

食品中嘌呤含量分布的研究进展

林洪*, 曲欣

(中国海洋大学食品科学与工程学院, 青岛 266003)

摘要: 目前国内外嘌呤检测方法不统一, 导致一些文献报道的同种食品中嘌呤分布数值出入较大。本文对食品中嘌呤检测的前处理方法、定量方法以及嘌呤含量分布研究现状进行综述分析, 以期为嘌呤检测技术发展提供借鉴。对于指导消费者合理膳食, 降低痛风发病率具有重要意义。

关键词: 嘌呤; 痛风; 检测

The research progress of purine distribution in food

LIN Hong*, QV Xin

(Food Science and Engineering College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

ABSTRACT: The determination methods of purine are not unified nowadays, so the results of purine detection are discrepant in some foods. In this paper, methods of sample preparation, purine quantification and purine distribution in food were reviewed and analyzed to provide a reference for further development of purine detection technologies. It has an important significance in guiding consumers to a rational diet so that the incidence of gout could be decreased.

KEY WORDS: purine; gout; determination

1 引言

嘌呤是组成核酸的重要碱基, 在食物中广泛存在。人们从日常饮食中摄取的嘌呤仅占 20%, 但是这些嘌呤极少被人体利用, 几乎全部转化成尿酸。长期大量摄入高嘌呤食品再加上其他一些诱导因素会导致人体尿酸过高, 最终引发痛风^[1, 2]。有研究表明, 长期食用高嘌呤食物会导致痛风发病率增加 50%^[1]。近年来随着人民生活水平的提高及饮食结构的改变, 痛风的发病率逐年增高, 2009 年山东沿海地区居民高尿酸血症患病率已高达 16.99%, 痛风患病率高达 1.36%, 较 2004 年分别增长了 3.72% 和 0.26%^[3, 4]。痛风已成为严重威胁人类健康的常见病、多发病^[5, 6], 引起了消费者的疑惑和惶恐。

目前, 国内外并没有建立一种简便、准确、统一的食物中嘌呤含量测定方法, 一些文献报道的食物中嘌呤含量数值相差较大, 中国食物成分表^[7]中尚无准确完整的嘌呤含量数据, 不能科学有效地对消费者进行膳食指导。因此, 本文将从嘌呤检测的前处理方法、定量方法以及嘌呤含量分布研究现状等方面进行分析, 以期为嘌呤检测技术发展提供借鉴。

2 食品中嘌呤的检测方法

2.1 样品前处理方法

由于食品中的嘌呤类物质一般是以核酸中的嘌呤碱基形式存在, 因此需要先通过水解将嘌呤从食品中提取出来, 再进行分析, 酸解提取法是最常用的水解提取方法, 也可以辅以超声波提取或者有机溶

基金项目: 国家自然科学基金项目(31271844)、长江学者和创新团队发展计划

*通讯作者: 林洪, 博士, 教授, 研究领域: 水产品安全与质量控制。E-mail: linhong@ouc.edu.cn

剂萃取等方法。部分研究通过酶解法^[8]或化学法^[9]将嘌呤类物质转化为尿酸后再进行检测,但此类方法只能测食品中总嘌呤含量。

2.1.1 酸解提取法

从食品中提取游离嘌呤常用冷酸提取法,但提取总嘌呤最常用的方法是热酸水解提取法,且不同种类的热酸对食品的水解程度不一样,研究者对磷酸、乙酸、盐酸、高氯酸、三氟乙酸及甲酸的水解效果进行了探究。

研究表明,磷酸只能水解出腺嘌呤(Adenine)和鸟嘌呤(Guanine);乙酸只能水解出少量的腺嘌呤、鸟嘌呤和次黄嘌呤(Hypoxanthine),且水解度不高;盐酸能水解出四种嘌呤,但测得嘌呤量均小于三氟乙酸 甲酸(1:1, v/v)水解所得嘌呤量,这可能是盐酸对嘌呤没有保护作用所致^[10];高氯酸水解效果好,但高浓度的高氯酸会降解嘌呤,造成嘌呤损失;而三氟乙酸 甲酸(1:1, v/v)能良好地水解样品得到腺嘌呤、鸟嘌呤、黄嘌呤(Xanthine)和次黄嘌呤这四组分,其中凌云等探讨了利用三氟醋酸 甲酸 水(5:5:1, v/v/v)溶液进行水解,不同的水解温度及时间对水解效率及嘌呤稳定性的影响,发现 90 °C 时水解 12 min, 4 种嘌呤能基线分离,水解完全并且嘌呤物质不会被氧化分解,损失程度小^[11-13]。

总体看单一酸溶液提取嘌呤的效果不及混合酸,混合酸三氟乙酸 甲酸提取嘌呤获得了令人满意的效果,这可能是因为甲酸可以保护嘌呤,而三氟乙酸是许多有机化合物的良好溶剂所致。

2.1.2 超声波提取法

超声波具有机械效应、空化效应和热效应,可增大介质分子的运动速度、增大介质的穿透力,因此常用于提取生物碱等有效成分。

刘秀艳、胡珍、梁志敏等^[14-16]采用超声波提取法对地龙、鹿茸中次黄嘌呤进行了提取,赵晓莉等^[17]采用此法对海马中黄嘌呤及次黄嘌呤进行了提取,以上均是对游离嘌呤的提取。可见,采用超声波法无需加热可以节约燃料,溶剂用量少可以节约溶剂,但其提取并不完全,仅能提取食品中的游离嘌呤,所以仅可作为辅助手段进行提取。

2.1.3 有机溶剂萃取法

有机溶剂萃取法多为混合有机试剂,并多次重复萃取以提高萃取率。Clariana 等^[18]采用正己烷、甲酸、甲醇、丙酮提取了猪肉及其制品中 6 种游离嘌呤

类物质(尿酸、次黄嘌呤、黄嘌呤、腺苷、肌苷、鸟苷);孙培龙等^[19]采用 75% 的乙醇回流萃取了香菇及其他食用菌中的香菇嘌呤。虽然采用有机溶剂萃取法提取游离嘌呤,分离和富集效果较好,但操作繁琐、耗时,且有机溶剂易挥发、有毒,不环保,因此很少被采用。

2.2 食品中嘌呤的定量方法

嘌呤的检测早在上世纪 50 年代就引起了广泛的关注,1947 年~1948 年 Vischer 和 Hotchkiss 最先使用纸层析分离核酸的组成成分,2000 年孙培龙等^[19]以纸电泳测定香菇嘌呤含量,该法有效分离了各种核苷酸干扰物,回收率 89%,相对误差 5%。随着气相色谱的发展,嘌呤的检测推进到一个崭新的阶段,实现了微量级的快速检测,但由于气相色谱检测嘌呤需要衍生化,操作条件苛刻,不能作为通常的检测方法,而液相色谱法以其方便、快速、灵敏的特点成为主流的检测方法。用于嘌呤检测的还有高效毛细管电泳法^[20,21]、液相色谱串联质谱法^[22]等,本文主要对高压液相色谱法(HPLC)测定嘌呤进行介绍。

检测嘌呤组分的色谱柱常用 C₁₈ 柱。但是由于 C₁₈ 色谱柱多种多样,不同研究选用的 C₁₈ 柱类型及其色谱条件也不同,表 1 为色谱柱的选用情况。可见,对单一组分或两组分嘌呤生物碱进行高压液相色谱分析时,可采用普通的 C₁₈ 柱,流动相多为不同体积比的甲醇和水。在对食品中腺嘌呤、鸟嘌呤、黄嘌呤和次黄嘌呤等多组分嘌呤含量进行高压液相色谱分析时,若选用普通 C₁₈ 柱,多采用反相离子对色谱法(RP-ICP);采用 dC₁₈ 或 RP₁₈ 等特殊键合 C₁₈ 柱时,流动相多为 0.02 mol/L 的磷酸二氢钾缓冲液,不同实验磷酸二氢钾缓冲液的 pH 有所不同。另外,液相色谱检测波长多为 254 nm,流速在 0.6~1.0 mL/min 之间,柱温在 24~30 °C 之间。

3 食品中嘌呤含量分布

饮食与痛风关系密切,食品的嘌呤在人体内转化终产物即为尿酸,最终导致痛风发作。理论上四种嘌呤对尿酸生成量的影响是相同的,但是 Clifford 等^[28]发现不同的嘌呤化合物对人体血尿酸影响不一,腺嘌呤、次黄嘌呤、腺苷酸、鸟苷酸和肌苷酸对血尿酸的影响远大于鸟嘌呤和黄嘌呤对血尿酸的影响。所以,食品中嘌呤检测多对腺嘌呤、鸟嘌呤、黄嘌呤和次黄嘌呤四组分嘌呤进行分别测定。

表 1 色谱柱在嘌呤检测中的选用情况
Table 1 The selection of chromatographic column in purine determination

色谱柱	样品	嘌呤	流动相	色谱类型	文献
Kromasil-C ₁₈	地龙	Hyp ^a	甲醇:水(1 : 9, v/v)	HPLC	[14]
Alltech Apollo C ₁₈	地龙	Hyp	甲醇:水(1 : 9, v/v)	HPLC	[15]
Kromasil-C ₁₈	海马	Xan ^b 、Hyp	甲醇:水(2 : 98, v/v)	HPLC	[23]
Discovery C ₁₈	鹿茸	Hyp	甲醇:磷酸二氢钾缓冲液(8 : 92, v/v)	HPLC	[16]
μBondapak C ₁₈	啤酒	Ade ^c 、Gua ^d 、 Xan、Hyp	水:甲醇:冰乙酸:四丁基氢氧化铵(883.5 : 100 : 15 : 1.5, v/v/v/v)	RP-ICP	[24]
Atlantis C ₁₈	啤酒	Ade、Gua、 Xan、Hyp	[水:冰乙酸:四丁基氢氧化铵(997 : 1.5 : 1.5), v/v/v]:甲醇(9 : 1, v/v)	RP-ICP	[25]
Waters symmetryshield RP ₁₈	大豆	Ade、Gua、 Xan、Hyp	磷酸二氢钾缓冲液(0.02 mol/L, pH 4.6)	HPLC	[26]
Waters Atlantis dC ₁₈	麦汁、发酵液、啤酒	Ade、Gua、 Xan、Hyp	磷酸二氢钾缓冲液(0.02 mol/L, pH 4)	HPLC	[27]
Waters Atlantis dC ₁₈	肉类	Ade、Gua、 Xan、Hyp	磷酸二氢钾缓冲液(0.02 mol/L, pH 3.8)	HPLC	[13]

注: a: 次黄嘌呤; b: 黄嘌呤; c: 腺嘌呤; d: 鸟嘌呤

多年来, 国内外学者从多方面探究了食品中这四组分嘌呤的含量分布, 主要集中在消费量较大的畜禽肉类、水产品类、大豆及酒精饮料中嘌呤含量检测。

3.1 畜禽肉类中嘌呤含量分布

长期食用肉类食物的消费者痛风发病率会增加 50%, 而肉类又是消费者的主流消费食品, 因此, 肉类中嘌呤含量检测一直是食品中嘌呤检测的热点。

1977 年, 松本美和子等^[29]对近 50 种不同肉类的嘌呤含量进行了测定。凌云等^[13, 30]采用新的测定肉类嘌呤含量的方法对十几种不同的肉类中嘌呤含量进行了测定, 其结果见表 2。数据显示, 畜禽动物肝脏中嘌呤含量远大于肌肉中嘌呤含量, 且肝脏中鸟嘌呤含量占主导, 肌肉中次黄嘌呤含量最高。王新宴等^[30]进一步探究了水煮加热过程中嘌呤含量变化, 发现水煮 10 min, 肉中嘌呤含量迅速降低, 汤中嘌呤含量升高, 并随时间延长趋于稳定。排酸猪肉中腺嘌呤、鸟嘌呤、次黄嘌呤含量低于其在猪肉中的含量, 黄嘌呤含量略高于其在猪肉中的含量, 这可能与三磷酸腺苷(ATP)及其关联化合物代谢有关, 应进一步研究。

3.2 水产品中嘌呤含量分布

常有报道称食用海鲜后痛风发作, 因此, 水产品中嘌呤含量检测也成为食品中嘌呤检测的热点。

现有文献报道的水产品中嘌呤含量见表 2, 测得的海胆和草虾中嘌呤含量高是因为测定的是干燥后

的样品中嘌呤含量; 小黄鱼 A 和小黄鱼 B 中嘌呤含量差异大, 可能是取样或者检测方法不一致造成的; 鱼虾贝类中嘌呤都有检测, 但是缺少藻类中嘌呤含量的数据。

研究者还探究了贮藏及加工过程中水产品嘌呤含量的变化。海胆罐装贮藏过程中, 嘌呤含量几乎不变; -18 °C 贮藏 6 个月, 腺嘌呤含量一直下降, 次黄嘌呤含量逐渐升高, 黄嘌呤含量升高后随即又下降。草虾在贮藏过程中腺嘌呤值降低, 次黄嘌呤/腺嘌呤值增加。造成这些变化的原因之一是动物死后存在酶促降解反应, 贮藏过程嘌呤含量的变化与水产品新鲜度存在关联性, 其中, 催化从 ATP 转化到肌核苷酸(IMP)的酶是内源性酶^[11]。

罗非鱼糜生产过程中鱼糜经过嘌呤总量降低了 60%, 急剧减少是在最初 10 min 内, 二次漂洗可以将罗非鱼嘌呤含量降到最低。鱼肉水煮 10 min, 嘌呤含量显著降低, 鱼汤中嘌呤含量迅速上升, 此后加热过程中嘌呤变化缓慢, 与畜禽肉类水煮过程中嘌呤变化趋势一致^[31-33, 35]。嘌呤热稳定性良好, 加工过程中其含量下降可能是因为水漂洗流失所致。

水产品中嘌呤总含量略高于畜禽肉类中嘌呤总含量, 但四组分嘌呤的比例却与畜禽肉类有较大的不同。其中, 甲壳类腺嘌呤含量普遍较高, 这是与其它食品不同之处, 可能是造成食用甲壳类水产品极易诱发痛风的原因之一。

表 2 部分食品中嘌呤含量
Table 2 Contents of purine in some foodstuffs

食品	含量(mg/kg)					文献
	腺嘌呤	鸟嘌呤	黄嘌呤	次黄嘌呤	总嘌呤	
鸡肉	140	190	40	474	844	[13]
鸡心	232	324	39	363	958	[13]
鸡胗	523	788	48	324	1684	[13]
鸡肝	770	1182	211	22	2186	[13]
猪肉	220	150	-	656	1027	[13]
排酸猪肉	162	135	43	580	920	[13]
猪肝	624	1021	232	160	2036	[13]
猪心	212	268	23	516	1019	[13]
牛肉	148	84	60	565	857	[13]
羊肉	130	107	56	366	659	[13]
兔肉	159	119	33	723	1034	[30]
鸭肉	190	182	50	540	962	[30]
海胆性腺	8230	6990	77	388	15685	[31]
草虾	4950	560	-	1680	7190	[32]
鲤鱼	113	72	15	601	801	[33]
小黄鱼 A	87	87	29	665	868	[33]
小黄鱼 B	119	492	21	610	1242	[34]
草鱼	142	372	13	817	1344	[34]
基围虾	693	557	373	252	1875	[34]
扇贝	1640	195	4	96	1935	[34]
螃蟹	1197	182	1	90	1470	[34]

3.3 大豆中嘌呤含量分布

大豆被普遍认为是高嘌呤食物。1982年,日本研究者^[36]测得干燥大豆中腺嘌呤、鸟嘌呤、黄嘌呤、次黄嘌呤的含量依次为 743.1、982.2、0.0、0.0 mg/kg,总嘌呤量为 1725.3 mg/kg。Kaneko K^[37]等人采用 HPLC 法对豆制品及其他日本食品中的嘌呤物质进行了测定,结果显示日本豆制品中嘌呤含量为 219~1725 mg/kg 或 mg/L。刘少林^[38]测得安徽凤台大豆中腺嘌呤、鸟嘌呤、黄嘌呤、次黄嘌呤的含量分别为 732.3、821.2、20.2、31.8 mg/kg,嘌呤总量为 1605.5 mg/kg。可见大豆中嘌呤含量较豆制品中高,大豆中腺嘌呤及鸟嘌呤含量较高,黄嘌呤及次黄嘌呤含量少。

3.4 酒精饮料中嘌呤含量分布

饮酒是引发高尿酸血症的最重要因素^[39],不同的酒精饮料引发痛风的几率不同,饮用啤酒、烈酒易引发痛风,但是饮用葡萄酒却不会引发痛风^[39, 40],因此研究者对酒精饮料中嘌呤含量进行了探究。

林先军等^[24]测得某 1 号啤酒中腺嘌呤、鸟嘌呤、

黄嘌呤、次黄嘌呤分别为 14.1、33.6、17.3、2.1 mg/L,测得的 2、3 号与商曰玲等^[25]所测 14 种啤酒中嘌呤含量相近。但尤如玉等^[10]测得某知名啤酒中的腺嘌呤、鸟嘌呤、黄嘌呤、次黄嘌呤的含量分别为 17.24、309.68、18.06、5.09 mg/L,鸟嘌呤含量明显高于林先军、商曰玲等测得的啤酒中的鸟嘌呤含量。这可能是因为啤酒种类或麦芽度不同,也可能是由于检测方法有差异。清爽型黄酒中腺嘌呤、鸟嘌呤、次黄嘌呤含量分别为 0.82、0.67、0.62 mg/L,其含量已经逼近 HPLC 的检测限,夏小乐等^[22]采用 LC-MS/MS 法,灵敏度提高,可检测黄酒中腺嘌呤、鸟嘌呤和次黄嘌呤含量,但是却没有检测黄嘌呤含量。

为寻求一种低嘌呤啤酒的生产方法,李志良等^[27]对啤酒酿造过程中的嘌呤含量进行了探究。结果表明麦汁浓度越高嘌呤含量就越高,发酵液中酵母含量对嘌呤含量影响较大,可通过高辅料比酿造技术降低啤酒中嘌呤含量。

3.5 其他食品中嘌呤含量分布

畜禽肉类、水产品类、大豆及酒精饮料中嘌呤含

量检测都已有报道,但是鲜有蔬菜中嘌呤含量的报道,有报告报道了香菇^[19]、花椰菜^[41]中嘌呤含量,此外还缺乏对奶、蛋等食品中嘌呤含量的检测。

4 小 结

目前,存在多种食品中嘌呤含量检测的方法,但是没有形成统一的检测标准,导致同一种食品中检测到的嘌呤含量也不尽相同,探索出更准确、可靠、简捷、环保的前处理以及检测方法就显得尤为重要。同时,食品中嘌呤含量分布在贮藏及加工中是变化的,探寻其变化规律并用以指导生产、加工或者饮食可为保障人类健康提供科学指导。

参考文献

- [1] Nuki G. Gout[J]. *Medicine*, 2002, 30(9): 71-77.
- [2] Wall GC, Cooper SA. Gout and Hyperuricemia: New Guidelines and Treatments [J]. *J Pharm Pract*, 2009, 22(1): 104-115.
- [3] 苗志敏, 赵世华, 王颜刚, 等. 山东沿海居民高尿酸血症及痛风的流行病学调查[J]. *中华内分泌代谢杂志*, 2006, 22(5): 421-425.
- [4] 阎胜利, 赵世华, 李长贵, 等. 山东沿海居民高尿酸血症及痛风五年随访研究[J]. *中华内分泌代谢杂志*, 2011, 27(7): 548-552.
- [5] Sundstrom J, Sullivan L, D'Agostino RB, *et al.* Relations of serum uric acid to longitudinal blood pressure tracking and hypertension incidence[J]. *Hypertension*, 2005, 45(1): 28-33.
- [6] Iseki K, Ikemiya Y, Inoue T, *et al.* Significance of hyperuricemia as a risk factor for developing ESRD in a screened cohort[J]. *Am J Kidney Dis*, 2004, 44(4): 642-650.
- [7] 王光亚. 中国食物成分表 第二版[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2009.
- [8] Smolenski R, Lachno D, Ledingham S, *et al.* Determination of sixteen nucleotides, nucleosides and bases using high-performance liquid chromatography and its application to the study of purine metabolism in hearts for transplantation[J]. *J Chromatogr*, 1990, 527(2): 414-420.
- [9] 冯晓晶. 嘌呤及其代谢产物尿酸检测方法研究和应用[D]. 山西医科大学劳动卫生与环境卫生学, 2011.
- [10] 尤玉如, 张艳萍, 刘士旺. HPLC 法测定啤酒中嘌呤含量的方法研究[J]. *中国酿造*, 2008, (2): 76-79.
- [11] 骆锡能, 陈翠瑶. 水产品嘌呤含量定量方法的建立[J]. *食品科学(中国台湾)*, 1997, 24(1): 1-11.
- [12] Fan H, Yang FQ, Li SP. Determination of purine and pyrimidine bases in natural and cultured Cordyceps using optimum acid hydrolysis followed by high performance liquid chromatography[J]. *J Pharmaceut Biomed*, 2007, 45(1): 141-144.
- [13] 凌云, 王新宴, 雍炜, 等. 高效液相色谱法检测肉类食品中 4 种嘌呤碱[J]. *分析化学*, 2008, 36(6): 724-728.
- [14] 胡珍, 高明远. HPLC 测定地龙中次黄嘌呤的含量[J]. *中国药事*, 2006, 20(7): 408-409.
- [15] 刘秀艳. HPLC 法测定地龙中次黄嘌呤含量[J]. *辽宁中医杂志*, 2007, 34(12): 1783.
- [16] 梁志敏, 李建平, 林喆, 等. 不同产地鹿茸中次黄嘌呤的 HPLC 含量测定[J]. *中药材*, 2005, 28(8): 670-672.
- [17] 赵晓莉, 崔小兵, 狄留庆, 等. HPLC 法测定海马中次黄嘌呤、黄嘌呤的含量[J]. *中药材*, 2002, 25(10): 716-717.
- [18] Clariana M, Gratacós-Cubarsí M, Hortós M, *et al.* Analysis of seven purines and pyrimidines in pork meat products by ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. *J Chromatogr A*, 2010, 1217(26): 4294-4299.
- [19] 孙培龙, 吴学谦, 季培军, 等. 香菇及其他食用菌中香菇嘌呤含量的检测[J]. *食品工业科技*, 2000, 21(5): 70-72.
- [20] Chen G, Chu Q, Zhang L, *et al.* Separation of six purine bases by capillary electrophoresis with electrochemical detection[J]. *Anal Chim Acta*, 2002, 457(2): 225-233.
- [21] Xu D, Hua L, Chen H. Determination of purine bases by capillary zone electrophoresis with wall-jet amperometric detection[J]. *Anal Chim Acta*, 1996, 335(1-2): 95-101.
- [22] 夏小乐, 夏梅芳, 杨海麟, 等. LC-MS/MS 法分析清爽型黄酒中的嘌呤含量[J]. *现代食品科技*, 2010, 26(12): 1399-1402.
- [23] 赵晓莉, 崔小兵, 狄留庆, 等. HPLC 法测定海马中次黄嘌呤、黄嘌呤的含量[J]. *中药材*, 2002, 25(10): 71-717.
- [24] 林先军, 李永仙, 李崎, 等. 反相离子对色谱法测定啤酒中的嘌呤类物质[J]. *食品科学*, 2006, (9): 219-222.
- [25] 商白玲, 杜金华. 不同成品啤酒中嘌呤含量的测定[J]. *食品与发酵工业*, 2009, 07: 146-150.
- [26] 刘少林. 大豆中嘌呤含量的测定及分离研究[D]. 安徽农业大学, 2009.
- [27] 李志良, 张五九. 高效液相色谱法测定麦汁、发酵液和啤酒中的嘌呤含量[J]. *食品与发酵工业*, 2006, 32(3): 73-75.
- [28] Clifford AJ, Riuallo JA, Young VR, *et al.* Effect of Oral Purines on Serum and Urinary Uric Acid of Normal, Hyperuricemic and Gouty Humans [J]. *J Nutr*, 1976, 106(3): 428-434.
- [29] 松本美和子, 青柳康夫, 菅原龍幸. 肉および肉製品中のプリン塩基量[J]. *J Jpn Soc Nutr Food Sci*, 1977, 30(3): 155-162.
- [30] 王新宴, 凌云, 储晓刚, 等. 肉制品中四种嘌呤含量在水煮过程中的变化[J]. *食品科学*, 2008, 29(7): 67-69.
- [31] Piñeiro-Sotelo M, Rodríguez-Bernaldo De Quirós A, López-Hernández J, *et al.* Determination of purine bases in sea urchin (*Paracentrotus lividus*) gonads by high-performance liquid chromatography[J]. *Food Chem*, 2002, 79(1): 113-117.
- [32] Lou S. Purine Content in Grass Shrimp during Storage as Related

- to Freshness[J]. *J Food Sci*, 1998, 63(3): 442–444.
- [33] 王新宴, 凌云, 孙利, 等. 水煮加热对鱼肉中四种嘌呤含量的影响[J]. *食品科技*, 2008, 33(11): 112–115.
- [34] 潘洪志, 荣胜忠, 邹立娜, 等. 中国常见动物性食品中嘌呤的含量[J]. *营养学报*, 2012, 34(1): 74–78.
- [35] Lou S, Chen H, Hsu P, *et al.* Changes in purine content of tilapia surimi products during processing[J]. *Fisheries Sci*, 2005, 71(4): 889–895.
- [36] 篠田隆子, 青柳康夫, 菅原龍幸. 食品中のプリン塩基量およびそれに対する調理方法の影響[J]. *栄養と食糧*, 1982, 35: 103–109.
- [37] Kaneko K, Kudo Y, Yamanobe T, *et al.* Purine contents of soybean-derived foods and selected Japanese vegetables and mushrooms[J]. *Nucleosides Nucleotides Nucleic Acids*, 2008, 27(6): 628–630.
- [38] 刘少林. 大豆中嘌呤含量的测定及分离研究[D]. 安徽农业大学农产品加工及贮藏工程, 2009.
- [39] Yamamoto T, Moriwaki Y, Takahashi S. Effect of ethanol on metabolism of purine bases (hypoxanthine, xanthine, and uric acid)[J]. *Clin Chim Acta*, 2005, 356(1–2): 35–57.
- [40] Choi HK, Atkinson K, Karlson EW, *et al.* Alcohol intake and risk of incident gout in men: a prospective study[J]. *The Lancet*, 2004, 363(9417): 1277–1281.
- [41] Yamaoka N, Kaneko K, Kudo Y, *et al.* Analysis of purine in purine-rich cauliflower[J]. *Nucleosides Nucleotides Nucleic Acids*, 2010, 29(4–6): 518–521.

(责任编辑: 赵静)

作者简介



林洪, 博士, 教授, 研究领域: 水产品安全与质量控制。

E-mail: linhong@ouc.edu.cn