

返青箬叶中铜和锌在不同食品模拟物中迁移情况

刘立萍¹, 沈宏桂², 罗宏泉², 王宁¹, 唐序文², 钦石银³

(1.怀化市食品药品检验所, 湖南 怀化 418000; 2.怀化市产商品质量监督检验所, 湖南 怀化 418000;
3.怀化市农产品质量检验检测中心, 湖南 怀化 418000)

摘要: **目的** 分析研究返青箬叶中铜和锌在不同食品模拟物中的迁移情况, 为食品包装用箬叶的质量安全控制提供理论依据。**方法** 称取6份25 g返青箬叶, 分别置于6种食品模拟物中, 在100 °C下保温24 h, 用微波消解-火焰原子吸收光谱法测定食品模拟物处理前后的返青箬叶中铜或锌的含量, 计算其迁移量, 分析迁移情况。**结果** 返青箬叶中的铜和锌在碱性缓冲溶液(pH=10.14)中均未发现迁移, 在其他5种食品模拟物中发生不同程度的迁移。铜在大豆油中迁移量最大(4.7 mg/L); 锌在4% (体积分数) 乙酸溶液中迁移量最大(17.5 mg/L)。**结论** 返青箬叶中铜和锌在碱性食品模拟物中未发现迁移, 在其他食品模拟物中发生明显迁移, 用返青箬叶包裹的食品存在食品安全风险。基于此研究结果和我国目前没有标准对天然食品包装材料保绿化合物来源和迁移限量作明确规定的情况下, 应当禁止返青箬叶用作食品包装材料。

关键词: 返青箬叶; 铜和锌; 食品模拟物; 迁移; 原子吸收火焰光度法

中图分类号: TS206.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)21-0072-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.21.010

Migration of Copper and Zinc of Regreen *Indocalamus* Leaves in Different Food Simulants

LIU Li-ping¹, SHEN Hong-gui², LUO Hong-quan², WANG Ning¹, TANG Xu-wen², QIN Shi-yin³

(1. Institute of Food and Medicine Quality Inspection, Huaihua 418000, China; 2. Institute of Product and Commodity Quality Inspection and Supervision, Huaihua 418000, China; 3. Inspection and Testing Center of Agricultural Products Quality, Huaihua 418000, China)

ABSTRACT: The work aims to analyze and study the migration of copper and zinc of regreen *indocalamus* leaves in different food stimulants, so as to provide a theoretical basis for the quality and safety control of *indocalamus* leaves used for food packaging. Six portions of 25 g of *indocalamus* leaves were taken and placed in six food simulants respectively, and then heated at 100 °C for 24 hours. The concentrations of copper and zinc in regreen *indocalamus* leaves were measured by microwave digestion-Flame Atomic Absorption Spectrometry (AAS) to evaluate the migration in food simulants before and after treatment. Finally, the migration amount was calculated and the migration situation was analyzed. Neither copper nor zinc in regreen *indocalamus* leaves migrated in alkaline buffer solution (pH 10.14), but both of them migrated in varying degrees in other 5 food simulants. Copper migrated with maximum amount in soybean oil by 4.7 mg/L, and zinc migrated with maximum amount in 4% acetic acid solution by 17.5 mg/L. Neither copper nor zinc in regreen *indocalamus* leaves migrate in alkaline buffer solution, but both of them migrate in varying degrees in other 5 food

收稿日期: 2021-03-22

基金项目: 湖南省市场监督管理局科技计划(2020KJJH69)

作者简介: 刘立萍(1966—), 女, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全检测、工业产品质量检验和天然产物分析。

simulants. There is a food safety risk in the food wrapped with regreen *indocalamus* leaves. Based on the study results and the fact that there is no standard for the source and migration limits of green compounds in natural food packaging materials in China, it should be prohibited to use regreen *indocalamus* leaves as food packaging materials.

KEY WORDS: regreen *indocalamus* leaves; copper and zinc; food stimulants; migration; Flame Atomic Absorption Spectrometry

《中华人民共和国食品安全法》于 2009 年颁布，正式将食品包装材料纳入食品监督管理范畴。虽然我国在完善食品包装材料法律法规和质量安全标准上做了大量工作，建立了较完善的以质量安全为核心的食品包装材料标准体系，但是没有覆盖天然食品包装材料。近年来，因食品包装材料中有害物质迁移引起了一些食品安全问题，如雀巢婴幼儿牛奶印墨污染事件、国产奶瓶双酚 A 事件、白酒塑化剂事件等；另外，一些出口食品包装材料曾因重金属、游离单体和降解物质迁移等情况在国外连连受阻^[1-3]，所以食品包装材料的安全问题也引起了人们的普遍关注。

粽叶是深受人们欢迎的天然食品包装材料，主要是禾本科竹亚科箬竹属 (*Indocalamus Nakai*) 植物的叶，即箬叶，我国约有 20 种以上，主要分布在长江流域以南地区^[1]，资源非常丰富。粽叶是许多食品的传统包装材料，已经形成产业化，湖南至少有粽叶生产企业 131 家，大多数企业没有食品安全管理体系^[4]。不法商家采取化学染色手段，在浸泡箬叶时加入工业硫酸铜或氯化锌，让已失去原色的箬叶返青或鲜叶保绿，使其表面光鲜、色泽鲜绿。近年来，有研究者开始关注箬叶营养元素含量以及挥发油、总黄酮、多糖等活性物质的提取、分离和测试^[5-10]。也有关于箬叶中金属离子迁移的研究，闫荣玲等^[7]将 3 片粽叶放入 300 mL 水中持续煮沸 30min，分析了粽叶中稀土元素析出的情况，发现稀土元素在沸水中析出甚微。石艳等^[11]研究了用返青箬叶包裹的粽子经水蒸和水煮后，返青箬叶中铜迁移到粽子里的情况，粽子铜本底为 1.49 mg/kg，用硫酸铜溶液浸泡的返青粽叶经水煮和清洗后铜含量为 516.32 mg/kg 时，经蒸熟后其包裹的粽子铜离子平均值为 1.73 mg/kg；用硫酸铜溶液浸泡的返青粽叶未经水煮和清洗铜含量为 1613.08 mg/kg 时，经煮熟后其包裹的粽子铜离子平均值为 9.72 mg/kg，返青粽叶在煮熟工艺中铜离子充分迁移。陈召桂等^[12]研究了用返青箬叶包裹含油、糖、碱和盐的大米粽子经烧煮后，返青箬叶中铜迁移到米粽里的情况，发现高盐和高油对铜离子迁移有利，使用返青粽叶包裹的碱水粽铜迁移量较为可控。前述文献对铜迁移影响因素的考虑比较局限，没有考虑被包裹食品性质的稳定性，对返青箬叶的使用量、加热时间和加热介质用量等没有明确说明，没有提出迁移量的概念，更没有准确测定返青粽叶铜向食品中迁移的迁移量。文中结合实际、参考国家标准^[13-14]，选择客观稳定的食品模拟物，量化食品模拟物和返青箬叶的量，固

定加热温度和时间，对返青箬叶中铜离子和锌离子的迁移情况进行量化分析，拟为食品包装用箬叶的质量安全控制提供理论依据。

1 实验

1.1 材料、试剂和仪器

主要材料：箬叶，采自怀化市洪江市；白砂糖，产于怀化市；大豆油，产于怀化市。

主要试剂：锌标准物质，1 mg/mL，GSB 04—1761—2004，国家有色金属及电子材料分析测试中心；铜标准物质，1 mg/mL，GSB 04—1725—2004，国家有色金属及电子材料分析测试中心；茶叶标准物质，GBW 10016a(GSB—7a)，中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所；硝酸，赛默飞世尔科技(中国)有限公司；水为超纯水；溶液为水溶液；硫酸铜溶液，5 g/L；氯化锌溶液，5 g/L；氯化钠溶液，25 g/L；体积分数为 4% 的乙酸溶液；碳酸钠-碳酸氢钠缓冲溶液，pH=10.14 (20 °C)；白砂糖溶液，100 g/L；大豆油；所用试剂除另有规定外均为优级纯试剂。

主要仪器：ICE 3500 原子吸收分光光度计，赛默飞世尔科技(中国)有限公司；ETHOS UP 高效微波消解仪，北京莱伯泰科仪器股份有限公司；VB24 PLUS 智能样品处理器，天津博纳艾杰科技有限公司；FD-15-T250A 中药材高速粉碎机，上海市闵行区舰艇工贸有限公司；GZX-9140MBE 电热恒温干燥箱，天津市泰斯特仪器有限公司；Milli-Q 超纯水处理系统，美国 Millipore 公司。

1.2 方法

1.2.1 箬叶预处理

箬叶鲜叶清洗干净后，称取 2 份，每份 450 g，分别浸入 4.5 L 硫酸铜溶液 (5 g/L) 和氯化锌溶液 (5 g/L) 中，浸泡 24 h 后取出，洗去表面游离硫酸铜和氯化锌，沥干，得硫酸铜浸泡箬叶和氯化锌浸泡箬叶，即返青箬叶。把 2 种不同的返青箬叶剪成 4~9 cm² 的碎片，备用。

为返青箬叶准备 12 个 1 L 带磨口塞的广口瓶，平均分成 2 组，每组分别盛装超纯水、氯化钠溶液 (25 g/L)、4% (体积分数) 乙酸溶液，以及碳酸钠-碳酸氢钠缓冲溶液 (20 °C, pH=10.14)、白砂糖溶液 (100 g/L) 和大豆油各 900 mL，用作食品模拟物。第 1 组

每瓶加 25 g 经硫酸铜处理的箬叶,第 2 组每瓶加 25 g 经氯化锌处理的箬叶,使箬叶完全浸没在食品模拟物中,盖好磨口塞。将 2 组广口瓶置于 100 °C 电热恒温干燥箱中保温,使箬叶中的铜离子和锌离子向食品模拟物中充分迁移,保温 24 h 后取出,冷却,洗净箬叶碎片表面的食品模拟物,烘干粉碎,封装备用。取适量硫酸铜和氯化锌浸泡的返青箬叶,分别烘干粉碎,封装备用。实验重复 2 次。

1.2.2 标准曲线绘制

用 4% (体积分数) 硝酸溶液将铜标准物质稀释成 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 标准系列使用液,将锌标准物质稀释成 0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 标准系列使用液,在原子吸收分光光度计(火焰法)测定铜离子和锌离子的最佳条件下分别测定其吸光度,以待测离子的质量浓度为横坐标,相应的吸光度值为纵坐标,绘制标准曲线。火焰原子吸收光谱法的测定条件见表 1。

1.2.3 试样微波消解

称取箬叶干粉 0.2~0.3 g (精确到 0.0001 g) 于消解罐内,加入 7 mL 硝酸,盖紧放置 4 h 以上,按 ETHOS UP 高效微波消解仪的操作规程和表 2 的消解条件,对试样进行消解,用 VB24 PLUS 智能样品处理器赶酸至剩余 1~2 mL 试液,转移到 50 mL 容量瓶,用 4% (体积分数) 硝酸溶液洗涤消解罐 5~6 次,将洗涤液倒入容量瓶,用 4% (体积分数) 硝酸

溶液定容至刻度,混匀,干过滤。用同样的方法处理茶叶标准物质。

1.2.4 样品测定

在必要时,将 1.2.3 的试样滤液进行适当稀释,使目标离子浓度在标准曲线范围内,以茶叶标准物质测定为质量控制方法,按标准曲线绘制方法测定试样中铜和锌的含量。

2 结果和分析

2.1 实验结果

2.1.1 标准系列测定

按 1.3.2 节标准曲线方法,对铜和锌 2 种目标离子标准系列进行测试,所得标准曲线和相关系数见表 3。

由表 3 可知,在 2 种目标离子的系列浓度范围内,标准曲线相关系数均大于 0.995,线性好,符合实验技术要求。

2.1.2 迁移实验结果

用火焰原子吸收光谱法,以茶叶标准物质中相应元素含量测定为质量控制方式,对经 1.2 节的方法处理的试样中铜离子和锌离子含量进行测定,计算食品模拟物中铜离子和锌离子的迁移量,结果见表 4—5,其中迁移量为从返青箬叶向每升食品模拟物中迁移的铜离子或锌离子的质量。

表 1 原子吸收光谱仪的测定条件

Tab.1 Conditions for determination of atomic absorption spectroscopy

| 元素 | 波长/nm | 通带/nm | 灯电流/mA | 燃烧器高度/mm | 乙炔流量/(L·min ⁻¹) |
|----|-------|-------|--------|----------|-----------------------------|
| Cu | 324.8 | 0.5 | 3.8 | 7.0 | 1.1 |
| Zn | 213.8 | 0.5 | 11.2 | 7.0 | 1.2 |

表 2 高效微波消解程序

Tab.2 Efficient microwave digestion procedure

| 步骤 | 设定温度/°C | 微波功率/W | 升温时间/min |
|----|---------|--------|----------|
| 1 | 120 | 1800 | 12 |
| 2 | 120 | 1800 | 3 |
| 3 | 190 | 1800 | 15 |
| 4 | 190 | 1800 | 25 |
| 5 | 强风冷却 | | 15 |

表 3 标准曲线方程和相关系数

Tab.3 Standard curve equations and correlation coefficients

| 元素 | 曲线方程 | 相关系数 | 曲线范围/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) |
|----|---------------------|------------|---|
| Cu | $Y=0.24543x+0.0005$ | $R=0.9998$ | 0.1~1.0 |
| Zn | $Y=0.31006x+0.0038$ | $R=0.9961$ | 0.1~0.8 |

表 4 硫酸铜浸泡箬叶在不同食品模拟物中铜迁移情况
 Tab.4 Migration of copper in *indocalamus* leaves treated with copper sulfate in different food simulants

| 试样 | 1 号实验 | | 2 号实验 | | 3 号实验 | | 铜平均迁移量/ (mg·L ⁻¹) |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| | 铜含量/ (mg·kg ⁻¹) | 铜迁移量/ (mg·L ⁻¹) | 铜含量/ (mg·kg ⁻¹) | 铜迁移量/ (mg·L ⁻¹) | 铜含量/ (mg·kg ⁻¹) | 铜迁移量/ (mg·L ⁻¹) | |
| 茶叶质控样 | 7.9 | | 8.4 | | 8.5 | | |
| 硫酸铜浸泡叶 | 548.2 | | 471.0 | | 479.6 | | |
| 超纯水 | 439.6 | 3.0 | 367.4 | 2.9 | 374.8 | 2.9 | 2.9 |
| 25 g/L 氯化钠溶液 | 498.8 | 1.4 | 430.8 | 1.1 | 422.4 | 1.6 | 1.4 |
| 4% (体积分数) 乙酸溶液 | 453.9 | 2.6 | 369.8 | 2.8 | 362.9 | 3.2 | 2.9 |
| pH=10.14 缓冲溶液 | 567.4 | <0.2 | 495.7 | <0.2 | 501.3 | <0.2 | <0.2 |
| 100 g/L 白砂糖溶液 | 456.4 | 2.6 | 391.0 | 2.2 | 388.4 | 2.5 | 2.4 |
| 大豆油 | 367.8 | 5.0 | 320.0 | 4.2 | 306.6 | 4.8 | 4.7 |

注：茶叶标准物质中铜认定值与不确定度为(8.3±0.5)mg/kg

表 5 氯化锌浸泡箬叶在不同食品模拟物中锌迁移情况
 Tab.5 Migration of zinc in *indocalamus* leaves treated with zinc chloride in different food simulants

| 试样 | 1 号实验 | | 2 号实验 | | 3 号实验 | | 锌平均迁移量/ (mg·L ⁻¹) |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| | 锌含量/ (mg·kg ⁻¹) | 锌迁移量/ (mg·L ⁻¹) | 锌含量/ (mg·kg ⁻¹) | 锌迁移量/ (mg·L ⁻¹) | 锌含量/ (mg·kg ⁻¹) | 锌迁移量/ (mg·L ⁻¹) | |
| 茶叶质控样 | 28.2 | | 25.0 | | 27.2 | | |
| 氯化锌浸泡叶 | 768.4 | | 573.1 | | 595.2 | | |
| 超纯水 | 468.6 | 8.3 | 406.5 | 4.6 | 414.1 | 5.0 | 6.0 |
| 25 g/L 氯化钠溶液 | 327.5 | 12.2 | 259.2 | 8.7 | 259.4 | 9.3 | 10.1 |
| 4% (体积分数) 乙酸溶液 | 23.8 | 20.7 | 19.1 | 15.4 | <1 | 16.5 | 17.5 |
| pH=10.14 缓冲溶液 | 760.6 | <1 | 624.3 | <1 | 655.0 | <1 | <1 |
| 100 g/L 白砂糖溶液 | 411.2 | 9.9 | 324.1 | 6.9 | 340.9 | 7.1 | 8.0 |
| 大豆油 | 588.0 | 5.0 | 480.0 | 2.6 | 501.6 | 2.6 | 3.4 |

注：茶叶标准物质中锌认定值与不确定度为(27±3)mg/kg

2.2 分析和讨论

2.2.1 质量控制方式的选择

通常情况下，控制样品测定准确度的方法主要是加标回收和质量控制样品测定，文中选择质量控制样品测定。茶叶和箬叶作为植物的叶，二者基质类似，其成分中铜和锌元素的含量适中，满足测定方法条件要求，选择茶叶标准物质为质量控制样品。

2.2.2 食品模拟物的选择

通过社会调查得知，以箬叶做内包装材料的食品主要是蒸煮类糕点，如碱水粽子（碱性食品）、原味粽子（无调料食品）、肉粽子（含油食品）、甜藤粿（含糖食品）、粉糍粿（含糖和含油食品）、盐菜粿（含盐食品）和酸菜粿（含盐酸性食品）等，这些食

品的蒸煮介质均为水，根据调查结果和文献[13]，文中选择超纯水、氯化钠溶液（25 g/L）、4%（体积分数）乙酸溶液、碳酸钠-碳酸氢钠缓冲溶液（pH=10.14，20 °C）、白砂糖溶液（100 g/L）和大豆油为食品模拟物。

2.2.3 食品模拟物保温时间和温度的选择

通过对民间和食品工业企业调查发现，以箬叶作为内包装材料的食品熟制方式绝大多数以蒸煮为主，熟制时间长短不一，时间最短为 20 min，最长需要 20 h 左右。保温时间设定为 24 h，保温温度设定为 100 °C。GB 31604.1—2015《食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验通则》^[13]规定，食品接触材料及制品预期使用蒸煮温度 ≤ 100 °C、蒸煮时间 > 15 min 时，迁移实验条件应选择温度 100 °C、时间 1 h。文中选

择的迁移实验条件相较于国家标准^[13]更严苛。

2.2.4 箬叶样品质量和模拟物体积的选择

1.2.1 节的迁移实验为全浸没实验,且箬叶厚度小于 0.5 mm。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》^[14]规定全浸没实验时,试样厚度小于或等于 0.5 mm 时,试样面积取单面面积,对食品接触材料及制品试样接触面积与食品模拟物体积比要求是 6 dm²的接触面积对应 1 L 食品模拟物。文中为获取足够试样,称取单面面积为 4~9 cm²的箬叶碎片 25 g,全部浸没于 900 mL 食品模拟物中。分别测量 3 份 25 g 试样单面面积,平均面积为 12.48 dm²,是标准要求的 2.08 倍,即 12.48 dm²对应 0.9 L 食品模拟物,此实验条件比国家标准^[14]更严苛。

2.2.5 硫酸铜和氯化锌对箬叶颜色的影响

在实验过程中发现,硫酸铜浸泡的箬叶在各食品模拟物中,在 100 °C 下保温 24 h 后仍保持绿色不变;硫酸锌浸泡的箬叶在不同的食品模拟物中,在 100 °C 下保温 24 h 后颜色表现不一样,在超纯水、氯化钠溶液(25 g/L)、缓冲溶液(pH=10.14)和白砂糖溶液(100 g/L)中为绿色,在 4%(体积分数)乙酸溶液和大豆油中为黄色。

箬叶显绿色是因为其含有丰富的叶绿素,叶绿素为镁卟啉化合物,卟啉环中的镁元素可被氢离子、铜离子、锌离子所置换,1.2.1 节的实验分别用硫酸铜和氯化锌处理箬叶,其叶绿素中镁离子分别被铜离子和锌离子取代,分别形成铜代叶绿素和锌代叶绿素,硫酸铜浸泡叶在各食品模拟物中,在 100 °C 下保温 24 h 后仍保持绿色不变;硫酸锌浸泡叶在 4%(体积分数)乙酸溶液和大豆油中,在 100 °C 下保温 24 h 后变成黄色,说明铜代叶绿素比锌代叶绿素更稳定,锌代叶绿素可能在乙酸和大豆油中均不稳定,锌卟啉中锌离子被氢离子取代,从而变成黄色。

2.2.6 食品模拟物的性质对返青箬叶中铜和锌离子迁移量的影响

GB 5009.13—2017《食品安全国家标准 食品中铜的测定》^[15]中火焰原子吸收光谱法测定铜的方法检出限为 0.2 mg/L,GB 5009.14—2017《食品安全国家标准 食品中锌的测定》^[16]中火焰原子吸收光谱法测定锌的方法检出限为 1 mg/L。由表 4 可知,返青箬叶中铜在 pH=10.14 缓冲溶液中迁移量小于国家标准^[15]铜的检出限,说明未发生迁移,在其他 5 种食品模拟物中发生不同程度的迁移,其中在大豆油中迁移量最大(4.7 mg/L)。由表 5 可知,返青箬叶中锌在 pH=10.14 缓冲溶液中迁移量小于国家标准^[16]锌的检出限,说明未发生迁移,在其他 5 种食品模拟物中发生不同程度的迁移,其中在 4%(体积分数)乙酸溶液中迁移量

最大(17.5 mg/L)。食品模拟物对返青箬叶中的铜和锌的迁移量影响很大。总体看来,锌的迁移活性远远大于铜,酸性条件非常有利于锌迁移,植物油比较有利于铜迁移;碱性条件对 2 种元素的迁移起阻隔作用。

硫酸铜和氯化锌溶液浓度一定,不同返青箬叶中的铜和锌含量有区别,可能与叶片所含的叶绿素多少有关,叶绿素含量越高,铜代叶绿素和锌代叶绿素的含量越高,同时迁移到食品模拟物中的铜和锌的量随之增大,即迁移量需增大。

铜和锌是人体必需的微量元素。铜过量摄入会引起代谢紊乱^[17],甚至造成铜中毒^[18];动物实验发现,锌过量摄入,能引起慢性胰腺炎^[19]和阿尔兹海默^[20]。我国对食品中铜和锌含量进行限定的标准只有 2 个:GB 28050—2011《食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则》^[21]和 GB 14880—2012《食品安全国家标准 食品营养强化剂使用标准》^[22]。其中 GB 28050—2011 规定了食品中铜和锌的营养参考值分别为 1.5 mg 和 15 mg,即成人每日膳食营养素铜和锌的适宜摄入量,由表 4—5 可知,除在 pH=10.14 缓冲溶液和 2.5 g/L 氯化钠溶液以外,返青箬叶中铜在其他 4 种食品模拟物中迁移量均超过 1.5 mg/L,锌在 4%(体积分数)乙酸溶液食品模拟物中迁移量超过 15 mg/L,如果成人每天食用该类食品 1 L(或 1 kg)以上,那么食用返青箬叶包装的食品存在摄入过量铜和锌的风险。GB 14880—2012 对铜和锌营养强化剂化合物来源、使用的食品范围和限量做了规定,硫酸铜是铜营养强化剂化合物来源,氯化锌是锌营养强化剂化合物来源,营养强化剂的使用针对微量元素缺乏症。虽然硫酸铜和氯化锌对箬叶具有很好的保绿效果,但目前我国没有对天然食品包装材料保绿化合物的来源和限量作明确规定。明确天然食品包装材料保绿化合物的来源和限量有待进一步积累研究数据,进行安全性评估。NY/T 288—2018《绿色食品 茶叶》规定,绿色食品茶叶中铜限量为 30 mg/kg,参照此标准,由表 4—5 可知返青箬叶中铜含量均高于标准限量 10 倍以上。综上所述,为保障食品安全,应当禁止返青箬叶用作食品包装材料。

3 结语

提出了迁移量的概念,即一定质量的返青箬叶向每升食品模拟物中迁移的铜离子或锌离子的质量,并客观、准确地测定了返青箬叶铜和锌向食品模拟物中迁移的迁移量。硫酸铜浸泡的返青箬叶比氯化锌浸泡的返青箬叶绿色更稳定,硫酸铜对箬叶具有更好的保绿效果,可很好地应用于箬叶工艺品加工业。不同食品模拟物对返青箬叶中铜和锌的迁移量影响较大,返青箬叶中铜和锌在碱性食品模拟物中均未发现迁移,

在其他食品模拟物中发生不同程度的迁移; 返青箬叶中铜在超纯水、氯化钠溶液(25 g/L)、4% (体积分数) 乙酸溶液、白砂糖溶液(100 g/L) 和大豆油这5种食品模拟物中的迁移量分别为2.9, 1.4, 2.9, 2.4, 4.7 mg/L, 铜在大豆油中迁移量最大, 说明油脂型食品更有利于铜迁移; 返青箬叶中锌在上述5种食品模拟物中迁移量分别为6.0, 10.1, 17.5, 8.0, 3.4 mg/L, 锌在4% (体积分数) 乙酸溶液中迁移量最大, 说明酸性食品更有利于锌迁移。虽然铜和锌是人体必需的微量元素, 但食用返青箬叶包裹的食品有摄入过量铜和锌的风险, 可引起铜和锌中毒。基于该研究结果和我国目前没有标准对天然食品包装材料保绿化合物的来源和迁移限量作明确规定的情况下, 为保障食品安全, 应当禁止返青箬叶用作食品包装材料。

参考文献:

- [1] 王健健, 生吉萍. 欧美和我国食品包装材料法规及标准比较分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(11): 3548—3552.
WANG Jian-jian, SHENG Ji-ping. Comparative Analysis of Laws & Regulations and Standards on Food Packaging Materials Between China and European and American Countries[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2014, 5(11): 3548—3552.
- [2] 陈锦瑶, 朱蕾, 张立实. 我国塑料食品包装材料及容器标准体系现状研究与问题分析[J]. 现代预防医学, 2011, 38(6): 1014—1019.
CHEN Jin-yao, ZHU Lei, ZHANG Li-shi. Status and Problems of the Standards System of Plastic Food Packaging Materials in China[J]. Modern Preventive Medicine, 2011, 38(6): 1014—1019.
- [3] 王晓华, 赵保翠, 杨兴章, 等. 食品包装容器与材料存在的安全隐患及控制[J]. 肉类工业, 2006(7): 35—37.
WANG Xiao-hua, ZHAO Bao-cui, YANG Xing-zhang, et al. Potential Safety Hazard of Food Packaging Container and Material and Its Control[J]. Meat Industry, 2006(7): 35—37.
- [4] 晏殊, 刘赛, 刘婷. 粽叶、荷叶作为天然植物类食品包装材料的规范化使用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(4): 1022—1027.
YAN Shu, LIU Sai, LIU Ting. Research Progress of the Standardized Use of Zongye and Lotus Leaves as the Natural Plant Food Packaging Materials[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2020, 11(4): 1022—1027.
- [5] 李水芳, 李姣娟. 箬叶化学成分的比较研究[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(12): 7—10.
LI Shui-fang, LI Jiao-juan. Comparison of Chemical Components in Leaves of *Indocalamus*[J]. Food Research and Development, 2008, 29(12): 7—10.
- [6] 乐薇, 吴士筠. 热浸法提取箬叶总黄酮的动力学研究[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(11): 359—361.
LE Wei, WU Shi-jun. Kinetic Study on the Extraction of Total Flavones from *Indocalamus* Leaves by Hot Dipping Method[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2015, 43(11): 359—361.
- [7] 闫荣玲, 廖阳, 唐秋玲, 等. 粽叶中黄酮的提取工艺及其与稀土离子在沸水中的析出规律[J]. 天然产物研究与开发, 2016(28): 1313—1318.
YAN Rong-Ling, LIAO Yang, TANG Qiu-ling, et al. Extraction Process of Flavonoids and Precipitation Law of Flavonoids and Rare Earth Elements in Boiling Water from *Indocalamus Latifolius* Leaves[J]. Natural Products Research Development, 2016(28): 1313—1318.
- [8] 陈召桂, 何剑飞, 成凌, 等. 微波消解-AAS法测定箬叶中微量离子的含量[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(8): 76—78.
CHEN Zhao-gui, HE Jian-fei, CHENG Ling, et al. Determination of Trace Elements in *Indocalamus* Leaves by Microwave Digestion-Atomic Absorption Spectroscopy[J]. Food Research and Development, 2014, 35(8): 76—78.
- [9] SHEN Mei, CHEN Ling-yun, HAN Wei-li, et al. Methods for the Determination of Heavy Metals in *Indocalamus* Leaves after Different Preservation Treatment Using Inductively-Coupled Plasma Mass Spectrometry[J]. Journal of Microchemical Journal, 2018, 139: 295—300.
- [10] 龚乃超, 锁进锰, 张洁, 等. 半仿生法提取箬叶总黄酮的研究[J]. 绿色科技, 2018(6): 179—181.
GONG Nai-chao, SUO Jin-meng, ZHANG Jie, et al. Study on Semi-Bionic Extraction of Total Flavones from *Indocalamus* Leaves[J]. Journal of Green Science and Technology, 2018(6): 179—181.
- [11] 石艳, 章发盛. 硫酸铜浸泡箬叶包裹粽子实验中铜离子迁移分析[J]. 食品安全导刊, 2017(19): 68—70.
SHI Yan, ZHANG Fa-sheng. Analysis of Copper Ion Migration in *Indocalamus* Leaves Soaked in Cupric Sulfate[J]. China Food Safety Magazine, 2017(19): 68—70.
- [12] 陈召桂, 朱玲琳, 张路. 微波消解-原子吸收法测定不同条件下返青箬叶中铜离子的迁移情况[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(9): 2791—2794.
CHEN Zhao-gui, ZHU Ling-lin, ZHANG Lu. Determination of Copper Ion Migration in Regreen *Indocalamus* Leaves under Different Conditions by Microwave Digestion and Atomic Absorption Spectrometry[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(9): 2791—2794.
- [13] GB 31604.1—2015, 食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验通则[S].
GB 31604.1—2015, National Standard for Food Safe-

- ty-General Rules for Migration Test of Food Contact Materials and Products[S].
- [14] 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[S].
GB 5009.156—2016, National Standard for Food Safety- General Rules for Pretreatment Methods of Migration Test of Food Contact Materials and Products[S].
- [15] GB 5009.13—2017, 食品安全国家标准 食品中铜的测定[S].
GB 5009.13—2017, National Standard for Food Safety-Determination of Copper in Food[S].
- [16] GB 5009.14—2017, 食品安全国家标准 食品中锌的测定[S].
GB 5009.14—2017, National Standard for Food Safety-Determination of Zinc in Food[S].
- [17] 蒋珊珊. 真空包装肉粽中铜和油脂氧化的风险评估[D]. 集美: 集美大学, 2019: 8—9.
JIANG Shan-shan. Risk Assessment of Copper and Oil Oxidation in Vacuum-Packed Meat Rice Dumplings[D]. Jimei: Jimei University, 2019: 8—9.
- [18] GAETKE L M, CHOW J HS, CHOW C K. Toxicological Relevance and Mechanisms[J]. *Ach Toxicol*, 2014, 88(11): 1929—1938.
- [19] KOMATSU T, SUGIE K, INUKAI N, et al. Chronic Pancreatitis in Farmed Pigs Fed Excessive Zinc Oxide[J]. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 2020, 32(5): 689—694.
- [20] YU Hai-tao, WANG Dian, ZOU Liang-yu, et al. Proteomic Alterations of Brain Subcellular Organelles Caused by Low-Dose Copper Exposure: Implication for Alzheimer's Disease[J]. *Archives of Toxicology*, 2018, 92(4): 1363—1382.
- [21] GB 28050—2011, 食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则[S].
GB 28050—2011, National Standard for Food Safety-General Rules for Nutrition Labelling of Prepackaged Food[S].
- [22] GB 14880—2012, 食品安全国家标准 食品营养强化剂使用标准[S].
GB14880—2012, National Standard for Food Safety-Standard for Use of Food Fortification[S].