

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240529004

国内外水果重金属限量标准差异分析

冯琛^{1,2,3,4}, 倪杨^{1,2,3,4}, 张莹莹^{1,2,3,4}, 杨军军^{1,2,3,4}, 熊融^{1,2,3,4*}

(1. 北京市农林科学院林业果树研究所, 北京 100093; 2. 农业农村部果品及苗木质量检验检测中心, 北京 10093;
3. 北京市落叶果树工程技术研究中心, 北京 100093; 4. 农业农村部华北都市农业重点实验室, 北京 100093)

摘要: **目的** 解析我国与欧盟(European Union, EU)、国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)以及韩国水果中重金属限量标准的异同。**方法** 研究中国与不同国家或组织水果重金属限量标准, 比对重金属检测种类、涉及的水果种类和重金属最大限值。**结果** 除 CAC 未对水果中镉进行限量规定外, 我国与 EU、韩国均对水果中铅和镉进行了限量规定, 但存在一定差异。其中, 韩国并未对铅和镉限量标准中的水果种类进行规定。我国对水果中铅的限量规定与 EU、CAC 相似。此外, 欧盟在镉限量中对水果种类与限量值的规定比我国更严格。**结论** 我国监管部门应对进口贸易中重金属限量标准制定宽松的水果进行重点关注, 而出口的水果应符合出口国的要求。

关键词: 水果; 重金属; 限量标准; 差异分析; 安全性

Comparison analysis of fruits heavy metal limit standards at home and abroad

FENG Chen^{1,2,3,4}, NI Yang^{1,2,3,4}, ZHANG Ying-Ying^{1,2,3,4},
YANG Jun-Jun^{1,2,3,4}, XIONG Rong^{1,2,3,4*}

[1. Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100093, China;
2. Inspection and Testing Laboratory of Fruits and Nursery Stocks (Beijing), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100093, China; 3. Beijing Engineering Research Center for Deciduous Fruit Trees, Beijing 100093, China;
4. Key Laboratory of Urban Agriculture (North China), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100093, China]

ABSTRACT: Objective To analyze the similarities and differences between China and the European Union (EU), Codex Alimentarius Commission (CAC) and the limit standards of heavy metals in fruits of South Korea. **Methods** The study involved scrutinizing the standards for heavy metals in fruits in China and other countries or organizations, comparing the types of heavy metals identified, the varieties of fruits considered, and the maximum limits for heavy metals. **Results** With the exception of CAC, which had not specified the limits of cadmium in fruits, both China and the EU, as well as Korea, had set limits for lead and cadmium in fruits, albeit with some variations. Unlike China and the EU, Korea did not specify the types of fruits in their standards for lead and cadmium limits. Our regulations on lead limits in fruits align closely with those of the EU and CAC.

基金项目: 北京市农林科学院创新能力建设专项(KJCX20230309-04)、北京市农林科学院公益检测平台项目(GYJC-202401)、北京农林科学院林业果树研究所青年科研基金项目(LGSJJ202406)

Fund: Supported by the Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences Innovation Capability Construction Special Project (KJCX20230309-04), the Public Welfare Detection Platform of Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences (GYJC-202401), and the Research Fund for Youth of Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences (LGSJJ202406)

***通信作者:** 熊融, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为果品质量安全。E-mail: guopinzhijian@163.com

***Corresponding author:** XIONG Rong, Master, Senior Engineer, Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, No.12 Xiangshanruiwangfen Jia, Haidian District, Beijing 100093, China. E-mail: guopinzhijian@163.com

Furthermore, the EU's regulations on fruit types and limit values for cadmium were more stringent than ours.

Conclusion The study suggests that regulatory authorities shall prioritize fruits with loosely defined standards for heavy metal limits in import trade, while exported fruits shall adhere to the requirements of the importing countries.

KEY WORDS: fruits; heavy metal; limit standards; comparison analysis; safety

0 引言

水果因富含丰富的矿物质元素、维生素及氨基酸等营养物质而深受消费者喜爱^[1-2]。近年来,随着世界各国工业迅速发展,其带来的土壤等环境重金属污染已影响到水果质量安全,进而危害人类健康。目前,水果中重金属污染物监测已成为水果质量安全性评价的重要环节之一^[3-4]。重金属指密度超过 4.5 g/cm³ 的金属元素,包括铅、镉、铬、镍、汞、砷等。其主要通过环境污染、含金属化学物质使用等多种途径进入果树,最终污染水果^[5-8]。这些重金属可随人类食用水果进入体内,并以原形式或高毒性化合物存在,极难被人体代谢排除,最终产生毒害作用,且严重情况下会致癌^[9-14]。因此,严格控制水果中重金属残留是十分必要的。世界各国或组织已对水果中的重金属污染限量做了相关规定,但由于各国地理环境存在差异,其制订的重金属污染物限量标准也存在差异。本文通过对比中国与欧盟(European Union, EU)、国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)及韩国水果中的重金属限量标准,重点分析重金属检测种类、涉及的水果种类和重金属最大限值的异同,旨在为我国进出口水果安全监管和水果重金属限量标准修订提供科学依据和理论支持,同时也为建立我国与国际接轨的标准体系提供参考。

1 我国水果中重金属污染物限量标准概述

我国最早于 1981 年制订了 GB 2762—1981《食品中汞容许量卫生标准》,随后于 1994、2005、2012、2017、2022 年进行了多次更新,现行标准为 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》,其中有关重金属污染物的修改主要集中在污染物种类与限量等方面^[15-17]。

由表 1 可知,我国于 1994 年分别在 GB 14935—1994

《食品中铅限量卫生标准》、GB 15201—1994《食品中镉限量卫生标准》、GB 4810—1994《食品中砷限量卫生标准》、GB 2762—1994《食品中汞限量卫生标准》、GB 14961—1994《食品中铬限量卫生标准》中对水果中的铅、镉、砷、汞、铬 5 种重金属污染物进行了限量规定。2005 年更新标准为 GB 2762—2005《食品中污染物限量》,其中铅的限量进行了更为详细的水果分类限量,即普通新鲜水果限量为 0.1 mg/kg,而小水果、浆果、葡萄限量为 0.2 mg/kg;砷的限量也从总砷更改为无机砷,限量从 0.5 mg/kg 变为 0.05 mg/kg。随后,有关部门于 2012、2017 及 2022 年对标准进行相继更新,将水果中的砷、汞、铬等重金属污染物限量取消,而铅和镉的限量值并未发生变化。与 GB 2762—2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量》和 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》不同的是,GB 2762—2022 对水果范围进行了更为准确的限定,即由原来的“浆果和其他小粒水果”更改为“蔓越莓和醋栗”。

2 我国水果中重金属污染物检出情况概述

由于我国不同地区的环境存在差异,重金属污染物检出及超标情况也存在一定不同。张济龙等^[18]对成都平原地区水果可食用部分的重金属污染物进行了检测,发现不同重金属污染物检出率存在差异,铅的检出率为 81.4%,镉的检出率为 90.1%,砷和铬的检出率分别为 96.4%与 60.4%。通过与 GB 2762—2022 标准中规定的限量相比,除桃子中的镉含量未超过限量标准,其余水果均存在不同程度的镉超标,且草莓中镉超标率最高。此外,本批次检测的水果中均存在不同程度的铅超标,其中桃的超标率最高,而梨的超标率最低。虽然砷的检出率远高于其他几种重金属污染物,但由于最新执行标准中并未对其限量,故无法

表 1 我国水果中重金属污染物限量
Table 1 Heavy metal pollution limitation of fruits in China

| 年限 | 铅/(mg/kg) | 镉/(mg/kg) | 砷/(mg/kg) | 汞/(mg/kg) | 铬/(mg/kg) |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1994 | 0.2 | 0.03 | 0.5(总砷) | 0.01 | 0.5 |
| 2005 | 0.1/0.2 | 0.05 | 0.05(无机砷) | 0.01 | 0.5 |
| 2012 | 0.1/0.2 | 0.05 | - | - | - |
| 2017 | 0.1/0.2 | 0.05 | - | - | - |
| 2022 | 0.1/0.2 | 0.05 | - | - | - |

注: -表示无此项,下同。

判定其在何种水平下对人体产生危害。孙妍妍等^[19]对大连市部分市售水果中重金属污染物含量进行了测定,发现镉的检出率与超标率均最高,其次是铅,而汞的检出率与超标率均最低。从水果分类来看,浆果类水果中重金属污染物含量最高,其次是仁果类,而核果类最低。NIE 等^[20]评估了苹果、梨、桃、葡萄及枣等 5 种中国主要的落叶水果中重金属污染水平,发现水果中镍含量最高,其次是铬和铅,最后是镉。通过与 GB 2762—2022 标准相比,桃样品中存在铅污染。蒋立新等^[21]对深圳市主要水果中铅、镉、汞、砷的含量进行了监测分析,发现苹果和李子中分别存在砷和铅的含量超标,超标率分别为 4.17% 和 20.0%。

此外,一些被检出的重金属污染物并未在水果中进行限量规定。FENG 等^[22]对桃样品的重金属污染物进行了检测,发现镍含量最高,而镉含量最低。此外,桃中还检测到了铬、砷与铅。所有样品的重金属污染物均处于安全值以下,表明没有重金属污染。上海市奉贤区的农产品重金属含量特征分析显示,黄桃和蜜梨中共检出 5 种重金属污染物,包括铅、镉、铬、砷和汞,其中铬的含量高于其他 4 种重金属污染物,但均低于限量值^[23]。对海南省市售的金煌芒、贵妃芒、澳芒、台农芒、青芒和象牙芒等进行了重金属污染监测,除汞和砷未检出外,铬、铅、镍和镉均有检出,与现行标准相比,铅和镉均未超标。

3 水果中重金属污染物的种类对比

我国于 2022 年更新了食品中污染物限量标准,现行标准为 GB 2762—2022。《欧盟食品污染物最高限量》于 2023 年进行了修订,最新修订版为(EU) 2023/915^[24]。CODEX STAN 193—1995《食品中污染物毒素的限量》(2023 修订版)^[25]是 CAC 现行最新有关食品中重金属及污染物限量的相关标准。韩国《食品法典》^[26]第二章对水果中重金属限量也进行了规定。

表 2 列出了现今我国、EU、CAC 及韩国最新食品安全标准中水果重金属污染物的种类及数量。通过对比可以看出,中国、欧盟及韩国对水果中重金属的限量种类均为 2 个,而 CAC 最少,只有 1 种污染物限量。

表 2 各国家或组织水果中重金属污染限量种类及数量
Table 2 Types and quantities of heavy metal pollution limits in fruits of different countries and organizations

| 国家或组织 | 重金属限量种类 | 重金属限量数目/种 |
|-------|---------|-----------|
| 中国 | 铅、镉 | 2 |
| 欧盟 | 铅、镉 | 2 |
| CAC | 铅 | 1 |
| 韩国 | 铅、镉 | 2 |

4 水果中重金属污染物的限量对比

4.1 水果中铅的限量规定

铅随水果被人体摄入后,可在人体内聚集且极难被排出,容易引起神经系统损伤,并伴随头痛恶心等症状^[27-29]。由表 3 可知,4 个国家或组织均规定了水果中铅的限量,但存在一些差异。韩国并未对水果进行分类,而对所有水果中铅的限量值均规定为 0.1 mg/kg。我国、EU 及 CAC 均对新鲜水果进行了分类,但存在一定差异。EU、CAC 与我国分别对 4、3 和 2 种新鲜水果的铅限量规定为 0.2 mg/kg,均包含蔓越莓和醋栗;EU 和 CAC 对接骨木莓的铅限量规定为 0.2 mg/kg,我国并未将接骨木莓进行单独区分,这可能与该类水果主要在欧洲等地区出售有关。此外,欧盟将草莓中的铅限量规定为 0.2 mg/kg,而我国则为 0.1 mg/kg,说明我国对草莓中铅的限量更为严格,这需要引起我国食品监管部门的关注,即需要对从欧洲进口的草莓进行铅的重点监测。

表 3 各国家或组织水果中铅的限量
Table 3 Lead limitation in fruits from different countries and organizations

| 国家或组织 | 产品名称 | 限量/(mg/kg) |
|-------|------------------------|------------|
| 中国 | 新鲜水果(蔓越莓、醋栗除外) | 0.1 |
| | 蔓越莓、醋栗 | 0.2 |
| 欧盟 | 新鲜水果(蔓越莓、醋栗、接骨木莓和草莓除外) | 0.1 |
| | 蔓越莓、醋栗、接骨木莓和草莓 | 0.2 |
| CAC | 新鲜水果(蔓越莓、醋栗和接骨木莓除外) | 0.1 |
| | 蔓越莓、醋栗和接骨木莓 | 0.2 |
| 韩国 | 新鲜水果 | 0.1 |

4.2 水果中镉的限量规定

镉会抑制人体内的巯基酶系统,干扰组织代谢,损伤人体肾脏、骨组织等器官组织,可诱发肾衰竭、易碎性骨折等疾病,严重威胁人体健康^[30-31]。表 4 列出了不同国家或组织对水果中镉的限量规定。CAC 并未对水果中的镉进行限量规定,而我国、EU 及韩国均进行了规定。由表 4 可知,EU 对水果中镉限量的规定更为详细,针对不同类别的水果设定了不同的镉限量标准。其中,柑橘类、柚子类、核果类、食用橄榄、猕猴桃、香蕉、芒果、木瓜和菠萝等 9 类水果的限量值最低,为 0.02 mg/kg;除树莓外的浆果和其他小型水果的限量值中等,为 0.03 mg/kg;树莓的限量值最高为 0.05 mg/kg。然而,我国和韩国并未对新鲜水果进行分类,均统一限定为 0.05 mg/kg,这表明我国在水果中对镉的限定标准要比 EU 宽松,需要引起贸易出口商的重视,避免因重金属污染超标,被“绿色壁垒”挡住,进而造成巨额损失。

表 4 各国家或组织水果中镉的限量
Table 4 Cadmium limitation in fruits from different countries and organizations

| 国家或组织 | 产品名称 | 限量/(mg/kg) |
|-------|----------------------------------|------------|
| 中国 | 新鲜水果 | 0.05 |
| | 柑橘类、柚子类、核果类、食用橄榄、猕猴桃、香蕉、芒果、木瓜和菠萝 | 0.02 |
| 欧盟 | 浆果和其他小型水果(树莓除外) | 0.03 |
| | 树莓 | 0.04 |
| | 新鲜水果(以上列出除外) | 0.05 |
| CAC | - | - |
| 韩国 | 新鲜水果 | 0.05 |

5 结束语

与 EU、CAC 和韩国相比较,我国在水果重金属污染物种类方面的规定与其他国家或组织大致相同,但在水果分类细化方面存在差异,其中欧盟对水果分类程度更具体,要求也更严格,而韩国水果分类细化程度最低。我国仅在限定水果中铅含量时,对水果进行了分类,而并未对镉限量规定中的水果分类进行细化。此外,我国 GB 2762—2022 标准中粮食作物重金属污染物涵盖了铅、镉、砷、汞及铬等 5 种元素^[32],多于水果中的限定种类。以上问题均反映了我国在水果中重金属污染限量规定上存在不足,可从以下方面进行综合改进。

(1)根据我国不同种类水果的消费量、不同年龄阶段人群水果食用量及重金属污染物检出情况,开展我国人体膳食暴露风险评估研究,进一步制订水果中更加合理的重金属污染物限量,最终为我国进出口水果安全监管和水果重金属限量标准修订提供科学依据和理论支持。

(2)水果中重金属污染物主要来自果树生长地环境。从源头上控制重金属污染物时,要考虑果园的选址,包括但不限于以下几个因素:果园周边是否有重金属污染企业;果园土壤中重金属污染是否超标;果园附近水源是否已被重金属污染;果园选址空气是否重金属超标等。

(3)相关监管部门应制订并严格实施重金属污染控制规范,加大宣传力度与处罚力度,及时指导果农合理使用化肥、地膜等农药投入品,从源头上对水果中重金属污染进行控制。

参考文献

- [1] ROSELL M, FADNES TL. Vegetables, fruits, and berries—a scoping review for Nordic Nutrition Recommendations 2023 [J]. *Food Nutr Res*, 2024, 68: 10455.
- [2] GOVERS C, BERKEL KM, VAN DAA, *et al.* Review of the health effects of berries and their phytochemicals on the digestive and immune systems [J]. *Nutr Rev*, 2018, 76(1): 29–46.

- [3] 牛兆澄. 基于食品重金属赋存水平的人群膳食暴露及健康风险评估[D]. 兰州: 兰州大学, 2023.
NIU ZC. Human exposure and health risk assessment based on the occurrence level of heavy metals in food [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2023.
- [4] 吴长青, 王海璐, 王莹. 食用农产品风险隐患及检测技术研究[J]. *食品工业*, 2023, 44(5): 164–168.
WU CQ, WANG HL, WANG Y. Study on potential risks and detection techniques of edible agricultural products [J]. *Food Ind*, 2023, 44(5): 164–168.
- [5] 刘悦珍, 陈浩然, 程星, 等. 我国与南亚主要国家农产品重金属限量标准的对比分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(9): 3026–3033.
LIU YZ, CHEN HR, CHENG X, *et al.* Comparative analysis on standards for heavy metal limits in agricultural and food products between China and the main countries of South Asia [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(9): 3026–3033.
- [6] 赵彬, 王亮, 魏雨泉, 等. 我国农用地土壤重金属污染防治标准体系现状及展望[J]. *环境科学研究*, 2024, 37(5): 1092–1103.
ZHAO B, WANG L, WEI YQ, *et al.* Current status and prospects of agricultural soil heavy metal contamination prevention and control standard systems in China [J]. *Res Environ Sci*, 2024, 37(5): 1092–1103.
- [7] SARKER A, KIM JE, ISLAM ARMT, *et al.* Heavy metals contamination and associated health risks in food webs—a review focuses on food safety and environmental sustainability in Bangladesh [J]. *Environ Sci Pollut R*, 2022, 29(3): 3230–3245.
- [8] TURAN V, ALI-KHAN S, IQBAL M, *et al.* Promoting the productivity and quality of brinjal aligned with heavy metals immobilization in a wastewater irrigated heavy metal polluted soil with biochar and chitosan [J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2018, 161: 409–419.
- [9] 曾艳, 陈亚, 任展, 等. 果园土壤和水果中重金属含量及相关性分析[J]. *实验室检测*, 2023, 1(4): 31–39.
ZENG Y, CHEN Y, REN Z, *et al.* Analysis of heavy metals content and correlation in orchard soils and fruits [J]. *Lab Test*, 2023, 1(4): 31–39.
- [10] 张忠祥. 重金属砷和镉在辣椒、西瓜、萝卜中分布富集的差异及其成因研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2023.
ZHANG ZX. Differences in the distribution and enrichment of heavy metals As and Cd in pepper, watermelon, and radish [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2023.
- [11] 刘倩. 山东省 J 县农田土壤与农作物重金属污染分析[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
LIU Q. Analysis of heavy metal pollution in farmland soil and crops in J Country of Shandong Province [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2020.
- [12] 管伟豆. 北方农田土壤重金属镉(Cd)污染区小麦、玉米安全生产阈值研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
GUO WD. Study on safety production thresholds of wheat and maize in cadmium polluted farmland soil in the northern area of China [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2022.
- [13] HOU DY, O'CONNOR D, IGALAVITHANA AD, *et al.* Metal contamination and bioremediation of agricultural soils for food safety and sustainability [J]. *Nat Rev Earth Environ*, 2020, 1: 366–381.
- [14] KUMAR S, PRASAD S, YADAV KK, *et al.* Hazardous heavy metals contamination of vegetables and food chain: Role of sustainable

- remediation approaches-A review [J]. Environ Res, 2019, 179(Pt A): 108792.
- [15] 李太平, 唐淑芬, 裴文静. 《食品中污染物限量》新国标中重金属的安全风险分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(11): 277-280.
LI TP, TANG SF, NIE WJ. Safety analysis of heavy metals in new national standard *maximum limits of contaminants in food* [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(11): 277-280.
- [16] 胡慧, 董贵军, 韩芷玲, 等. 《食品中污染物限量》标准的研究和探讨[J]. 质量技术监督研究, 2021, (3): 6-8, 24.
HU H, DONG GJ, HAN ZL, *et al.* Research and discussion on the standard of “*Maximum limit of contaminina in food*” [J]. Market Regulat Qual Technol Res, 2021, (3): 6-8, 24.
- [17] 李蓉, 黄雪. 《食品安全国家标准 食品中污染物限量》新标准解读[J]. 食品安全导刊, 2023, (5): 10-15.
LI R, HUANG X. Interpretation of *National food safety standard-Limit of pollutants in food* [J]. China Food Saf Magaz, 2023, (5): 10-15.
- [18] 张济龙, 马飞攀, 张卫威, 等. 成都平原典型地区水果-土壤重金属污染特征研究[J]. 中国无机分析化学, 2023, 13(12): 1318-1327.
ZHAGN JL, MA FP, ZHANG WW, *et al.* Characterization of heavy metal pollution in fruit and soils in typical areas of Chengdu plain [J]. Chin J Inorg Anal Chem, 2023, 13(12): 1318-1327.
- [19] 孙妍妍, 邢文. 2020年辽宁省大连市部分市售水果重金属含量检测与分析[J]. 预防医学论坛, 2022, 28(11): 850-852, 871.
SUN YY, XING W. Detection and analysis on heavy metal content of some fruits sold in Dalian City, Liaoning Province, 2020 [J]. Prev Med Trib, 2022, 28(11): 850-852, 871.
- [20] NIE JY, KUANG LX, LI ZX, *et al.* Assessing the concentration and potential health risk of heavy metals in China's main deciduous fruits [J]. J Int Agric, 2016, 15(7): 1645-1655.
- [21] 蒋立新, 杨梅, 周洁, 等. 深圳市市场主要水果重金属的污染状况[J]. 职业与健康, 2013, 29(21): 2799-2800.
JIANG LX, YANG M, ZHOU J, *et al.* Pollution status of heavy metal on marketed fruits in Shenzhen City [J]. Occup Health, 2013, 29(21): 2799-2800.
- [22] FENG C, NI Y, YANG JJ, *et al.* Mineral elements in peach cultivars from Beijing, China: Profiling and health risk assessment [J]. J Food Compos Anal, 2023, 131: 106273.
- [23] 顾建芹, 江健, 任周桥. 上海市奉贤区农田土壤-农产品中的重金属含量特征和污染评价[J]. 上海农业学报, 2024, 40(2): 43-52.
GU JQ, JIANG J, REN ZQ. Content characteristic and pollution assessment of heavy metals in farmland soils and agricultural products in Fengxian District, Shanghai [J]. Acta Agric Shanghai, 2024, 40(2): 43-52.
- [24] FAO/WHO. General standard for contaminants and toxins in food and feed: CXS 193-1995 [Z]. 2023.
- [25] Commission of the European Communities. Maximum levels for certain contaminants in food. Commission Regulation (EU) 2023/915 [Z].
- [26] Ministry of Food and Drug Safety. Food Code (2021) [Z].
- [27] PAWAR RR, LALHMUNSIAMA, BAJAJ HC. Activated bentonite as a low-cost adsorbent for the removal of Cu(II) and Pb(II) from aqueous solutions: Batch and column studies [J]. J Ind Eng Chem, 2016, 34: 213-223.
- [28] MAZAHERI H, GHAEDI M, HAJATI S, *et al.* Simultaneous removal of methylene blue and Pb²⁺ ions using ruthenium nanoparticle-loaded activated carbon: Response surface methodology [J]. RSC Adv, 2015, 5(101): 83427-83435.
- [29] ZHOU H, YANG W, ZHOU X, *et al.* Accumulation of heavy metals in vegetable species planted in contaminated soils and the health risk assessment [J]. Int J Env Res Pub He, 2016, 13: 289.
- [30] 郭健, 姚云, 赵小旭, 等. 粮食中重金属铅离子、镉离子的污染现状及对人体的危害[J]. 粮食科技与经济, 2018, 43(3): 33-35, 85.
GUO J, YAO Y, ZHAO XX, *et al.* Study on improving the milling precision of rice milling machine and reducing the broken rice rate [J]. Grain Sci Technol Econ, 2018, 43(3): 33-35, 85.
- [31] 张晨阳, 严俊, 王梅, 等. 低水平镉暴露对人体免疫学指标的影响[J]. 中国预防医学杂志, 2022, 23(7): 481-485.
ZHANG CY, YAN J, WANG M, *et al.* Effect of low-level cadmium exposure on human immunological profile [J]. Chin Prev Med, 2022, 23(7): 481-485.
- [32] 杨卫民, 徐广超, 季澜洋, 等. CAC、欧盟、美国与中国粮食中重金属限量标准的差异分析[J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(1): 16-19.
YANG WM, XU GC, JI LY, *et al.* Variation analysis of cereals heavy metals limit standards of CAC, EU, USA and China [J]. J Food Sci Technol, 2019, 37(1): 16-19.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介



冯 琛, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为果实品质形成。
E-mail: fengclgs@163.com



熊 融, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为果品质量安全。
E-mail: guopinzhijian@163.com