

# 海蜇制品中铝的研究进展

李颖畅<sup>1,2,3\*</sup>, 包桂林<sup>1</sup>, 吕艳芳<sup>1,2,3</sup>

(1. 渤海大学化学化工与食品安全学院, 锦州 121013; 2. 辽宁省食品安全重点实验室, 锦州 121013;  
3. 辽宁省高校重大科技平台“食品贮藏加工及质量安全控制工程技术研究中心”, 锦州 121013)

**摘要:** 海蜇制品中胶原蛋白等营养成分含量丰富, 具有抗氧化、抗疲劳和增强免疫力等生理功能, 同时海蜇制品具有特殊的口感, 深受广大消费者的喜爱, 但是铝元素在海蜇等食品中广泛存在, 其并非人体所需元素, 铝摄入量超标会对中枢系统、生殖系统、骨骼和造血系统有潜在的慢性毒性, 危害人体健康。本文综述了铝对人体健康的危害、海蜇制品中铝的检测方法、铝的去除方法, 并对海蜇制品中铝的研究进行了展望。

**关键词:** 海蜇制品; 铝; 检测方法; 研究进展

## Research progress of aluminum in jellyfish products

LI Ying-Chang<sup>1,2,3\*</sup>, BAO Gui-Lin<sup>1</sup>, LV Yan-Fang<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Chemistry, Chemical Engineering and Food Safety, Bohai University, Jinzhou 121013, China;  
2. Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Jinzhou 121013, China; 3. Engineering and Technology Research Center of Food preservation, Processing and Safety Control of Liaoning Province, Jinzhou 121013, China)

**ABSTRACT:** The content of nutrients in jellyfish products is rich such as collagen. Collagen has antioxidant and antifatigue, enhance immunity. Jellyfish products were favored by consumers because of its special taste. Aluminum widely exists in jellyfish products and other food, but it is not necessary for human. Aluminum will have the potential chronic toxicity of central nervous system, reproductive system, skeletal and hematopoietic system when aluminum content in body exceeds the standard content. Aluminum will cause great harm to human health. The harm of aluminum on human health, detection method of aluminum, aluminum removal of jellyfish and the prospect of aluminum in the jellyfish products were discussed.

**KEY WORDS:** jellyfish products; aluminum; detection method; research progress

## 1 引言

海蜇为海生的腔肠动物, 是中国传统渔业生产的主要大型经济水母, 分布于温带、亚热带及热带海域, 在我国浙江、福建、山东和广东等沿海领域分布广泛<sup>[1]</sup>。海蜇中含有蛋白质、不饱和脂肪酸、碳水化

合物、维生素和矿物质, 其中胶原蛋白和水分是构成鲜海蜇的主要成分。医学研究表明, 海蜇具有抗氧化、增强免疫力和抗疲劳作用, 并能治疗高血压、支气管炎、哮喘、淋巴结核和矽肺等疾病<sup>[1-5]</sup>。在中国, 盐渍海蜇是重要的水产加工制品之一, 而明矾是其加工过程中的脱水剂。明矾遇水呈酸性, 而蛋白质的

基金项目: 辽宁省食品安全重点实验室开放课题项目(LNSAKF2011016)

**Fund:** Supported by Open Foundation of Food Safety Key Laboratory of Liaoning Province (LNSAKF2011016)

\*通讯作者: 李颖畅, 博士, 副教授, 主要研究方向为水产品贮藏加工与质量安全控制。E-mail: liyingchangsy@sina.com

\*Corresponding author: LI Ying-Chang, Associate Professor, College of Chemistry, Chemical Engineering and Food Safety, Bohai University, Jinzhou 121013, China. E-mail: liyingchangsy@sina.com

等电点偏酸性,蛋白质在等电点时颗粒之间静电斥力最小,溶解度也小,使海蜇保持凝固状态而具有一定的厚度,弹性增加,在一定程度上可以显著提高产品品质,但大量铝与胶原蛋白结合,会引起铝的残留。本文就铝的危害、铝的检测方法和海蜇中铝的去除方法等研究进展进行了综述,以期在海蜇产品的工业化生产提供一定的理论依据。

## 2 铝的危害

由于铝特殊的物理和化学特性,铝、铝化合物和铝合金经常出现在现代生活中,我们装食品的容器和炊具很多都是铝制品,铝盐也常用作食品添加剂。长期以来,铝被认为是一种安全无毒的物质;随着人们对健康的重视和铝元素检测方法的进步,铝的生物毒性逐渐被发现。长期接触铝制品和含铝食品添加剂可能导致人体铝含量增加, Fekete 等<sup>[6]</sup>调查也表明长期接触铝制品和含铝食品会导致体内铝含量增加。Karbouj 等<sup>[7]</sup>发现饮料和食品中的乳酸、草酸和柠檬酸能整合铝离子,使铝制品中铝浸出,浸出能力与铝的存在形式和温度有关。铝对呼吸系统、中枢系统、生殖系统、骨骼和造血系统都有潜在的慢性毒性,导致肺纤维化、透析性脑病、骨病和贫血,也会引起认知能力和记忆力减退、患老年性痴呆症和帕金森综合症和生殖能力下降等<sup>[8-11]</sup>。联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)1989年将铝确定为食品污染物。2006年,联合国粮农组织和世界卫生组织重新评价了铝的安全性。用低于以前安全剂量的铝喂养实验动物,发现对动物的神经系统和生殖系统有潜在的不利影响,因此将铝的安全剂量规定为每千克体重每星期为1 mg<sup>[12]</sup>。

## 3 铝的检测方法

铝的检测方法主要有分光光度法、石墨炉原子吸收法、电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)、电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)和荧光分析法等。

### 3.1 分光光度法

分光光度法是应用于食品检测行业较为普遍的方法。分光光度仪操作简单、成本低,适合检测食品中常量和微量的铝。分光光度计法是以铬天青S为显色剂,Al<sup>3+</sup>与溴化十六烷基三甲胺、铬天青S形成三元络合物,来测定样品中铝含量。罗哲珠等<sup>[13]</sup>采用微

波消解的前处理方法,以铬天青S作为显色剂对水产品中铝进行比色定量,铝在(0.5~6.0 μg)/25 mL时,其吸光度与质量浓度之间的回归方程为 $Y=0.146X+0.0071$ ,相关系数为0.9995,检出限为0.2 μg, RSD为1.31%~3.11%,加标回收率为94.7%~97.0%。付钰洁等<sup>[14]</sup>对国标中铝的测定方法进行了优化,使溴化十六烷基三甲胺浓度由0.2 g/L提高到2 g/L, pH由3.0改成6.0,最大吸收波长由640 nm蓝移到635 nm,生成物稳定性增加,回收率在95%以上。仓国强<sup>[15]</sup>采用铬天青S分光光度法对海蜇中的铝进行了测定,测定条件为聚乙二醇辛基苯醚1 mL,溴代十六烷基吡啶2 mL,铬天青S 3 mL,乙二醇-盐酸缓冲液5 mL。在25 °C条件下反应30 min,吸光度(A)与铝浓度(C)回归方程为 $A=0.018+0.139C$ ,相关系数为0.9994,测得海蜇中铝的含量为(214±5)mg/kg。孟平等<sup>[16]</sup>用胶束增溶分光光度法测定食品中铝的含量,铬天青S(CAS)为显色剂,氯化十六烷基吡啶(CPC)及聚乙二醇辛基苯基醚(乳化剂OP)为增敏剂,组成Al-CAS-CPC-OP四元显色体系,缓冲液pH为6.55,配合物的最大吸收波长为630 nm,回收率94%~102%,提高了反应体系的灵敏度和选择性。张蝉等<sup>[17]</sup>利用Al<sup>3+</sup>在乙二醇-盐酸缓冲溶液中,与铬天青S及溴代十六烷基吡啶(CPB)反应形成蓝绿色四元胶束,在620 nm处测定其吸光度,发现海蜇中铝含量最高。改进后的分光光度法允许pH值范围宽,稳定性好,操作简便,精密度和准确度高。葛少林<sup>[18]</sup>也对铬天青S为显色剂,分光光度法测定食品中铝的方法进行了改进,避免高氯酸对最终显色的影响,减少高氯酸用量,增加硝酸用量,HNO<sub>3</sub>:HClO<sub>4</sub>为10:1。沙鸥等<sup>[19]</sup>以离子液体溴化十四烷基咪唑盐(C<sub>14</sub>minBr)作为新型光度增敏剂测定食品中铝(III),在pH值为4.8的Britton-Robinson缓冲液中,离子液体C<sub>14</sub>minBr对Al<sup>3+</sup>-铬天青体系具有增敏作用,形成Al(III)-CAS-C<sub>14</sub>minBr三元配合物,铝的质量浓度在0.001~0.150 μg/mL范围内符合朗伯比尔定律,回收率为97.8%~101.8%。于辉等<sup>[20]</sup>以对乙酰基偶氮氯膦作为显色剂,在pH4.3乙酸-乙酸钠缓冲体系中,用分光光度法测定食品中铝含量,相对标准偏差为1.03%~2.16%,回收率为96.5%~101.0%。Abbasi等<sup>[21]</sup>通过动力学分光光度法测定了食品样品中微量铝,铝的线性浓度范围为0.07~0.9 μg/mL,检出限为0.034 μg/mL。分光光度法操作简单、检测结果准确

可靠、检测费用较低;缺点是检测过程容易受到一些理化因素影响,如溶液 pH、显色温度、显色时间和体系内其它组分特别是阳离子的干扰,而且需要配制多种试剂,比较费时间。

### 3.2 原子吸收光谱法

自从 19 世纪 50 年代中期至今,原子吸收光谱法作为检测微量、痕量金属元素的方法,被广泛应用于环境、农业、医药、食品和药品等领域。根据原子化装置的不同可分为火焰原子吸收光谱法和石墨炉原子吸收光谱法。石墨炉原子吸收法灵敏度高于火焰原子吸收法,目前应用比较广泛。胡曙光等<sup>[22]</sup>采用石墨炉原子吸收光谱法测定海蜇等食品中的痕量铝,样品量 0.5 g 定容量 25 mL 时,检测限为 0.75 mg/kg,线性范围为 16  $\mu\text{g/L}$ ~250  $\mu\text{g/L}$ ,回收率为 92%~106%。马小宁等<sup>[23]</sup>将食品样品消化后,在 396.2 nm 分析波长下,用石墨炉原子吸收光谱法测定食品中的铝含量,线性范围为 0~200 $\mu\text{g/L}$ ,相关系数 R 为 0.9986,相对标准偏差(RSD)小于 4%。任婷等<sup>[24]</sup>使用微波消解-石墨炉原子吸收光谱法测定 4 种面制食品中铝含量,消解液  $\text{HNO}_3$  和  $\text{H}_2\text{O}_2$  体积比 7:1,微波功率 1000 W,190  $^\circ\text{C}$  消解 40 min;灰化温度 1350  $^\circ\text{C}$ ;原子化温度 2400  $^\circ\text{C}$ ;基体改进剂硝酸镁 1 g/L;标准曲线相关系数为 0.9999,相对标准偏差(RSD)1.7%~2.4%,回收率 98.16%~102.67%。Bratakos 等<sup>[25]</sup>也用石墨炉原子吸收光谱法测定了食品中铝含量,铝含量范围 0.02~741.2 mg/kg。López 等<sup>[26]</sup>用石墨炉原子吸收法测定了食品和饮料中铝含量,检测限为 4.0  $\mu\text{g}$ ,回收率为 98.5%~99.0%,变异系数 3.2%~5.2%,结果表明海产品铝含量 1.362~6.610  $\mu\text{g/g}$ ,蔬菜中铝含量 0.171~29.688  $\mu\text{g/g}$ ,乳制品 0.424~6.610  $\mu\text{g/g}$ ,饮料 25.600~58.057  $\mu\text{g/g}$ 。Cabrera-Vique 等<sup>[27]</sup>通过对西班牙南部家庭人员和大学生连续摄入样品 7 d,通过石墨炉原子吸收法测定摄入铝量,家庭人员和学生摄入铝量平均值分别为 2.93 mg/d,1.01 mg/d。石墨炉原子吸收光谱法能满足各类食品中铝含量检测的要求,但是石墨炉原子吸收法测定食品中的铝时也存在非光谱的干扰,致使测定的灵敏度降低,因此对石墨管的要求较高。同时铝的原子化温度较高,易造成石墨管寿命缩短。

### 3.3 电感耦合等离子体发射法和电感耦合等离子体质谱法

电感耦合等离子体发射法(ICP-AES)和电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)是测定环境、食品和冶金等样品微量铝的常用方法。电感耦合等离子体发射法是利用高频感应耦合等离子体为光源的发射光谱分析方法,首先利用激发光源使样品蒸发汽化、离解、电离为离子状态,并在光源中激发发光,再通过光谱仪器按波长将光分解、排列,最后利用光学仪器检测光谱,从而对试样进行定性定量分析。杨定清等<sup>[28]</sup>采用电感耦合等离子体发射法测定食品中铝,检出限为 0.15 mg/kg,精密度 RSD 为 5.8%,回收率为 92%~97%,Al 浓度在 0~6 mg/L 范围内,相关系数为 0.9996,优于国标比色法。电感耦合等离子体-质谱法是 19 世纪 80 年代发展起来的多元素同时分析技术,除少数几种元素和惰性气体外,几乎可以分析地球上所有元素。ICP-MS 以独特的接口技术将 ICP 的高温电离特性与质谱计的灵敏快速扫描的优点相结合,形成一种新型元素和同位素分析技术,具有线性范围宽、检出限极低、干扰少、分析精密度高、分析速度快以及可以提供同位素信息等特点。侯建荣等<sup>[29]</sup>采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定油条中铝,检出限为 11.2  $\mu\text{g/kg}$ ,相对标准偏差均小于 4.9%,回收率为 93.0%~98.0%。Frankowski 等<sup>[30]</sup>采用电感耦合等离子体发射法(ICP-AES)和电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)对地下水样品含铝量进行了测定。Deng 等<sup>[31]</sup>采用电感耦合等离子体质谱法对深圳加工食品铝含量进行了测定,发现一些加工食品中含铝高达 1226 mg/kg,大约是中国食品标准的 12 倍,食品原材料中铝含量只有 0.10~451.5 mg/kg,说明加工食品的主要来自食品添加剂,因此今后要选择无铝食品添加剂。电感耦合等离子体发射法和电感耦合等离子体质谱法在测定食品中铝有很大优势,但仪器价格比较昂贵,在基层单位推广应用有一定困难。

### 3.4 其他检测铝的方法

张耀明<sup>[32]</sup>采用荧光光度法测定食品中铝含量,水杨醛-2-羧基苯胺为荧光试剂,在 pH4.0 的乙醇/水(3.5: 6.5, V/V)溶液中,水杨醛-2-羧基苯胺与铝离子形成稳定的络合物,组成比为 1:1,激发波长为 316.8 nm,发射波长为 456.0 nm。铝的荧光分析方法的线性范围为 0.5~120  $\mu\text{g/L}$ ,检出限为 0.20  $\mu\text{g/L}$ 。陈素军等

[33]采用铝试剂盒法对食品中铝进行测定。样品中铝浓度在 0~0.5 mg/L 时, 摩尔吸光系数为  $2.9 \times 10^5$  L/(mol·cm), 检出限为 0.5  $\mu$ g, 加标回收率为 95.0%~97.5%, 相对标准偏差(RDS)小于 10%。Lian 等[34]以槲皮素为显色剂, 乙酸-乙酸铵为缓冲液, 研究了高效液相色谱法测定游离铝的反应条件。Sweileh 等[35]采用固相萃取提取食品样品中的铝, 用碳纳米管作为吸附剂使铝离子与 D-甘露醇形成复合物, 通过红外光谱法测定铝含量。Abdolmohammad-Zadeh 等[36]结合基于离子液体的分散, 液液微萃取与停流荧光分光光度法(SFS)评价不同样品中痕量铝的浓度。Arvand 等[37]使用改性聚合物膜结构传感器, 电位法直接测定食品中的铝。

#### 4 海蜇中铝的去除方法

新鲜海蜇的传统加工中采用初矾、二矾、三矾的腌渍过程, 在海蜇加工中大量使用明矾, 海蜇成品和半成品中残留大量铝元素, 造成海蜇中铝含量严重超标。杨贤庆等[38]将盐渍海蜇丝 60~70  $^{\circ}$ C 热烫 20~30 s, 流水池中漂洗 3~8 min, 然后在另一流水池中漂洗 20~40 min, 再先后用 4 个静水池漂洗, 每次漂洗 20~40 min, 即得到脱矾脱盐的海蜇丝。姜永江等[39]将海蜇丝浸泡在 100 ppm 臭氧水中浸泡 60~80 h, 达到海蜇丝脱矾目的。陈建文[40]用 2% 柠檬酸浸泡海蜇 3~12 h, 每隔 0.5~1 h 搅拌 1 次, 浸泡后, 采用清水冲洗。刘淇等[41]采用柠檬酸和丙酸钙的混合溶液浸泡海蜇, 1 L 上述的混合溶液含有柠檬酸 10~20 mL, 食品级丙酸钙 10~20 g, 海蜇与混合溶液的比为 1:1~1:10 (kg/L), 浸泡时间大于 2 h, 用此方法海蜇皮铝含量由 690 mg/kg 降到 72 mg/kg, 海蜇头中铝含量由 675 mg/kg 降到 65 mg/kg。叶湖等[42]用 500 mL 1% 醋酸溶液浸泡 20 g 海蜇的比例浸泡 6 h, 可将铝残留量(湿基)降至 57 mg/kg。

#### 5 展望

电感耦合等离子体发射法(ICP-AES)和电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)检测方法快速准确, 灵敏度高, 适合批量检测, 但仪器价格昂贵, 不适合在基层单位推广。原子吸收光谱法受原子化温度的限制, 基体干扰比较大, 使用受到很大的限制。分光光度法测定食品中铝是最为普遍的方法, 但显色剂的稳定

性是问题的关键。今后铝的检测方法着重研究合成显色稳定的显色剂, 研究一种快速、简便和成本低的检测方法。测定海蜇等食品中铝含量, 一般需要对样品进行前处理, 湿法消解法环境污染严重, 杂质干扰多, 酸空白高, 干法消化对灰化温度和时间要求比较严格, 采用微波消解法, 其消解效率高, 酸空白低, 铝元素损失少, 环境污染小等优点, 但需要预消解, 超高压微波消解法解决了所有消解的问题, 会被越来越多的实验室采用。海蜇是营养价值高的食品, 常规保存方式是用明矾处理形成盐渍海蜇, 造成铝的超标, 在使用时通常是用清水或者醋酸浸泡, 但用水浸泡铝很难除净, 用醋酸浸泡海蜇变软, 口感变差, 寻找一种既能去除海蜇中铝又能保持海蜇的品质的工艺也是值得探讨的问题。通过研究其他对人体无害的食品添加剂代替明矾, 海蜇加工中添加无铝食品添加剂, 减少铝对人体的危害也是今后的一个研究和海蜇加工的发展方向。

#### 参考文献

- [1] 杨永芳, 黄芳芳, 丁国芳. 水母的化学成分及生物活性的研究进展[J]. 浙江海洋学院学报, 2009, 28(1): 86-90.  
Yang YF, Huang FF, Ting GF. Research progress on chemical compositions and bioactivities of Jellyfish[J]. J Zhejiang Ocean Univ (Nat Sci), 2009, 28(1): 86-90.
- [2] Morishige H, Sugahara T, Nishimoto S, *et al.* Immunostimulatory effects of collagen from jellyfish in vivo[J]. Cytotechnol, 2011, 63: 481-492.
- [3] Ding FJ, Li YY, Xu JJ, *et al.* Study on effect of jellyfish collagen hydrolysate on anti-fatigue and anti-oxidation[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25: 1350-1353.
- [4] Zhuang YL, Hou H, Zhao X, *et al.* Effects of collagen and collagen hydrolysate from jellyfish(*Rhopilema esculentum*) on mice skin photo aging induced by UV irradiation[J]. J Food Sci, 2009, 74 (6): 183-188.
- [5] Hoyer B, Bernhardt A, Lode A, *et al.* Jellyfish collagen scaffolds for cartilage tissue engineering[J]. Acta Biomaterialia, 2014, 10: 883-892.
- [6] Fekete V, Vandevijvere S, Bolle F, *et al.* Estimation of dietary aluminum exposure of the Belgian adult population: Evaluation of contribution of food and kitchenware[J]. Food Chem Toxicol, 2013, 55: 602-608.
- [7] Karbouj R. Aluminum leaching using chelating agents as compositions of food [J]. Food Chem Toxicol, 2007, 45(9): 1688-1693.
- [8] Schäfer U, Seifert M. Oral intake of aluminum from foodstuff,

- food additives, food packaging, cookware and pharmaceutical preparations with respect to dietary regulations[J]. Trace Elements Electrolytes, 2006, 23(3): 150-161.
- [9] 冯改丰, 王唯析, 胡海涛, 等. 铝中毒对 SD 大鼠海马结构内 SS 神经元的影响[J]. 微量元素与健康研究, 2002, 19(2): 6-7. Feng GF, Wang WX, Hu HT, *et al.* Aluminum toxicity effect on SS neurons in hippocampus of SD rat[J]. J Studies Trace Elements Health, 2002, 19(2): 6-7.
- [10] 郭贵文, 吴亚兰, 杨小红, 等. 氯化铝对大鼠脑组织胶质酸性纤维蛋白和淀粉样  $\beta$ -蛋白前体基因表达的影响[J]. 中国药理学与毒理学, 1999, 13(3): 227-230. Guo GW, Wu YL, Yang XH, *et al.* Effects of aluminum chloride on the gene expression of glial fibrillary acidic protein and amyloid beta protein of brain in rat[J]. Chin J Pharmacol Toxicol, 1999, 13(3): 227-230.
- [11] 常淑贞, 赵二劳. 环境铝污染与人体健康[J]. 忻州师范学院学报, 2012, 28(5): 3-4, 26. Chang SZ, Zhao EL. Aluminum contamination of the environment and human health[J]. J XinZhou Teachers Univ, 2012, 28(5): 3-4, 26.
- [12] Wong WKK, Chung SWC, Kwong KP, *et al.* Dietary exposure to aluminum of the Hong Kong population[J]. Food Add Contaminants, 2010, 27(4): 457-463.
- [13] 罗哲珠, 丘婷婷, 范江平, 等. 微波消解-分光光度法测定水产品中的铝[J]. 广东化工, 2013, 40(9): 164-165. Luo ZZ, Qiu TT, Fan JP, *et al.* Detection of aluminum in aquatic product by spectrophotometry with microwave digestion[J]. Guangzhou Chem Ind, 2013, 40(9): 164-165.
- [14] 付钰洁, 郝雪菲, 张晓凤, 等. 对食品中铝含量国标测定方法的改进[J]. 食品科学, 2007, 28(8): 392-394. Fu YJ, Hao XF, Zhang XF, *et al.* Improvement of national standard method of determination of aluminum content in food[J]. Food Sci, 2007, 28(8): 392-394.
- [15] 仓国强. 铬天青 S 分光光度法测定海蜇中的铝[J]. 首都公共卫生, 2010, 4(6): 281-282. Cang GQ. Determination of aluminum in jellyfish by Chromazurol S spectrophotometric method[J]. Capital J Public Health, 2010, 4(6): 281-282.
- [16] 孟平, 邱森森, 方婷, 等. 胶束增溶分光光度法测定食品中铝的含量[J]. 中国食品学报, 2011, 1(1): 239-242. Meng P, Qiu MM, Fang T, *et al.* Determination of aluminum content in food by optimized micellar solubilization spectrophotometry[J]. J Chin Institute Food Sci Technol, 2011, 11(1): 239-242.
- [17] 张蝉, 王洪彬, 申梅桂. 食品中铝的测定及超标对人体的危害[J]. 光谱实验室, 2013, 32(2): 746-750. Zhang C, Wang HB, Shen MG. Exceeding aluminum in food to human body harm and its determination[J]. Chin J Spectrosc Lab, 2013, 32(2): 746-750.
- [18] 葛少林. 食品中铝的检测方法改进以及污染状况研究[J]. 河南预防医学杂志, 2011, 22(5): 346-347, 376. Ge SL. Detection of aluminum in foods and the pollution of improvement [J]. Henan J Pre Med, 2011, 22(5): 346-347, 376.
- [19] 沙鸥, 丁军楠, 马卫兴. 离子液体作为新型光度增敏剂测定食品中微量铝(III)[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 156-159. Sha O, Ding JN, Ma WX. Determination of trace aluminum in foods by ionic liquid sensitized spectrophotometric method[J]. Food Sci, 2013, 34(6): 156-159.
- [20] 于辉, 翟庆洲, 胡伟华, 等. 光度法测定食品中痕量铝—用对乙酰基偶氮氯磷作显色剂[J]. 理化检验-化学分册, 2008, 44: 28-29, 32. Yu H, Zhai QZ, Hu WH, *et al.* Photometric determination of traces of aluminum in foodstuffs with p-acetylchlorophonazo as color reagent[J]. PTCA (Part B: Chem Anal), 2008, 44: 28-29, 32.
- [21] Abbasi S, Farmany A, Gholivand MB, *et al.* Kinetic-spectrophotometry method for determination of ultratrace amounts of aluminum in food samples[J]. Food Chem, 2009, 116: 1019-1023.
- [22] 胡曙光, 梁春穗, 鲁林, 等. 石墨炉原子吸收法测定食品安全风险监测中痕量铝[J]. 中国卫生检验杂志, 2012, 22(3): 453-458. Hu SG, Liang CY, Lu L, *et al.* Determination of trace aluminum in food safety risk monitoring by graphite furnace atomic absorption spectrometry[J]. Chin J Hyg Inspection, 2012, 22(3): 453-458.
- [23] 马小宁, 向晓黎, 陈霞. 石墨炉原子吸收光谱法测定食品中的铝含量[J]. 化学分析计量, 2013, 22(1): 60-62. Ma XL, Xiang XL, Chen X. Determination of aluminum in foods by graphite furnace atomic absorption spectrometry[J]. Chem Anal Meterage, 2013, 22(1): 60-62.
- [24] 任婷, 赵丽娇, 钟儒刚. 高分辨连续光源石墨炉原子吸收光谱法测定面粉食品中的铝[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(12): 3388-3391. Ren T, Zhao LJ, Zhong RG. Determination of aluminum in flour food by graphite furnace atomic absorption spectrometric method with high resolution continuum source[J]. J Spectroscopy Spectral Anal, 2011, 31(12): 3388-3391.
- [25] Bratakos SM, Lazou AE, Bratakos MS, *et al.* Aluminium in food daily dietary intake estimate in Greece[J]. Food Add Contaminants: Part B, 2012, 5(1): 33-44.
- [26] López FF, Cabrera C, Lorenzo ML, *et al.* Aluminum content in foods and beverages consumed in the Spanish diet[J]. Food

- Chem Toxicol, 2000, 65(2): 206–210.
- [27] Cabrera-Vique C, Mesías M. Content and bioaccessibility of aluminium in duplicate diets from southern Spain[J]. J Food Sci, 2013, 78(8): 1307–1312.
- [28] 杨定清, 周娅, 谢永红, 等. 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定食品中的铝[J]. 四川环境, 2010, 29(5): 49–53.  
Yang DQ, Zhou Y, Xie YH, *et al.* Determination of aluminum in foods by ICP-AES[J]. Si Chuan Environment, 2010, 29(5): 49–53.
- [29] 侯建荣, 贺小平, 彭荣飞, 等. 电感耦合等离子体质谱测定油条中的铝[J]. 中国食品卫生杂志, 2008, 20(2): 142–143.  
Hong JR, He XP, Peng RF, *et al.* Determination of aluminum in Deep-Fried Dough Sticks by ICP-MS [J]. Chin J Food Hyg, 2008, 20(2): 142–143.
- [30] Frankowski M, Ziola-Frankowska A, Kurzyca I, *et al.* Determination of aluminum in groundwater samples by GF-AAS, ICP-AES, ICP-MS and modeling of inorganic aluminum complexes[J]. Environ Monit Assess, 2011, 182: 71–84.
- [31] Deng GF, Li K, Ma J, *et al.* Aluminum content of some processed foods, raw materials and food additives in China by inductively coupled plasma-mass spectrometry[J]. Food Add Contaminants: Part B, 2011, 4(4): 248–253.
- [32] 张耀明. 荧光光度法测定食品中的铝[J]. 山东轻工业学院学报, 2010, 24(4): 17–19.  
Zhang YM. Fluorescence spectrophotometry determination of aluminum in foods[J]. J Shandong Institute light Ind, 2010, 24(4): 17–19.
- [33] 陈素军, 郭郁. 试剂盒法快速测定食品中铝[J]. 中国卫生检验杂志, 2007, 17(4): 662, 719.  
Chen SJ, Guo Y. Rapid determination of aluminum in food by kit method[J]. Chin J Hyg Inspection, 2007, 17(4): 662, 719.
- [34] Lian HZ, Kang YF, Bi SP, *et al.* Direct determination of trace aluminum with quercetin by reversed-phase high performance liquid chromatography[J]. Talanta, 2004, 62: 43–50.
- [35] Sweileh JA, Misef KY, El-Sheikh AH, *et al.* Development of a new method for determination of aluminum (Al) in Jordanian foods and drinks: Solid phase extraction and adsorption of Al<sup>3+</sup>-D-mannitol on carbon nanotubes[J]. J Food Composition Anal, 2014, 33: 6–13.
- [36] Abdolmohammad-Zadeh H, Sadeghi GH. Combination of ionic liquid-based dispersive liquid-liquid micro-extraction with stopped-flow spectrofluorometry for the pre-concentration and determination of aluminum in natural waters, fruit juice and food samples[J]. Talanta, 2010, 81(3): 778–785.
- [37] Arvand M, Kermanian M, Zanjanchi MA. Direct determination of aluminum in foods and pharmaceutical preparations by potentiometry using an AIMCM-41 modified polymeric membrane sensor [J]. Electrochimica Acta, 2010, 55(23): 6946–6952.
- [38] 杨贤庆, 黄卉, 李来好, 等. 一种保水即食天然海蜇的加工方法: 中国, 201210244403.1[P]. 2012. 7. 13.  
Yang XQ, Huang H, Li LH, *et al.* Several processing methods of preserving water and instant natural jellyfish: China, 201210244403.1[P]. 2012. 7. 13.
- [39] 姜永江, 柳丽, 马天祥. 一种即食海蜇的加工方法: 中国, 201110077833.4[P]. 2011. 3. 10.  
Lou YJ, Liu L, Ma TX. Processing method of instant jellyfish: China, 201110077833.4[P]. 2011. 3. 10.
- [40] 陈建文. 一种用于海蜇加工中脱铝的工艺方法: 中国, 201310267184.3[P]. 2013. 6. 30.  
Chen JW. A processing method for removal of aluminum in jellyfish: China, 201310267184.3[P]. 2013. 6. 30.
- [41] 刘淇, 曹荣, 殷邦忠, 等. 一种降低盐渍海蜇中铝残留量的方法: 中国, 201310326577.7[P]. 2013. 7. 30.  
Liu Q, Cao R, Yin BZ, *et al.* A reduction method of residual aluminum in salted jellyfish: China, 201310326577.7 [P]. 2013. 7. 30.
- [42] 叶湖, 陈英, 赵晓峰, 等. 海蜇中铝限量标准探讨及安全食用建议[J]. 中国食品卫生杂志, 2013, (3): 32–34.  
Ye H, Chen Y, Zhao XF, *et al.* Aluminum limited standard in jellyfish and recommendations of food safety [J]. Chin J Hyg Inspection, 2013, (3): 32–34.

(责任编辑: 邓伟)

## 作者简介



李颖畅, 博士, 副教授, 主要研究方向为水产品贮藏加工与质量安全控制。  
E-mail: liyingchangsy@sina.com