

食品中天然存在的食品添加剂成分综述

顾宇翔*, 王丁林, 陈羽菲

(上海市质量监督检验技术研究院, 上海 200233)

摘要: 食品中天然含有食品添加剂成分, 如苯甲酸、硝酸盐、二氧化硫等, 但目前对食品中天然产生的这些物质的本底值数据还较少。本文重点介绍苯甲酸、硝酸盐、亚硝酸盐、丙酸、二氧化硫在食品中天然存在的情况, 这些成分的产生途径, 在食品中的含量范围。其中苯甲酸在部分水果中的含量很高, 如红莓、青梅、李等中约有 0.5 g/kg, 接近 GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》对其的限量要求(0.2~2.0 g/kg); 蜂蜜和发酵乳等乳制品中也天然含有苯甲酸。硝酸盐在果蔬中的含量远高于亚硝酸盐, 部分果蔬中天然含有的硝酸盐的量超过了国家对硝酸盐的规定。丙酸、二氧化硫也天然存在于水果、果酒、食醋等食品中。随着食品中食品添加剂天然本底研究的深入, 会发现越来越多的食品添加剂成分是天然存在的, 了解这些情况将有助于更科学、更准确地进行食品安全综合判定, 有利于更有效地进行市场监管。

关键词: 天然存在的食品添加剂; 苯甲酸; 硝酸盐; 亚硝酸盐; 丙酸; 二氧化硫

Review on naturally contained food additives in food

GU Yu-Xiang*, WANG Ding-Lin, CHEN Yu-Fei

(Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, Shanghai 200233, China)

ABSTRACT: Many foods naturally contain food additives, such as benzoic acid, nitrate, sulfur dioxide, etc. However, at present, the background contents of these substances in food are still less. In this paper, the natural existence of benzoic acid, nitrate, nitrite, propionic acid and sulfur dioxide in food were introduced. The formation routine of these components and the content range of them in the food were also elaborated. Some fruits had high content of benzoic acid, for example, cranberries and plums contained about 0.5 g/kg of benzoic acid. It was close to the limit of GB 2760-2014 *National standards for food safety Standards for the use of food additives* on benzoic acid (0.2~2.0 g/kg). Honey, fermented milk and other dairy products also contained benzoic acid. The content of nitrates in fruits and vegetables were much higher than nitrite, and the amount of nitrate naturally contained in some fruits and vegetables was more than the limit of government standard. Propionic acid and sulfur dioxide also naturally existed in many foods, such as fruits, wines and vinegar. With the further research of the background content of food additives in food, we will find more and more food additives naturally existed in food. Understanding these conditions will help to make a more scientific and accurate evaluation of food safety, which is conducive to more effective market regulation.

KEY WORDS: naturally contained food additives; benzoic acid; nitrate; nitrite; propionic acid; sulfur dioxide

*通讯作者: 顾宇翔, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品和化妆品检验。E-mail: guyuxiang1@sina.com

*Corresponding author: GU Yu-Xiang, Senior Engineer, Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, No. 381, Cangwu Road, Shanghai 200233, China. E-mail: guyuxiang1@sina.com

1 引言

近年来由食品添加剂引起的安全事件频发, 如染色馒头^[1]、明矾油条^[2]、漂白食品^[3]等, 一些企业或个人在利益最大化的驱动下超量或超范围使用食品添加剂以改善食品外观或某些质量指标来追求口感、降低成本、吸引消费者, 这些事件让不少消费者认为食品添加剂就是一种非常有害的东西, 应该坚决避免使用, 实际上这样的想法有点矫枉过正。很多研究阐述了一个观点, 即食品添加剂并不可怕^[4,5]。首先, 国家标准 GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》^[6]定义的食品添加剂是“为改善食品品质和色、香、味, 以及为防腐、保鲜和加工工艺的需要而加入食品中的人工合成或者天然物质, 食品用香料、胶基糖果中基础剂物质、食品工业用加工助剂也包括在内”, 这说明了食品添加剂并非都是人工合成的, 天然物质也可作为添加剂使用; 而且国家对于食品添加剂的使用原则、使用量和使用种类做出了严格的规定, 在规定的使用范围和限量内是安全的; 最后在日常食品监督检查时也发现, 有些食物中食品添加剂成分不是人为添加, 而是在食品生产过程中自然形成。如朱雨田等^[7]介绍了苯甲酸、磷酸盐天然存在于食品中的情况; 杜业刚等^[8]列举了硼砂、二氧化硫和磷酸盐等在食物中的本底值水平。不过目前仍缺少这方面系统性的研究工作, 亟待食品监管部门和检测工作者进一步加强调查和探讨。

本文综述了苯甲酸、硝酸盐、亚硝酸盐、丙酸、二氧化硫等物质在食品中天然存在的情况, 这些成分的产生途径, 在食品中的含量范围以及什么情况下含量会比较高, 并进行了分析。

2 苯甲酸、硝酸盐、亚硝酸盐、丙酸、二氧化硫在食品中的存在情况

2.1 苯甲酸

GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》^[6]规定苯甲酸可作为防腐剂在多类食品中使用, 在一定条件下能对食品中霉菌和酵母菌的繁殖起到抑制作用。少量苯甲酸对人体无毒害并可以在体内很快被吸收, 以马尿酸的形式排出体外, 不会有蓄积作用。但摄入过量的苯甲酸会加重肝脏负担, 也有引起累积中毒的报道, 因此在使用上存有一定争议^[9,10]。但不是说食品中含有苯甲酸就必然对身体健康产生损害, 实际上它自然存在于很多食品中, 研究表明食品中苯甲酸产生主要有 3 种途径^[7]: 由苯甲醛直接氧化成苯甲酸; 植物和微生物体内的苯丙氨酸的代谢降解生成苯甲酸; 马尿酸在乳酸菌作用下水解生成苯甲酸。

研究报道^[8,11,12], 某些水果的诱人气味部分就来自于

苯甲酸的香味, 大部分浆果如成熟的红莓、青梅、李、肉桂、丁香等含约 0.05% 的苯甲酸, 在安息香胶中高达 20%, 坚果、黄豆中含有 1.2 ~ 11 mg/kg 苯甲酸, 上述食品中苯甲酸的含量有些已经比较接近国标的限量了(0.2 ~ 2.0 g/kg)。孙屏等^[13]的研究表明新疆红枣中天然苯甲酸含量与品种和成熟度有关, 在 95% 置信水平下骏枣中苯甲酸含量处于 74 ~ 95 mg/kg。唐文强等^[14]发现豆豉中苯甲酸的生成主要发生在前发酵阶段, 通过对中间代谢物肉桂酸、苯甲醛的监测, 确定了豆豉中苯甲酸的主要生成途径是苯丙氨酸降解和苯甲醛氧化产生。

GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》^[6]规定苯甲酸不得用于乳制品中, 不过纯发酵乳往往会有少量的苯甲酸。发酵乳中的苯甲酸含量通常在 13 ~ 26 mg/kg, 最高可达 39 mg/kg, 它并不是厂家为了防腐而人为加入的。一方面牛乳中本身含有微量苯甲酸^[15-19], 含量在 0.2 ~ 5.4 mg/kg; 另一方面牛乳中马尿酸会在乳酸菌的作用下脱甘氨酸生成苯甲酸^[17-19], 使酸牛乳中苯甲酸含量增加。马尿酸又名苯甲酰甘氨酸, 是牛乳中的有机酸成份, 含量通常为 16 ~ 36 mg/kg, 最高检出 113 mg/kg。在酸牛乳发酵过程中且中马尿酸会逐步减少, 一般发酵 5 h 后基本消失, 发酵结束后已无残留检出。如果原料乳中马尿酸含量偏高, 有可能造成酸牛乳中苯甲酸的量也相应增加。此外, 苯甲酸也存在于不同品种的干酪中, 一般含量在 8 ~ 96 mg/kg, 最高可达 341 mg/kg, 原因是干酪发酵生产中游离的芳香族氨基酸如苯丙氨酸等可降解产生苯甲酸^[19]。

2016 年甘肃省食药监局对全省范围内生产经营的 43 批次蜂产品的监督抽检中发现有 5 批次蜂蜜被检出苯甲酸, 之前在四川和山东的食品监督抽查中也发现了类似情况, 由于蜂蜜不允许添加苯甲酸作为食品添加剂, 因而在业内引起了不小的震动。天然成熟的蜂蜜含水量极低, 是一种饱和的高糖高渗溶液, 许多微生物在这种环境中不仅无法获得自己生存所需的水分, 而且其自身细胞中的水分也会在渗透压的作用下流失, 因此很难在蜂蜜中存活^[20]。大量研究证明, 蜂蜜对大肠杆菌、流感杆菌、链球菌等致病菌具有抗菌作用^[21], 所以一般情况蜂蜜是不需要添加苯甲酸作为防腐剂的。为此, 中国蜂产品协会委托国家蜂产品检测重点实验室对蜂蜜中的苯甲酸含量进行研究, 结果表明蜂蜜中确实有天然的内源性苯甲酸存在^[22]。中国蜂产品协会还组织企业收集了 160 个批次的蜂蜜成品和原料, 蜂蜜中苯甲酸检出率达到 85% 以上, 检出值在 0 ~ 16 mg/kg 之间。目前的研究表明在蜂蜜中所检出的苯甲酸与蜂蜜品种、原料区域、贮存条件、贮存时刻等要素密切相关, 油菜蜂蜜检出率较高, 贮存时间较长, 苯甲酸含量也会有所升高。

2.2 亚硝酸盐和硝酸盐

GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用

标准》^[6]规定亚硝酸盐和硝酸盐可作为护色剂和防腐剂在多种肉制品中使用,残留限量为 30~70 mg/kg。它可与肉制品中的肌红素结合而更稳定,以维持良好的外观,其次还可以防止肉毒梭状芽孢杆菌的产生,提高食用肉制品的安全性。然而亚硝酸盐具有强氧化性,进入人体后可将血液中的低铁血红蛋白氧化为高铁血红蛋白,使其失去运输氧的能力,进而导致因组织缺氧中毒;它还可与多种胺类发生反应形成亚硝胺类化合物,亚硝胺类物质是国际上公认的一类强致癌物^[23]。亚硝酸盐引起食物中毒的几率较高,摄入 0.3~0.5 g 的亚硝酸盐即可引起中毒甚至死亡。相对而言,硝酸盐的毒害性相对较低,但人体摄入的硝酸盐在细菌的作用下同样可还原成亚硝酸盐^[24]。

研究报道^[25,26],果蔬中硝酸盐含量比亚硝酸盐高出几个数量级(见表 1、2),同类果蔬产品中的硝酸盐含量差异较大;亚硝酸盐含量则大多低于 1 mg/kg,而且不同果蔬种类的数值相近。若参考 GB 18406.2-2001《农产品安全质量 无公害水果安全要求》^[27]中硝酸盐 400 mg/kg、亚硝酸盐 4 mg/kg 的要求以及 GB 18406.1-2001《农产品安全质量 无公害蔬菜安全要求》^[28]中亚硝酸盐 4 mg/kg,硝酸盐瓜果类 600 mg/kg,根茎类 1200 mg/kg,叶菜类 3000 mg/kg 的要求,表 1 和表 2 的果蔬中没有亚硝酸盐超标的产品,但有多个样品的硝酸盐超出了限量值。部分瓜果中硝酸盐含量较高的原因是与氮素肥料的施用有关^[25],如在前冬基肥和春季追肥都施用了较多的硝态氮肥,或者是在生产中多次喷洒了硝酸稀土。此外,施肥种类、温度、收获季节、储存条件等因素的不同也会造成同一物种样品的硝酸盐含量差距悬殊^[29]。

硝酸盐在植物内的积累一定程度上是正常的生理需要^[32],植物吸收了土壤中的氮肥,容易把氮元素以硝酸盐

表 1 水果中硝酸盐和亚硝酸盐的含量
Table 1 Content of nitrate and nitrite in fruits

类别	品种	含量范围(mg/kg)	平均值(mg/kg)
亚硝酸盐 ^[25]	苹果	0~0.232	0.053
	西瓜	0~1.57	0.232
	枣	0~1.04	0.157
	苹果	50.4~148 ^[25]	94.1 ^[25] 、513 ^[26]
硝酸盐	西瓜 ^[25]	50.1~226	98.8
	枣 ^[25]	99.8~478	252
	草莓 ^[26]	/	268
	橙子 ^[26]	/	399
	梨 ^[26]	/	527
	芒果 ^[26]	/	485
	香蕉 ^[26]	/	468

表 2 蔬菜中亚硝酸盐和硝酸盐的含量分布
Table 2 Content of nitrate and nitrite in vegetables

类别	品种	含量(mg/kg)
根菜类	胡萝卜	0.009
	洋葱	0.092
叶菜类	菠菜	1.23
	白菜	0.297
	生菜	0.151
亚硝酸盐 ^[30]	茄子	0.495
	青椒	0.302
	黄瓜	0.111
	西红柿	0.135
	角瓜	0.142
瓜果类	马铃薯	1.653
	胡萝卜	404
	白萝卜	1376
	土豆	47.9
根菜类 ^[26]	菠菜	570
	白菜	298
	生菜	1050
	油麦菜	1101
	油菜	2187
	大蒜	1402
	韭菜	797
叶菜类 ^[26]	香菜	1134
	茄子	418 ^[26] 、186 ^[31]
	青椒 ^[26]	5801
	柿子椒 ^[26]	53.1
	线椒 ^[26]	106
瓜果类	苦瓜 ^[31]	59.1
	洋葱 ^[26]	97.4
	黄瓜 ^[31]	80.2
	辣椒 ^[31]	109
豆类	荷兰豆 ^[26]	84.1
	豆角 ^[26]	286
	豇豆	148 ^[26] 、153 ^[31]

的形式存在蔬菜当中, 根系也会主动吸收硝酸盐, 除一部分在代谢库内还原为氨基酸、蛋白质外, 大多则贮存在液泡中, 以备应急之需。如弱光下, 硝酸盐作为渗透物质可促使碳水化合物累积, 帮助植物生长。此外, 植物中硝酸盐含量如此之高也是吸收硝酸盐量大于还原同化量所造成的^[33], 植物体内硝酸盐还原同化过程为: 硝酸盐→亚硝酸盐→铵离子→氨基酸→蛋白质。硝酸还原酶是整个同化过程的限速酶, 如硝酸还原酶活性较强的小白菜较硝酸还原酶活性偏低的生菜累积硝酸盐的量少^[34], 表 2 的数据也验证了此观点。相比较而言新鲜果蔬中亚硝酸盐量低是由于亚硝酸还原酶存在的量较多使生成的亚硝酸盐迅速转化。

2.3 丙酸

一些有机酸如醋酸、乳酸、丙酸具有抑菌作用^[35], 其中丙酸及其盐类(包括丙酸钙、丙酸钠等)在 pH 值 6 以下时有优于苯甲酸的防真菌和霉菌性能, 价格则低于山梨酸, 故被不少企业选用为防腐剂。GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》^[6]规定丙酸可作为防腐剂在豆类制品、面包、糕点、醋和酱油等中使用, 限量为 0.25 ~ 50.0 g/kg。丙酸的危害主要包括: 吸入丙酸对呼吸道有强烈刺激性, 大量口服后会出现恶心、呕吐和腹痛^[36]。

如同其他有机酸一样, 丙酸是食物中的一种正常天然成分, 分布十分广泛^[37,38]。发酵食品中的丙酸多由微生物的代谢产生, 丙酸菌利用还原糖发酵生成丙酮酸, 部分还原糖在部分霉菌和细菌的作用下也可以生成丙酮酸, 另外食品中的游离氨基酸如 L-丙氨酸、L-丝氨酸、L-半胱氨酸经过转氨基、脱氨基作用生成丙酮酸^[39]。丙酮酸在丙酸菌的作用下先生成富马酸, 富马酸代谢后生成丙酸。除了微生物的发酵作用外, 丙酸产生的另外一个原因是脂肪的氧化。在食品的加工和贮藏中, 脂肪在空气中的自动氧化会产生丙酸; 脂肪酸也会在脂肪酶的作用下发生一系列的氧化、水解反应, 生成包括丙酸在内的短链挥发性有机酸。

水果的成熟过程、果酒的加工过程以及陈酿过程中的氧化和微生物活动都会引起果汁或酒中的有机酸含量和组成的变化, 同种水果在产地品种不同, 其丙酸含量也不同; 例如李升锋等^[40]从 33 个不同品种桑椹采摘后榨取果汁, 所有品种中都检测到丙酸, 但含量差异较大, 为 0.8 ~ 13.2 g/L, 李芳等^[41]检测葡萄中丙酸的含量为 2 mg/kg, 刘晓艳等^[42]报道荔枝酒中丙酸含量为 0.05 ~ 0.07 g/L。王贵双等^[43]研究表明, 在发酵食品中, 醋的丙酸含量显著高于其他产品, 平均含量为 85.4 mg/L, 从市场上抽样的 150 个食醋样本中丙酸含量范围为 0 ~ 280 mg/L。刘超等^[44]对纯固态工艺酿造醋的研究表明, 不同产地与品牌的食醋, 丙酸含量也不同, 发酵初始时丙酸并未检出, 第 4 d 后丙酸含量上升为 0.1 g/kg。

Lee 等^[38]对韩国市售的 11 种贝类进行了丙酸的检测, 有 7 种检出了丙酸, 含量范围为 0 ~ 194.7 mg/L, 平均含量

为 49.4 mg/L。黄健等^[45]在对生牡蛎风味物质的研究中检测到丙酸含量为 0.35%; 在新鲜牡蛎中也检测到丙酸, 含量为 0.68%。

2.4 二氧化硫

GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》^[6]规定二氧化硫可作为漂白剂、防腐剂、抗氧化剂在多种食品中使用, 残留量为 0.04 ~ 0.4 g/kg。在食品加工过程中, 利用二氧化硫的氧化性能有效抑制食品加工过程中的非酶褐变^[46], 也可利用其还原性和漂白性也可作为防腐剂, 抑制霉菌和细菌的生长; 啤酒生产过程中为了保持风味稳定性, 往往采取在灌装前添加二氧化硫作为抗氧化剂。但是二氧化硫易与食品中的糖、蛋白质、色素、酶、维生素、醛、酮等发生作用, 以游离型和结合型残留在食品中, 如果残留值超标不仅会破坏食品的品质, 而且会严重影响消费者的健康^[47,48]。经口摄入的二氧化硫主要毒性表现为胃肠道反应, 如恶心、呕吐; 此外还可影响钙吸收, 促进机体钙丢失。

某些食品在发酵过程中会产生亚硫酸盐^[49-51], 而亚硫酸盐在一定条件下会分解生成二氧化硫。葡萄酒和果酒类发酵过程自然产生的亚硫酸盐含量最高可达到 300 mg/kg, 即使在一般情况下也会达到 40 mg/kg。另外由于食品中有相当大的一部分是植物体, 在植物体的生长过程中, 大气中的二氧化硫会通过植物体的叶面气孔进入植物体内, 其他土壤或水中的结合态的二氧化硫也会通过植物的吸收作用进入到植物体内。进入的二氧化硫容易和植物体内的醛酮类化合物特别是糖类化合物等发生反应生成结合态的亚硫酸, 所以植物体内都有一定含量的游离态的和结合态的二氧化硫。动物由于进食植物, 体内也会积累一定量的二氧化硫^[52]。

3 结论与展望

食品添加剂在食品工业中发挥着举足轻重的作用, 超标、超范围使用食品添加剂及使用违禁添加物的情况严重影响着食品行业的发展和消费者的身体健康。但是有些食品中存在的食品添加剂成分并不是人为添加的, 而是食物自身含有的内源性物质。

除了苯甲酸、硝酸盐、丙酸等文中所介绍的 5 种物质之外, 山梨酸、苹果酸、柠檬酸等也是天然存在于很多食品之中, 同时又可作为食品添加剂使用。随着食品中食品添加剂天然本底研究的继续深入, 会发现越来越多的食品添加剂成分是天然存在的, 人们对食品添加剂的认识将更加客观和理性, 相关研究成果也能为食品安全监管提供科学依据。

参考文献

[1] 韩绪. 染色馒头的罪与罚[J]. 中外食品, 2011, 5: 18-19.

- Han X. The crime and punishment of dyed steamed bread [J]. *Glob Food Ind*, 2011, 5: 18–19.
- [2] 廖爱玲. 部分街边早点摊油条铝超标严重过量添加明矾[J]. *中国品牌与防伪*, 2014, 7: 76.
- Liao AL. Excessive alum was added to some street breakfast [J]. *Chin Brand Anti-counterfeiting*, 2014, 7: 76.
- [3] 李广平. 食品中的白富美, 你敢吃吗[J]. *健康与营养*, 2013, 11: 102–104.
- Li GP. Do you dare eat bleached food [J]. *Health Nutr*, 2013, 11: 102–104.
- [4] 薛金莲. 如何正确使用食品添加剂[J]. *食品安全导刊*, 2014, 12: 49–50.
- Xue JL. How to use food additives [J]. *Chin Food Saf Mag*, 2014, 12: 49–50.
- [5] Bearth A, Cousin ME, Siegrist M. The consumer's perception of artificial food additives: Influences on acceptance, risk and benefit perceptions [J]. *Food Qual Prefer*, 2014, 38(1): 14–23.
- [6] GB 2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S].
GB 2760-2014 National standards for food safety Standards for the use of food additives [S].
- [7] 朱雨田, 彭建飞, 陈仕煜, 等. 食品中内源性化学污染物的本底值研究进展[J]. *中国食品添加剂*, 2015, 8: 149–153.
- Zhu YT, Peng JF, Chen SY, *et al.* Research advance for background value of endogenous chemical pollutants in food [J]. *Chin Food Addit*, 2015, 8: 149–153.
- [8] 杜业刚, 李碧芳, 邓武剑, 等. 食品中天然产生的化学污染物本底值分析[J]. *中国食品添加剂*, 2013, 2: 165–168.
- Du LG, Li BF, Deng WJ, *et al.* Background level of naturally produced chemical contaminants in food [J]. *Chin Food Addit*, 2013, 2: 165–168.
- [9] 吕娜, 沈明浩. 食品防腐剂苯甲酸钠的蓄积毒性及精子毒性研究[J]. *毒理学杂志*, 2011, 25(3): 241–242.
- Lv N, Shen MH. Study on accumulative toxicity and sperm toxicity of food preservative sodium benzoate [J]. *J Toxicol*, 2011, 25(3): 241–242.
- [10] Bilau M, Matthys C, Vinkx C, *et al.* Intake assessment for benzoates in different subgroups of the Flemish population [J]. *Food Chem Toxicol*, 2008, 46(2): 717–723.
- [11] Cakir R, Cagri MA. Sorbic and benzoic acid in non-preservative-added food products in Turkey [J]. *Food Addit Contam Part B Surveill*, 2013, 6(1): 47–54.
- [12] 林长虹, 杜业刚, 陈杰锋, 等. 固相萃取-液相色谱法测定食品中天然苯甲酸含量[J]. *广东化工*, 2015, 42(8): 174–175.
- Lin CH, Du YG, Chen JF, *et al.* Determination of benzoic acid in food by solid phase extraction and liquid chromatography [J]. *Guangdong Chem Ind*, 2015, 42(8): 174–175.
- [13] 孙屏, 吕岳文, 刘超, 等. 新疆红枣中天然苯甲酸含量的调查研究[J]. *新疆农业科学*, 2014, 51(02): 235–240.
- Sun P, Lv YW, Liu C, *et al.* Research of naturally occurring benzoic acid in Chinese dates [J]. *Xinjiang Agric Sci*, 2014, 51(02): 235–240.
- [14] 唐文强, 刘长海. 豆豉中天然苯甲酸的生成途径研究[J]. *广东农业科学*, 2011, 38(17): 79–80.
- Tang WQ, Liu CH. Biosynthesis of natural benzoic acid in fermented black bean [J]. *Guangdong Agric Sci*, 2011, 38(17): 79–80.
- [15] 马泽鑫, 范勇, 赵晓. 浅谈牛乳中的天然苯甲酸[J]. *食品安全导刊*, 2015, 18: 148–149.
- Ma ZX, Fan Y, Zhao X. Natural benzoic acid in milk [J]. *Chin Food Saf Mag*, 2015, 18: 148–149.
- [16] 马景友, 吴九重, 李洪波, 等. 牛乳中苯甲酸的来源及含量研究[J]. *中国乳业*, 2012, 125(5): 64–66.
- Ma JY, Wu JC, Li HB, *et al.* Study on the source and content of benzoic acid in milk [J]. *Chin Dairy*, 2012, 125(5): 64–66.
- [17] 陈亚成, 贾彩凤, 王疆元. 牛乳中苯甲酸的 HPLC 测定及来源分析[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(6): 94–95.
- Chen YC, Jia CF, Wang JY. Detection and resource analysis of benzoic acids in milk by HPLC [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2010, 31(6): 94–95.
- [18] Qi P, Hong H, Liang XY. Assessment of benzoic acid levels in milk in China [J]. *Food Control*, 2008, 20(4): 414–418.
- [19] Park SY, Yoo MY, Paik HD, *et al.* Production of benzoic acid as a natural compound in fermented skim milk using commercial cheese starter [J]. *J Dairy Sci*, 2017, 100(4): 2435–2444.
- [20] 胡炜, 祝进, 俎德玲, 等. 天然蜂蜜的抗菌机制研究与临床应用进展[J]. *中草药*, 2009, 40(S1): 61–63.
- Hu W, Zhu J, Zu DL, *et al.* Study on antibacterial mechanism and clinical application of natural honey [J]. *Chin Tradit Herb Drug*, 2009, 40(S1): 61–63.
- [21] 葛轶南. 天然防腐剂[J]. *北京日化*, 2004, (1): 20–23.
- Ge YN. Natural preservative [J]. *Beijing Daily Chem*, 2004, (1): 20–23.
- [22] 中国蜂产品协会. 蜂蜜中检出微量的苯甲酸属正常现象[EB/OL]. [2016-9-8]. http://www.legaldaily.com.cn/Food_Safety/content/2016-09/08/content_6796705.htm?node=7044.
- China Bee Products Association, Detection of trace amounts of benzoic acid in honey is a normal phenomenon [EB/OL]. [2016-9-8]. http://www.legaldaily.com.cn/Food_Safety/content/2016-09/08/content_6796705.htm?node=7044.
- [23] 周蓓莉, 肖进文, 刘生峰, 等. 传统腌腊制品中亚硝酸盐的危害及其替代物的研究进展[J]. *中国食品添加剂*, 2012, 2: 166–171.
- Zhou BL, Xiao JW, Liu SW, *et al.* Research on nitrite harmful analysis and its substitute in curing meat products[J]. *Chin Food Addit*, 2012, 2: 166–171.
- [24] Kim HS, Hur SJ. Changes of sodium nitrate, nitrite, and N-nitrosodiethylamine during in vitro human digestion [J]. *Food Chem*, 2017, 225(15): 197–201.
- [25] 庞荣丽, 何为华, 方金豹, 等. 几种果品中硝酸盐和亚硝酸盐的含量[J]. *果树学报*, 2006, 23(4): 627–630.
- Pang RL, He WH, Fang JB, *et al.* Content of nitrate and nitrite in several fruits [J]. *J Fruit Sci*, 2006, 23(4): 627–630.
- [26] 黄俊轩, 吕染, 杨静慧, 等. 天津红旗批发市场部分果蔬硝酸盐含量分析[J]. *北方园艺*, 2012, (21): 19–21.
- Huang JX, Lv R, Yang JH, *et al.* Content of nitrate in some species of fruit and vegetable from wholesale market of hongqi in Tianjin [J]. *Northern Hortic*, 2012, (21): 19–21.
- [27] GB 18406.2-2001 农产品安全质量 无公害水果安全要求[S].
GB 18406.2-2001 Safety and quality for agricultural products Safety requirements of pollution free fruits [S].
- [28] GB 18406.1-2001 农产品安全质量 无公害蔬菜安全要求[S].
GB 18406.1-2001 Safety and quality for agricultural products Safety requirements of pollution free vegetables [S].
- [29] 颜海燕, 李应彪, 尚晨龙. 蔬菜存放过程中亚硝酸盐含量的变化研究[J]. *冷饮与速冻食品工业*, 2006, 12(1): 27–29.

- Yan HY, Li YB, Shang CL. Contents of nitrite during vegetable storage [J]. Beverage Fast Frozen Food Ind, 2006, 12(1): 27-29.
- [30] 唐艳茹, 陈彦玲, 白秀丽, 等. 长春市蔬菜中亚硝酸盐含量的测定[J]. 长春师范学院学报(自然科学版), 2007, 26(4): 48-50.
- Tang YR, Chen YL, Bai XL, *et al.* Determination of nitrite content in vegetables in Changchun [J]. J Changchun Norm Univ (Nat Sci Ed), 2007, 26(4): 48-50.
- [31] 任红, 许彦, 李劲松. 三亚市主要供港澳蔬菜硝酸盐污染评价[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(10): 200-203.
- Ren H, Xu Y, Li JS. Evaluation of nitrate pollution of vegetables mainly for Hongkong and Macau in Sanya city [J]. Food Res Dev, 2012, 33(10): 200-203.
- [32] 李会合, 王正银, 李宝珍. 蔬菜营养与硝酸盐的关系[J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1667-1672.
- Li HH, Wang ZY, Li BZ. Relationship between vegetable nutrition and nitrate content [J]. Chin J Appl Ecol, 2004, 15(9): 1667-1672.
- [33] 杜红斌, 王秀峰, 崔秀敏. 植物硝酸盐积累的生理机制研究[J]. 中国蔬菜, 2001, 2: 49-51.
- Du HB, Wang XF, Cui XM. Study on physiological mechanism of nitrate accumulation in plants [J]. Chin Vegetables, 2001, 2: 49-51.
- [34] 梁亮. 硝酸还原酶活性对小白菜硝酸盐积累及相关代谢调节的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- Liang L. Study on nitrate reductase activity and nitrate accumulation in pakchoi and its related metabolism [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008.
- [35] Benoit F, Allison V, Émilie DF, *et al.* Antifungal activity of lactic and propionic acid bacteria and their potential as protective culture in cottage cheese [J]. Food Control, 2017, 78(8): 350-356.
- [36] 陈天书, 王海霞, 郭宏伟. 丙酸及其应用[J]. 化学工程师, 2001, (4): 41-42.
- Chen TS, Wang HX, Guo HW. Propionic acid and its application [J]. Chem Eng, 2001, (4): 41-42.
- [37] 王瑞, 何涛. 食品中的丙酸本底含量及产生机理研究进展[J]. 中国调味品, 2015, 40(9): 104-108.
- Wang R, He T. Research progress of the intrinsic content of propionic acid in food and its generation mechanism [J]. Chin Condiment, 2015, 40(9): 104-108.
- [38] Lee HJ, Ahn HJ, Kang CS, *et al.* Naturally occurring propionic acid in foods marketed in South Korea [J]. Food Control, 2010, 21(2): 217-220.
- [39] 梁新乐, 刘爱琴, 钟立人. 丙酸杆菌的研究进展及其在食品发酵工业中的应用[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(6): 170-172.
- Liang XL, Liu AQ, Zhong LR. The advance in study on propionibacterium and its application in food fermentation industry [J]. Food Res Dev, 2006, 27(6): 170-172.
- [40] 李升锋, 张友胜, 池建伟, 等. 不同品种桑椹糖酸组分分析[J]. 农产品加工, 2011, (7): 108-111.
- Li SF, Zhang YS, Chi JW, *et al.* Analysis of sugar and organic acids compositions of different mulberry cultivars [J]. Farm Prod Process, 2011, (7): 108-111.
- [41] 李芳, 王丽丽, 徐熠, 等. 离子色谱法测定葡萄中六种有机酸[J]. 吉林农业科学, 2011, 36(1): 48-49.
- Li F, Wang LL, Xu Y, *et al.* Determination of 6 kinds of organic acids in grapes by ion chromatography [J]. J Jilin Agric Sci, 2011, 36(1): 48-49.
- [42] 刘晓艳, 白卫东, 蒋爱民, 等. 荔枝果酒加工过程中有机酸的变化研究[J]. 中国酿造, 2011, 30(11): 65-69.
- Liu XY, Bai WD, Jiang AM, *et al.* Study on the changes of organic acids in the process of litchi wine [J]. Chin Brew, 2011, 30(11): 65-69.
- [43] 王贵双, 高丽华, 赵俊平, 等. 酿造食醋与配制食醋中有机酸的分析研究[J]. 中国酿造, 2011, 30(11): 146-148.
- Wang GH, Gao LH, Zhao JP, *et al.* Analysis of organic acids in vinegar brewing vinegar and preparation [J]. Chin Brewing, 2011, 30(11): 146-148.
- [44] 刘超, 鲁梅芳, 王春玲, 等. 纯种固态工艺酿造醋的风味研究[J]. 中国酿造, 2012, 31(6): 23-26.
- Liu C, Hu MF, Wang CL, *et al.* Flavor of vinegar with pure-culture solid-state fermentation [J]. Chin Brew, 2012, 31(6): 23-26.
- [45] 黄健, 王霞, 侯云丹, 等. 加热温度对牡蛎挥发性风味成分的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(2): 311-317.
- Huang J, Wang X, Hou YD, *et al.* Effect of heating temperature on volatile flavor components of oyster [J]. J Nucl Agric Sci, 2012, 26(2): 311-317.
- [46] 周德庆, 张双灵, 辛胜昌. 亚硫酸盐在食品加工中的作用及其应用[J]. 食品科学, 2004, 25(12): 198-201.
- Zhou DQ, Zhang SL, Xin SC. Review on the function and application of sulfite in food processing [J]. Food Sci, 2004, 25(12): 198-201.
- [47] Sunyer J, Ballester F, Tertre AL, *et al.* The association of daily sulfur dioxide air pollution levels with hospital admissions for cardiovascular diseases in Europe (The Apeha-II study) [J]. Eur Heart J, 2003, 24(8): 752-760.
- [48] Meng ZQ. Oxidation damage of sulfur dioxide on various organs of mice: sulfur dioxide is a system oxidative damage agent [J]. Inhal Toxicol, 2003, 15(2): 181-195.
- [49] 黄国平. 食品中二氧化硫脱除方法研究进展[J]. 食品科技, 2007, 12: 19-22.
- Huang GP. Advances in the study of removing sulfur dioxide from food [J]. Food Sci Technol, 2007, 12: 19-22.
- [50] 金晓蕾, 罗洁, 靳保辉, 等. 连续流动分析法测定葡萄酒中总二氧化硫[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 11: 3495-3500.
- Jin XL, Luo J, Jin BH, *et al.* Determination of total sulfur dioxide in wine by continuous flow analyzer [J]. J Food Saf Qual, 2014, 11: 3495-3500.
- [51] Salaha MI, Kallithraka S, Marmaras I, *et al.* A natural alternative to sulphur dioxide for red wine production: Influence on colour, antioxidant activity and anthocyanin content [J]. J Food Compos Anal, 2008, 21(8): 660-666.
- [52] 尹洁, 朱军莉, 励建荣. 食品中二氧化硫的来源与检测方法[J]. 食品科技, 2009, 11: 292-296.
- Yin J, Zhu JL, Li JR. Origin and determination method of sulfur dioxide in foods [J]. Food Sci Technol, 2009, 11: 292-296.

(责任编辑: 姜姗)

作者简介



顾宇翔, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品和化妆品质量安全检测。
E-mail: guyuxiang1@sina.com