

## 宁波市地产蔬菜 5 种重金属点风险评估

朱勇, 江潇潇, 罗宗涛, 凌淑萍, 陈国 (农业部农产品质量安全风险评估实验室(宁波), 浙江宁波 315040)

**摘要** [目的]了解宁波市地产蔬菜重金属残留的风险水平。[方法]对宁波市 2014—2015 年地产蔬菜的 843 批次样品中铅、镉、铬、汞、砷 5 种重金属的残留量进行检测,并根据国家标准《GB 2762—2012 食品安全国家标准 食品中污染物限量》最大残留限量(MRL)和(FAO)/(WHO)食品添加剂联合专家委员会(JECFA)推荐的健康风险评估模型进行风险评估。[结果]膳食暴露评估表明,单一重金属风险从小到大依次为砷、汞、镉、铅和铬,其中铅、镉、汞、砷风险商 $\leq 100\%$ ,表示风险可以接受;铬的风险商为 139%,表明有一定的风险,但考虑到铬的价态以及摄入量的规定,风险程度不高。[结论]比较 MRL 与膳食暴露评估方式,MRL 直接快速,适合日常快捷使用,膳食暴露评估计算相对比较复杂,需要辅助其他参数,参数越精准,评价越可靠。

**关键词** 蔬菜;重金属;风险评估;宁波

**中图分类号** S-3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)31-0008-04

## The Point Risk Assessment of Five Kinds of Heavy Metals in Vegetables Planted in Ningbo City

ZHU Yong, JIANG Xiao-xiao, LUO Zong-tao et al (Agricultural Products Quality Safety Supervision Inspection and Test Center, Ministry of Agriculture, Ningbo, Zhejiang 315040)

**Abstract** [Objective] The aim was to understand the risk level of heavy metal residues in vegetables planted in Ningbo City. [Method] A total of 843 vegetable samples were collected from 2014 to 2015, in which five kinds of heavy metals (lead, cadmium, chromium, mercury, arsenic) residues were detected by standard methods. The maximum residue limit (MRL) from the national standard "GB 2762-2012 food safety national standard food pollutant limit" and the health risk assessment model recommended by the Joint FAO/WHO expert committee on food additives (JECFA) were used for the risk assessment. [Result] The dietary exposure assessment indicated that the risk of single heavy metal was; arsenic < mercury < cadmium < lead < chromium. Among them, The risk quotient of cadmium, mercury and arsenic was less than 100%, which indicated that the risk was acceptable. The risk quotient of chromium was 139%, which indicated that it had a certain risk, but if we considered the price of chromium and the regulation of intake, the risk level of chromium was not high. [Conclusion] Compared of MRL and dietary exposure assessment methods, MRL is a fast, and suitable method for daily use. While the calculation of dietary exposure assessment is relatively complicated, and other parameters need to be assisted, the more accurate parameters are, the more reliable evaluation is.

**Key words** Vegetables; Heavy metals; Risk assessment; Ningbo

蔬菜作为人们日常饮食的基础,不可或缺,尤其是浙江省居民,膳食模型以植物性食物为主<sup>[1]</sup>。随着农业集约化水平的提高,为了提高土壤肥力,以复合肥、有机肥为代表的农业投入品使用力度不断加大,蔬菜产量取得突破性发展。宁波以在全省率先基本实现农业现代化为目标,发展都市现代农业建设不断深入,由于农户个体种植的土地面积少,农户种植蔬菜比种植其他作物有更多的获得感,地产蔬菜每年大量供应本地及外地市场。虽然多年来未发生重大农产品质量安全事故,但农产品安全没有零风险,只能努力将风险降低,降到可控范围。最近几年各级政府在对农产品质量安全例行监测,监督检查的投入力度很大,宁波的农产品合格率也维持在高水平上<sup>[2-4]</sup>。但随着工农业的快速发展,我国农田土壤和农产品受重金属污染现象十分严重,给蔬菜产品的质量带来严重隐患。笔者对 2014—2015 年宁波市地产蔬菜铅、镉、铬、汞、砷 5 种重金属进行评估,探讨了居民因食用地产蔬菜而摄入重金属可能引起的健康风险,科学评价了宁波地产蔬菜重金属方面的质量安全。

## 1 材料与方

## 1.1 材料

1.1.1 供试样品。2014—2015 年在宁波市江北、镇海、北

仑、象山、宁海、奉化、鄞州、慈溪、余姚 9 个县(市、区)的种植大户、生产基地,随机抽取芸薹属类、叶菜类、茄果类、瓜类、豆类、鳞茎类、茎类、根茎类和薯芋类、水生类和玉米<sup>[5]</sup>等蔬菜样品 843 批次,每批次样品不少于 3 kg。

1.1.2 主要仪器与试剂。PinAAcle 900 原子吸收光谱仪,美国珀金埃尔默公司;AFS-9330 原子荧光光度计,北京吉天仪器有限公司;Milli-QADVA10 超纯水仪,默克密理博公司;DigiBlock 电热消解仪,北京莱伯泰科仪器股份有限公司。5 种重金属元素标准物质,圆白菜标准物质均从国家标准物质研究中心采购。重金属检测分析过程中所用硝酸为 UPS 级,采自苏州晶瑞化学股份有限公司;高氯酸为优级纯,采自上海国药集团;试验所用超纯水(18.2 M $\Omega$ )由密理博超纯水仪制得;试验器皿均用 30% 硝酸溶液浸泡 24 h 后使用。

## 1.2 方法

1.2.1 样品制备。样品采集后,用自来水清理表面的泥土等污物,再用纯净水冲洗,去除非食用部分,经缩分后,将其切碎,充分混匀放入打浆机粉碎匀浆。放入塑料盒中,于 -20 ~ -16 °C 条件下保存,备用。

## 1.2.2 样品检测。

1.2.2.1 铅、镉、铬、汞和砷。铅、镉、铬、汞和砷分别采用 GB 5009.12—2010<sup>[6]</sup>、GB 5009.15—2014<sup>[7]</sup>、GB 5009.123—2014<sup>[8]</sup>、GB 5009.17—2014<sup>[9]</sup>、GB 5009.11—2014<sup>[10]</sup>等方法进行检测。

1.2.2.2 铅、镉和铬。称取 3 g 左右的样品置于消解罐中,

**基金项目** 宁波市科技局农业攻关项目(2014C10058);第二期宁波市科技新苗培养计划(甬教基[2016]415号)。

**作者简介** 朱勇(1978—),男,浙江普陀人,高级农艺师,从事农产品质量检测研究。

**收稿日期** 2017-08-04

加入 10 mL 硝酸,预消解后用电热消解仪消化,待硝酸澄清透明后,开盖,赶酸至近干,取出冷却,用 0.5% 硝酸定容至 50 mL。上机检测。

**1.2.2.3 汞。**称取 2 g 左右的样品置于消解罐中,加入 10 mL 硝酸,预消解后用电热消解仪消化,待硝酸澄清透明后,取出冷却,用超纯水定容至 50 mL。上机检测。

**1.2.2.4 砷。**称取 3 g 左右的样品置于消解罐中,加入 10 mL 硝酸,预消解后用电热消解仪消化,待硝酸澄清透明后,开盖,取出冷却,加入 2 mL 硫脲 + 抗坏血酸溶液,用超纯水定容至 50 mL。上机检测。

**1.2.3 质量控制。**实验室为了追求数据的准确性,每批次样品增加圆白菜标准物质(GBW10014),用 0.5% 硝酸配制标液,外标法定量。检测过程中均做试剂空白,要求圆白菜 5 种重金属元素的数值符合要求。

**1.2.4 未检出值的处理。**由于检测方法和仪器的局限以及痕量数据的客观存在,检测结果中含有相当比例的低于方法检出限的数值,为尽可能有效利用这部分数据,该研究采用 WHO 推荐的替代法对低于检出限的数值进行处理,即选用

较为通行的 1/2LOD(方法最低检出限)代替未检出值。

**1.2.5 膳食暴露评估。**地产蔬菜重金属膳食风险点评估,首先需要整合蔬菜中 5 种重金属的含量数据和目标人群每日蔬菜消费量及人体的体重,得到膳食暴露量的估计值,再将结果与相应的健康指导值进行比较,权衡风险。

根据《2009—2012 年浙江省居民营养与健康状况监测》,浙江省人均摄入蔬菜量为 283.7 g/d,假设摄入的蔬菜均为单一蔬菜品种,不再食用其他蔬菜,其他摄入的食品均不含重金属;同时假设成人平均体重为 60 kg。评价标准采用国家标准《GB 2762—2012 食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[11]</sup> 规定的各元素的限量以及联合国粮农组织(FAO)/世界卫生组织(WHO)食品添加剂联合专家委员会(JECFA)制定的各元素每周可耐受摄入量(PTWI)或每月耐受摄入量(PTMI)。5 种重金属的健康指导值详见表 1。由于 5 种重金属的健康指导值可分为按月、按周和日计算,在食用量计算时考虑到此影响,分别在按月计算时在每日的基础上乘以 30 作为月摄入量,按周计算时在每日的基础上乘以 7 作为周摄入量。

表 1 5 种重金属限量情况

Table 1 The situation of 5 heavy metals limit

依据 Standard	铅 Pb	镉 Cd	铬 Cr	汞 Hg	砷 As
GB 2762—2012	新鲜蔬菜(以下除外) 0.1 mg/kg 芸薹属类、叶菜类 0.3 mg/kg 豆类、薯类 0.2 mg/kg	新鲜蔬菜(以下除外) 0.05 mg/kg 叶菜 0.2 mg/kg 豆类、块根和块茎、茎类 (芹菜除外) 0.1 mg/kg 芹菜 0.2 mg/kg	新鲜蔬菜 0.5 mg/kg	新鲜蔬菜 0.01 mg/kg	新鲜蔬菜 0.5 mg/kg
JECFA	*每周耐受摄入量 (PTWI) 25 $\mu\text{g}/\text{kg}$	每月耐受摄入量(PTMI) 25 $\mu\text{g}/\text{kg}$	** 20 $\mu\text{g}/\text{d}$	PTWI 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$	每日耐受摄入量 (TDMI) 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$

注: \* 2010 年,联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WHO)食品添加剂联合专家委员会(JECFA)根据近期的研究结果认为,原先制定的铅的暂定每周耐受摄入量(PTWI) 25  $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}$  会引起儿童智商(IQ)至少下降 3 个值,导致成人收缩压至少升高 3 mmHg。因此,JECFA 撤销了该 PTWI 值,并认为目前尚无法确定一个可有效保护健康的铅暴露阈值,建议各成员国采取措施,尽可能降低铅暴露。由于没有新的 PTWI 值建立,该研究仍以原值代替。\* 联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WHO)食品添加剂联合专家委员会(JECFA)没有规定铬的 PTWI 值,CAC、美国、日本、澳大利亚、新西兰和中国台湾地区未规定食品中铬限量。欧盟仅规定了明胶、胶原蛋白中铬限量,中国香港规定了谷类、蔬菜、鱼、蟹、蚝、明虾、小虾、动物肉类和家禽肉类中铬限量。铬在自然界中主要以三价铬、六价铬的形态存在,三价铬是人体必需的营养元素,六价铬是一级致癌物。由于形态分析的困难,在制定限量时多以总铬含量为指标。该研究以较严格的美国 NSF 草案为推荐值<sup>[12]</sup>

Note: \* In 2010, according to the results of recent studies of the Joint FAO/WHO expert committee on food additives (JECFA), which considered that the original established provisional tolerable weekly intake (PTWI) of lead 25  $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{bw}$  can cause children's intelligence quotient (IQ) fell by at least three values, and it would cause adult systolic blood pressure to rise by at least 3 mmHg. Therefore, JECFA revoked the PTWI value and decided that it was not yet possible to determine an effective protective healthy lead exposure threshold, so they suggest that members should take measures by minimizing the lead exposure. Since no new PTWI values are established, this article is still replaced with the original value. \* As JECFA does not stipulate the chrome PTWI value. There are no limits on chromium in food in CAC, America, Japan, Australia, New Zealand and Taiwan. The European Union only stipulates the chromium limit of gelatin and collagen. Hong Kong regulates the chromium limit in cereals, vegetables, fish, crabs, oysters, prawns, shrimp, meat and poultry meat. Chromium is mainly in the form of Chromium III and Cr IV in nature, Chromium III is the essential nutrient element for the human body, which Cr IV is a primary carcinogen. Due to the difficulty of morphological analysis, the limit of the total chromium content is the index. The recommended value for this article comes from the more stringent U. S. NSF draft

每日膳食暴露估计值通过以下公式计算:

$$y_d = xc/w$$

式中,  $y_d$  代表每人每日由蔬菜摄入某种重金属的量 ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ );  $x$  代表每人每日的蔬菜消费量 ( $\text{g}/\text{d}$ );  $c$  代表蔬菜中某种重金属的含量 ( $\text{mg}/\text{kg}$ );  $w$  代表个体的体重 ( $\text{kg}$ )。

$$\text{每周膳食暴露量: } y_w = y_d \times 7$$

$$\text{每月膳食暴露量: } y_m = y_d \times 30$$

风险商  $= y_{d,w,m} / \text{TDMI (PTWI, PTMI)}$ 。当风险商  $> 100\%$

时,表示存在不可接受的较大风险,数值越大,风险越大;当风险商  $\leq 100\%$  时,表示风险可以接受,数值越小,风险越小。

## 2 结果与分析

**2.1 总体情况** 2014、2015 年共抽取各类蔬菜样品 843 批次,铅、镉、铬、汞、砷各种重金属元素的最小值、最大值和平均值见表 2。843 批次的蔬菜样品,铅含量在 0.002 5 ~ 0.102 0  $\text{mg}/\text{kg}$ ,占样品总数的 91.3%;镉含量在 0.000 05 ~ 0.032 00  $\text{mg}/\text{kg}$ ,占样品总数的 81.0%;铬含量在 0.005 ~

0.177 mg/kg,占样品总数的 82.7%;汞含量在 0.000 075 ~ 0.002 130 mg/kg,占样品总数的 88.0%;砷含量在 0.005 ~ 0.310 mg/kg,占样品总数的 95.6%。虽然 5 个重金属元素的最大值均超过了 GB 2762—2014 所规定的最大残留限量,但从样品比例来看,低含量的样品占绝大多数,将 5 种重金属按含量与样品个数之间的正态分布关系图来看,除了镉元素,其他 4 种元素检出的数值均比较集中(图 1)。

**2.2 重金属膳食风险点评估** 将 5 种重金属元素的检出最大值、平均值以及 GB 2762—2014 的限量值代入,根据“1.2.5”计算公式,分别得出对应的风险商进行重金属膳食风险点评估。由表 3 可知,如果按照最大值计算,铬、铅存在

表 2 宁波市地产蔬菜中 5 种重金属含量特征

元素 Element	最小值* The minimum value	最大值 The maximum value	平均值 Average value
铅 Pb	0.002 5	1.5	0.045
镉 Cd	0.000 05	0.16	0.021
铬 Cr	0.005	1.3	0.097
汞 Hg	0.000 075	0.015 5	0.001 2
砷 As	0.005	4.6	0.073

注:\*根据“1.2.4”步骤,未检出的数据用 1/2LOD 代替

Note:\* according to this article “1.2.4”, not detected data with 1/2LOD instead

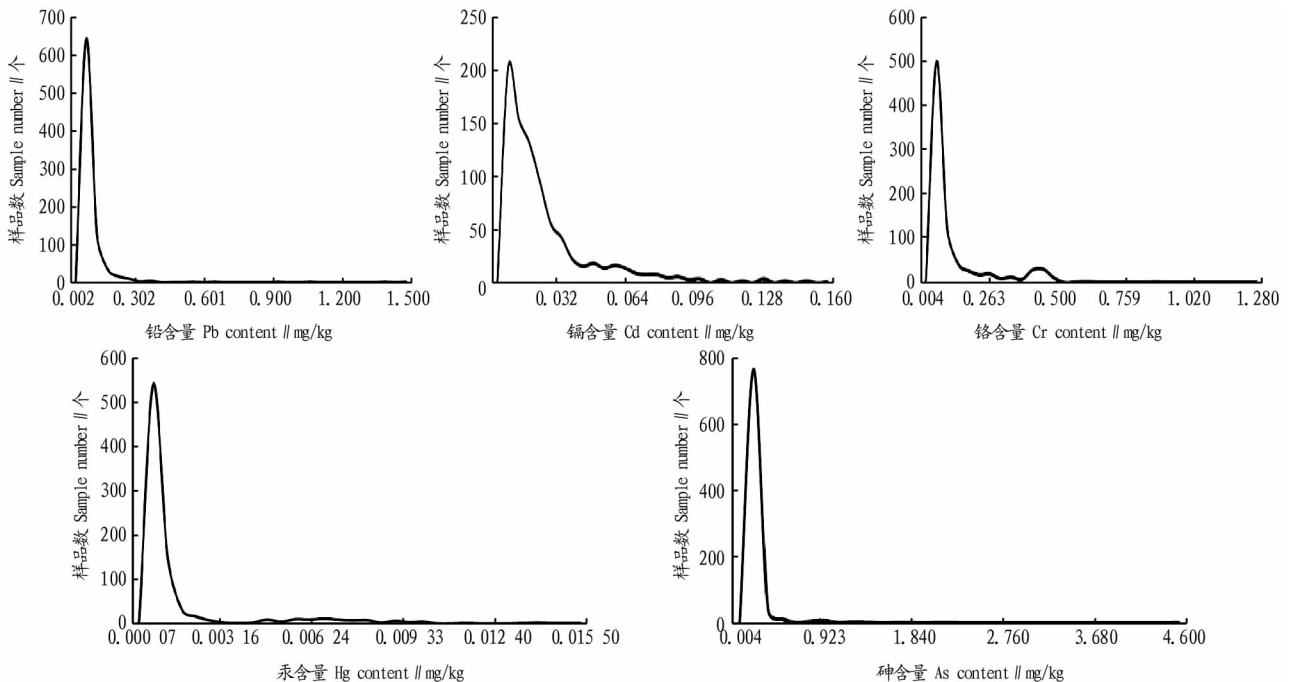


图 1 宁波市地产蔬菜中 5 种重金属含量正态分布

Fig. 1 The normal distribution of 5 heavy metals in vegetables in Ningbo

较大的风险,特别是铬的风险比较严重;按照平均值进行风险商判断,铬还是有较大的风险,铅、镉、汞、砷的风险极低。每天食用重金属最大值的蔬菜是不切实际的,而且 5 种重金属元素最大值的产生也没有发生在同一个蔬菜当中,所以严重的风险也不必太担心。具有参考意义的还是各种重金属平均值的风险商,从蔬菜的 5 种重金属平均值风险商来看,铅、镉、汞、砷风险商均极低,铬已经存在风险。将 GB 2762—2014 的限量值代入公式,以此来评价限量值与 5 种重金属的风险关系,发现铅、汞、砷 3 种重金属的风险较低,镉、铬有较大的风险,特别是铬的风险从数据上分析是镉的 7 倍。由于实际膳食结构中除了蔬菜,还包括粮谷类、畜禽肉类、鱼虾类、水果、奶及制品等食物消费量,真实的膳食风险还需要综合考虑这些食物的风险商。

铬在自然界中主要以 Cr(III)和 Cr(VI)2 种形态存在,两者对人体的健康影响处于两个极端;Cr(III)是生物必需的营养元素,而 Cr(VI)却被国际癌症研究机构列为一二级致癌物。由于形态分析的困难,就常以总 Cr 来进行摄入量的判定,该

研究又以较为严格的美国 NFS 草案为推荐值,也会放大评估中铬的风险。如果该研究按照 WTO(1996)的规定<sup>[13]</sup>,铬的摄入量不超过 250  $\mu\text{g}/\text{d}$ ,则表 3 中仅检出的最大值时铬有一定的风险,其他均无任何风险。为了更科学地评价铬元素的隐患,该研究需进一步研究铬的形态,才是正确解决铬风险的方式。采用重金属膳食风险点评估风险商的评价方式,虽比直接使用 GB 2762—2014 评价更为繁琐、复杂,还需要引入其他参数,但更加科学,更具有实际价值。

### 3 结论与讨论

通过 2014—2015 年宁波市地产蔬菜重金属风险点评估,发现铅、镉、汞、砷的风险均可接受,铬存在一定的风险,但考虑铬的形态问题,以及食品添加剂联合专家委员会(JECFA)并未规定铬的允许摄入量这一事实,采用不同的评价标准也会对结果产生影响,说明实际的危害没有风险商所展示的这么严重。需要今后进一步对各种价态的铬含量进行研究,才能得到更加准确的结果。虽然有极个别的样品存在一定的风险,但计算时都是采用极端的假设,实际消费者

表 3 5 种重金属点风险评估  
Table 3 The risk assessment of 5 heavy metals of vegetables in Ningbo

元素种类 Element kind	允许摄入量 Allowable intake	检出最大值 The maximum detected value		检出平均值 Average detected value		GB 2762—2014 最大残留限量 The maximum residue limit according to GB 2762 - 2014	
		值 Value mg/kg	风险商 Risk//%	值 Value mg/kg	风险商 Risk//%	值 Value mg/kg	风险商 Risk//%
铅 Pb	PTWI 25 $\mu\text{g}/\text{kg}$	1.500 0	199.0	0.045 0	5.93	0.30	39.7
镉 Cd	PTMI 25 $\mu\text{g}/\text{kg}$	0.160 0	90.8	0.021 0	12.10	0.20	113.0
铬 Cr	20 $\mu\text{g}/\text{d}$	1.300 0	1 844.0	0.098 0	139.00	0.50	709.0
汞 Hg	PTWI 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$	0.015 5	10.3	0.001 2	0.80	0.01	6.6
砷 As	TDMI 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$	4.600 0	43.5	0.073 0	0.69	0.50	4.7

不会长期仅食用该产品,故风险也不会这么高。

膳食暴露评估的点评估方式,同参考 MRL 方式比较,对数据的判断二者各有优缺点,MRL 比较方便、直接;膳食暴露评估评价计算比较复杂,需要其他辅助参数,如食用量、体重,随着参数的不同会得到不同的结果,参数越准确,评价越可信,结果越贴近实际。不能简单地认为超过 MRL 的一定具有风险。

#### 参考文献

- [1] 2009—2012 年浙江省居民营养与健康状况监测[R]. 2012.
- [2] 宁波市农业局. 2013 年全市农业工作总结[EB/OL]. (2013-12-10) [2017-07-02]. [http://www.nbnyj.gov.cn/cat/cat65/Con\\_65\\_26377.html](http://www.nbnyj.gov.cn/cat/cat65/Con_65_26377.html).
- [3] 宁波市农业局. 宁波市农业局 2014 年全市农业工作总结[EB/OL]. (2015-01-12) [2017-07-02]. [http://www.nbnyj.gov.cn/cat/cat65/con\\_65\\_39270.html](http://www.nbnyj.gov.cn/cat/cat65/con_65_39270.html).
- [4] 宁波市农业局. 2015 年全市农业工作总结[EB/OL]. (2016-01-18) [2017-07-02]. [http://www.nbnyj.gov.cn/cat/cat65/con\\_65\\_43436.html](http://www.nbnyj.gov.cn/cat/cat65/con_65_43436.html).

(上接第 3 页)

7.4%。不同海产品中牛磺酸含量检测结果表明,所选择的海洋生物中均含有一定量牛磺酸,尤其是贝类和螺类中含量最丰富,最高达 11.2 mg/g。不同组织比较,鱼肉中牛磺酸含量较高,而内脏中鳃中含量较低。该试验结果丰富了海洋生物中牛磺酸含量检测的相关研究,为进一步研究和分析牛磺酸在不同组织中的合成机制提供了参考。

#### 参考文献

- [1] 张剑利,苏小玫. 牛磺酸与视网膜功能的关系[J]. 眼科,2003,12(5): 311—313.
- [2] 李静慧,杨雅娟,冯艳,等. 牛磺酸对实验性肝纤维化大鼠保护作用的研究[J]. 天津中医药,2017,34(5):336—340.
- [3] ABD-RABOU A A,ZOHEIR K M,AHMED H H. Potential impact of curcumin and taurine on human hepatoma cells using Huh-7 cell line[J]. Clin Biochem,2012,45(16/17):1519—1521.
- [4] WINIARSKA K,SZYMANSKI K,GORNIAK P, et al. Hypoglycaemic, antioxidative and nephroprotective effects of taurine in alloxan diabetic rabbits[J]. Biochimie,2009,91(2):261—270.
- [5] 李乐慧,徐兆发,刘巍,等. 牛磺酸对甲基汞致大鼠脑氧化损伤的保护作用[J]. 环境与职业医学,2014,31(6):469—471.
- [6] 曾德寿,高振华,赵京辉,等. 牛磺酸对肉仔鸡生产性能、免疫器官发育及抗氧化能力的影响[J]. 中国兽医学报,2009,29(6):774—778.
- [7] SCHULLER-LEVIS G B,PARK R E. Taurine and its chloramine: Modulators of immunity[J]. Neurochemical Research,2004,29(1):117—126.
- [8] MATSUNARI H,FURUITA H,YAMAMOTO T, et al. Effect of dietary taurine and cystine on growth performance of juvenile red sea bream *Pagrus major* [J]. Aquaculture,2008,274(1):142—147.

html.

- [5] 中华人民共和国农业部. 用于农药最大残留限量标准制定的作物分类:农业部第 1490 号公告[A]. 2010-11-26.
- [6] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中铅的测定:GB 5009.12—2010[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中镉的测定:GB 5009.15—2014[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中铬的测定:GB 5009.123—2014[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中总汞及有机汞的测定:GB 5009.17—2014[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中总砷及无机砷的测定:GB 5009.11—2014[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
- [11] 中华人民共和国卫生部. 食品中污染物限量:GB 2762—2012[S]. 北京:中国标准出版社,2012.
- [12] 金波,马辰. 药食同源药材中重金属铬的污染状况评价[J]. 世界科学技术(中医药现代化),2012,14(3):1672—1677.
- [13] European Commission Health and Consumer Protection Directorate-General. Opinion of the scientific committee on food on the tolerable up-per intake level of trivalent chromium[R]. 2003.
- [9] KIM S K, TAKEUCHI T, YOKOYAMA M, et al. Effect of dietary taurine levels on growth and feeding behavior of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. Aquaculture,2005,250(3/4):765—774.
- [10] RAK K, VÖLKER J, JÜRGENS L, et al. Neurotrophic effects of taurine on spiral ganglion neurons *in vitro* [J]. Neuroreport,2014,25(16):1250—1254.
- [11] KHIMSUKSRI S, WYSS J M, THAEOMOR A, et al. Perinatal taurine exposure programs patterns of autonomic nerve activity responses to tooth pulp stimulation in adult male rats[J]. Adv Exp Med Biol,2013,775(4):121—134.
- [12] BESSHO M, MURASE-MISHIBA Y, IMAGAWA A, et al. Possible contribution of taurine to distorted glucagon secretion in intra-islet insulin deficiency: A metabolome analysis using a novel  $\alpha$ -cell model of insulin-deficient diabetes[J]. PLoS One,2014,9(11):113254.
- [13] SCHAFFER S W, SHIMADA K, JONG C J, et al. Effect of taurine and potential interactions with caffeine on cardiovascular function [J]. Amino Acids,2014,46(5):1147—1157.
- [14] 孙建,许振,徐雷. 牛磺酸滴眼液联合泪道探通治疗新生儿泪囊炎的疗效观察[J]. 齐齐哈尔医学院学报,2014,35(4):539—540.
- [15] 叶思平,陈悦娟,陈海光,等. 高效液相色谱测定益智仁中的牛磺酸含量[J]. 食品科学,2013,34(10):204—206.
- [16] 陈申如,胡阳,倪辉,等. 高效液相色谱法测定牡蛎中牛磺酸含量[J]. 中国食品学报,2013,13(2):193—198.
- [17] 高加龙,章超桦,刘书成,等. 邻苯二甲酸酐衍生高效液相色谱法测定马氏珠母贝中牛磺酸含量[J]. 广东海洋大学学报,2007,27(1):55—58.
- [18] 谭乐义,章超桦,薛长湖,等. 牛磺酸的生物活性及其在海洋生物中的分布[J]. 湛江海洋大学学报,2000,20(3):75—79.
- [19] UBUKA T, OKADA A, NAKAMURA H. Production of hypotaurine from L-cysteinesulfinate by rat liver mitochondria [J]. Amino Acids,2008,35(1):53—58.