

电位滴定法在食品安全检测中的应用

马立利¹, 王胜楠¹, 许 雯¹, 杨志超¹, 丁 奇¹, 观文娜², 贾 丽^{1*}

(1. 北京市理化分析测试中心, 北京市食品安全分析测试工程技术研究中心, 北京 100089;

2. 中国科学院青岛生物能源与过程研究所, 青岛 266101)

摘 要: 近年来, 随着人们生活水平的提高, 食品安全问题日渐成为社会热点话题, 与此同时, 食品安全检测技术也成为了分析工作者关注的重点。其中电位滴定法由于操作简便, 特异性好, 且容易自动化, 而被广泛应用于食品分析领域。本文简单介绍了电位滴定法的原理和装置组成, 重点讨论了其在食品中碘、二氧化硫残留量、过氧化值、酸价、维生素 C、脂肪酸值等的测定中的应用, 以期为电位滴定法在食品安全领域中的应用提供一定参考, 并促进自动电位滴定仪在国标方法中的应用。

关键词: 电位滴定; 食品安全; 检测; 应用

Application of potentiometric titration method in food safety testing

MA Li-Li¹, WANG Sheng-Nan¹, XU Wen¹, YANG Zhi-Chao¹, DING Qi¹, GUAN Wen-Na², JIA Li^{1*}

(1. Beijing Engineering Research Center of Food Safety Analysis, Beijing Center for Physical and Chemical Analysis, Beijing 100089, China; 2. Qingdao Institute of Biomass Energy and Bioprocess Technology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266101, China)

ABSTRACT: In recent years, with the improvement of people's living standards, food safety issues have become a hot topic in society. At the same time, food safety testing technology has also become the focus of attention of analysts. Among them, potentiometric titration is widely used in the field of food analysis due to its simple operation, good specificity, and easy automation. This article briefly introduced the principle and device composition of potentiometric titration, and focused on its application in the determination of iodine, sulfur dioxide residue, peroxide value, acid value, vitamin C, and fatty acid value in food. It provides a certain reference for the application of potentiometric titration in the field of food safety, and promotes the application of automatic potentiometric titration in the national standard method.

KEY WORDS: potentiometric titration; food safety; detection; application

1 引 言

随着社会的飞速发展和生活水平的不断提高, 人们对高品质生活的追求越来越多, 对食品的要求也越来越高, 既要营养也要健康, 所以食品安全问题尤为重要^[1]。若要

保证人们日常摄入的食品安全, 必须对食品严加管控, 加强食品安全检测工作, 不断应用食品安全检测技术促进检测工作的进行^[2]。

目前, 仪器分析方法已经成为食品安全检测的主要方法, 如光学分析法(分光光度法、原子荧光光谱法、原子

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFF01013900)、北京市理化分析测试中心 2019 年改革与发展经费自主选题项目(2019ZL0201)

Fund: Supported by National Key Research and Development Project of China (2018YFF01013900) and 2019 Reform and Development Funds of Self Selected Project of Beijing Center for Physical and Chemical Analysis (2019ZL0201)

***通讯作者:** 贾丽, 副研究员, 主要研究方向为食品安全质量管理与检测技术开发。E-mail: jiali800214@163.com

***Corresponding author:** JIA Li, Associate Professor, Beijing Center for Physical and Chemical Analysis, No.27, West Third Ring Road, Haidian District, Beijing 100089, China. E-mail: jiali800214@163.com

吸收光谱法)、电化学分析法、色谱分析法(气相色谱法、高效液相色谱法)等^[3]。其中电化学分析法按照实验过程中测定的电学参数不同,分为电导分析法、电位分析法、电解分析法等。电位分析法又分为直接电位法和电位滴定法。电位滴定法根据电极电位的突跃确定滴定终点,避免了化学滴定法中由于计量点和滴定终点不一致导致的误差,适用于有色或浑浊的样品,具有准确度高、分析范围广、检测限低的特点,并可实现自动化和连续测定^[4],被广泛应用于食品、药品、石油、化工、环保、能源等领域。

本文介绍了电位滴定法的基本原理和装置,并对其在食品检测方面的应用情况进行了评述,以期为电位滴定法在食品安全检测领域中的应用提供参考,促进国标方法加快引入自动电位滴定仪的进程。

2 基本原理

电位滴定法是在滴定过程中通过测量电位变化以确定滴定终点的方法^[5]。其理论依据是待测离子的活度与电极电位之间的关系遵守能斯特方程^[6]。进行滴定时,在被测溶液中插入一支对待测离子或滴定剂有电位响应的指示电极,并与参比电极组成工作电池。随着滴定剂的加入,待测离子与滴定剂发生化学反应,浓度不断变化,指示电极电位也相应发生变化。在化学计量点附近,待测离子活度发生突变,指示电极的电位也相应发生突变^[7]。根据突跃点对应的标准滴定溶液消耗量可以计算被测物质的含量^[5,6]。

与直接电位法相比,电位滴定不需要准确的测量电极电位值,因此,温度、液体接界电位的影响并不重要,其准确度优于直接电位法^[6];与指示剂滴定法相比,电位滴定具有可用于滴定突跃小或不明显、有色或浑浊试样的滴定的优点,且电位滴定装置简单、操作方便,可以实现连续滴定和自动滴定^[7]。

3 滴定装置

电位滴定的基本装置包括滴定管、滴定池、指示电极、参比电极、搅拌器和测电动势的仪器,如图1所示^[6,8]。

根据被测物质含量高低,可以选择常量滴定管、微量滴定管或半微量滴定管。

按照滴定反应的类型,可使用不同的指示电极。酸碱滴定时使用 pH 玻璃电极为指示电极;氧化还原滴定时,可用铂电极作指示电极;在络合滴定中,若用 EDTA 作滴定剂,可以用钙电极或铜电极等离子选择电极作指示电极;在沉淀滴定中,若用硝酸银滴定卤素离子,可以用银电极作指示电极;根据指示剂颜色变化确定终点时,也可以使用光度电极^[6]。

利用手工操作,每加入一定量的滴定剂,记录一次电动势值,并用二阶导数法求滴定终点,这种滴定方式速度

较慢,不适于日常分析。为此,提出了滴定终点自动控制的方法,称为自动电位滴定。自动电位滴定仪与计算机联用,可以自动控制滴定过程,并自动处理数据,实现了测量数据的在线采集和分析,方便监控离群值,保证了分析结果的客观性和可溯源性,为实验室质量控制提供了便利条件^[9]。近年来,很多实验室配备了性能卓越的自动电位滴定仪,但国家标准检测方法中还未广泛推广,因此其应用受到了较大限制。

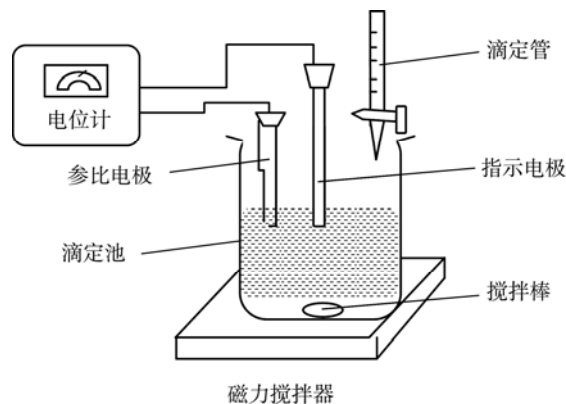


图1 电位滴定装置

Fig.1 Potentiometric titration device

4 应用

电位滴定法由于不需要指示剂,也不受溶液浑浊和颜色的影响,可以准确判断终点,在食品检测中应用较为普遍^[3],表1列举了部分食品采用电位滴定法检测某些目标物时所用的前处理方法和电极情况。

4.1 碘含量的测定

食用盐中碘离子检测通常用指示剂滴定法^[31],随机误差较大,孙晓丽等^[10]提出了用两点电位滴定法测定食盐中碘的方法,只需在终点附近记录两次滴定数据,通过两点法公式即可计算滴定终点。赵卫京^[11]采用电位的突跃判定滴定等当点,检测并评价自动电位滴定法在食用盐中碘离子测定中的有效性,指出自动电位滴定法准确度和精密度的比传统滴定法更高。相对直接滴定法来说,自动电位滴定技术应用于滴定法中是一项更适用的检测方法。

4.2 二氧化硫残留量的测定

一些不法厂商为了追求其产品具有良好的外观色泽,或延长食品包藏期限,或掩盖劣质食品,超量使用二氧化硫类添加剂,从而造成食品中二氧化硫的残留量超过国家标准^[32]。食用二氧化硫残留过量的食品会导致食用者产生咽喉疼痛、恶心、呕吐等胃肠道反应,并对肝脏有一定的损害^[33]。

国标 GB 5009.34-2016^[34]规定,食品中二氧化硫的测

定方法为蒸馏滴定法。这种传统的蒸馏滴定法通常采用玻璃蒸馏装置,利用电炉加热,蒸馏时间长且效率低,不适合大批量样品的检测^[35]。而且滴定终点依据加入淀粉指示液的颜色变化,影响测定结果,难以保证结果重现性^[36]。

冯俊贤等^[37]采用间接碘量法测定葡萄酒中二氧化硫,无需碘标准溶液,避免因碘易挥发致使标准溶液浓度不稳

定的缺陷,同时采用等电位间隔电位滴定法识别滴定终点,操作简便,使用滴定数据较少,实验和数据过程处理简单。

谢艳云等^[38]和陆阳^[12]将全自动凯氏定氮仪与自动电位滴定仪联用,分别检测果脯和食用菌中的二氧化硫,实现了全程自动化,全过程只需 6、8 min。检测效率大大提高,适用于测定大批量的样品。

表 1 电位滴定法在食品安全检测中的应用情况
Table 1 Application of potentiometric titration in food safety testing

序号	样品	目标物	样品溶解液	滴定液	电极	参考文献
1	食盐	碘	水、磷酸溶液、KI 溶液	Na ₂ S ₂ O ₃ 标准溶液	铂电极、饱和甘汞电极	[10]
2	食用盐	碘离子	水、磷酸和 KI 溶液	Na ₂ S ₂ O ₃ 标准溶液	铂复合电极	[11]
3	食用菌	二氧化硫	乙酸铅溶液、盐酸溶液	碘标准溶液	-	[12]
4	坚果食品	过氧化值、酸价	三氯甲烷-冰乙酸混合液(过氧化值)、乙醚-乙醇混合液(酸价)	Na ₂ S ₂ O ₃ 标准溶液(过氧化值)、KOH-乙醇标准溶液(酸价)	铂环电极(过氧化值)、非水相复合 pH 电极(酸价)	[13]
5	食品	过氧化值	异辛烷-冰乙酸混合液	饱和 KI 溶液	金属铂环电极	[14]
6	糕点	过氧化值	三氯甲烷-冰醋酸混合液、饱和 KI 溶液、三级水	Na ₂ S ₂ O ₃ 标准溶液	-	[15]
7	蔬菜干制品	硫酸铜	蒸馏水、KI 溶液、盐酸溶液	Na ₂ S ₂ O ₃ 标准溶液	复合铂环氧化还原智能电极	[16]
8	鲜脆萝卜干	氯化物	水、硝酸、丙酮	AgNO ₃ 标准溶液	复合镀银铂金环电极	[17]
9	食品	水分	甲醇或卡尔·费休测定仪中规定的溶剂	卡尔·费休试剂	铂电极	[18]
10	食品	酸价	乙醚-异丙醇混合液	KOH 或 NaOH 标准溶液	非水相酸碱滴定专用复合 pH 电极	[19]
11	番茄红素保健品	酸价	石油醚	KOH 标准滴定液	-	[20]
12	果汁	维生素 C	碘酸钾、碘化钾、硫酸、蒸馏水	Na ₂ S ₂ O ₃ 标准溶液	饱和甘汞电极、铂电极	[21]
13	葡萄酒	维生素 C	草酸溶液	2,6-二氯酚标准溶液	复合铂电极	[4]
14	食用槟榔	游离碱度	蒸馏水	盐酸标准溶液	酸度计电极	[22]
15	玉米	脂肪酸值	无水乙醇、蒸馏水	KOH 标准滴定液	-	[23]
16	谷物	脂肪酸值、氨基酸态氮值	95%乙醇、去离子水	NaOH 标准溶液	复合玻璃电极、铂电极和双盐桥甘汞电极	[24]
17	桑葚酒	总酸	蒸馏水	NaOH 标准溶液	pH 复合电极	[25]
18	山楂及其炮制品	总有机酸	蒸馏水	NaOH 标准溶液	pH 复合电极	[26]
19	白酒	总酸、总酯	NaOH 溶液(总酯)	NaOH 溶液(总酸)、硫酸溶液(总酯)	水溶性酸碱指示电极	[27]
20	食醋	总酸	蒸馏水	NaOH 标准溶液	pH 复合电极	[28]
21	槟榔	总酸	沸水	NaOH 标准溶液	-	[29]
22	酱油	还原糖	斐林氏甲液、斐林氏乙液	0.1%葡萄糖标准溶液	复合铂环电极	[30]

4.3 过氧化值的测定

过氧化值是表示油脂和脂肪酸等被氧化程度的一种指标,用于说明食品是否已被氧化而变质^[39]。通过检测以油脂、脂肪为原料制作的食品的过氧化值,可以判断其质量和变质的程度^[40]。长期食用过氧化值超标的食品会引起胃癌、肝癌、动脉硬化、心肌梗塞等,且会加速心血管病、肿瘤等慢性病发生^[15]。

过氧化值的检测方法有电化学法^[41]、光谱法^[42]、色谱法^[43]、指示剂滴定法和电位滴定法^[44]等。阮建明等^[15]用自动电位滴定法和手动滴定法分别测定13种糕点样品的过氧化值,结果显示电位滴定法与手动滴定法无显著差异,重复性均较好,精密度相差不大;但在空白试验时,手动滴定空白试样存在一定误差。因此,在样品量不大的情况下可以采用手动滴定法,若溶液颜色有干扰,样品量大,且经济条件允许,可以用自动电位滴定法测定糕点中的过氧化值。邱清莲等^[45]同样比较了手动滴定法和电位滴定法对深色油脂和浅色油脂过氧化值的检测结果,当样品为浅色时,2种方法测定过氧化值的差异较小,样品为深色时,只能用电位滴定的方法来测定,手动滴定法由于颜色干扰无法准确判断终点。

4.4 酸价的测定

酸价也称为中和值、酸值、酸度,表示中和1g化学物质所需的氢氧化钾(KOH)的毫克数。它是脂肪中游离脂肪酸含量的重要标志,可作为油脂变质程度的指标^[46]。酸价越小,说明油脂质量越好,新鲜度和精炼程度越好;酸价过高,则会导致人体肠胃不适、腹泻,并损害肝脏。

酸价的检测方法主要有光谱法^[47]、指示剂滴定法和电位滴定法等^[19]。赵宇明等^[48]选用30份肉制品对8项食品中酸价的检测标准涉及的12种检测方法进行验证分析。最终表明,国标GB 5009.229-2016^[19]第二法冷溶剂自动电位滴定法的相对标准偏差最小,精密度最高,该法创造性地将自动电位滴定引入食品酸价的检测,既可以提高工作效率,又为检验方法的不断创新提供了新的发展思路。

钟宏星等^[49]比较了GB 5009.229-2016^[19]中冷溶剂指示剂滴定法(第一法)、冷溶剂自动电位滴定法(第二法)和热乙醇指示剂滴定法(第三法)3种酸价测定方法对花生油、大豆油、玉米油、葵花籽油、菜籽油、橄榄油共6种植物食用油的检测效果。同样表明,6种油脂均是冷溶剂自动电位滴定法的结果稳定性最好,且该法采用二次作图法,根据“pH突跃点”能够更好地判断是否油脂酸价滴定终点,较好地排除其他物质干扰,适用范围更广,通用性更好。

4.5 维生素C含量的测定

维生素C又称抗坏血酸,具有解毒、预防癌症、清除自由基等功能,是人体必需的营养素之一,广泛存在于新鲜的蔬菜、水果中。关于维生素C的检测方法比较多,高

效液相色谱法^[50]、分光光度法^[51]、滴定法^[52]等均被广泛应用。其中滴定法中氧化还原滴定法和电位滴定法较常用,电位滴定法由于不受溶液浑浊、有色和缺合适指示剂等条件限制,特异性好,是测定深色蔬菜和水果中维生素C较理想的方法^[53]。但这种方法滴定时间较长,数据处理繁琐,大大降低了检测效率。

宋丽英等^[21]采用两点电位滴定法测定果汁中维生素C的含量,利用定量 KIO_3 标准物质与过量KI反应生成定量 I_2 ,在此反应体系中加入样品,最后用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定剩余碘,两点电位滴定法确定滴定终点。由于维生素C预先和过量 I_2 反应,克服了滴定过程中维生素C易被氧化的问题,结果准确度得到提高。

4.6 脂肪酸值的测定

脂肪酸值是检验粮食中游离脂肪酸含量的量值,以中和100g粮食中游离脂肪酸所需氢氧化钾的量表示。脂肪酸值的变化反映了粮谷的品质劣变程度。但刘晓庚等^[24]认为仅靠脂肪酸值判断谷物的储藏品质有失偏颇,为此尝试了脂肪酸值和氨基酸态氮值双指标的同时测定方法。采用等电位间隔记录计量点前的2~6组数据,计算得出滴定终点值。最终谷物脂肪酸值和氨基酸态氮值测定的回收率分别为93.4%~102.4%和94.0%~101.8%,经与国标法比较和F、t检验得出本法准确性优于国标法。

王锦云^[54]同时采用手动滴定法和电位滴定法检测同一玉米样品的脂肪酸值,发现两种方法的测定结果基本一致,电位滴定法的测定结果标准偏差较小,重复性好,但是它的测定值较手动滴定法结果偏高,可能是因为滴定过程时间较长,脂肪酸是弱酸,空气中的二氧化碳对滴定终点造成干扰,导致最终结果偏高。

黄少华^[55]通过与国家标准规定的手动滴定法对照,验证了连续自动电位滴定法测定玉米脂肪酸值的准确性、重复性、提取液稳定性等性能参数都能满足现有国家标准的要求。电位滴定过程中,需注意选择合适的滴定速度,过慢影响滴定效率,并增加空气中二氧化碳的溶入影响,过快时电极的响应速度会相应滞后。

4.7 总酸含量的测定

总酸是指最终能释放出的氢离子数量,其存在于果蔬制品、饮料、乳制品、酒、蜂产品、淀粉制品、谷物制品和调味品等。

食品中总酸测定通常采用电导法、酸碱滴定法和pH电位法^[28,56]等。冯俊贤等将两点电位滴定法应用于酱油总酸量的测定^[57],取得良好效果,但是此法需进行多次预实验确定合适的两点位置,对于不同的滴定体系会有不同的要求,在实际应用时有很多不便之处。因此,在两点电位滴定法理论上,作者进一步提出了等电位间隔滴定法^[58],解决了两点电位滴定法中两点位置难以确定的关键

技术问题^[59]。此后,魏冬梅等^[25]用等电位间隔电位滴定法计算滴定终点,测定桑葚酒的总酸,最终克服了直接电位滴定法滴定时间长、数据记录工作量大和两点电位滴定法中两点位置较难确定等难点。

4.8 总糖含量的测定

食品中的总糖通常指具有还原性的葡萄糖、果糖、戊糖、乳糖,以及在测定条件下能水解为还原性的单糖的蔗糖、麦芽糖及可能部分水解的淀粉。对于一些食品,总糖含量不同,相应的营养价值也不同^[60]。叶湖等^[61]采用还原糖电位测定仪检测固态类食品中总糖,并与国标方法测定结果进行比较。结果显示,14种食品采用电位滴定法测定的总糖含量均稍大于国标方法,可能是由于手动滴定受人为因素影响较大,如人眼观察色变相对滞后,滴定体积偏大,导致总糖含量偏小。

5 结 论

食品质量与安全一直是人们热切关注的话题,尤其是食品中营养成分和污染物质的检测备受重视。在这种背景下,电位滴定法以其操作方便,适用范围广,可以自动化等优势,在食品安全检测中的应用越来越广泛,大量文献表明电位滴定法所测样品数据结果与国标方法中的手动滴定法无明显差异。但是自动电位滴定法在我国起步较晚,技术指标尚未健全,还未在国家标准检测手段中广泛推广。因此,在加快推广自动电位滴定技术的同时,配备完善的检验标准,建立标准化的示范工程也是必不可少的。

此外,食品样品前处理过程较复杂,采用一些先进的仪器如全自动凯氏定氮仪等与自动电位滴定仪联用,可以实现全程自动化,大大提高工作效率,同时避免了传统方法提取时对人体可能造成的危害,以及滴定时由于个人操作引起的误差。因此,在大力推进自动电位滴定技术广泛应用的同时,还需要开发一些检测速度快、耐用性好、与自动电位滴定仪相匹配的前处理仪器,以提高检测效率,减少人为误差。

参考文献

- [1] 于莹滢,司伟,高宏佳,等.食品安全检验检测技术与方法[J].现代食品,2019,(15):65-66,72.
Yu YY, Si W, Gao HJ, *et al.* Food safety inspection and testing technology and method [J]. Mod Food, 2019, (15): 65-66, 72.
- [2] 白森,杨洁.浅析食品安全检测中分析化学技术的应用[J].现代食品,2019,(15):180-182.
Bai M, Yang J. Analysis on application of analytical chemistry technology in food safety testing [J]. Mod Food, 2019, (15): 180-182.
- [3] 赵东江,马松艳.电化学分析法在食品安全检测中的应用[J].绥化学院学报,2016,36(2):141-144.
Zhao DJ, Ma SY. Application of electrochemical analysis in food safety detection [J]. J Suihua Univ, 2016, 36(2): 141-144.
- [4] 汤海青,欧昌荣,蔡敏俐,等.电位滴定法测定葡萄酒中的抗坏血酸[J].食品工业科技,2017,38(24):264-267.
Tang HQ, Ou CR, Cai ML, *et al.* Determination of ascorbic acid in wines by automatic potentiometric titration [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(24): 264-267.
- [5] 夏玮.食品和药品中二氧化硫残留量的测定方法研究进展[J].食品安全导刊,2018,(31):75-77.
Xia W. Research progress on detection methods of sulfur dioxide in food and drug [J]. Chin Food Saf Magaz, 2018, (31): 75-77.
- [6] 王桂林,陶淑芸.浅谈自动电位滴定技术发展及在常规检测中的应用[J].江苏水利,2013,(8):35-36,38.
Wang GL, Tao SY. Preliminary discussion on development of automatic potentiometric titration technology and its application to routine detection of solution [J]. Jiangsu Water Res, 2013, (8): 35-36, 38.
- [7] 于晓萍.仪器分析[M].北京:化学工业出版社,2017.
Yu XP. Instrumental analysis [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2017.
- [8] 孙磊.全自动电位滴定仪的应用及其计量检定[J].建材与装饰,2017,(47):193-194.
Sun L. Application and metrology verification of autopotentiometric titrator [J]. Constr Mater Decor, 2017, (47): 193-194.
- [9] 王丽萍,杨玉婷.电位滴定法在标定标准滴定溶液中的应用[J].磷肥与复肥,2017,32(6):42-43,50.
Wang LP, Yang YT. Application of potentiometric titration method in calibrating standard titration solution [J]. Phosphate Compound Fertiliz, 2017, 32(6): 42-43, 50.
- [10] 孙晓丽,苏洪茹,冯俊贤,等.两点电位滴定法测定食盐中碘含量的研究[J].中国调味品,2014,39(1):94-95.
Sun XL, Su HR, Feng JX, *et al.* Research on iodine content in salt by two-point potentiometric titration [J]. Chin Cond, 2014, 39(1): 94-95.
- [11] 赵卫京.应用自动电位滴定法测定食用盐中的碘离子[J].微量元素与健康研究,2016,33(4):56-57,59.
Zhao WJ. Determination of iodide in salt by automatically potentiometric titration method [J]. Stud Trac Elem Heal, 2016, 33(4): 56-57, 59.
- [12] 陆阳.利用凯氏蒸馏-自动电位滴定仪快速测定食用菌中二氧化硫含量[J].食品安全导刊,2017,28:70-71.
Lu Y. Determination of sulfur dioxide in edible fungi using auto-Kjeldahl's apparatus combined with automatic potentiometric titrator [J]. Chin Food Saf Mag, 2017, 28: 70-71.
- [13] 王国桢,苏菊萍,刘俐君,等.电位滴定法测定坚果食品中的酸价和过氧化值[J].食品安全质量检测学报,2015,6(1):299-302.
Wang GZ, Su JP, Liu LJ, *et al.* Determination for acid and peroxide value in nuts by potentiometric titration method [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(1): 299-302.
- [14] 柳鑫,董砺节.基于全自动电位滴定仪的食品中过氧化值测定方法[J].食品安全质量检测学报,2016,7(3):1289-1297.
Liu X, Dong LJ. Determination of peroxide values of food products by autopotentiometric titrator [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(3): 1289-1297.
- [15] 阮建明,黄宝红,农海兰,等.自动电位滴定法与手动滴定法测定糕点中过氧化值的比较[J].现代农业科技,2017,(14):262-263.
Ruan JM, Huang BH, Nong HL, *et al.* Comparison between automatic potentiometry and manual titration method in determining peroxide value in cake [J]. Mod Agric Sci Technol, 2017, (14): 262-263.
- [16] 余阳,陈桐,李平,等.全自动电位滴定法检测蔬菜干制品中硫酸铜的

- 含量[J]. 生物技术世界, 2014, (12): 7-8.
- Yu Y, Chen T, Li P, *et al.* Determination of copper sulfate in dried vegetables by automatic potentiometric titration [J]. *Biotechnol World*, 2014, (12): 7-8.
- [17] 任霞, 徐腾月. 电位滴定法测定鲜脆萝卜干中氯化物含量的不确定度评定[J]. 现代食品, 2018, (13): 113-116.
- Ren X, Xu TY. Uncertainty evaluation for determination of chloride content in fresh crisp radish dry by potentiometric titration [J]. *Mod Food*, 2018, (13): 113-116.
- [18] GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
- GB 5009.3-2016 National food safety standard-Determination of water content in foods [S].
- [19] GB 5009.229-2016 食品安全国家标准 食品中酸价的测定[S].
- GB 5009.229-2016 National food safety standard-Determination of acid value in foods [S].
- [20] 刘婷婷, 程家丽, 张雪松, 等. 人工滴定法和自动电位滴定法测定番茄红素保健品的酸价[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(4): 151-153.
- Liu TT, Cheng JL, Zhang XS, *et al.* Determination of acid value in lycopene by manual titration and potentiometric titration [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(4): 151-153.
- [21] 宋丽英, 李家栋, 孙晓丽, 等. 一种快速绿色测定果汁中VC的方法[J]. 中国食品添加剂, 2017, (2): 176-178.
- Song LY, Li JD, Sun XL, *et al.* A quick determining of vitamin C content in fruit juice [J]. *Chin Food Addit*, 2017, (2): 176-178.
- [22] 陈雄, 方宣启, 胡勇辉, 等. 电位滴定法测定槟榔中游离碱度的不确定度评定[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(2): 521-524.
- Chen X, Fang XQ, Hu YH, *et al.* Uncertainty evaluation for determination of free alkalinity in edible betelnut by potentiometric titration [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(2): 521-524.
- [23] GB/T 20570-2015 玉米储存品质判定规则[S].
- GB/T 20570-2015 Guidelines for evaluation of maize storage character [S].
- [24] 刘晓庚, 李博, 苏才英, 等. 等电位间隔-电位滴定法连续测定谷物中脂肪酸值和氨基酸态氮值的实验[J]. 粮食科技与经济, 2016, 41(4): 27-30.
- Liu XG, Li B, Su CY, *et al.* Continuous determination of fatty acid and amino acid nitrogen value in cereals with equipotential interval-potentiometric titration method [J]. *Grain Sci Technol Econ*, 2016, 41(4): 27-30.
- [25] 魏冬梅, 张莉, 梁艳英. 等电位间隔电位滴定法测定桑葚酒中的总酸[J]. 食品工业, 2015, 36(10): 268-269.
- Wei DM, Zhang L, Liang YY. Determination of total acid in mulberry wine with equal potential interval potentiometric titration [J]. *Food Ind*, 2015, 36(10): 268-269.
- [26] 张慧, 夏厚林, 杨孟妮, 等. 电位滴定法测定山楂及其炮制品总有机酸的含量[J]. 中药与临床, 2016, 7(3): 27-28, 32.
- Zhang H, Xia HL, Yang MN, *et al.* Determination of total organic acids content in Shanzha and processed products by potentiometric titration method [J]. *Pharm Clin Chin Mat Med*, 2016, 7(3): 27-28, 32.
- [27] 崔逐波. 自动电位滴定法对白酒中总酸及总酯的测定[J]. 食品界, 2017, (12): 125.
- Cui ZB. Determination of total acid and ester in liquor by automatic potentiometric titration [J]. *Food Ind*, 2017, (12): 125.
- [28] 王雅铮, 侯佳慧, 张萍, 等. 酸碱滴定法测定食醋总酸量 3 种终点指示方法比较[J]. 中国卫生检验杂志, 2018, 28(2): 146-148.
- Wang YZ, Hou JH, Zhang P, *et al.* Comparison of three end-point indicating methods during the acid-base titration of the total acid amount in vinegar [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2018, 28(2): 146-148.
- [29] 刘佳, 袁河, 康志娇, 等. 电位滴定法测定槟榔中总酸的不确定度评定[J]. 农产品加工, 2019, (5): 47-49, 52.
- Liu J, Yuan H, Kang ZQ, *et al.* Evaluation of uncertainty in determination of total acid in areca nut by potentiometric titration [J]. *Farm Prod Proc*, 2019, (5): 47-49, 52.
- [30] 莫允焯, 梁美琼, 薛健长, 等. 自动电位滴定准确检测酱油还原糖含量的研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(4): 168-171.
- Mo YH, Liang MQ, Xue JC, *et al.* Accurate determination of reducing sugar content in soy sauce by automatic potentiometric titration [J]. *Chin Cond*, 2019, 44(4): 168-171.
- [31] GB 5009.42-2016 食品安全国家标准 食盐指标的测定[S].
- GB 5009.42-2016 National food safety standard-Determination of salt index [S].
- [32] 胡华英. 香菇中二氧化硫的快速测定方法[J]. 科技资讯, 2012, (26): 5-6.
- Hu HY. Rapid determination of sulfur dioxide in mushroom [J]. *Sci Technol Inf*, 2012, (26): 5-6.
- [33] 刘玲, 陶松, 汤韶明, 等. 中药材有害残留物二氧化硫研究概况[J]. 江西中医药, 2012, 43(359): 72-75.
- Liu L, Tao S, Tang SM, *et al.* Study on determination of sulfur dioxide in Chinese medicinal materials [J]. *Jiangxi J Trad Chin Med*, 2012, 43(359): 72-75.
- [34] GB 5009.34-2016 食品中二氧化硫的测定[S].
- GB 5009.34-2016 Determination of sulfur dioxide in foods [S].
- [35] 尹洁, 朱军莉, 励建荣. 食品中二氧化硫的来源与检测方法[J]. 食品科技, 2009, (11): 292-296.
- Yin J, Zhu JL, Li JR. Origin and determination method of sulfur dioxide in foods [J]. *Food Sci Technol*, 2009, (11): 292-296.
- [36] 顾娉婷. 蜜饯果脯类食品中二氧化硫测定方法研究分析[J]. 安徽农业科学, 2016, (14): 107-108.
- Gu PT. Study and analysis on determination of sulfur dioxide in preserved fruits [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2016, (14): 107-108.
- [37] 冯俊贤, 李家栋, 孙晓丽, 等. 等电位间隔电位滴定法测定葡萄酒中游离二氧化硫[J]. 中国卫生检验杂志, 2013, (3): 603-604.
- Feng JX, Li JD, Sun XL, *et al.* Determination of free sulfur dioxide in wine by the equal potential interval potentiometric titration [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2013, (3): 603-604.
- [38] 谢艳云, 张明明, 邓颖妍, 等. 凯氏定氮-电位滴定仪联合快速检测果脯中的二氧化硫[J]. 食品科学, 2010, 31(14): 225-228.
- Xie YY, Zhang MM, Deng YY, *et al.* Determination of sulfur dioxide in preserved fruits using auto-Kjeldahl's apparatus combined with automatic potentiometric titration [J]. *Food Sci*, 2010, 31(14): 225-228.
- [39] 陈何娟, 熊含鸿, 何海茵, 等. 滴定法测定饼干中油脂过氧化值的不确定度评定[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(13): 4174-4177.
- Chen HJ, Xiong HH, He HY, *et al.* Uncertainty evaluation for the determination of peroxide value in biscuits by titration [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(13): 4174-4177.
- [40] 何焕洁, 卢艳婷. 食品中过氧化值的检测[J]. 中国化工贸易, 2018,

- 10(8): 137.
- He HJ, Lu YT. Determination of peroxide value in foods [J]. *Chin Chem Trade*, 2018, 10(8): 137.
- [41] Kardash-Strochkova E, Turyany I, Kuselman I. Redox-potentiometric determination of peroxide value in edible oils without titration [J]. *Talanta*, 2001, 54(2): 411–416.
- [42] 韩佳静, 安振, 江秀明, 等. 食用油过氧化值的红外光谱测定方法研究 [J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2018, 39(5): 27–30.
- Han JJ, An Z, Jiang XM, *et al.* Determination of peroxide values of edible oils by Fourier transformation infrared spectroscopy [J]. *J Henan Univ (Nature Sci)*, 2018, 39(5): 27–30.
- [43] Gotoh N, Miyake S, Takei H, *et al.* Simple method for measuring the peroxide value in a colored lipid [J]. *Food Anal Method*, 2011, 4(4): 525–530.
- [44] GB 5009.227-2016 食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定[S].
- GB 5009.227-2016 National food safety standard-Determination of peroxide value in foods [S].
- [45] 邱清莲, 黄成安, 秦菁, 等. 深色食用油脂中过氧化值的测定[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(24): 6533–6536.
- Qiu QL, Huang CA, Qin J, *et al.* Determination of peroxide value in dark edible oils [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(24): 6533–6536.
- [46] 刘芳, 王超, 杨菊, 等. 油脂酸价和过氧化值检测方法的研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(14): 4478–4482.
- Liu F, Wang C, Yang J, *et al.* Progress of determination methods for acid and peroxide values of oils and fats [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(14): 4478–4482.
- [47] Guzmán E, Baeten V, Pierna JAF, *et al.* Evaluation of the overall quality of olive oil using fluorescence spectroscopy [J]. *Food Chem*, 2015, 173(8): 927–934.
- [48] 赵宇明, 董广彬, 李鹏, 等. 自动电位滴定法测定肉制品酸价的验证实验[J]. *肉类工业*, 2017, (431): 42–46.
- Zhao HM, Dong GB, Li P, *et al.* Verification experiment of the automatic potentiometric titration to determine acid value in meat products [J]. *Meat Ind*, 2017, (431): 42–46.
- [49] 钟宏星, 张晶, 陆建华, 等. 3 种油脂酸价测定方法的比较[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(10): 3197–3201.
- Zhong HX, Zhang J, Lu JH, *et al.* Comparison of three methods for the determination of acid valence of oil [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(10): 3197–3201.
- [50] 汤冬梅, 王雄辉, 刘敏, 等. 高效液相色谱法测定菠菜中维生素 C 的含量[J]. *日用电器*, 2019, (7): 67–70.
- Tang DM, Wang XH, Liu M, *et al.* Determination of Vitamin C in spinach by high performance liquid chromatography [J]. *Electr Appl*, 2019, (7): 67–70.
- [51] 邓莉, 向莉, 陈轩, 等. 无花果中维生素 C 含量的测定[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(13): 4413–4416.
- Deng L, Xiang L, Chen X, *et al.* Determination of vitamin C content in *Ficus carica* L [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(13): 4413–4416.
- [52] 国增超. 维生素 C 含量检测方法综述[J]. *饲料广角*, 2016, (6): 36–39.
- Guo ZC. Determination methods of vitamin C content [J]. *Feed Chin*, 2016, (6): 36–39.
- [53] 陈秋丽, 甘振威, 张娅婕, 等. 电位滴定法测定深色蔬菜和水果中的维生素 C [J]. *吉林大学学报(医学版)*, 2004, 30(5): 821–822.
- Zhang QL, Gan ZW, Zhang YJ, *et al.* Measurement of vitamin C in dark color vegetables and fruits by electric potential titration [J]. *J Jilin Univ (Med Sci Ed)*, 2004, 30(5): 821–822.
- [54] 王锦云. 玉米中脂肪酸值测定方法的分析与研究[J]. *食品工程*, 2017, (4): 47–49.
- Wang JY. Study on determination method of fatty acid value in corn [J]. *Food Eng*, 2017, (4): 47–49.
- [55] 黄少华. 电位滴定法连续自动测定玉米脂肪酸值标准适用性研究[J]. *粮食科技与经济*, 2019, 44(1): 44–46.
- Huang SH. Standard adaptability verification about continuous automatic potentiometric titration method for determination of fatty acid value of corn [J]. *Grain Sci Technol Econ*, 2019, 44(1): 44–46.
- [56] GB/T 12456-2008 食品中总酸的测定[S].
- GB/T 12456-2008 Determination of total acid in foods [S].
- [57] 冯俊贤, 宋丽英, 尹湘红. 两点酸碱电位滴定及酱油总酸量的测定[J]. *河北轻化工学院学报*, 1994, 15(2): 16–20.
- Feng JX, Song LY, Yin XH. The double-point acid-base potentiometric method and determination of acid content in the soy [J]. *J Hebei Inst Chem Technol Light Ind*, 1994, 15(2): 16–20.
- [58] 冯俊贤, 郗文娟, 张如春, 等. 等电位间隔-电位滴定法[J]. *理化检验: 化学分册*, 2010, 46(3): 246–248.
- Feng JX, Qie WJ, Zhang RC, *et al.* Equal potential interval-potentiometric titration [J]. *PTCA (Part B: Chem Anal)*, 2010, 46(3): 246–248.
- [59] 冯俊贤, 刘元昀, 杨新华, 等. 等电位间隔-电位滴定法测定酱油中总酸量[J]. *中国调味品*, 2012, 37(8): 97–98.
- Feng JX, Liu YY, Yang XH, *et al.* Determination of acid content in the soy by the equal potential interval-potentiometric titration [J]. *Chin Cond*, 2012, 37(8): 97–98.
- [60] 张兆英, 宋立立. 12 种野生食用菌中总糖含量分析[J]. *中国食用菌*, 2019, 38(4): 33–35.
- Zhang ZY, Song LL. Analysis on total sugar content in 12 kinds of wild edible fungi [J]. *Edibl Fungi Chin*, 2019, 38(4): 33–35.
- [61] 叶湖, 陈英, 赵晓峰, 等. 固态食品中总糖的全自动电位滴定测定法[J]. *职业与健康*, 2012, 28(18): 2244–2246.
- Ye H, Chen Y, Zhao XF, *et al.* Determination of the total sugar in solid food by reducing sugar potentiometric titration [J]. *Occup Health*, 2012, 28(18): 2244–2246.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



马立利, 副研究员, 主要研究方向为食品安全检测技术的开发。
E-mail: malili14@163.com



贾丽, 副研究员, 主要研究方向为食品安全质量管理与检测技术开发。
E-mail: jiali800214@163.com