心跳过速、血压紊乱
酪胺	酪氨酸	神经递质、外周血管收缩、心脏输出、血糖控制、去甲肾上腺素分泌	头痛、偏头痛、神经紊乱、恶心、呕吐、呼吸紊乱、高血压
腐胺和尸胺	鸟氨酸和赖氨酸	基因表达调控、小肠的成熟分化、细胞分化和增殖	心动过速、高血压、致癌效果

BA 的微生物菌株被首次应用于奶酪制作工艺当中^[40]。在此之后, 又有学者从发酵鱼块中分离出 4 株能够降解组胺的清酒乳杆菌, 其中 2 株菌被成功应用于发酵鱼浆的制作工艺中, 结果显示都具有较好的降解 BA 的效果^[41]。在葡萄球菌方面, 研究发现从意大利火腿中分离的木糖葡萄球菌可以降解组胺^[42], 作为起始发酵菌种, 该菌株被用于火腿的制作工艺当中, 能够显著降低火腿中 BA 的含量。此外, 从火腿中还分离出了植物乳杆菌和干酪乳杆菌, 也可以不同程度的降解酪胺^[43]。总之, 以上研究和应用结果都表明, 在发酵过程中利用能够直接降解 BA 的微生物菌株可以有效地减少产品中 BA 的含量。除了直接降解 BA, 有些微生物菌株还可能通过其他方式来降低产品中 BA 的含量。有研究表明, 不同来源的干酪乳杆菌都可以减少蔬菜青储过程中 BA 的生成量, 很可能是由于干酪乳杆菌对其他产 BA 的微生物具有拮抗作用^[44]。

5 具有生物胺降解能力的微生物在发酵食品中的应用

解决 BA 引起的食品安全问题的最好的方式精准控制产品中 BA 的含量。但是, 目前市场上对于清除 BA 并没有非常有效的措施, 利用生物酶进行降解或许是当前最安全和经济的方法。对于发酵食品而言, 一些产 BA 的微生物本身就是发

酵食品中常见的菌群, 在食品发酵过程中不可能完全杜绝, 因此也不可能完全杜绝 BA 的产生。基于以上认知, 已经有学者建议将能够降解 BA 的微生物菌种应用于发酵肉制品和发酵鱼制品当中^[42,43]。例如, 在火腿制作中, 加入木糖葡萄球菌后, 成品中 BA 的含量可以显著降低。在利用生乳直接制作奶酪的过程中, 由于原料乳中酪蛋白的水解, 并且含有较多产酪胺的肠球菌, 导致奶酪成品中酪胺和组胺的含量非常高, 可以达到 1 g/kg, 但是加入干酪乳杆菌后, 能够显著降低奶酪中酪胺和组胺的含量^[13,51]。发酵食品中利用微生物降解 BA 主要依赖微生物表达的胺氧化酶, 因此该酶的活力和表达量通常用来作为筛选这类微生物的指标。

6 结 论

当前实验室研究发现了较多能够降解 BA 的菌株, 这类微生物在发酵食品工业当中具有广阔的应用前景。但是真正将这些菌株应用于发酵食品实际生产中仍然有许多问题需要考虑和探索, 例如对于相关酶的表面、酶活力的鉴定仍然需要进一步研究, 发酵过程中的理化性质是否适合这些酶降解 BA 也需要考察。此外, 这些微生物虽然能够降解 BA, 但同时也会产生 BA, 针对菌株的这种双重特点, 可以利用基因编辑技术, 去除与 BA 合成有关的基因, 但是具体的基因编辑策略仍需深入研究。

表 2 能够降解 BA 的食品微生物
Table 2 Studies reporting biogenic amines degradation by food microorganisms

生物胺	微生物种类	微生物基质	降解率/%	参考文献
组胺、酪胺	植物乳杆菌、戊糖乳杆菌、清酒乳杆菌、乳酸片球菌、红球菌属、节杆菌属、微球菌属	体外分离	55	[40]
	扩展短杆菌	明斯特奶酪	70	[40]
组胺、酪胺	清酒乳杆菌	鱼浆	50-54	[41]
组胺	解淀粉芽孢杆菌、肉葡萄球菌	体外分离	59.9	[45]
组胺	枯草芽孢杆菌、中间葡萄球菌	体外分离	28.9-30.4	[45]
腐胺、尸胺	解淀粉芽孢杆菌、肉葡萄球菌	鱼露发酵物	27.7	[46]
组胺	木糖葡萄球菌	体外分离	47	[42]
组胺	干酪乳杆菌、植物乳杆菌	体外分离	60-98	[43]
酪胺	干酪乳杆菌	卡布拉尔奶酪	46.8	[47]
组胺、酪胺	干酪乳杆菌、希氏乳杆菌、小片球菌、	培养基	25	[48]
组胺、酪胺、腐胺	酒球菌、植物乳杆菌、戊糖片球菌			
组胺、酪胺、腐胺	干酪乳杆菌	酒	18	[48]
酪胺、腐胺	植物乳杆菌			
组胺、酪胺、腐胺	桔青霉素菌、链格孢属、茎点霉菌、单格孢菌、黑附球菌	体外分离	22.12-31.09	[49]
		体外分离/酒	37.3-100	[50]

参考文献

- [1] Bhagavathi S, Periyana K, Chaiyavat C. Impact of fermented foods on human cognitive function—a review of outcome of clinical trials [J]. *Sci Pharm*, 2018, 86(2): 22–27.
- [2] Aslam H, Green J, Jacka FN, *et al.* Fermented foods, the gut and mental health: A mechanistic overview with implications for depression and anxiety [J]. *Nutrit Neurosci*, 2018, 21(9): 1–13.
- [3] Macori G, Cotter PD. Novel insights into the microbiology of fermented dairy foods [J]. *Curr Opin Biotechnol*, 2018, 49: 172–178.
- [4] Ashaolu TJ. A review on selection of fermentative microorganisms for functional foods and beverages: the production and future perspectives [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2019, 54(8): 2511–2519.
- [5] Tagliazucchi D, Martini S, Solieri L, *et al.* Bioprospecting for bioactive peptide production by lactic acid bacteria isolated from fermented dairy food [J]. *Fermentation*, 2019, 5(4): 1–34.
- [6] 黄晓棠, 于宏伟, 郭润芳. 发酵食品工业中的生物安全性评价[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(4): 356–360, 367.
- Huang XT, Yu HW, Guo RF. Biosafety evaluation in the fermented food industry [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(4): 356–360, 367.
- [7] Park YK, Lee JH, Mah J, *et al.* Occurrence and reduction of biogenic amines in traditional Asian fermented soybean foods: A review [J]. *Food Chem*, 2019, 278: 1–9.
- [8] Alvarez MA, Morenoarribas MV. The problem of biogenic amines in fermented foods and the use of potential biogenic amine-degrading microorganisms as a solution [J]. *Trend Food Sci Technol*, 2014, 39(2): 146–155.
- [9] Rio BD, Redruello B, Linares DM, *et al.* The biogenic amines putrescine and cadaverine show *in vitro* cytotoxicity at concentrations that can be found in foods [J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 1–6.
- [10] Shukla S, Park H, Kim J, *et al.* Determination of biogenic amines in Japanese miso products [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2011, 20(3): 851–854.
- [11] Barbieri F, Montanari C, Gardini F, *et al.* Biogenic amine production by lactic acid bacteria: A review [J]. *Foods*, 2019, 8(1): 17–27.
- [12] Nath C, Badavath VN, Thakur A, *et al.* Curcumin-based pyrazoline analogues as selective inhibitors of human monoamine oxidase A [J]. *Med Chem Comm*, 2018, 9(7): 1164–1171.
- [13] Ozogul F, Hamed I. The importance of lactic acid bacteria for the prevention of bacterial growth and their biogenic amines formation: A review [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2018, 58(10): 1660–1670.
- [14] Taylor SL. Histamine food poisoning: Toxicology and clinical aspects [J]. *Crit Rev Toxicol*, 1986, 17(2): 91–128.
- [15] Ladero V, Linares DM, Perez M, *et al.* Biogenic amines in dairy products [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2011, 51(7): 691–703.
- [16] Fernandez MJ, Florez AB, Linares DM, *et al.* Early PCR detection of tyramine-producing bacteria during cheese production [J]. *J Dairy Res*, 2006, 73(3): 318–321.
- [17] Roigsagues AX, Molina AP, Hernandezherrero MM, *et al.* Histamine and tyramine-forming microorganisms in Spanish traditional cheeses [J]. *Eur Food Res Technol*, 2002, 215(2): 96–100.
- [18] Hassan AH, Sappia L, Moura SL, *et al.* Biomimetic magnetic sensor for electrochemical determination of scombrototoxin in fish [J]. *Talanta*, 2019, 194: 997–1004.
- [19] Ignatenko NA, Besselsen DG, Roy UK, *et al.* Dietary putrescine reduces the intestinal anticarcinogenic activity of sun-dried lac in a murine model of familial adenomatous polyposis [J]. *Nutr Cancer*, 2006, 56: 172–181.
- [20] Lyte M. The biogenic amine tyramine modulates the adherence of *Escherichia coli* O157:H7 to intestinal mucosa [J]. *J Food Prot*, 2004, 67(5): 878–883.
- [21] Shah P, Swiatlo E. A multifaceted role for polyamines in bacterial pathogens [J]. *Molecular Microbiol*, 2008, 68(1): 4–16.
- [22] EFSA (European Food Safety Authority). Scientific opinion on risk based control of biogenic amine formation in fermented foods [J]. *EFSA J*, 2011, 9(10): 1–93.
- [23] Berbegal C, Benaventgil Y, Navascues E, *et al.* Lowering histamine formation in a red Ribera del Duero wine (Spain) by using an indigenous *O. oeni* strain as a malolactic starter [J]. *Int J Food Microbiol*, 2017, 244: 11–18.
- [24] Trivedi K, Borkovcova I, Karpiskova R, *et al.* Tyramine production by enterococci from various foodstuffs: A threat to the consumers [J]. *Czech J Food Sci*, 2018, 27: 357–360.
- [25] Tofalo R, Perpetuini G, Battistelli N, *et al.* Accumulation of γ -aminobutyric acid and biogenic amines in a traditional raw milk ewe's cheese [J]. *Foods*, 2019, 8(9): 401.
- [26] Marcobal A, Rivas BD, Morenoarribas MV, *et al.* Multiplex PCR method for the simultaneous detection of histamine-, tyramine-, and putrescine-producing lactic acid bacteria in foods [J]. *J Food Prot*, 2005, 68(4): 874–878.
- [27] Fernandez M, Linares DM, Alvarez MA, *et al.* Sequencing of the tyrosine decarboxylase cluster of *Lactococcus lactis* IPLA 655 and the development of a PCR method for detecting tyrosine decarboxylating lactic acid bacteria [J]. *J Food Prot*, 2004, 67(11): 2521–2529.
- [28] Lucas P, Claisse O, Lonvaudfunel A, *et al.* High frequency of histamine-producing bacteria in the enological environment and instability of the histidine decarboxylase production phenotype [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2008, 74(3): 811–817.
- [29] Prete VD, Costantini A, Cecchini F, *et al.* Occurrence of biogenic amines in wine: The role of grapes [J]. *Food Chem*, 2009, 112(2): 474–481.
- [30] Landete JM, Rivas BD, Marcobal A, *et al.* Molecular methods for the detection of biogenic amine-producing bacteria on foods [J]. *Int J Food Microbiol*, 2007, 117(3): 258–269.
- [31] Santamaria L, Reveron I, De Felipe FL, *et al.* Unravelling the reduction pathway as an alternative metabolic route to hydroxycinnamate decarboxylation in *Lactobacillus plantarum* [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2018, 84(15): 1–5.
- [32] Espinosaqueira D, Hernandezherrero MM, Roigsagues AX, *et al.* High hydrostatic pressure as a tool to reduce formation of biogenic amines in artisanal Spanish cheeses [J]. *Foods*, 2018, 7(9): 1–7.
- [33] Roldan A, Lloret I, Palacios V, *et al.* Use of a submerged yeast culture and lysozyme for the treatment of bacterial contamination during biological aging of sherry wines [J]. *Food Control*, 2017, 71: 42–49.
- [34] Morenoarribas MV, Polo MC. Occurrence of lactic acid bacteria and biogenic amines in biologically aged wines [J]. *Food Microbiol*, 2008, 25(7): 875–881.
- [35] Martin-Alvarez PJ, Marcobal A, Polo C, *et al.* Technological factors influencing biogenic amine production during red wine manufacture [J].

- Eur Food Res Technol, 2006, 222: 420–424.
- [36] Garai G, Duenas MT, Irastorza A, *et al.* Biogenic amines in natural ciders [J]. J Food Prot, 2006, 69(12): 3006–3012.
- [37] Garai G, Irastorza A, Duenas M, *et al.* Evolution of amino acids and biogenicamines throughout the industrial manufacture of natural ciders [J]. Int J Food Sci Technol, 2013, 48: 375–381.
- [38] Henriquezaedo K, Galarcebustos O, Aqueveque P, *et al.* Dynamic of biogenic amines and precursor amino acids during cabernet sauvignon vinification [J]. LWT-Food Scid Technol, 2018: 238–244.
- [39] Kung H, Lee Y, Huang Y, *et al.* Degradation of histamine by *Lactobacillus plantarum* isolated from miso products [J]. J Food Prot, 2017, 80(10): 1682–1688.
- [40] Leuschner RG, Hammes WP. Degradation of histamine and tyramine by *brevibacterium linens* during surface ripening of munster cheese [J]. J Food Prot, 1998, 61(7): 874–878.
- [41] Dapkevicius ML, Nout MJ, Rombouts FM, *et al.* Biogenic amine formation and degradation by potential fish silage starter microorganisms [J]. Int J Food Microbiol, 2000, 57(1): 107–114.
- [42] Martuscelli M, Crudele MA, Gardini F, *et al.* Biogenic amine formation and oxidation by *Staphylococcus xylosus* strains from artisanal fermented sausages [J]. Lett Appl Microbiol, 2000, 31(3): 228–232.
- [43] Fadda S, Vignolo G, Oliver G, *et al.* Tyramine degradation and tyramine/histamine production by lactic acid bacteria and *Kocuria* strains [J]. Biotechnol Lett, 2001, 23(24): 2015–2019.
- [44] Driehuis F, Wilkinson JM, Jiang Y, *et al.* Silage review: Animal and human health risks from silage [J]. J Dairy Sci, 2018, 101(5): 4093–4110.
- [45] Zaman MZ, Bakar FA, Selamat J, *et al.* Occurrence of biogenic amines and amines degrading bacteria in fish sauce [J]. Czech J Food Sci, 2018, 28(5): 440–449.
- [46] Zaman MZ, Bakar FA, Jinap S, *et al.* Novel starter cultures to inhibit biogenic amines accumulation during fish sauce fermentation [J]. Int J Food Microbiol, 2011, 145(1): 84–91.
- [47] Herrero-Fresno A, Martinez N, Sanchez-Llana E, *et al.* *Lactobacillus casei* strains isolated from cheese reduce biogenic amine accumulation in an experimental mode [J]. Int J Food Microbiol, 2012, 157: 297–304.
- [48] Garciaruiz A, Gonzalezrompinelli E, Bartolome B, *et al.* Potential of wine-associated lactic acid bacteria to degrade biogenic amines [J]. Int J Food Microbiol, 2011, 148(2): 115–120.
- [49] Capozzi V, Russo P, Ladero V, *et al.* Biogenic amines degradation by *Lactobacillus plantarum*: toward a potential application in wine [J]. Front Microbiol, 2012, 122: 1–6.
- [50] Cueva C, Garciaruiz A, Gonzalezrompinelli E, *et al.* Degradation of biogenic amines by vineyard ecosystem fungi. Potential use in winemaking [J]. J Appl Microbiol, 2012, 112(4): 672–682.
- [51] Poveda JM. Biogenic amines and free amino acids in craft beers from the Spanish market: A statistical approach [J]. Food Control, 2019, 96: 227–233.

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介



王 波, 博士, 讲师, 主要研究方向为蛋白质营养与食品安全。

E-mail: bwang@dgut.edu.cn



王际辉, 教授, 主要研究方向为营养与食品安全。

E-mail: wangjihui@dgut.edu.cn