

食品流通与包装

亚硝酸盐溶液作为高锰酸钾消耗量测试标准样品 可行性研究

韦存茜, 张丽媛, 刘峻

(上海市质量监督检验技术研究院, 上海 201114)

摘要: **目的** 研究亚硝酸盐溶液作为食品接触材料高锰酸钾(KMnO_4)消耗量测试标准样品的可行性。**方法** 将亚硝酸盐溶液标准物质配制成不同浓度的样品溶液, 按照 GB 31604.2—2016 进行 KMnO_4 消耗量的测试。**结果** 当亚硝酸盐溶液的质量浓度为 0.5~20 mg/L 时, KMnO_4 消耗量测试结果的平行性较高; 亚硝酸盐浓度和 KMnO_4 消耗量的线性相关系数 R^2 高达 0.999; 将与亚硝酸盐反应的 KMnO_4 理论用量与实际用量进行对比, 比值为 97.7%~109.5%, 理论值与实际值之间的差距较小; 样品的加标回收率为 102.8%~109.2%, 满足实验室内部质量控制的要求。**结论** 将亚硝酸盐溶液作为 KMnO_4 消耗量检测项目质量控制标准样品满足要求, 对于保证该检测项目结果的准确性具有重要意义。

关键词: 食品接触材料; 高锰酸钾消耗量; 亚硝酸盐溶液; 标准样品

中图分类号: TS206.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2022)19-0160-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.19.018

Feasibility Research of Using Nitrite Solution as a Standard Sample for Potassium Permanganate Consumption Test

WEI Cun-qian, ZHANG Li-yuan, LIU Jun

(Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, Shanghai 201114, China)

ABSTRACT: The work aims to investigate the feasibility of using nitrite solution as a standard sample for potassium permanganate (KMnO_4) consumption test in food contact materials. Standard solutions of nitrite were formulated as sample solutions with different concentrations and the KMnO_4 consumption was tested according to GB 31604.2-2016. It was found that when the mass concentration of nitrite solutions was in the range of 0.5 mg/L to 20 mg/L, the KMnO_4 consumption test results were in high parallelism, and the linear correlation coefficient R^2 between nitrite concentration and KMnO_4 consumption was as high as 0.999. The theoretical amount of KMnO_4 reacted with nitrite was compared with the actual consumption, and the ratio was between 97.7% and 109.5%. There was a little difference between them. The recovery rate of the sample was between 102.8% and 109.2%, which met the internal quality control requirements of the laboratory. Nitrite solution meets the requirements of quality control standard sample for KMnO_4 consumption test project. It has great significance for ensuring the accuracy of the test results.

收稿日期: 2021-11-02

基金项目: 上海市科学技术委员会研发公共服务平台建设项目(14DZ2293000); 国家市场监督管理总局科技计划(2020MK029)

作者简介: 韦存茜(1992—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品相关产品检测。

通信作者: 刘峻(1979—), 男, 博士, 正高级工程师, 主要研究方向为食品相关产品的检测技术和质量风险评估。

KEY WORDS: food contact materials; potassium permanganate consumption; nitrite solution; standard samples

高锰酸钾 (KMnO₄) 消耗量是食品接触材料及制品的重点监测项目, 它能反映食品接触材料在水中浸泡后迁移到水中的能被 KMnO₄ 氧化的物质的量。这些物质主要是一些还原性的低分子量有机物, 它们从食品接触材料中迁入食品会被人体吸收, 从而对人体健康造成危害^[1]。我国于 1989 年 6 月 1 号实施的 GB 9683—1988《复合食品包装袋卫生标准》^[2], 2016 年 9 月 22 日实施的 GB 4806.2—2015《食品安全国家标准 奶嘴》^[3], 2017 年 4 月 19 日实施的 GB 4806.7—2016《食品安全国家标准 食品接触用塑料材料及制品》^[4]、GB 4806.8—2016《食品安全国家标准 食品接触用纸和纸板材料及制品》^[5]、GB 4806.10—2016《食品安全国家标准 食品接触用涂料及涂层》^[6]、GB 4806.11—2016《食品安全国家标准 食品接触用橡胶材料及制品》^[7]等, 都对食品接触产品 KMnO₄ 消耗限量提出了明确规定。KMnO₄ 消耗量超出限量值的原因有很多, 例如产品表层的油漆油墨、黏合剂、溶剂、增塑剂等的迁移都可能导致该检测项目不合格^[8]。

KMnO₄ 消耗量的检测方法参照 GB 31604.2—2016《食品安全国家标准 食品接触材料及制品 高锰酸钾消耗量的测定》^[9], 将样品浸泡在一定温度的水中一段时间后, 有机小分子物质会向水中迁移, 加入硫酸后, 利用 KMnO₄ 强氧化剂将还原性物质氧化, 加入草酸溶液中和过量的 KMnO₄ 溶液, 再用 KMnO₄ 溶液反滴定。通过 KMnO₄ 溶液的滴定体积, 可计算迁移出的小分子有机物质的含量^[10]。另外, KMnO₄ 充当了该实验的指示剂^[11]。研究表明, 影响高锰酸钾消耗量测定的因素有很多。

1) 煮沸时间。需要控制试样溶液加热至沸腾的时间, 加热至沸腾的时间过短或过长均会导致结果出现偏差^[12]。

2) 加入草酸时的温度。若煮沸后立即加入草酸, 此时温度高于 90 ℃, H₂C₂O₄ 会分解, 从而使结果偏小^[10, 12-13]; 若滴定时温度过低, 则不能保证完全反应^[14]。

3) 滴定速度。在 KMnO₄ 消耗量测定实验中, 刚开始滴定时速度不宜过快。反应生成的 Mn²⁺为该滴定过程的催化剂, 会加速反应速度, 滴定速度可适当加快。到达滴定终点时, 为了保证结果的准确性, 应放慢滴定速度。由此可见, 应采取慢—快—慢的节奏进行滴定实验^[10, 12, 15]。

4) 滴定终点的判定。KMnO₄ 具有强氧化性, 在空气中并不稳定, 它在 30 s 内呈微红色且不褪色时则认为到达滴定终点。滴定终点受到操作人员主观因素的影响较大^[10, 16]。

此外, 样品的浸泡方式^[17]、取液体积^[11, 18]等前处理也会对实验结果造成影响。

高锰酸钾消耗量是反应食品接触材料质量的重要指标, 高锰酸钾消耗量自动滴定仪的开发可以减小煮沸时间、温度、滴定速度和终点颜色判定等因素对结果的影响。高锰酸钾消耗量自动滴定仪可以提高检测效率和精度, 但该设备无整机计量校准方法^[19-22]。针对 GB 31604.2—2016 检测方法, 暂无标准样品可以用于实验室的质量控制。各检测机构可通过实验室间的对比、参加能力验证等方法确认检测的准确性。此方法流程复杂, 无法满足实验室人员日常监督、能力考评、自动化仪器开发等要求。高锰酸钾消耗量标准样品的确定, 有助于探究 KMnO₄ 消耗量实验的关键因素。标准样品可以用于高锰酸钾消耗量自动滴定仪的研发、作为人/机比对测试的标准样品、确认自动滴定关键技术点, 这对于保证自动滴定仪测量结果的准确性具有重要意义。

亚硝酸钠为 GB 9685—2016《食品安全国家标准 食品接触材料及制品用添加剂使用标准》^[23]中规定可以使用的添加剂, 允许用于塑料材料 (制品)、涂料 (涂层)、橡胶材料 (制品)、黏合剂、纸 (纸板材料及制品) 等食品接触材料中, 具体见表 1。亚硝酸根离子 (NO₂⁻) 可在酸性环境下被高锰酸钾氧化 (氧化后的产物为硝酸钠 NaNO₃), 亚硝酸钠是成熟的标准物质, 其分析误差可控, 所以尝试选择亚硝酸钠作为高锰酸钾消耗量测试标准样品。

表 1 GB 9685—2016 中允许使用的亚硝酸钠材质
Tab.1 Materials of sodium nitrite allowed to be used in GB 9685-2016

序号	材质	使用范围或最大使用量/%	特定迁移限量(SML)/(mg·kg ⁻¹)
1	塑料材料及制品	PS (聚苯乙烯): 5	0.6
2	涂料和涂层	按生产需要适量使用	0.6
3	橡胶材料及制品	5	0.6
4	黏合剂	按生产需要适量使用	0.6
5	纸、纸板材料及制品	0.05	0.6

文中将亚硝酸盐溶液标准物质配制成样品溶液,按照 GB31604.2—2016 进行高锰酸钾消耗量的测定,以探究亚硝酸盐溶液作为高锰酸钾消耗量测试标准样品的可行性。

1 实验

1.1 仪器与试剂

主要仪器:电热鼓风干燥箱,UF260,上海萨劳实验器材有限公司;白色具塞滴定管,10 mL,国药集团化学试剂有限公司。

主要试剂:硫酸,GR,国药集团化学试剂有限公司;高锰酸钾滴定溶液标准物质, $c(1/5 \text{ KMnO}_4) = 0.1016 \text{ mol/L}$,上海市计量测试技术研究院;草酸滴定溶液标准物质, $c(1/2 \text{ H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0.09948 \text{ mol/L}$,上海市计量测试技术研究院;亚硝酸盐溶液标准物质, $1000 \mu\text{g/mL}$,以 NO_2^- 计,北京海岸鸿蒙标准物质技术有限责任公司。

1.2 方法

1.2.1 溶液的配制

1) 硫酸溶液(1+2)。在烧杯中加入 200 mL 水,将 100 mL 硫酸沿烧杯内壁注入水中,混匀。

2) 高锰酸钾标准滴定溶液。 $c(1/5 \text{ KMnO}_4) = 0.009753 \text{ mol/L}$,取 24 mL KMnO_4 滴定溶液标准物质于 250 mL 容量瓶中,用水稀释至刻度线,摇匀。

3) 草酸标准滴定溶液。 $c(1/2 \text{ H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0.009948 \text{ mol/L}$,取 25 mL 草酸滴定溶液标准物质于 250 mL 容量瓶中,用水稀释、定容、摇匀。

4) 亚硝酸盐溶液。分别取 0.05、0.10、0.25、0.50、1.0、2.0 mL 的亚硝酸盐溶液标准物质于 100 mL 容量瓶中,用水稀释、定容、摇匀。

1.2.2 测试方法

1) 锥形瓶的处理。在 250 mL 宽口径锥形瓶中加入 100 mL 纯水,加入 5 mL 硫酸溶液(1+2)、10 mL KMnO_4 溶液,煮沸 5 min 后用实验用水冲洗,并晾干备用。

2) 玻璃珠的处理。将玻璃珠放在烧杯中,加入 100 mL 水、5 mL 硫酸溶液(1+2)、10 mL KMnO_4 溶液,煮沸 5 min 后用实验用水冲洗,晾干备用。

3) 测试过程。将亚硝酸盐溶液移至上述处理过的 250 mL 宽口径锥形瓶中,加入 5 mL 硫酸溶液(1+2)、10 mL KMnO_4 标准滴定溶液(0.009753 mol/L),加入 2~3 粒玻璃珠,准确煮沸 5 min,静置 2 min 后加入 10 mL 草酸标准滴定溶液(0.009948 mol/L),用 KMnO_4 标准滴定溶液(0.009753 mol/L)滴定至微红色,并在 30 s 内不褪色,记录第 2 次 KMnO_4 标准滴定溶液的用量。另取 100 mL 水做空白试验。

1.2.3 结果计算

KMnO_4 消耗量按式(1)计算^[9]。

$$X = \frac{(V - V_0) \times c \times 31.6 \times V_{\text{浸}}}{V_{\text{测}} \times S} \times \frac{S_{\text{样}}}{V_{\text{样}}} \times 1000 \quad (1)$$

式中: X 为样品中 KMnO_4 的消耗量, mg/kg ; V 为样品浸泡液滴定时消耗 KMnO_4 溶液的体积, mL ; V_0 为空白样品滴定时消耗 KMnO_4 溶液的体积, mL ; $V_{\text{测}}$ 为测定用浸泡液的体积, mL ; $V_{\text{浸}}$ 为试样浸泡液的总体积, mL ; S 为与浸泡液接触的试样面积, dm^2 ; $S_{\text{样}}$ 为试样实际包装接触面积, dm^2 ; $V_{\text{样}}$ 为试样实际包装的接触体积, mL ; c 为 KMnO_4 标准滴定液的实际浓度, mol/L ; 31.6 为与 1.00 mL KMnO_4 标准滴定溶液 $c(1/5 \text{ KMnO}_4) = 0.01 \text{ mol/L}$ 相当的 KMnO_4 的质量, mg 。

此次实验按照 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》^[24]中常规试样接触面积与食品模拟物体积比(S/V)(6 dm^2 接触面积对应 1 L 或 1 kg 浸泡食品模拟物)计算,即 $V_{\text{测}} = 100 \text{ mL}$, $V_{\text{浸}} = 200 \text{ mL}$, $V_{\text{样}} = 200 \text{ mL}$, $S = 1.20 \text{ dm}^2$, $S_{\text{样}} = 1.20 \text{ dm}^2$ 。

2 结果与讨论

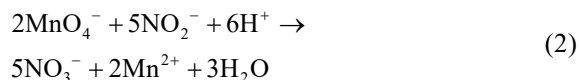
2.1 高锰酸钾测定结果分析

取 100 mL 质量浓度分别为 0.5、1.0、2.5、5.0、10、20 mg/L 亚硝酸盐溶液(以 NO_2^- 计)的 6 组样品,按照 GB 31604.2—2016 的标准方法测定高锰酸钾的消耗量,结果见表 2。6 组样品 4 次试验的平行性较好,相对标准偏差(RSD,%)均小于 20%。

随着亚硝酸盐浓度的增加, KMnO_4 消耗量呈线性增长(见图 1),但当亚硝酸盐的质量浓度(以 NO_2^- 计)大于 20 mg/L 时,在煮沸消解过程中发现样品溶液出现了褪色现象,加入的高锰酸钾溶液不能将亚硝酸盐氧化,最终滴定结果偏小。当亚硝酸盐的质量浓度(以 NO_2^- 计)不超过 20 mg/L 时,亚硝酸盐浓度与高锰酸钾消耗量之间存在着良好的线性关系,相关系数 R^2 为 0.999,标准曲线可以满足线性相关系数大于 0.99 的要求。

2.2 高锰酸钾理论用量与实际用量的比值

亚硝酸盐和高锰酸钾在酸性条件下的反映机理见式(2)。



根据亚硝酸盐和高锰酸钾的反应方程式,计算与亚硝酸盐反应的 KMnO_4 理论用量,并与 KMnO_4

表 2 不同浓度亚硝酸盐溶液的高锰酸钾消耗量
Tab.2 Potassium permanganate consumption for different concentrations of nitrite solutions

序号	亚硝酸盐质量浓度(以 NO ₂ ⁻ 计)/ (mg·L ⁻¹)	V/mL	V ₀ /mL	KMnO ₄ 消耗量/ (mg·kg ⁻¹)	平均值/ (mg·kg ⁻¹)	相对标准偏差/ %
1	0.5	0.986	0.797	0.582	0.7	13
		1.046		0.767		
		1.046		0.767		
		1.046		0.767		
2	1.0	0.996	0.573	1.30	1.3	5.8
		0.996		1.30		
		0.996		1.30		
		1.046		1.45		
3	2.5	1.793	0.573	3.75	3.6	4.0
		1.694		3.45		
		1.743		3.60		
		1.694		3.45		
4	5.0	3.088	0.797	7.06	7.5	6.0
		3.337		7.82		
		3.387		7.98		
		3.138		7.21		
5	10	5.579	0.797	14.7	14	2.7
		5.28		13.8		
		5.38		14.1		
		5.38		14.1		
6	20	9.215	0.797	25.9	27	2.8
		9.763		27.6		
		9.714		27.4		
		9.514		26.8		

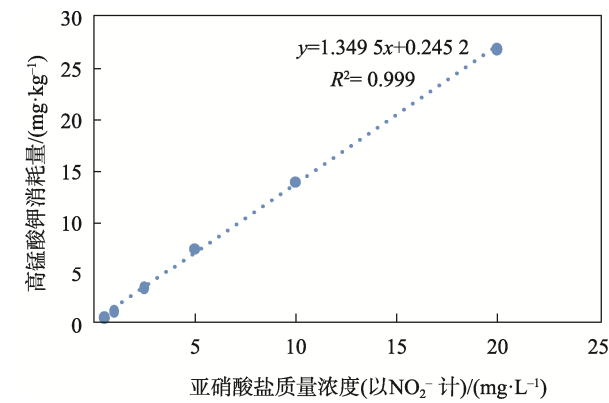


图 1 不同浓度的亚硝酸盐溶液的高锰酸钾消耗量线性图
Fig.1 Linear plot of potassium permanganate consumption for different concentrations of nitrite solutions

的实际用量进行对比, 见表 3。亚硝酸盐的质量浓度(以 NO₂⁻计)为 0.5~20 mg/L, 高锰酸钾的理论用量与实际用量的比值为 97.7%~109.5%, 满足实验室内部控制回收率 90%~110% (质量浓度水平范围 1~100 mg/kg) 的要求。

2.3 样品加标回收试验

选取食品接触用塑料、橡胶和纸等 3 种样品, 根据 GB 5009.156—2016 按照 6 dm² 接触面积对应 1 L 浸泡液, 在 60 °C 烘箱中迁移 2 h, 后将 2 组 10 mL 浸泡液加至锥形瓶中, 其中一组加入亚硝酸盐溶液标准物质(1 000 μg/mL, 以 NO₂⁻计) 0.5 mL, 之后对 2 组样品进行高锰酸钾消耗量的测定实验, 计算样品的加标回收率。从表 4 的测定结果可以看出,

表 3 高锰酸钾理论用量与实际用量的对比
Tab.3 Comparison of theoretical and actual usage of potassium permanganate

序号	亚硝酸盐质量浓度(以 NO_2^- 计)/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	NO_2^- 的量/ μmol	KMnO_4 理论消耗量/ μmol	KMnO_4 实际消耗量/ μmol	比值/%
1	0.5	1.086 72	0.434 688	0.456 44	105.0
2	1.0	2.173 44	0.869 376	0.849 486	97.7
3	2.5	5.433 6	2.173 44	2.258 79	103.9
4	5.0	10.867 2	4.346 88	4.760 44	109.5
5	10	21.734 4	8.693 76	8.987 88	103.4
6	20	43.468 8	17.387 5	17.076 5	98.2

表 4 样品和亚硝酸盐加标回收率的测定
Tab.4 Determination of sample and nitrite spiked recovery rate

序号	加标量/ mL	NO_2^- 加标量/ μmol	KMnO_4 滴定 体积/ mL	空白样品滴 定体积/ mL	MnO_4^- 的量/ μmol	NO_2^- 回收量/ μmol	加标回 收率/%
1	0	0	2.192	0.884	2.55 138		
	0.5	10.86 72	4.625	0.884	7.297 19	11.86 45	109.2
2	0	0	3.885	0.884	5.853 75		
	0.5	10.86 72	6.175	0.884	10.32 06	11.16 72	102.8
3	0	0	6.625	0.884	11.19 84		
	0.5	10.86 72	8.942	0.884	15.71 79	11.29 89	104.0

1—3 号样品的加标回收率在 102.8%~109.2%之间, 满足实验室内部控制回收率在 90%~110%之间 (1~100 mg/kg) 的要求。

3 结语

将亚硝酸盐溶液标准物质配制成 0.5~20 mg/L 的样品溶液, 高锰酸钾消耗量测试结果的平行性较高, 亚硝酸盐溶液浓度与高锰酸钾消耗量的线性相关系数 R^2 为 0.999。将与亚硝酸盐反应的 KMnO_4 理论用量与 KMnO_4 的实际用量进行对比, 比值在 97.7%~109.5%之间, 表明理论值与实际用量的差距较小。样品的加标回收率在 102.8%~109.2%之间, 满足实验室内部质量控制要求。

高锰酸钾消耗量按照 GB 31604.2—2016 测试, 其结果受到煮沸时间、加入草酸时溶液的温度、滴定速度、滴定终点的判定等因素的影响, 亚硝酸盐溶液可作为标准样品完成检测关键点的确定。实验室可将亚硝酸盐溶液作为高锰酸钾消耗量项目质量控制的标准样品, 用于评估测试值的准确性, 考察检验人员

的检测能力。

高锰酸钾消耗量自动滴定仪能够有效提高工作效率和实验准确性, 亚硝酸盐溶液可作为标准样品, 用于高锰酸钾消耗量人/机比对测试, 以探究自动滴定关键技术点, 用于高锰酸钾自动滴定仪的调试校准。后续需进一步评估亚硝酸盐溶液作为高锰酸钾消耗量测试的标准样品的不确定度。

参考文献:

- [1] 朱丽娟. 再生纸的鉴别及食品接触用纸中高锰酸钾消耗量来源分析[D]. 广州: 暨南大学, 2020: 29.
ZHU Li-xian. Identification of Recycled Paper and Sources Analysis of Potassium Permanganate Consumption in Food Contact Paper[D]. Guangzhou: Jinan University, 2020: 29.
- [2] GB 9683—1988, 复合食品包装袋卫生标准[S].
GB 9683-1988, Hygienic Standard for Composite Laminated Food Packaging Bag[S].

- [3] GB 4806.2—2015, 食品安全国家标准 奶嘴[S].
GB 4806.2-2015, National Food Safety Standard Teat[S].
- [4] GB 4806.7—2016, 食品安全国家标准 食品接触用塑料材料及制品[S].
GB 4806.7-2016, National Food Safety Standard Plastic Materials and Its Products for Food Contact[S].
- [5] GB 4806.8—2016, 食品安全国家标准 食品接触用纸和纸板材料及制品[S].
GB 4806.8-2016, National Food Safety Standard Papers, Paperboard materials and its Articles for Food Contact[S].
- [6] GB 4806.10—2016, 食品安全国家标准 食品接触用涂料及涂层[S].
GB 4806.10-2016, National Food Safety Standard Paint and Coating for Food Contact[S].
- [7] GB 4806.11—2016, 食品安全国家标准 食品接触用橡胶材料及制品[S].
GB 4806.11-2016, National Food Safety Standard Food Contact Rubber Materials and Products [S].
- [8] 朱丽娟, 林勤保, 朱红梅, 等. 食品接触用纸高锰酸钾消耗量来源分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(7): 257-261.
ZHU Li-xian, LIN Qin-bao, ZHU Hong-mei, et al. Sources of Potassium Permanganate Consumption in Food Contact Papers[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(7): 257-261.
- [9] GB 31604.2—2016, 食品安全国家标准 食品接触材料及制品 高锰酸钾消耗量的测定[S].
GB 31604.2-2016, Food Safety National Standard Food Contact Materials and Products Determination of Potassium Permanganate Consumption[S].
- [10] 刘冉, 张曼玲. 浅析食品接触类塑料包装高锰酸钾消耗量的方法分析比较[J]. 包装世界, 2013(6): 32-33.
LIU Ran, ZHANG Man-ling. Analysis and Comparison of Methods for Consumption of Potassium Permanganate in Food Contact Plastic Packaging[J]. Packaging World, 2013(6): 32-33.
- [11] 杨建平, 王永香, 沈霞. 稀释倍数对食品包装纸中高锰酸钾消耗量的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(4): 1081-1085.
YANG Jian-ping, WANG Yong-xiang, SHEN Xia. Effect of Dilution Multiples on Consumption of Potassium Permanganate in Food Packaging Paper[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(4): 1081-1085.
- [12] 杨丽, 王娟, 黎群娣. 食品接触塑料制品高锰酸钾消耗量测定影响因素探讨[J]. 食品工程, 2012(1): 41-43.
YANG Li, WANG Juan, LI Qun-di. Discussion on Affecting Factors of the Determination of Potassium Permanganate Consumption of Food Contact Plastics[J]. Food Engineering, 2012(1): 41-43.
- [13] 杨建平, 李文慧, 张丽媛, 等. 食品接触材料中高锰酸钾消耗量的影响因素研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(21): 7158-7162.
YANG Jian-ping, LI Wen-hui, ZHANG Li-yuan, et al. Study on the Factors Affecting the Consumption of Potassium Permanganate in Food Contact Materials[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(21): 7158-7162.
- [14] 钱荣敬, 赵金尧, 文明, 等. 食品接触用纸中高锰酸钾消耗量指标的适用性[J]. 包装工程, 2021, 42(1): 96-101.
QIAN Rong-jing, ZHAO Jin-yao, WEN Ming, et al. Applicability of Consumption Indicators for Potassium Permanganate in Food-Contact Paper[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(1): 96-101.
- [15] 胡娜利, 黄楚钦, 唐继宁, 等. 对于高锰酸钾消耗量的测定中遇到的问题看法及应对[J]. 日用电器, 2017(11): 18-20.
HU Na-li, HUANG Chu-qin, TANG Ji-ning, et al. Views and Measures of Problems during Potassium Permanganate Consumption Tests[J]. Electrical Appliances, 2017(11): 18-20.
- [16] 杨静, 宗超, 张园, 等. 影响高锰酸盐指数测定的关键因素[J]. 检验检疫学刊, 2020, 30(3): 59-61.
YANG Jing, ZONG Chao, ZHANG Yuan, et al. Key Factors Affecting the Index Determination of CODMn[J]. Journal of Inspection and Quarantine, 2020, 30(3): 59-61.
- [17] 周雅静, 宋肖锴, 商贵芹. 浸泡方式对食品接触材料高锰酸钾消耗量影响的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(4): 1057-1060.
ZHOU Ya-jing, SONG Xiao-kai, SHANG Gui-qin. Study of the Effect of Soaking Methods on Potassium Permanganate Consumption in Food Contact Materials[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2013, 4(4): 1057-1060.
- [18] 沈霞, 李洁君, 夏铭德. 食品接触用纸制品高锰酸钾消耗量测定中不同取样量对测定结果的影响[J]. 中华纸业, 2019, 40(10): 53-56.
SHEN Xia, LI Jie-jun, XIA Ming-de. Effect of Different Sampling Volume on the Determining Results in Determination of Potassium Permanganate Consumption Amount for Food-Contact Paper Products[J]. China Pulp

- & Paper Industry, 2019, 40(10): 53-56.
- [19] 原晖. 高锰酸盐指数分析仪在水环境监测中的应用[J]. 水资源开发与管理, 2019(9): 9-11.
- YUAN Hui. Application of Permanganate Index Analyzer in Water Environment Monitoring[J]. Water Resources Development and Management, 2019(9): 9-11.
- [20] 李兴, 李娅, 任昀, 等. 高锰酸盐指数水质自动监测仪计量检定与校准方法研究[J]. 计量技术, 2020(6): 63-66.
- LI Xing, LI Ya, REN Yun, et al. Research on Measurement Verification and Calibration Method of Permanganate Index Automatic Water Quality Monitor[J]. Measurement Technique, 2020(6): 63-66.
- [21] 姜明新, 冯新华, 陈成勇. 高锰酸盐指数自动测定仪测定水中高锰酸盐指数[J]. 科技创新与应用, 2020(29): 120-121.
- JIANG Ming-xin, FENG Xin-hua, CHEN Cheng-yong. Determination of Permanganate Index in Water by Automatic Permanganate Index Tester[J]. Technology Innovation and Application, 2020(29): 120-121.
- [22] 郭沛源, 焦馨, 王旭晨. 水质监测中高锰酸盐指数滴定实验优化措施[J]. 辽宁化工, 2020, 49(2): 154—156.
- GUO Pei-yuan, JIAO Xin, WANG Xu-chen. Optimization Measures of Permanganate Index Titration in Water Quality Monitoring[J]. Liaoning Chemical Industry, 2020, 49(2): 154-156.
- [23] GB 9685—2016, 食品安全国家标准 食品接触材料及制品用添加剂使用标准[S].
- GB 9685-2016, National Food Safety Standard-Standard for Uses of Additives in Food Contact Materials and Their Products[S].
- [24] 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, General Principle for the Determination of Migration of Packaging Materials and Their Products[S].

责任编辑: 彭颀