

发酵肉制品中生物胺及其产生菌株研究进展

孙玥晖^{1,2}, 刘姝韵^{1,2}, 吴宝森^{1,2}, 王桂瑛^{1,2*}, 程志斌¹, 谷大海^{1,2}, 廖国周^{1,2*}

(1. 云南农业大学, 云南省畜产品加工工程技术研究中心, 昆明 650201;

2. 云南农业大学食品科学技术学院, 昆明 650201)

摘要: 生物胺是一类具有生物活性的含氨基小分子有机化合物, 其广泛存在于蛋白丰富的食品中。生物体内适量生物胺具有增强代谢、促进生长等功能, 但当含量达到临界值时, 会产生诸多不良影响。存在大量微生物的食品中, 生物胺的含量较高, 同类发酵肉制品中生物胺的种类和含量也有很大不同, 如发酵时间、贮藏时间和包装材料等都会对此产生影响。本文主要介绍生物胺的常见种类、生理作用, 发酵肉制品中产生生物胺的微生物种类、形成途径、菌株筛选方法及检测方法, 旨在为今后发酵肉制品中生物胺的进一步研究提供帮助, 以期发酵肉制品的质量保障提供参考。

关键词: 发酵肉制品; 生物胺; 微生物; 菌株

Review on microorganism of producing biogenic amines and detection methods in fermented meat products

SUN Yue-Hui^{1,2}, LIU Shu-Yun^{1,2}, WU Bao-Sen^{1,2}, WANG Gui-Ying^{1,2*}, CHENG Zhi-Bin¹, GU Da-Hai^{1,2}, LIAO Guo-Zhou^{1,2*}

(1. *Livestock Product Processing Engineering and Technology Research Center of Yunnan Province, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China*; 2. *College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China*)

ABSTRACT: Biogenic amines are a class of biologically active small molecule organic compounds containing amino groups, which widely exist in protein rich foods. The appropriate amount of biogenic amines in organisms can enhance metabolism and promote growth, but when the content reaches a critical value, it will produce many adverse effects. The biogenic amine content is higher in food which has a large number of microorganisms. The type and content biogenic amines are also very different in the same kind of fermented meat products, and the fermentation time, storage time and the packaging materials have effects on them. This paper mainly introduced the common types and physiological effects of biogenic amines, and microbial species producing biogenic amines in fermented meat

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目(31360394)、公益性行业(农业)科研专项(201303082)、云南省现代农业生猪产业技术体系专项(2016KJTX007)、昆明市畜产品加工与质量控制重点实验室项目(2015-1-A-00563)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of District Science Fund Project (31360394), Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201303082), Special Fund for Swine Industry Technology System Industry Technology System of Yunnan Modern Agriculture (2016KJTX007) and Kunming Key Laboratory of Animal Products Processing and Quality Control (2015-1-A-00563)

*通讯作者: 王桂瑛, 副教授, 主要研究方向为食品安全与质量控制。E-mail: kmwgy@126.com

廖国周, 博士, 副教授, 主要研究方向为畜产品加工与质量控制。E-mail: liaoguozhou@ynau.edu.cn

*Corresponding author: WANG Gui-Ying, Associate Professor, College of Food Science and Technology, Agricultural University of Yunnan, Kunming 650201, China. E-mail: kmwgy@126.com

LIAO Guo-Zhou, Associate Professor, College of Food Science and Technology, Agricultural University of Yunnan, Kunming 650201, China. E-mail: liaoguozhou@ynau.edu.cn

products, forming ways, strain screening methods and detection methods, in order to provide supports for the further study of biogenic amines in fermented meat products in the future, and provide a reference for quality guarantee of fermented meat products.

KEY WORDS: fermented meat products; biogenic amine; microorganism; bacterial strain

1 引言

生物胺(biogenic amine, BA), 是一类在蛋白质含量丰富的发酵食品中普遍存在的、具有生物活性的含氨基低分子量有机化合物总称^[1]。根据结构可划分为 3 部分: 腐胺(putrescine)、尸胺(cadaverine)、精胺(spermine)、亚精胺(spermidine)等脂肪族胺; 酪胺(tyramine)、苯乙胺(phenylethylamine)等芳香族胺; 组胺(histamine)、色胺(tryptamine)等杂环胺。根据组成成分不同可分为单胺和多胺, 前者包括组胺、酪胺、尸胺、腐胺、色胺、苯乙胺等, 后者包括精胺和亚精胺。

在低浓度时, 生物胺对人体的许多生理功能来说是必不可少的^[2]。其涉及到的生理过程有很多, 如突触传递、血压和体温控制, 胃酸分泌作用, 过敏反应以及细胞的生长和分化等。然而, 如果生物胺在体内的含量达到一个临界值, 它们可以对人类健康产生严重的不良影响, 如恶心、呼吸困难、潮热、出汗、心悸、头痛、皮肤红疹、口干舌燥和血压的变化等^[3]。

组胺以不同的浓度存在于人体的脑、肺、胃等各部位。在食品中, 组胺的毒性最强, 口服 8~40 mg 即可产生轻微中毒的症状。组胺毒性的产生与 4 种受体(H1、H2、H3、H4)^[4]有关。但是在发酵肉制品中, 组胺中毒的情况鲜有发生^[4]。酪胺的毒性仅次于组胺。最近, Linares 等^[5]证明了在作用于人肠上皮细胞的体外模型上时, 酪胺比组胺的毒性更大。并且, 他们观察到酪胺引起细胞坏死, 而组胺诱导细胞凋亡。一些其他生物胺可以与胺氧化酶相互作用并增强组胺和酪胺的不良影响, 而且这些多胺与亚硝酸反应形成致癌的亚硝胺^[6]。

发酵肉制品中生物胺的潜在毒性, 已经引起世界范围内的广泛关注, 成为了世界性的潜在安全问题之一, 因此国内外对于发酵肉制品中生物胺的产生与检测的研究越来越受到专家学者们的重视, 以期为发酵肉制品的质量保障提供参考。

2 发酵肉制品中的生物胺的产生与种类

发酵肉制品中生物胺的形成与发酵过程中微生物产生的氨基酸脱羧酶有密切的关系, 主要因为肉中的蛋白质含量较高, 在发酵和成熟过程中, 微生物产生的酶作用于蛋白质, 分解其分子内部的肽链, 形成各种短链, 继而在肽酶作用下生成游离氨基酸。这些游离氨基酸在某些微生物

分泌的氨基酸脱羧酶的作用下脱羧, 形成相应的生物胺。生物胺的产生还有其他方式, 即由醛和酮通过转胺作用形成生物胺^[7]。食品中生物胺的产生一般需要 3 个基本条件: (1)条件适宜微生物生长以及存在产脱羧酶微生物; (2)前体物质(氨基酸)的存在; (3)条件适宜氨基酸脱羧酶产生活性。

在云南牛干巴的传统生产过程中, 原料依赖环境中的微生物自然生长来进行发酵, 在腌制过程中形成复杂的微生物菌群, 由微生物产生的氨基酸脱羧酶脱羧产生的生物胺^[8], 是牛干巴腌制过程中产生的对人体有害的化合物的主要成分。国外学者在食品中检测出生物胺含量超过美国食品药品监督管理局规定的标准^[9]。食品中生物胺的潜在毒性, 已经引起世界范围内的广泛关注, 成为了世界性的潜在安全问题之一。但是在欧洲, 除了规定水产品中的组胺含量不得超过 100 mg/kg 外, 对其他食品中的生物胺含量并没有特别的规定^[10]。

孙霞等^[11]检测发现, 30 种市售四川香肠中组胺平均含量最高, 酪胺、尸胺和腐胺次之, 亚精胺平均含量最少。Favaro 等^[12]在发酵香肠和干腌制品中, 检测到了酪胺、腐胺和尸胺。

Monica 等^[13]对意大利涂抹式香肠进行检测, 发现其中生物胺的浓度随时间增加, 而且其中含量最高的是酪胺、腐胺和尸胺 3 种。并且研究了在涂抹式意大利香肠贮藏 15 个月, 不同的包装条件对生物胺含量的影响。研究结果表明, 以天然肠衣作为包装材料的香肠中生物胺的含量一直高于以玻璃容器和铝合金容器为包装材料的香肠中的生物胺含量, 说明发酵肉制品中生物胺的产生与含量变化与其包装材料有关。

3 不同方法检测发酵肉制品中生物胺的研究进展

目前, 研究试验中常用的生物胺检测方法主要有反相高效液相色谱(reverse phase high performance liquid chromatography, RP-HPLC)法^[14]、毛细管电泳(capillary electrophoresis, CE)法^[15]、离子色谱(ion chromatography, IC)法^[16]、薄层色谱(thin layer chromatography, TLC)法^[17]、高效液相色谱串联质谱法(high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS)^[18]、生物传感器法(biosensor)^[19]、气质联用色谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)^[20]等。

3.1 毛细管电泳结合紫外检测技术检测法^[21]

在检测生物胺方面, 利用毛细管电泳结合紫外检测技术来研究很多, 例如: Bacaloni 等^[22]利用该方法测定人体尿液中的 5 种生物胺, 检出限在 10.0~120.0 nmol/L 左右。Gomez 等^[23]利用毛细管电泳法分析了葡萄酒中生物胺的特性。

3.2 荧光检测技术与紫外检测技术

国外研究人员利用紫外和荧光两种检测器来测生物胺, 发现在其他各个条件都相同时, 利用荧光检测器来代替紫外检测器生物胺的灵敏度有明显的提高^[24,25]。Kao 等^[26]采用萘基-2,3-二甲醛作为衍生剂, 采用此方法分析出了人体乳腺癌细胞中所含生物胺以及氨基酸含量区别于正常人类细胞中生物胺与氨基酸的含量, 为以后的癌症研究做出了巨大贡献。

3.3 质谱检测法

CE-MS 联用技术能将结合两种方式的优点, 成为一种既有高效的分离能力也有高鉴定能力的方法。研究表明^[27]采用 CE-MS 联用技术来分析啤酒中的生物胺, 结果显示这种方法检测的灵敏度很高。

3.4 高效液相色谱法与其他方法联用

高效液相色谱法作为检测生物胺的最常见方法之一。一般选择柱前衍生, 且选择丹磺酰氯作为衍生剂, 效果更为理想^[28]。Zhai 等^[29]利用丹磺酰氯作为衍生剂的高效液相色谱法分离了大量鱼类产品中的生物胺。其中, 在对中国华南地区的鱼类进行研究时, 使用了高效液相色谱法进行分离, 使用荧光检测器来进行检测, 得出在 13 种鱼类中, 共含有 49 种生物胺。Köse 等^[30]在检测土耳其以及欧洲 11 个国家的传统鱼类产品时, 采用了利用丹磺酰胺作为衍生剂并且结合高效液相色谱法分离和紫外检测法。Basheer 等^[31]利用固相萃取技术处理橙汁, 之后再应用高效液相色谱法和紫外检测技术来检测橙汁中的生物胺。超高效液相色谱法因其超高流速和较小的颗粒使分离生物胺的时间从传统高效液相色谱法的 20 min 以上, 缩短到可以在 6 min 以内完成分析^[32]。

3.5 生物传感器法

Kivirand 等^[33]利用生物传感器法在葡萄酒中发现了生物胺和水溶性维生素。

4 发酵肉制品中产生生物胺的微生物

发酵肉制品中蛋白质含量丰富, 且其中的微生物种类很多, 主要有细菌、霉菌、酵母菌, 其中一般真菌分解蛋白质的能力强于细菌。发酵肉制品中生物胺的产生还需要有产氨基酸脱羧酶微生物存在, 所以具有氨基酸脱羧酶活性的微生物对生物胺的产生尤为重要。研究表明, 在乳杆

菌属、片球菌属、乳球菌属、链球菌属、肠球菌属、梭菌属、克雷伯氏菌属、假单胞菌属、埃希氏菌属、变形菌属、沙丁氏菌属、链球菌属等菌属中发现过含有氨基酸脱羧酶的基因^[34-36]。

Trevino 等^[37]发现发酵牛肉香肠中的生物胺以酪胺和腐胺为主, 在制作后期产生了部分组胺和尸胺。肉及其发酵制品中主要的生物胺为酪胺、腐胺和尸胺, 主要由乳酸菌、肠杆菌和假单胞菌产生^[38]。乳酸菌、肠细菌、葡萄球菌及其他微生物是在食品中主要产生生物胺的菌株^[39-41]。Halász 等^[42]研究表明乳酸菌和片球菌均能产生组胺、尸胺、腐胺、酪胺、精胺和亚精胺, 且发酵香肠中生物胺的生成量有明显的菌株效应。

4.1 乳杆菌属

在食品中用于发酵的乳酸菌通常是没有毒性的, 很多乳酸菌可以在 5-磷酸吡哆醛为辅酶的作用下, 脱羧成为相应的生物胺。研究表明, 片球菌和乳杆菌具有产生生物胺的能力^[43]。José 等^[10]研究发现乳酸菌与冷熏猪肉香肠中生物胺的产生有关。

4.2 肠杆菌属

发酵香肠中的肠杆菌具有较强的产氨基酸脱羧酶能力, 且 Pircher 等^[41]发现肠杆菌中的沙雷氏菌和阴沟肠杆菌产腐胺与尸胺的能力较高。李彬等^[44]发现发酵香肠中尸胺和腐胺主要由气肠杆菌和阴沟肠杆菌产生。Ozkaya 等^[45]发现组胺、酪胺、尸胺和腐胺最主要由发酵香肠中的肠细菌产生。

4.3 葡萄球菌

Montel 等^[46]发现西班牙香肠中的木糖葡萄球菌有产组胺的能力, 肉葡萄球菌有产尸胺、苯乙胺、腐胺和组胺的能力。

4.4 微球菌及酵母菌

Montel 等^[46]发现发酵香肠中的得巴利氏酵母菌和念珠菌可以产生生物胺。Caruso 等^[47]发现酵母菌具有产生生物胺的能力。目前为止在对发酵肉制品的研究中, 关于微球菌科及酵母菌的研究还比较少见。

5 产生生物胺微生物菌株筛选方法

产生生物胺微生物菌株的筛选主要有 3 种方法。

5.1 微生物培养显色法

微生物显色培养法是以产生生物胺菌株的生理特征及其在生长过程中会对周围环境的 pH 值造成改变为依据, 采用选择性培养基来筛选识别出产生生物胺菌株, 这些培养基中特异性添加了适当酸碱指示剂, 常用溴甲酚紫。这种方法的原理是利用菌株生长过程中导致的周围环境变化以及营养贫瘠的环境, 迫使微生物在大量底物存在且氨基酸

脱羧酶被诱导的情况下,使氨基酸脱羧为相应的生物胺。Bover-Cid 等^[48]优化了乳酸菌和肠细菌单层培养显色法,但是这种方法仍有一些弊端。李超^[49]在前者基础上研究了产胺乳酸菌的分离条件,并且为了防止氧气的影响建立了双层培养方法。

由于微生物代谢的复杂性,从而导致在培养过程中如产生其他碱性物质,则造成假阳性结果,在培养过程中有些菌产酸,则会产生假阴性结果。这种传统的生物学培养方法快速且价格低廉,通常用于产生生物胺菌株的粗筛,但因其检验周期长,敏感度低等因素不适合应用在要求结果精确的试验中。

5.2 化学筛选法

化学方法,可参考常规测定生物胺的方法,即将待测菌株放入各自特定的加富培养基中培养,通过化学方法测定培养液中生物胺的含量,并推测判定微生物菌株的类型。一般用高效液相色谱法来测定。化学方法不仅能够定性判定产生生物胺的微生物菌株,而且可以对其进行准确的定量分析。这种方法需要较为昂贵的仪器和试剂来进行测定。

5.3 分子生物学方法

分子生物学法是将微生物经过分离纯化得到的氨基酸脱羧酶的氨基酸及其核酸序列的保守区,并根据其设计特异性引物,与标准菌株进行对比,并通过 PCR 技术进行特异性扩增,再进行凝胶电泳,观察记录扩增数据以此来判断其是否具有产生生物胺的能力。这种方法的特点是检测产生生物胺菌株更加快速可靠,不需依赖培养基,而且能够在生物胺形成之前检测出其潜在危险。PCR 反应检测结果可以与微生物显色培养法相比较,从而确定菌株是否具有产生生物胺能力。PCR 方法可以在生物胺形成之前检测出其潜在危险,但是不能预料到产物中最终的生物胺含量。

6 结 语

生物胺广泛存在于含蛋白质或氨基酸的食品中,适量的生物胺有利于人体的正常生理活动,但是过量则有危害。发酵肉制品中生物胺的潜在毒性,已经引起世界范围内的广泛关注,成为了世界性的潜在安全问题之一,生物胺的检测因此受到了重视。因此系统的研究发酵肉制品中产生生物胺微生物的种类、形成途径、菌株筛选方法及检测方法将会成为该领域今后探索的重点。

参考文献

- [1] 李志军, 吴永宁, 薛长湖, 等. 生物胺与食品安全[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(10): 84-91.
- [2] Li ZJ, Wu YN, Xue CH, *et al.* Biogenic amines to food safety [J]. Food Ferment Ind, 2004, 30(10): 84-91.
- [3] Teti D, Visalli M, McNair H. Analysis of polyamines as markers of (patho) physiological conditions [J]. J Chromatogr, 2002, 781: 107-149.
- [4] 王光强, 俞剑荣, 胡健, 等. 食品中生物胺的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(01): 269-278.
- [5] Wang GQ, Yu JS, Hu J, *et al.* Research progress of biogenic amines in food [J]. Food Sci, 2016, 37(01): 269-278.
- [6] 冯小倩, 武曦, 谭颖徽. 组胺及组胺受体的研究进展[J]. 中国肺部疾病杂志(电子版), 2015, 8(2): 234-237.
- [7] Feng XQ, Wu X, Tan YH. Research progress of histamine and histamine receptor [J]. China Lung Dis Impur, 2015, 8(2): 234-237.
- [8] Linares DM, Rio BD, Redruello B, *et al.* Comparative analysis of the in vitro cytotoxicity of the dietary biogenic amines tyramine and histamine [J]. Food Chem, 2016, 197: 658-663.
- [9] Kim MK, Mah JH, Hwang HJ. Biogenic amine formation and bacterial contribution in fish, squid and shellfish [J]. Food Chem, 2009, 116: 87-95.
- [10] 王翔, 卢士玲, 徐幸莲, 等. 发酵肉制品中生物胺的形成及影响因素研究进展[J]. 食品发酵工业, 2010, 36(11): 133-136.
- [11] Wang X, Lu SL, Xu XL, *et al.* Research progress of the formation of biogenic amines in fermented meat products and the influence factors [J]. Food Ferment Ind, 2010, 36(11): 133-136.
- [12] Hal Sz A, Bar Th, Simon-Sa Rk Adi L. Biogenic amines and their production by micro organisms in food [J]. Trend Food Sci Technol, 1994, 5(2): 42-49.
- [13] Kalačp. Biologically active polyamines in beef, pork and meat products: A review [J]. Meat Sci, 2006, 73(1): 1-11.
- [14] José Luis Ordóñez, Ana Maria Troncoso, Maria Del Carmen García-Parrilla, *et al.* Recent trends in the determination of biogenic amines in fermented beverages-A review [J]. Anal Chim Acta, 2016, 939: 10-25.
- [15] 孙霞, 杨勇, 巩洋, 等. 市售四川香肠中生物胺含量比较分析[J]. 食品发酵工业, 2015, 41(10): 147-151.
- [16] Sun X, Yang Y, Gong Y, *et al.* Analysis on the biogenic amine content in Sichuan sausage [J]. Food Ferment Ind, 2015, 41(10): 147-151.
- [17] Favaro G., Pastore P, Sacconi G, *et al.* Determination of biogenic amines in fresh and processed meat by ion chromatography and integrated pulsed amperometric detection on Au electrode [J]. Food Chem, 2007, 105(4): 1652-1658.
- [18] Monica Rosa Loizzo, Gianfranco Spizzirri U, Marco Bonesi, *et al.* Influence of packaging conditions on biogenic amines and fatty acids evolution during 15 months storage of a typical spreadable salami ('Nduja) [J]. Food Chem, 2016, 213: 115-122.
- [19] De Borba BM, Rohrer JS. Determination of biogenic amines in alcoholic beverages by ion chromatography with suppressed conductivity detection and integrated pulsed amperometric detection [J]. J Chromatogr A, 2007, 1155(1): 22-30.
- [20] Wei CL, Ching EL, Erick CL. Capillary zone electrophoretic separation of biogenic amines: influence of organic modifier [J]. J Chromatogr A, 1996, 1(755): 142-146.
- [21] Coi JD, Cerutti C, Travaglia F, *et al.* Production of biogenic amines in "Salami italiani alla cacciatora PDO" [J]. Meat Sci, 2004, 67(2): 343-349.

- [17] Shalaby AR. Multidetector, semiquantitative method for determining biogenic amines in foods [J]. Food Chem, 1995, 52(4): 367–372.
- [18] 程小艳, 杨秋红, 雷蓉蓉, 等. 高效液相色谱串联质谱检测地表水中五种生物胺[J]. 四川环境, 2011, 30(1): 35–39.
Cheng XY, Yang QH, Lei ER, *et al.* Detection of 5 kinds of biogenic amines in surface water by high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Sichuan Environ, 2011, 30(1): 35–39.
- [19] Tombelli S, Mascini M. Electrochemical biosensors for biogenic amines: a comparison between different approaches [J]. Anal Chim Acta, 1998, 358(3): 277–284.
- [20] Tham R, Holmstedt B. Gas chromatographic analysis of histamine metabolites in human urine: Ring methylated imidazoleacetic acids [J]. J Chromatogr A, 1965, 19: 286–295.
- [21] 刘方震. 毛细管电泳技术对十多种重要生物胺的分析方法开发[D]. 上海: 东华大学, 2015.
Liu FZ. Development of method for the analysis of a dozen important biogenic amine by capillary electrophoresis [D]. Shanghai: Donghua University, 2015.
- [22] Bacaloni A, Insogna S, Sancini A, *et al.* Sensitive profiling of biogenic amines in human urine by capillary electrophoresis with field amplified sample injection [J]. Biomed Chromatogr, 2013, 27(8): 987–993.
- [23] Gomez FJV, Monasterio RP, Vargas VCS, *et al.* Analytical characterization of wine and its precursors by capillary electrophoresis [J]. Electrophoresis, 2012, 33(15):2240–2252.
- [24] Pineda A, Carrasco J, Peña-Farfal C, *et al.* Preliminary evaluation of biogenic amines content in Chilean young varietal wines by HPLC [J]. Food Control, 2012, (23): 251–257.
- [25] Henríquez-Aedo K, Vega M, Prieto-Rodríguez S, *et al.* Evaluation of biogenic amines content in Chilean reserve varietal wines [J]. Food Chem Toxicol, 2012, (50): 2742–2750.
- [26] Kao YY, Liu KT, Huang MF, *et al.* Analysis of amino acids and biogenic amines in breast cancer cells by capillary electrophoresis using polymer solutions containing sodium dodecyl sulfate [J]. J Chromatogr A, 2010, 1217(4): 582–587.
- [27] Simo C, Moreno-Arribas MV, Cifuentes A. Ion-trap versus time-of-flight mass spectrometry coupled to capillary electrophoresis to analyze biogenic amines in wine [J]. J Chromatogr A, 2008, 1195(1–2): 150–156.
- [28] 徐丽, 刘琳, 王宗奇, 等. 高效液相色谱-紫外检测法测定水产品中的组胺含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(12): 3790–3794.
Xu L, Liu L, Wang ZQ, *et al.* Determination of the histamine content in aquatic products by high performance liquid chromatography with ultraviolet method [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(12): 3790–3794.
- [29] Zhai H, Yang X, Li L, *et al.* Biogenic amines in commercial fish and fish products sold in southern China [J]. Food Control, 2012, (25): 303–308.
- [30] Köse S, Koral S, Tufan B, *et al.* Biogenic amine contents of commercially processed traditional fish products originating from European countries and Turkey [J]. Eur Food Res Technol, 2012, (234): 669–683.
- [31] Basheer C, Wong W, Makahleh A, *et al.* Hydrazone-based ligands for micro-solid phase extraction-high performance liquid chromatographic determination of biogenic amines in orange juice [J]. J Chromatogr A, 2011, (1218): 4332–4339.
- [32] Jia S, Kang YP, Park JH, *et al.* Determination of biogenic amines in Bokbunja (*Rubus coreanus* Miq.) wines using a novel ultra-performance liquid chromatography coupled with quadrupole-time of flight mass spectrometry [J]. Food Chem, 2012, (132): 1185–1190.
- [33] Kivirand K, Rincken T. Biosensors for biogenic amines the present state of art mini-review [J]. Anal Lett, 2011, 44: 2821–2833.
- [34] 李志军, 薛长湖, 吴永宁, 等. 食品中生物胺及其产生菌株检测方法研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
Li ZJ, Xue CH, Wu YN, *et al.* Research on the measuring method of biogenic amines and strain in food [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2007.
- [35] 冯婷婷, 方芳, 杨娟, 等. 食品生物制造过程中生物胺的形成与消除[J]. 食品科学, 2013, 34(19): 360–366.
Feng TT, Fang F, Yang J, *et al.* Formation and elimination of biogenic amines in the biological manufacturing process [J]. Food Sci, 2013, 34(19): 360–366.
- [36] Landete JM, de las RIVAS B, Marcobal A, *et al.* Molecular methods for the detection of biogenic amine-producing bacteria on foods [J]. Inter J Food Microbiol, 2007, 117(3): 258–269.
- [37] Trevino E, Bell D, Steinhart H. Formation of biogenic amines during the maturity process of raw meat products, for example of cervelat sausage [J]. Food Chem, 1997, 60(3): 521–526.
- [38] 何健, 李艳霞. 发酵制品中生物胺研究进展[J]. 肉类工业, 2009, 2: 47–50.
He J, Li YX. Research progress of biogenic amines in fermented products [J]. Meat Ind, 2009, 2: 47–50.
- [39] Delasrivias B, Marcobal A, Carrascosa A, *et al.* PCR detection of food borne bacteria producing the biogenic amines histamine, tyramine, putrescine and cadaverine [J]. Food Prot, 2006, 69(10): 2509–2514.
- [40] Crespo MT, Pereira CI, Romao MVS. Evidence for proteolytic activity and biogenic amines production in *Lactobacillus curvatus* and *L. homohiochii* [J]. Inter J Food Microbiol, 2001, 68(1): 211–216.
- [41] Pircher A, Bauer F, Paulsen P. Formation of cadaverine, histamine, putrescine and tyramine by bacteria isolated from meat, fermented sausages and cheeses [J]. Eur Food Res Technol, 2007, 22(6): 225–231.
- [42] Halász A, Baráth Á, Simon-Sarkadi L, *et al.* Biogenic amines and their production by microorganisms in food [J]. Trend Food Sci Technol, 1994, 5(2): 42–49.
- [43] 刘畅, 张灼阳, 郭晓奎. 产生生物胺乳酸菌的筛选与检测[J]. 中国微生物学杂志, 2009, 21(5): 427–429.
Liu C, Zhang ZY, Guo XK. Screening and testing of lactic acid bacteria producing amine [J]. Chin J Microecol, 2009, 21(5): 427–429.
- [44] 季彬, 舒蕊华, 徐幸莲, 等. 液体培养条件下产气肠杆菌与阴沟肠杆菌产生生物胺交互作用研究[J]. 食品科学, 2012, 33(5): 160–164.
Li B, Shu EH, Xu XL, *et al.* Research on the interaction of enterobacter aerogenes and enterobacter cloacae producing amine under the liquid culture conditions [J]. Food Sci, 2012, 33(5): 160–164.
- [45] Ozkaya F, Ayhan K, Vural N. Biogenic amines produced by Enterobacteriaceae isolated from meat products [J]. Meat Sci, 2001, 58(2):

163–166.

[46] Montel MC, Masson F, Talon R. Comparison of biogenic amine content in traditional and industrial French dry sausages [J]. *Sci Des Alim*, 1999, 19(2): 247–254.

[47] Caruso M, Fiore C, Contursi M, *et al.* Formation of biogenic amines as criteria for the selection of wine yeasts [J]. *World J Microbiol Biotechnol*, 2002, 18(2): 159–163.

[48] Bover-Cid S, Holzapfel WH. Improved screening procedure for biogenic amine production by lactic acid bacteria [J]. *Inter J Food Microbiol*, 1999, 53(1): 33–41.

[49] 李超. 产生物胺乳酸菌检测方法的建立及应用[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.

Li C. Establishment and application of detection method for the lactic acid bacteria producing amine [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2005.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



孙玥晖, 硕士研究生, 主要研究方向为肉品加工与质量控制。

E-mail: syh930608@qq.com



王桂瑛, 副教授, 主要研究方向为食品安全与质量控制。

E-mail: kmwgy@126.com



廖国周, 博士, 副教授, 主要研究方向为畜产品加工与质量控制。

E-mail: liaoguozhou@ynau.edu.cn