DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251217005
引用格式: 商贵芹, 祝雨筱, 李颖超, 等. 国内外食品接触用玻璃制品食品安全管理法规标准对比分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(9): 84–93.
SHANG GQ, ZHU YX, LI YC, *et al*. Comparative analysis of food safety management regulations and standards for food-contact glass products at home and abroad [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(9): 84–93. (in Chinese with English abstract).

国内外食品接触用玻璃制品食品安全管理法规标准对比分析

商贵芹[1], 祝雨筱[2], 李颖超[1], 隋海霞[3*]

(1. 常州工程职业技术学院检验检测认证学院, 常州 213100; 2. 常州工业及消费品检验有限公司, 常州 213000; 3. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100022)

摘 要: 玻璃制品凭借其质感、稳定的化学性质以及较高的安全性, 在食品包装、餐厨用具等各类食品接触产品中得到广泛应用。然而, 近年来玻璃原料的多元化与加工工艺的日趋复杂化, 在提升产品美观度和质感的同时, 也引发了钴、铬等更多金属元素迁移的潜在安全隐患。为更好地保障消费者健康, 不同国家和地区陆续出台或修订了食品接触用玻璃制品的相关法规与标准。食品接触用玻璃制品中未知风险的增加和法规标准的变更, 极大地增加了行业在全球化贸易中的合规难度。本文系统介绍了国际标准化组织、中国、欧盟及其成员国、美国、加拿大、日本、韩国、俄罗斯等组织、国家和地区的食品接触用玻璃制品法规标准, 从管理模式、限量指标、检测条件、检测方法和符合性判定规则定 5 个维度对其食品安全要求进行了对比与分析, 并对食品接触用玻璃制品行业的产品质量与合规管控, 以及该领域的研究方向提出了建议, 旨在为食品接触用玻璃制品的食品安全风险控制、合规管理和标准完善提供参考。

关键词: 食品接触用玻璃制品; 食品安全; 法规标准

Comparative analysis of food safety management regulations and standards for food-contact glass products at home and abroad

SHANG Gui-Qin[1], ZHU Yu-Xiao[2], LI Ying-Chao[1], SUI Hai-Xia[3*]

(1. *College of Inspection, Testing and Certification, Changzhou Vocational Institute of Engineering, Changzhou* 213100, *China*; 2. *Changzhou Industrial and Consumable Products Inspection Co., Ltd., Changzhou* 213000, *China*; 3. *China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing* 100022, *China*)

ABSTRACT: Glass products are widely used in various food contact articles, including food packaging and kitchenware, due to their texture, stable chemical properties and inherent safety. However, the diversification of glass raw materials and the increasing complexity of processing technologies in recent years, while enhancing product

收稿日期: 2025-12-17
基金项目: 北京市科技计划项目(Z231100004523002)
第一作者: 商贵芹(1982—), 女, 硕士, 研究员, 主要研究方向为食品接触材料合规管理与检测。E-mail: guiqinshang@126.com
***通信作者:** 隋海霞(1975—), 女, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品安全风险评估。E-mail: suihaixia@cfsa.net.cn

aesthetics and texture, have also raised potential safety concerns regarding the migration of metallic elements such as cobalt and chromium. To better safeguard consumer health, various countries and regions have successively introduced or revised regulations and standards for food-contact glass products. The increase in unknown food safety risks in food-contact glass products and the changes in regulations and standards have greatly increased the compliance difficulty for the industry in global trade. This paper systematically reviewed the regulatory standards for food-contact glass products across key organizations, nations, and regions—including the International Organization for Standardization, China, the European Union and its member states, the United States, Canada, Japan, South Korea and Russia. A comparative analysis of their food safety requirements was conducted from 5 dimensions: Regulatory frameworks, limit specifications, testing conditions, analytical methods and compliance assessment criteria. Furthermore, recommendations were proposed for product quality and compliance management within the food-contact glass products industry, as well as for future research directions in this domain. The aim of this study is to provide a reference for enhancing food safety risk control, compliance governance and standard optimization for food-contact glass products.

KEY WORDS: food-contact glass products; food safety; regulation and standard

0　引　言

玻璃制品凭借其独特的质感和优异的性能, 不仅广泛应用于食品包装容器、餐饮具和炊具等各类食品接触产品[1], 也是注射液、冻干粉等药品不可或缺的包装材料[2–4]。作为一种以石英砂、石灰石、长石、纯碱等无机盐为主要原料, 并在 1500 ℃以上高温熔制加工成形的无机非金属材料, 玻璃相较于其他高分子材料, 其原辅料简单且高温熔融的特殊工艺使其展现出卓越的食品安全性。长期以来, 其安全性主要关注点在于铅、镉、砷、锑的迁移量[5–8]及其对人体健康的危害上[9], 同时铅和镉也是欧盟食品和饲料快速预警系统通报玻璃食品接触材料的主要食品安全风险[10–11]。武凯锋[12]在 2012 年对出口食品包装玻璃瓶风险进行了评估分析, 并结合日本、美国的法规要求提出了应对措施。关于食品接触用玻璃制品重金属的迁移规律的研究, 也一直聚焦于铅和镉元素的迁移[8,13]。

近年来, 随着玻璃原辅料和加工工艺的多元化发展, 特别是钛、锆、锂等一些非常规无机氧化物或无机盐原料的使用[14–17], 玻璃制品中铅、镉之外的其他无机元素的迁移问题也逐渐显现[18–23]。与此同时, 随着全球各国对食品接触用玻璃制品食品安全关注度的不断提高, 各国纷纷通过立法或标准加强了对玻璃制品的食品安全监管, 且各国要求不尽相同。值得注意的是, 虽近年来有不少关于食品接触材料法规标准研究的报道[24–26], 但针对食品接触用玻璃制品法规标准的研究相对匮乏, 且研究成果多发表于 2010 年前后, 主要集中在中国、欧盟、日本等少数国家的法规标准领域[18,27]。

本文系统研究了国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)、中国、欧盟及其成员国(意大利、法国)、美国、加拿大、日本、韩国和俄罗斯等 10 个代表性组织、国家和地区的食品接触用玻璃制品法规标准。在详细介绍不同国家和地区标准法规的基础上, 从管理模式、限量指标、检测条件、检测方法和符合性判定规则等多个维度, 全面、深入地分析了不同国家和地区法规标准管理要求的异同点, 旨在为玻璃行业做好食品接触用玻璃制品食品安全和合规管控、研究人员开展系统性研究以及我国食品接触用玻璃制品食品安全国家标准的进一步完善提供法规支持和参考。

1　国内外食品接触用玻璃制品的法规标准与食品安全要求

1.1　我国食品接触用玻璃制品的相关标准

我国原卫生和计划生育委员会(现国家卫生健康委员会)2016 年 10 月 19 日发布了 GB 4806.5—2016《食品安全国家标准 玻璃制品》, 该标准为我国关于食品接触用玻璃制品现行有效的唯一食品安全国家标准。

GB 4806.5—2016 规定, 食品接触用玻璃制品应符合 GB 4806.1—2016《食品安全国家标准 食品接触材料及制品通用要求》的规定, 并针对玻璃制品规定了原料、感官和理化指标 3 个维度的技术要求。其中, 原料应符合 GB 4806.1—2016 的规定; 感官应无飞边、裂纹及崩损缺口; 理化指标, 将玻璃制品分为扁平制品、贮存罐、大空心制品、小空心制品、烹饪器皿、口缘, 分别规定了铅、镉的迁移限量。对于迁移量的测定, 标准规定仅选择 4%(体积分数)乙酸作为食品模拟物, 同时迁移试验温度和时间根据产品用途烹饪器皿、可微波炉使用制品、其他常温条件使用制品, 分别选择 120 min、98 ℃, 15 min、100 ℃, 24 h、22 ℃进行迁移试验, 其他要求按照 GB 31604.1—2023《食品安全国家标准 食品接触材料及制品 迁移试验通则》和 GB 5009.156—2016

《食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验预处理方法通则》的规定执行。此外, 对于玻璃制品的标签标识, 在符合 GB 4806.1—2016 的基础上, 当产品声称可用于烹饪、微波使用的性能时, 还应在产品或最小销售包装上标识。

对于 GB 4806.5—2016 中铅、镉迁移量的检测, 我国制定了相应的检测方法标准, 分别为 GB 31604.34—2016《食品安全国家标准 食品接触材料及制品 铅的测定和迁移量的测定》和 GB 31604.24—2016《食品接触材料及制品 镉迁移量的测定》, 分析方法包括原子吸收法、电感耦合等离子体光谱法和质谱法等。

1.2 食品接触用玻璃制品的国际法规标准

作为历史悠久且广泛使用的食品接触材料, ISO 早在 1980 年代便发布了关于食品接触用玻璃空心制品的标准。目前关于玻璃制品的标准是 ISO 7086-2:2000《与食品接触的玻璃空心制品 铅、镉溶出 第 2 部分 允许限量》和 ISO 7086-1:2019《与食品接触的玻璃空心制品 铅、镉溶出 第 1 部分 检测方法》、ISO 6486-2:1999《与食品接触的陶瓷制品、微晶玻璃制品和玻璃餐具 铅、镉溶出 第 2 部分 允许限量》、ISO 6486-1:2019《与食品接触的陶瓷制品、微晶玻璃制品和玻璃餐具 铅、镉溶出 第 1 部分 检测方法》。

ISO 7086 标准适用于准备、烹饪、盛装及储存食品和饮料的空心玻璃制品, 不包括玻璃陶瓷制品、扁平玻璃制品, 以及食品制造业或食品销售所使用的所有玻璃制品。ISO 7086-2:2000 将空心玻璃制品定义为从容器最低点到溢出面的深度大于 25 mm 的容器, 并将其分为小空心(容量小于 600 mL)、大空心(容量介于 600 mL 和 3 L 之间)和贮存罐(容量大于等于 3 L) 3 类, 分别规定了铅、镉的限量, 并要求进行 4 个平行样测试, 且所有样品均需符合限量要求。此外, 还规定测试铅、镉溶出的溶剂为 4%(体积分数)乙酸。ISO 7086-1:2019 则详细规定了铅、镉溶出量检测的试样制备、溶出试验的提取温度、时间、提取次数、具体操作步骤及注意事项、仪器分析方法等内容。2025 年, ISO 对 ISO 7086-2 进行了再次修订, 发布的国际标准草案(draft international standard, DIS) ISO/DIS 7086-2《Glass hollowware in contact with food-Release of lead and cadmium Part 2: Permissible limits》计划将一次性使用制品的铅溶出量从原先的 1.5 mg/L 降低至 40 μg/L, 镉溶出量从原先的 0.5 mg/L 降低至 20 μg/L; 对于重复使用制品, 铅溶出量调整为 170 μg/L, 镉溶出量调整为 85 μg/L。

ISO 6486 标准则适用于准备、烹饪、盛装及储存食品和饮料的陶瓷制品、玻璃陶瓷制品和玻璃餐具, 不包括食品制造业或食品销售所使用的玻璃制品, 也不适用于搪瓷制品。其中, 玻璃餐具仅指餐桌上为食品提供服务的玻璃制品, 如盘子、碗等, 不包括酒壶、高脚杯等盛放饮料的容器。ISO 6486-2:1999 将玻璃餐具分为扁平制品(深度小于 25 mm)、小空心(容量小于 1.1 L)、大空心(容量介于 1.1 L 和 3 L 之间)、贮存罐(容量大于等于 3 L)、杯和大杯、烹饪器皿 6 类, 分别规定了铅、镉的限量, 并要求进行 4 个平行样测试, 除扁平制品要求平均值符合限量外, 其他 5 类制品所有样品均需符合限量要求。此外, 还规定测试铅、镉溶出的溶剂为 4%(体积分数)乙酸。ISO 6486-1:2019 则详细规定了铅、镉溶出量检测的试样制备、溶出试验的提取温度、时间、提取次数、具体操作步骤及注意事项、仪器分析方法等内容。值得关注的是, 2025 年 ISO 也启动了 ISO 6486-2 的修订工作, ISO/DIS 6486-2《Ceramic ware, glass-ceramic ware and glass dinnerware in contact with food-Release of lead and cadmium Part 2: Permissible limits》计划根据最新研究进一步调整相关限量的要求。

1.3 欧盟及其成员国食品接触用玻璃制品的法规标准

1.3.1 欧盟法规标准

欧洲议会和欧盟理事会目前尚未出台针对食品接触用玻璃制品的欧盟层面法规, 即欧盟暂无统一的食品接触用玻璃制品法规。欧洲标准化委员会发布了 3 项与食品接触用玻璃制品相关的欧盟标准(European standard, EN)。其中, EN 12983-2:2023《炊具-烹饪器皿 炉子、炊具或炉灶上用的家用烹饪器皿 第 2 部分: 陶瓷烹饪器皿和玻璃盖的一般要求》和 EN 15284:2007《与食品接触的材料和制品 陶瓷、玻璃、玻璃陶瓷或塑料厨房用具抗微波加热的测试方法》均未涉及食品接触用玻璃制品食品安全管理相关的规定, 转化自 EN 的英国标准(British standard, BS) EN 1388-2:1996《与食品接触的材料和制品 硅酸盐表面 第 2 部分 非陶瓷制品的硅酸盐表面铅、镉释放量的测定》仅规定了测定铅和镉元素迁移量的试验方法, 也未规定安全限量。

欧洲委员会公共健康委员会食品接触材料专家委员会, 2004 年发布了《关于玻璃餐具在食品中溶出铅的指南》。该指南仅适用于含铅玻璃制的玻璃餐具, 不包括彩饰玻璃和玻璃陶瓷器皿。鉴于含铅玻璃中的镉仅来源于原料中的极少量杂质, 指南并未规定镉的迁移限量。指南将玻璃餐具分为空心制品和扁平制品, 明确了铅迁移的安全限量、符合性判定规则及测试方法。其中, 玻璃空心器皿的限量和符合性判定规则采用了 ISO 7086-2 对空心制品的规定。此外, 指南还提供了关于铅迁移的相关研究, 涵盖影响铅迁移的因素和食品中铅的指导性水平等内容。指南中还包含了对行业控制铅迁移风险具有指导意义的建议, 例如: 铅迁移量会随着迁移试验次数的增加而逐次下降, 至第 4 次迁移试验后铅迁移基本达到稳定水平; 建议晶质玻璃餐具在使用前, 用 50%的醋或柠檬酸(如柠檬汁)在室温下浸泡 24 h, 以显著降低铅迁移的风险。因此, 尽管该指南并非欧盟的强制性法规, 但对行业仍有较大参考价值。

1.3.2　欧盟成员国法规

除了欧盟层面的法规、标准和指南外, 欧盟各成员国还会制定本国的法规和标准。目前, 在欧盟 27 个成员国中, 意大利、法国、丹麦、荷兰、比利时等多个国家均制定了关于食品接触用玻璃制品的相关法规和/或标准, 且多数国家均等同采用了 BS EN 1388-2 的相关规定。在有特殊规定的成员国法规中, 意大利和法国规定了一些代表性的要求。

意大利卫生部于 1973 年 3 月 21 日颁布的法令《与食品物质或个人用品接触的包装、容器和食品用工具的卫生标准》将食品接触用玻璃制品根据成分和颜色分为 3 类: A 级(无色/有色硼硅酸盐和钠钙玻璃)、B 级(钠钙玻璃, 包括不透明玻璃, 如白/彩色乳白玻璃)、C 级(含铅玻璃), 并分别规定了这 3 类玻璃的限量要求和测试条件。值得注意的是, 意大利对含铅玻璃不仅规定了总迁移量要求, 还规定了铅迁移量要求, 而对另外两类玻璃仅规定了总迁移量要求。此外, 意大利还针对 A 级和 B 级玻璃规定了使用限制, 例如 B 级玻璃的使用温度不得超过 80 ℃。

法国竞争、消费和反欺诈总局(Direction Générale De La Concurrence, De La Consommation Et De La Répression Des Fraudes, DGCCRF)于 2004 年发布的 2004-64 号信息通告根据器型、用途、是否含口缘将食品接触用玻璃制品分为 4 类, 并分别规定了铅和镉的迁移限量, 同时提供了测试方法和符合性判定规则。2016 年, DGCCRF 发布了关于食品接触材料(matériaux destinés à entrer en contact avec les denrées alimentaires, MCDA)的 Fiche MCDA n°2 (V01–01/05/2016)《无机材料(不含金属及合金)与食品接触的适用性》, 对原信息通告中关于玻璃等无机材料的要求进行了修订, 在铅和镉的基础上新增了铝、钴、砷、六价铬 4 种元素的迁移限量。其中, 六价铬仅适用于搪瓷制品。

1.4　美国和加拿大食品接触用玻璃制品的法规标准

美国暂无针对食品接触用玻璃制品的法规标准, 据了解, 目前行业参考食品药品监督管理局制定的符合性政策指南 CPG 7117.06《进口和国产陶瓷器皿的铅杂质》和 CPG 7117.07《进口和国产陶瓷器皿的镉杂质》对玻璃制品进行管控, 这两项指南分别对陶瓷器皿中铅和镉的限量要求、检测方法、取样数量、抽样监管及不合格品处置进行了详细规定。

加拿大发布的法定命令和法规 SOR/2016-175《釉面陶瓷和玻璃器皿法规》将食品接触用玻璃制品根据器型分为扁平制品、小空心制品、大空心制品、贮存罐、杯子、含口缘制品等类别, 分别规定了铅和镉的迁移限量, 并明确了测试条件和检测方法。

1.5　日本和韩国食品接触用玻璃制品的法规标准

日本厚生省 370 告示《食品、添加剂等的规格基准》和韩国《食品器具、容器和包装的标准和规范》, 根据食品接触用玻璃制品是否可填充、是否可加热、容积大小等因素, 将其分为 5 类产品, 分别规定了各类产品铅和镉的迁移限量、试验条件及相应的检测方法, 相关规定基本一致。

1.6　俄罗斯食品接触用玻璃制品的法规标准

俄罗斯关税同盟技术法规 TR CU 005/2011《关于包装安全的技术法规》将玻璃制品根据容积大小(1.1 L)分为两类, 但二者所需符合的铅、镉迁移限量一致。对于无色和半透明玻璃、绿色玻璃、棕色玻璃、水晶玻璃, 俄罗斯另外规定了其他无机元素的迁移限量要求。此外, 对于染色玻璃制品, 还应视情况测试不同无机元素的迁移限量。TR CU 005/2011 规定了玻璃制品的迁移试验条件, 并在方法标准清单中列出了检测方法。

2　国内外食品接触用玻璃制品法规标准食品安全要求对比与分析

系统分析上述国内外食品接触用玻璃制品法规标准可知, ISO 与各国和地区的法规标准对食品接触用玻璃制品食品安全的管理要求相似, 但不尽相同, 具体从管理模式、限量指标、检测条件、检测方法、符合性判定规则方面对比分析如下。

2.1　管理模式

不同于食品接触用塑料材料及制品等高分子材料, 玻璃制品如本文引言所述, 其原辅料和加工工艺的特性, 决定了其食品安全风险主要来自于无机元素的迁移。因此, 目前 ISO 及各国家/地区的法规标准对食品接触用玻璃制品的食品安全管理模式是一致的, 均未对原料进行肯定列表管理, 仅对玻璃制品中可能存在迁移风险的铅、镉等无机元素的溶出量(以下通称迁移量)给出了限制, 并明确规定迁移量测试的要求和方法。

2.2　限量指标

尽管 ISO 以及各国家/地区的法规标准在食品接触用玻璃制品的食品安全管理方面, 均对铅、镉等无机元素的迁移量给予了关注并设定了限制, 但具体要求存在差异, 详见表 1。

由表 1 可知, ISO 及各国家/地区的法规标准均对食品接触用玻璃制品进行了分类管理。不同类型/类别的产品, 其限制的无机元素及其迁移限量各不相同。从限制的无机元素来看, 欧盟和意大利仅规定了含铅玻璃中铅的迁移限量, 而中国、美国、加拿大、日本和韩国则对玻璃制品中的铅和镉均设有迁移限量。此外, 法国还额外规定了铝、钴、砷 3 种元素的迁移限量, 俄罗斯还根据玻璃颜色和染色情况分别规定了硼、砷、铜、锰等不同无机元素的迁移限量。

表 1 ISO 及全球各国家/地区法规标准中食品接触用玻璃制品的食品安全限量要求

Table 1 Food safety limit requirements for food-contact glass products in ISO and global national/regional regulations & standards

国家/地区	产品类型	限量			法规来源
		铅	镉	其他	
ISO	小空心制品(V<0.6 L)	1.5 mg/L	0.5 mg/L	无	ISO 7086-2:2000
	大空心制品(0.6 L≤V<3 L)	0.75 mg/L	0.25 mg/L		
	贮存罐(V≥3 L)	0.5 mg/L	0.25 mg/L		
	扁平制品(<25 mm)	0.8 mg/dm^2	0.07 mg/dm^2	无	ISO 6486-2:1999
	小空心制品(V<1.1 L)	2 mg/L	0.5 mg/L		
	大空心制品(1.1 L≤V<3 L)	1 mg/L	0.25 mg/L		
	贮存罐(V≥3 L)	0.5 mg/L	0.25 mg/L		
	杯类	0.5 mg/L	0.25 mg/L		
	烹饪器皿	0.5 mg/L	0.05 mg/L		
中国	扁平制品(不可填充, 或填充后液体深度<25 mm)	0.8 mg/dm^2	0.07 mg/dm^2	无	GB 4806.5—2016
	小空心制品(V<1.1 L)	1.5 mg/L	0.5 mg/L		
	大空心制品(1.1 L≤V<3 L)	0.75 mg/L	0.25 mg/L		
	贮存罐(V≥3 L)	0.5 mg/L	0.25 mg/L		
	烹饪器皿	0.5 mg/L	0.05 mg/L		
	口缘	4.0 mg/L	0.4 mg/L		
欧盟	小空心制品(V<0.6 L)	1.5 mg/L	无	无	《关于玻璃餐具在食品中溶出铅的指南》
	大空心制品(0.6 L≤V<3 L)	0.75 mg/L	无		
	特大空心制品(V≥3 L)	0.5 mg/L	无		
	扁平制品	0.8 mg/dm^2	无		
意大利	A 级(无色/有色硼硅酸盐和钠钙玻璃)	无	无	总迁移量: 8 mg/dm^2 或 50 mg/kg	1973 年 3 月 21 日法令
	B 级(钠钙玻璃, 包括不透明玻璃, 如白/彩色乳白玻璃)	无	无		
	C 级(含铅玻璃)	0.3 ppm	无		
法国	第 1 类: 不可填充制品和扁平制品	0.8 mg/dm^2	0.07 mg/dm^2	铝: 1 mg/kg 钴: 0.02 mg/kg 砷: 不得检出(检出限≤0.002 mg/kg)	Fiche MCDA n°2 (V01–01/05/2016)
	第 2 类: 第 1 和 3 类除外的可填充制品	4.0 mg/L	0.3 mg/L		
	第 3 类: 烹饪用具(第 1 类除外); >3 L 的包装或储存容器	1.5 mg/L	0.1 mg/L		
	口缘	2 mg/件	0.2 mg/件	无	
加拿大	扁平制品(≤25 mm)	3.0 mg/L	0.50 mg/L	无	SOR/2016-175
	小空心制品(V<1.1 L, 杯类除外)	2.0 mg/L	0.50 mg/L		
	大空心制品(V≥1.1 L, 贮存罐除外)	1.0 mg/L	0.25 mg/L		
	杯类	0.5 mg/L	0.50 mg/L		
	贮存罐	0.5 mg/L	0.25 mg/L		
	口缘	4 mg/L	0.4 mg/L		
日本	可填充, 且深度≥25 mm, 加热烹饪器具	0.5 μg/mL	0.05 μg/mL	无	《食品、添加剂等的规格基准》
	可填充, 且深度≥25 mm, 非加热烹饪器具, V<0.6 L	1.5 μg/mL	0.5 μg/mL		
	可填充, 且深度≥25 mm, 非加热烹饪器具, 0.6 L≤V<3 L	0.75 μg/mL	0.25 μg/mL		
	可填充, 且深度≥25 mm, 非加热烹饪器具, V≥3 L	0.5 μg/mL	0.25 μg/mL		
	不可填充, 或填充后液体深度<2.5 cm	8 μg/cm^2	0.7 μg/cm^2		
韩国	可填充, 且深度≥25 mm, 加热烹饪器具	0.5 mg/L	0.05 mg/L	无	《食品器具、容器和包装的标准和规范》
	可填充, 且深度≥25 mm, 非加热烹饪器具, V<0.6 L	1.5 mg/L	0.5 mg/L		
	可填充, 且深度≥25 mm, 非加热烹饪器具, 0.6 L≤V<3 L	0.75 mg/L	0.25 mg/L		
	可填充, 且深度≥25 mm, 非加热烹饪器具, V≥3 L	0.5 mg/L	0.25 mg/L		
	不可填充, 或填充后液体深度<25 mm	8 μg/cm^2	0.7 μg/cm^2		

表 1(续)

国家/地区	产品类型	限量			法规来源
		铅	镉	其他	
	<1.1 L 的包装	2 mg/L	0.5 mg/L	1. 不同颜色玻璃还需检测: (1)无色和半透明玻璃: 硼: 0.5 mg/L; 铝: 0.5 mg/L; 砷 0.05 mg/L; (2)绿色玻璃: 铝: 0.5 mg/L; 三价铬和六价铬之和: 0.1 mg/L; 铜: 1.0 mg/L; 硼: 0.5 mg/L; (3)棕色玻璃: 铝: 0.5 mg/L; 锰: 0.1 mg/L; 硼: 0.5 mg/L; (4)水晶玻璃: 铝: 0.5 mg/L; 硼: 0.5 mg/L; 钡: 0.1 mg/L(针对含钡水晶玻璃) 2. 染色制品还需检测 (1)蓝色: 三价铬和六价铬之和: 0.1 mg/L; 铜: 1.0 mg/L; (2)深蓝色: 钴: 0.1 mg/L; (3)红色: 铜: 1.0 mg/L; 锰: 0.1 mg/L; (4)黄色: 三价铬和六价铬之和: 0.1 mg/L; 钡: 0.1 mg/L	
俄罗斯	≥1.1 L 的包装	2 mg/L	0.5 mg/L		TR CU 005/2011

在分类方式上, 除意大利根据玻璃制品的成分和颜色进行分类外, 其余国家和地区主要依据器型(包括是否可填充、容积大小)、用途(是否可加热)以及是否含口缘来进行分类, 并分别规定了每类的限量指标。具体而言, 中国、美国、加拿大将大小空心制品以 1.1 L 为容积(V)界限进行划分, 欧盟、日本和韩国则将这一界限设定为 0.6 L, ISO 则对空心玻璃制品和玻璃餐具给出了不同的划分标准。尽管如此, 各国和地区对扁平制品(制品最低水平面到制品口缘水平面的深度≤25 mm)和空心制品(深度>25 mm)的定义普遍保持一致。

2.3　检测条件

ISO 以及各国家/地区的法规标准对食品接触用玻璃制品无机元素迁移量测试所用模拟物、迁移试验时间和温度、迁移试验次数的规定, 见表 2。

根据表 2 可知, 在模拟物方面, ISO 以及各国/地区的法规标准均采用乙酸溶液作为食品模拟物。其区别在于, 意大利规定使用的是质量体积分数为 3%的乙酸, 而其余国家和地区指定的食品模拟物为体积分数 4%的乙酸。在迁移试验温度和时间方面, 除中国针对不同用途的玻璃制品规定了不同的试验条件外, ISO 和其他国家/地区均规定了统一的试验温度和时间。关于迁移试验次数, 对于一次性使用制品, ISO 和中国标准规定仅需进行 1 次迁移试验; 对于重复使用制品, ISO、中国、意大利、法国标准规定则需采用新的模拟物进行 3 次迁移试验; 此外, 对于迁移试验次数, 法国规定还需根据迁移元素进行区分。欧盟、加拿大、日本、韩国和俄罗斯对迁移试验次数未作明确规定, 通常根据惯例, 不区分是否重复使用, 仅进行 1 次迁移试验。现有研究表明, 随着迁移试验次数的增加, 重金属的迁移量逐渐下降[13]。

2.4　检测方法

由于待测目标物为金属等无机元素, ISO 及各国/地区法规标准中规定的检测方法包括火焰原子吸收光度法、石墨炉原子吸收光谱法、电感耦合等离子体质谱法和电感耦合等离子体发射光谱法中的一种或几种方法, 这些方法也是现有文献报道中常用的检测方法[28–30]。此外, 在国内, 原子荧光光谱法也常用来测定玻璃制品中砷、锑元素的迁移[31–33]。因此, 一些国家和地区还允许使用除法规标准指定方法以外的、其他经过充分技术验证的科学方法进行检测。例如, 法国规定可采用原子吸收光谱法或其他检出限不超过 1/10 限量的等效方法测定元素的迁移量。尽管法规标准中规定可采用多种方法测定玻璃制品中无机元素的迁移量, 但值得关注的是, 不同的检测方法其不确定度存在一定的差异[34–36], 在使用时还需考虑方法的适用性[37]。

表 2 ISO 及全球各国家/地区法规标准中食品接触用玻璃制品元素迁移试验条件

Table 2 Test conditions of elemental migration from food-contact glass products in ISO and global national/regional regulations and standards

国家/地区	模拟物	试验温度和时间	迁移试验次数	法规来源
中国	4%(体积分数)乙酸	烹饪制品: 98 ℃, 120 min; 可微波使用制品: 100 ℃, 15 min; 其他常温条件使用制品: 22 ℃, 24 h	一次性使用制品: 1 次; 重复使用制品: 3 次	GB 4806.5—2016、GB 31604.1—2023
ISO		(22±2) ℃, 24 h	一次性使用制品: 1 次; 重复使用制品: 3 次	ISO 7086-1:2019
				ISO 6486-1:2019
欧盟			未作明确规定	《关于玻璃餐具在食品中溶出铅的指南》
加拿大			未作明确规定	SOR/2016-175
法国		(22±2) ℃, 24 h±30 min	铅、镉: 未作明确规定; 铝、钴、砷: 一次性使用制品, 1 次; 重复使用制品: 3 次	Fiche MCDA n°2 (V01–01/05/2016)
日本		25 ℃, 24 h	未作明确规定	《食品、添加剂等的规格基准》
韩国			未作明确规定	《食品器具、容器和包装的标准和规范》
俄罗斯	铅、镉: 4%(体积分数)乙酸; 其余元素: 未规定	铅、镉、汞、六价铬: (22±2) ℃, 24 h; 其余元素: 未规定	未作明确规定	TR CU 005 2011、GOST 34030.1—2016《包装材料中重金属及其他危险物质含量的测定与控制及其对环境释放要求》第 1 部分: 包装材料中四种重金属含量的测定与控制要求
意大利	3%(质量体积分数)乙酸	40 ℃, 24 h	重复使用制品: 3 次	1973 年 3 月 21 日法令

2.5 符合性判定

除检测限量指标、检测条件及检测方法外, 对食品接触用玻璃制品开展检测并进行符合性判定, 亦为玻璃制品食品安全管理的重要组成部分。

ISO 7086-2:2000 规定, 空心制品需对 4 件样品进行测试, 且每件样品铅、镉的迁移量均应小于或等于限量值, 方可判定为合格。ISO 6486-2:1999 规定, 玻璃制品需对 4 件样品进行测试, 除扁平制品要求平均值符合限量外, 其他 5 类制品所有样品均需符合限量要求。欧盟指南要求玻璃制品的取样数量为 4 件, 空心制品每件的铅迁移量均需小于或等于限量值, 扁平制品的平均值需小于或等于限量值, 方可判定合格。与欧盟情况类似, 美国要求陶瓷制品(玻璃可作为参考)的取样数量为 6 件, 分别规定扁平制品以平均值、扁平制品以外的样品以所有样品结果小于或等于限量值, 才可判定合格。相比之下, 法国的安全判定原则更为复杂, 即当某一样品的铅和镉或其中之一超过限量值, 但未超出限量值的 50%时, 可选取另外至少 3 件形状、尺寸、装饰和釉漆相同的样品进行测试, 若 3 件样品的平均值未超过限量值, 且每个样品的结果未超出限量值的 50%, 则视为合格。其他国家的法规标准虽未明确规定测试样品的数量及符合性判定方法, 但依据其检测方法和化学分析测定惯例, 推断一般需至少进行 2 个平行样品的测试, 并以平均值进行符合性判定。

3 建 议

3.1 关于食品接触用玻璃制品未来发展和研究方向

随着市场对玻璃制品在美观性、高性能及安全性方面需求的提升, 以及全球可持续发展议程的推进, 食品接触用玻璃材料正朝着高性能化、绿色低碳[38–39]、安全协同与智能化 4 个维度深度融合与创新。在此过程中, 玻璃原料与制备工艺日趋多元化, 其传统认知中的高食品安全属性正面临新的不确定性挑战。

因此, 相关研究需紧密结合玻璃工业的发展动态, 对玻璃制品中钴、砷、铬等所有可能存在迁移风险的无机元素开展系统的研究评估, 探究其迁移规律, 评估相关食品安全风险, 以建立更为全面、前瞻的玻璃制品安全评估和管理体系, 支撑该行业在创新中持续保障公共健康。

3.2 关于食品接触用玻璃制品的合规性管理

尽管各国法规标准在食品接触用玻璃制品的食品安全管理理念上基本一致, 管理要求相似, 但在产品分类、限量指标、检测条件和符合性判定等方面存在差异。因此,

建议企业在产品研发和对外贸易过程中, 仍需依据产品预期销售地法规标准的管理要求进行合规性验证, 在确保食品安全合规的同时, 避免贸易壁垒和纠纷。

此外, 随着新原料和新工艺的发展, 玻璃制品存在除铅、镉之外其他无机元素迁移的风险, 建议企业做好原辅料筛选以及玻璃制品其他无机元素迁移风险的控制。

3.3　关于我国食品接触用玻璃制品的食品安全管理

我国现行玻璃制品 GB 4806.5—2016 自 2017 年 4 月 19 日实施以来, 在保障产品质量与安全方面发挥了重要作用。面对玻璃原辅料与生产工艺的持续革新、国际法规与标准的动态发展, 为进一步提升玻璃制品的质量安全水平、促进行业高质量发展, 现就我国玻璃制品食品安全国家标准的优化与完善提出如下建议。

(1)系统研究不同原辅料工艺玻璃制品的无机元素迁移风险, 并开展相应的安全性评估。在此基础上, 科学界定需管控的无机元素及其限量, 并进一步探讨产品分类管理、细化限量设置的必要性和可行性。

(2)研究玻璃制品无机元素迁移量在不同迁移试验条件及不同迁移试验次数下的迁移规律, 为优化迁移试验条件的设定提供科学依据, 重点关注统一迁移试验条件的可行性, 在积极与国际标准接轨的同时, 寻求简化合规性测试操作的可能性。此外, 可根据迁移量随迁移试验次数的变化规律及迁移风险的差异, 研究重复使用和一次性使用玻璃制品迁移试验次数的合理规定, 并评估为其分别设置不同限量的必要性。

(3)在完成上述前瞻性研究的基础上, 综合参考国际法规与标准的相关规定, 系统构建或优化我国玻璃制品的符合性判定规则。

4　结束语

通过上述对比分析可知, ISO 及不同国家/地区的法规标准对食品接触用玻璃制品的管理要求存在差异, 主要的异同点集中于以下 3 个方面。

(1)管理模式与食品安全要求。在食品接触用玻璃制品的食品安全管理模式理念上基本一致。对于玻璃制品的食品安全管理, 与高分子材料不同, 仅依据其原辅料和生产工艺的特性, 对可能存在迁移风险的无机元素实施限量管控, 尽管不同法规标准在产品分类和限量要求上并非完全一致。

(2)迁移量测试条件。鉴于金属等无机元素在酸性介质中更易迁移的特性, 均规定以乙酸溶液作为模拟物进行迁移量测试, 且多数国家采用体积分数为 4%的乙酸。考虑到玻璃制品中金属等无机元素迁移量随迁移试验次数逐次递减的特性, 多数国家未对迁移试验次数进行特殊规定(默认进行 1 次迁移试验), 而 ISO、中国、意大利、法国规定重复使用制品可进行 3 次迁移试验。但不同国家法规标准在迁移试验的温度和时间规定上略有差异, 特别是中国规定应根据 3 类不同的预期用途选择不同的迁移试验条件。

(3)符合性判定。不同国家/地区法规给出的符合性判定规则存在较大差异。例如 ISO 和欧盟要求测试 4 件, 且不同类型产品的判定规则不同, 空心制品要求每件均不得超过限量, 扁平制品要求其平均值不得超过限量。

参考文献

[1] 商贵芹, 陈少鸿, 刘君峰. 食品接触材料质量控制与检验监管实用指南[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
SHANG GQ, CHEN SH, LIU JF. Practical guide to quality control and inspection supervision of food contact materials [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2013.

[2] 陈婧, 希迪·莫苏拉, 杨宗蕊. 中性硼硅玻璃与药物相容性研究进展[J]. 包装工程, 2021, 42(10): 37–43.
CHEN J, XD MSM, YANG ZR. Compatibility of neutral borosilicate glass and drugs [J]. Packaging Engineering, 2021, 42(10): 37–43.

[3] 刘伟, 王志嘉, 赵海波, 等. 门冬氨酸鸟氨酸注射液与中硼硅玻璃安瓿相容性研究[J]. 沈阳药科大学学报, 2022, 39(8): 944–949.
LIU W, WANG ZJ, ZHAO HB, *et al*. The compatibility of ornithine aspartate injection and neutral borosilicate glass ampoule bottle [J]. Journal of Shenyang Pharmaceutical University, 2022, 39(8): 944–949.

[4] EMANUEL G, MASSIMO G, FABIANO N. Glass: The best material for pharmaceutical packaging [J]. Internaitonal Journal of Applied Glass Science, 2022, 13: 281–291.

[5] 苏崟, 王永卿, 张莎. 火焰原子吸收光谱法测定玻璃制品中铅、镉迁移[J]. 食品安全导刊, 2024(6): 108–110.
SU Y, WANG YQ, ZHANG S. Determination of plumbum and cadmium migration in glass products by flame atomic absorption spectrometry [J]. China Food Safety Magazine, 2024(6): 108–110.

[6] 刘莉芳. 电感耦合等离子体发射光谱法测定玻璃白酒瓶中砷和锑的迁移量[J]. 食品安全导刊, 2024(21): 48–50.
LIU LF. Determination of arsenic and antimony migration in glass baijiu bottles by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry [J]. China Food Safety Magazine, 2024(21): 48–50.

[7] 刘磊, 刘毅, 李红梅. ICP-AES 法同时测定食品玻璃容器中铅、镉、砷、锑的溶出量[J]. 食品科学, 2008(2): 353–354.
LIU L, LIU Y, LI HM. Simultaneous determination of lead cadmium arsenic and antimony released from glass containers by ICP-AES [J]. Food Science, 2008(2): 353–354.

[8] MICHAEL JH, SEAN F, BO J. Element migration from glass compositions containing no added lead [J]. The Science of the Total Environment, 2004(319): 39–52.

[9] 袁春梅. 浅谈玻璃陶瓷制品铅、镉溶出量与人体健康的关系[J]. 轻工

标准与质量, 2005(6): 30–31.
YUAN CM. Relationship between lead and cadmium dissolution in glass-ceramic products and human health [J]. Standard & Quality of Light Industry, 2005(6): 30–31.

[10] European Commission. Rapid alert system for food and feed [EB/OL]. (2026-01-19) [2025-12-17]. https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/screen/search

[11] 商贵芹, 汤礼军, 刘君峰, 等. 出口玻璃食品接触材料风险分析[J]. 检验检疫学刊, 2012, 22(1): 38–40, 73.
SHANG GQ, TANG LJ, LIU JF, *et al*. Risk analysis of export food contact glass materials [J]. Journal of Inspection and Quarantine, 2012, 22(1): 38–40, 73

[12] 武凯锋. 出口食品包装玻璃瓶风险评估分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2012(3): 392–394.
WU KF. Risk assessment analysis of export food packaging glass bottles [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2012(3): 392–39.

[13] 高维亚, 张茜琳. 食品接触用玻璃制品重金属迁移检测分析[J]. 食品安全导刊, 2023(24): 119–122.
GAO WY, ZHANG QL. Detection and analysis of heavy metal migration in glass products for food contact [J]. China Food Safety Magazine, 2023(24): 119–122.

[14] 刘星妍. 尾矿制备微晶玻璃过程中伴生有害元素迁移转化规律研究[D]. 南京: 东南大学, 2023.
LIU XY. Study on the migration and transformation of harmful elements in the process of microcrystalline glass preparation from tailings [D]. Nanjing: Southeast University, 2023.

[15] 马婧. CaO、MgO、ZnO 对锂铝硅微晶玻璃结构和性能的调控研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2024.
MA J. Study on the control of CaO, MgO, and ZnO on the structure and properties of lithium-aluminum-silicon microcrystalline glass [D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology, 2024.

[16] 佟志芳, 许聪聪, 王佳兴, 等. FeO 含量对不锈钢渣微晶玻璃铬的迁移分布规律及固铬效果的影响[J]. 有色金属科学与工程, 2023, 14(2): 171–181.
TONG ZF, XU CC, WANG JX, *et al*. Effect of FeO content on migration and distribution of chromium in glassceramics derived from stainless steel slag and chromium fixation [J] Nonferrous Metals Science and Engineering, 2023, 14(2): 171–181.

[17] 陈原彬. 固化多核素的钙钛锆石基陶瓷和玻璃陶瓷的制备与性能研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2024.
CHEN YB. Preparation and performance research of solidified multi-nuclide zirconium titanate-based ceramics and glass-ceramics [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2024.

[18] 师响. 食品用玻璃制品生产原料的安全风险[J]. 甘肃科技, 2020, 36(21): 53–54, 63.
SHI X. Safety risks associated with raw materials for the production of food-grade glassware [J]. Gansu Science and Technology, 2020, 36(21): 53–54, 63.

[19] 熊晓通, 刘明, 尤小龙, 等. 应用 ICP-MS 对玻璃酒瓶 8 种金属元素迁移量对比分析研究[J]. 酿酒科技, 2018(10): 38–43.
XIONG XT, LIU M, YOU XL, *et al*. Comparative analysis of the migration of 8 metal elements in glass bottle by ICP-MS [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2018(10): 38–43.

[20] TOMASZ S, MAŁGORZATA R, MONIKA M. Migration studies of nickel and chromium from ceramic and glass tableware into food simulants [J]. Roczniki Państwowego Zakładu Higieny 2016, 67(3): 247–252.

[21] 何霜, 吴月, 陈涛, 等. 玻璃白酒瓶内表面耐水性及其迁移元素分析研究[J]. 酿酒科技, 2025(4): 73–78.
HE S, WU Y, CHEN T, *et al*. Research on inner surface water resistance and element migration of glass baijiu bottles [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2025(4): 73–78.

[22] 武静文, 罗彦凤, 杨琴, 等. 白酒包装容器中元素总迁移量的建立及比较分析研究[J]. 食品安全导刊, 2022(7): 87–92.
WU JW, LUO YF, YANG Q, *et al*. Establishment and comparative analysis of total element migration in baijiu packaging containers [J]. China Food Safety Magazine, 2022(7): 87–92.

[23] ZHOU SQ, ZHANG M, YAN WJ, *et al*. Investigation on the release of 15 elements from food contact glassware in the Chinese market[J]. Food Packaging and Shelf, 42 (2024) 101247.

[24] 张灿阳, 胡颖, 谢文佳, 等. 我国食品接触材料微生物检验标准现状分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(17): 266–272.
ZHANG CY, HU Y, XIE WJ, *et al*. Analysis of the current status of microbial testing standards for food contact materials in China [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(17): 266–272.

[25] 赵有中, 刘朝阔. 国内外食品接触材料相关法标准及法规[J]. 塑料包装, 2025, 35(1): 1–5.
ZHAO YZ, LIU CK. The standards & regulations of food contact materials at home and abroad [J]. Plastics Packaging, 2025, 35(1): 1–5.

[26] 黄晓钢, 刘利频, 陈焰麒, 等. 食品接触材料及制品国内标准新进展[J]. 轻工标准与质量, 2023(1): 54–58.
HUANG XG, LIU LP, CHEN YQ, *et al*. New development of domestic standard of food contact materials and products [J]. Standard & Quality of Light Industry, 2023(1): 54–58.

[27] 林勤保, 陈月, 宋欢, 等. 陶瓷、玻璃食品包装中有害金属元素的检测和迁移研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(17): 438–442.
LIN QB, CHEN Y, SONG H, *et al*. Research progress of detection and migration of metals in ceramic and glass packaging materials for foods [J]. Food Science, 2010, 31(17): 438–442.

[28] 蒋春嶔. 测定食品接触玻璃制品铅、镉、锑迁移量[J]. 中国标准化, 2018(2): 187–189.
JIANG CQ. Determination of lead, cadmium and antimony migration

from glassware in contact with foodstuffs [J]. China Standardization, 2018(2): 187–189

[29] 王超, 蒋祥飞, 刘杨, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定玻璃制品铅、镉、砷、锑迁移量的方法适用性验证[J]. 酿酒科技, 2020(2): 92–98, 101.
WANG C, JIANG XF, LIU Y, *et al*. Feasibility validation of the determination of the migration of lead,cadmium, arsenic and antimony from glass wares by ICP-MS [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2020(2): 92–98, 101

[30] PI YL, ZHANG WH, ZHANG YS, *et al.* Migration and transformation of heavy metals in glass-ceramics and the mechanism of stabilization [J]. Ceramics International, 2021(47): 24663–24674.

[31] 刘正华, 陈新焕, 肖家勇, 等. 原子荧光光谱法同时测定搪瓷、玻璃食具中砷、锑溶出量[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 249–252.
LIU ZH, CHEN XH, XIAO JY, *et al.* Simultaneous determination of arsenic and antimony released from enamel and glass cookwares by atomic fluorescence spectrometry [J]. Food Science, 2012, 33(24): 249–252.

[32] 王颖杰. 玻璃中总砷的测定-原子荧光光谱法[J]. 玻璃, 2024, 51(5): 34–38, 43.
WANG YJ. Determination of total arsenic in glass by atomic fluorescence spectrometry [J]. Glass, 2024, 51(5): 34–38, 43.

[33] 戴骐, 朱晓雨, 陈笑梅. 氢化物发生原子荧光光谱法同时测定进出口玻璃食具、器皿中有害元素砷、锑迁移量[J]. 食品科技, 2009, 34(1): 256–258.
DAI Q, ZHU XY, CHEN XM. Simultaneous determination of migration of harmful elements arsenic and antimony in imported and exported glass tableware by hydride generation atomic fluorescence spectrometry [J]. Food Science and Technology, 2009, 34(1): 256–258.

[34] 张莎, 王永卿, 苏崟. 原子吸收光谱法测定玻璃白酒瓶中铅迁移量的不确定度评定[J]. 食品安全导刊, 2023(32): 46–48.
ZHANG S, WANG YQ, SU Y. Evaluation of uncertainty in determination of lead migration in glass Baijiu bottles by atomic absorption spectrometry [J]. China Food Safety Magazine, 2023(32): 46–48.

[35] 陈梦元, 骆茂香. 基于测量不确定度评定玻璃瓶中铅迁移量的研究[J]. 酿酒科技, 2023(9): 132–136.
CHEN MY, LUO MX. Assessment of lead migration in glass bottle based on measurement uncertainty [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2023(9): 132–136.

[36] 王超, 蒋祥飞, 马培培, 等. 电感耦合等离子体质谱法测玻璃制品重金属迁移量的不确定度评定[J]. 酿酒科技, 2020(7): 83–89.
WANG C, JIANG XF, MA PP, *et al.* Evaluation of the uncertainties in the determination of heavy metal mobility in glass products by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2020(7): 83–89.

[37] 周润嘉. 探讨玻璃食品接触材料中重金属迁移量检测方法及限值标准[J]. 中国化工贸易, 2021(36): 193–195.
ZHOU RJ. Discussion on the detection methods and limit standards of heavy metal migration in glass food contact materials [J]. China Chemical Trade, 2021(36): 193–195.

[38] TEODORO G, GIOVANNI L, PAOLO P, *et al*. Environmental performance scenarios in the production of hollow glass containers for food packaging: An LCA approach [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2021(26): 785–798.

[39] GIOVANNI DF, CARMEN F, FRANCESCA M. Comparison between the perceived and actual environmental sustainability of beverage packagings in glass, plastic, and aluminium [J]. Journal of Cleaner Production, 2022(333): 130158.

(责任编辑: 韩晓红　安香玉)