

原子吸收光谱法测定葡萄酒中金属元素

李 丽¹, 郭金英¹, 宋立霞¹, 侯玉泽¹, 李 华²

(1.河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471003; 2.西北农林科技大学葡萄酒学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 葡萄酒是一种低度、益脑健身的饮料酒, 具有延缓衰老、预防心脑血管疾病、预防癌症、美容养颜等四大功效, 但是葡萄酒中金属元素过量会对人体造成一定的伤害。概述了葡萄酒中金属元素的来源, 金属元素对人体的影响, 原子吸收检测金属元素的方法, 并对其研究发展进行了展望。

关键词: 检测方法; 原子吸收光谱法; 葡萄酒; 金属元素

中图分类号: O657.3; TS262.6; TS261.7 文献标识码: B 文章编号: 1001-9286(2009)02-0105-05

Measurement of Metal Elements in Grape Wine by Atomic Absorption Spectrophotometry

LI Li¹, GUO Jin-ying¹, SONG Li-xia¹, HOU Yu-ze¹ and LI Hua²

(1.College of Food & Bioengineering, He'nan University of Science and Technology, Luoyang, He'nan 471003;

2.College of Enology, Northwest A & F University, Yangling, Shanxi, 712100, China)

Abstract: Grape wine is a low-alcohol and healthcare wine product. It could prevent senility, cardiovascular and cerebrovascular diseases and cancer, and plays the role of holding beauty. However, the excessive metal elements content in grape wine is harmful for peoples' health. In this paper, the source of metal elements in grape wine, the effects of metal elements on human body, and the detection of metal elements by atomic absorption spectrophotometry were reviewed. And the research progress in the detection of metal elements in grape wine by atomic absorption spectrophotometry was introduced.

Key words: detection method; atomic absorption spectrophotometry; grape wine; metal elements

葡萄酒是一种广泛饮用的低酒精度消费饮料, 有显著的商业价值和社会价值^[1]。随着人们生活水平的提高, 葡萄酒已越来越受欢迎, 其产量逐年上升。葡萄酒富含人体所需的各种氨基酸、维生素和矿物元素等营养物质^[2]。常饮葡萄酒有防止动脉硬化、减弱癌细胞致病力、抑制痴呆、稳定情绪的功效^[3]。但是葡萄酒中金属元素的含量超过一定限度就会对人体的健康造成严重的影响, 重金属中毒还会使体内的蛋白质凝固。为保证葡萄酒的安全, 维护消费者的合法权益和人体的健康, 运用新技术、新方法来鉴定葡萄酒的金属离子是迫切的^[4]。原子吸收光谱法已广泛应用于各个领域, 具有分析项目多、速度快、准确度高、检出限低、选择性好、抗干扰能力强和用样量少等特点^[5~6]。

1 葡萄酒中金属元素的来源

葡萄酒中的金属元素, 少部分作为天然成分而存在, 大部分是在葡萄酒生产、加工、贮运等过程中受到污

染而产生。

1.1 来自环境条件

葡萄酒中的铜、锌、铁等是活跃的元素, 易受环境条件的影响; 葡萄果实对矿质元素的吸收会受到年份气候条件的影响, 气候条件通过对土壤微生态条件的影响, 及对环境中金属元素含量、pH值、元素的溶解性等的影响, 从而影响葡萄对土壤中的金属元素的吸收, 进而对葡萄乃至葡萄酒中金属元素的含量造成影响^[7]。另外, 过多地应用新制造业中的肥料也会使葡萄酒中金属元素的含量增加。铁是葡萄酒中的微量成分之一, 其含量的高低取决于葡萄品种、生态环境等因素^[8]。葡萄本身所含铜离子普遍偏高^[4], 葡萄沾了泥土或灰尘也可带入铜^[9]。铅主要来源于葡萄的田间管理过程中使用的含铅剂^[10]。

1.2 来自葡萄酒的制作、运输和贮藏

葡萄酒中金属离子来源于酿酒用具, 如破碎机、压榨机、发酵或贮酒用的水泥池, 不锈钢材质差也能将其所含的铁溶解到酒中; 调配半成品时, 由容器、酒泵、管

基金项目 河南科技大学人才科学研究基金资助(编号 2006050)。

收稿日期: 2008-11-18

作者简介: 李丽(1984-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品营养。

通讯作者: 郭金英(1971-), 男, 副教授, 硕士生导师。

路及用具接触铁、银、铝等原因造成污染;使用包锌的器具,或由于和黄血盐一起加入的硫酸锌的残留都会使葡萄酒中的锌超过一般的含量;设备中铝的表面保护不当,或使用劣质皂土、明胶或鱼胶等造成铝含量超标^[9];由于贮藏时间较长,使用含铜的容器和药品,葡萄酒中其他成分对铜离子产生影响,使铜的含量增高^[4]。而锰的主要来源是酒基的除杂脱臭。

2 金属元素对人体的影响

葡萄酒中含有微量的金属元素,少量的金属元素对人体有益处。铜是人体内多种酶的重要成分,铜对于神经系统和骨骼的发育都是十分必要的,人体缺铜时,可出现情绪不稳和儿童的骨质疏松等。锌是200多种含锌酶的组成成分,也是酶的激活剂。儿童缺锌表现为生长迟缓脑垂体调节功能障碍,也影响味觉和免疫功能等。锰参与造血、促进生长发育、增强人的防御能力、抗衰防老、延年益寿之功效等功能。镍对治疗糖尿病、贫血、肝硬化、冠心病等有一定的帮助,钙、镁有强心、镇静作用,铬是人体中的必需元素,铬能防止动脉硬化,促进生长发育^[11]。

但是,当金属元素超过一定的含量,就会在人体内积累,对人体造成伤害。现代医学、生命科学等研究证明,微量元素及其含量大小与人体的免疫、内分泌、生长发育、神经系统等功能密切相关。

铅是一种毒性重金属,对所有的生物都有毒,在人体内无任何生理功能,对人体各系统如神经系统、血液系统、消化系统、泌尿系统和心血管系统等均可产生危害,尤其是中枢神经系统,对儿童健康危害更大。铅可以损害神经系统的海马回、大脑皮层,出现多动、注意力缺陷、易激动、反应迟钝、嗜睡及运动失调等,严重者可出现狂躁、视觉障碍、颅神经瘫痪等,甚至出现头痛、呕吐、惊吓、昏迷等铅性脑病的症状。还可引起贫血、腹痛、腹泻、肾功能损害及高血压和心律失常等,影响机体的免疫功能和内分泌系统^[12]。过量的铅可沉积在类骨质中并置换出钙,导致骨生成被抑制,发生骨软化症。近几年有铅对生殖系统,胚胎生长发育的毒性的研究报道^[13~14]。金属元素铬和镍含量高则表现为对皮肤黏膜的刺激作用,引起皮炎、湿疹、气管炎和鼻炎,引起变态反应并有致癌作用^[12]。镉是一种有毒元素,人体镉中毒会引起肾功能障碍、胰腺癌、肺及肝脏损坏以及肿瘤的增长^[15]。

3 原子吸收光谱法

原子吸收光谱分析是现代无机分析的主要手段之一,它是基于基态原子蒸汽能够吸收同种原子所发射的特征谱线这一性质而建立起来的一种光学分析方法。原

子吸收光谱法在化工、农业、食品、轻工、生物医药、环境保护、材料科学等各个领域有广泛的应用,并已经成为一种倍受人们青睐的定量分析方法^[16]。按其不同的原子化法可以把原子吸收光谱法分为下列几类:

3.1 火焰原子吸收光谱法

火焰原子吸收光谱法适用于测定易原子化的元素,是原子吸收光谱法应用最为普遍的一种,对大多数元素有较高的灵敏度和检测极限,且重现性好,易于操作^[17]。它比使用石墨炉的操作更简便、实用且分析误差小,技术要求也稍低,所以应用较为广泛。火焰原子吸收法的缺点是试样利用效率低,原子化程度低,原子在吸收区滞留时间短,使火焰法的灵敏度提高受到限制。

火焰原子吸收已用于葡萄酒中金属元素的检测,1980年,Silva利用火焰原子吸收光谱法测定在63种意大利红葡萄酒和白葡萄酒中钠、钾、钙、铁、锌和铅的含量。1997年,Wiese和Schwedt利用火焰原子吸收光谱法测定了酒中总的铜量。2000年,王森勋等用火焰原子吸收方法测定了葡萄酒中的铜、铅,结果表明该检测方法简单、快捷,具有良好的精密度和准确度,相对标准偏差为0.37%和3.3%,回收率为99.5%和99.16%^[18]。2005年,Nascentesc等用热喷雾火焰原子吸收光谱法测定酒中的铜、锰、铅和锌^[19]。2007年,张云嫦等用热喷雾进样镍管火焰炉原子吸收法直接测定葡萄酒中的镉,回收率为93%~107%^[20]。

3.2 石墨炉原子吸收法

石墨炉原子吸收法是一种利用热解作用,使金属氧化物解离的方法。它适用于有色金属、碱土金属;另一种是利用较强的碳还原气体,使一些金属氧化物被还原成自由原子,其主要针对于易氧化难解离的碱金属及一些过渡元素。石墨炉原子法有平台原子化和探针原子化两种进样技术,用样量都在几微升到几十微升之间,对某些元素测定的灵敏度和检测限有极为显著的改善。但是石墨炉原子吸收分析尚存在许多干扰问题,特别是在生物和环境样品中痕量金属的测定中,干扰较严重^[21]。对于大多数金属元素,石墨炉的灵敏度和检出限要比火焰分析技术高2~3个数量级,并且具有取样量少和在石墨炉中直接处理样品的特点,因此,目前常采用石墨炉原子吸收法测定试液中微克级或更低的痕量和超痕量元素^[22]。

石墨炉原子吸收已用于很多方面,并且得到了很好的测定效果。现已广泛应用于农业、生物、环境、食品、地质和冶金等领域^[21~25]。对于葡萄酒中金属元素的检测,2002年,左正运用磷酸二氢铵为基体改进剂,石墨炉原子吸收光谱法直接测定了葡萄酒中铅^[26];2006年,刘达

雄等用此方法测定葡萄酒中的铜、铅,其回收率分别 91.2%~102.6%、91.9%~101.3%,检出限分别为 0.042 $\mu\text{g/L}$ 、0.075 $\mu\text{g/L}$ ^[27];2008年,周丽等人用石墨炉原子吸收测定红葡萄酒中的酒样中微量铅,铅的线性范围为 10~50 $\mu\text{g/L}$,回收率为 90%~110%^[28]。

3.3 氢化物原子吸收光谱法

氢化物技术和其他原子化技术的主要差别是待测元素以其挥发性氢化物与样品基体相分离,进入原子化器的组分相当少,因此,干扰的可能性较少,对光散射和分子吸收产生的光谱干扰更是如此。此外,氢化物技术是一绝对方法,即以峰高,或是峰面积方式测得的信号与待测元素的绝对质量成正比,而不是与它在溶液中的浓度成正比。

自 Holak 于 1969 年首次将氢化物发生法用于原子吸收测定砷以来, HG-AAS 已成为最常见的检测方法,该法由于具有简便、快速、灵敏和经济的特点,已作为检测水果、蔬菜及环境中砷的标准方法。Krste Ta ev 利用本法测定葡萄酒中的无机 As()和 As()(通过加或不加 KI 控制 As()的还原)或有机砷^[29]。

3.4 其他原子吸收光谱法

电极放电原子化法,适用于难熔氧化物的金属 Al、Ti、Mo、W 的测定;等离子体原子化法,适用于难熔金属 Al、Y、Ti、V、Nb、Re;激光原子化法,适用于任何形式的固体材料,比如测定石墨中的 Ca、Ag、Cu、Li;闪光原子化法,是一种用高温炉和高温感应加热炉的方法;金属器皿原子化法,针对挥发元素,操作方便,易于掌握,但抗干扰能力差,测定误差较大,耗气量较大;粉末燃烧法,测定 Hg、Bi 等元素,此法灵敏度高于普通火焰法;溅射原子化法,适用于易生成难溶化合物的元素和放射性元素^[17]。

4 原子吸收前处理方法

样品预处理的恰当与否直接决定了测量的灵敏度,主要包括样品的溶解、分离及富集两步。对于液体样品的溶解,无机样可直接用水稀释至合适的浓度范围,有机样可用甲基异丁酮或石油醚稀释降低其粘度;对于固体样品通常采用酸溶法,极少情况也用碱溶法,但其溶速较慢,且常会引入无机离子污染^[17]。目前,样品前处理的方法正朝着简单化、低成本化、高效化、高自动化和在线化方向发展。目前,微波消解、浊点萃取、悬浮液进样、非完全消化以及结合流动注射的在线样品处理技术已成为研究与应用的热点。这些技术都因其简单的操作、极高的效率、用时非常短成为现今分析技术中非常受重视的前处理方法,大大加快了测定的速度,大幅度减少了前处理的时间,是前处理发展的方向^[30]。

4.1 微波消解

微波消化是近几年发展起来的一种新的消化技术,它结合高压消解和微波快速加热两方面的性能,与传统的溶样方法相比,具有样品消解快、试剂耗用量少、空白值低、灵敏度高、避免挥发损失和回收完全等突出优点,还能消解许多常法难以消解的样品,适合各类分析试样的前处理。微波消化已广泛应用于消化食品、合金、蔬菜、地质样品和化妆品等^[31~33]。王元忠等还用此消化方法测定了食用菌中砷的含量,变异系数 RSD=5.8%,回收率为 90%~101%^[34];黄卫等用微波消解-石墨炉原子吸收光谱法测定小麦粉标样中镉的含量,相对标准偏差为 3.7%^[35]。

4.2 在线富集

近来,针对在线流动注射编结反应器预富集火焰原子吸收系统,有学者提出了一个更为简便、环保、省时、高效的检测方法,创新性地采用空气隔离步骤分隔样品溶液和洗脱溶液,减少了溶液间的干扰,提高了测定灵敏度^[36]。高甲友用流动注射-在线富集火焰原子吸收分光光度法方法测定了痕量铅,灵敏度提高 65 倍,回收率在 97%~102%之间,相对标准偏差小于 4.0%^[37]。苏耀东等进行了进一步的研究,应用沉淀吸附的原理建立了在线流动注射(KR)预富集空气隔离步骤联用火焰原子吸收光谱测定铜和锡,灵敏度分别提高 34 倍和 36 倍,检测限达 1.9 和 0.3 $\mu\text{g/L}$ 。结果证明此法准确可靠,操作简便易行,已成功运用于水样中痕量铜和镉的测定^[38]。

4.3 浊点萃取

浊点萃取法是环保型液-液萃取技术,它不使用挥发性有机溶剂,不污染环境。它以表面活性剂胶束水溶液的溶解性和浊点现象为基础,通过改变实验参数(如溶液 pH 值、温度等)引发相分离^[39]。该法最早是由 Hirowatanabe 等用于金属离子的测定,其操作在两水相之间进行,避免了有害有机溶剂的使用,且表面活性剂用量小,分离速度快,富集率可高达 100%。wuinoud 用该法预富集自来水中的汞然后进行测定,其富集倍数为 200 倍,最低检出限为 4 ng/L,相对标准偏差(RSD)为 3.4%^[40]。它具有经济、安全、高效、简便等优点,已广泛用于环境样品、生物物质的分离分析。

4.4 悬浮液进样

自 1974 年 Brady 等首次应用直接悬浮体进样技术以来,固体样品直接进样和悬浮体直接进样技术得到了迅速发展。悬浮体进样与传统的湿法和干法样品消解相比,大大简化了操作步骤,也避免了消解过程中带入的杂质污染物,特别适合于痕量元素的分析^[41]。悬浮液技术不污染环境,几分钟即可完成样品处理,该技术已应

用于火焰原子吸收光谱法,并测定了粮食、茶叶、中草药、烟叶、土壤、明胶及聚乙烯中微量元素^[42~44]。与传统的样品预处理方法不同,悬浮液进样既可以简化样品预处理过程、避免试样制备过程中的损失和污染,又可以节约试剂等方面的消耗,具有空白值低、方便快速的特点^[42]。

4.5 非完全消化

非完全消化法与灰化法和消化法相比,只要求消解液均匀透明,耗时短,通常只需15~25 min,耗时与微波消解技术相当,但较微波消解技术经济、简便得多^[30]。吴瑶庆等用非完全消解-石墨炉原子吸收光谱法测定柞蚕蛹中铅、镉,相对误差 $\pm 1.7\%$,测定结果与灰化法一致,但更加简便^[45];他们还在火焰原子吸收法中用次处理方法测定了瘦猪肉中的微量元素^[46]。张宏霞^[47]运用非完全消化法处理人体发样,然后通过火焰原子吸收光谱法测定了发样中的钙和镁,并对湿化法、灰化法和非完全消化法进行了比较,结果表明,用非完全消化法处理样品,时间短而且操作简便,测定结果与酸消化法、灰化法相一致。

5 展望

当前原子吸收法测定葡萄酒中金属元素中的前处理方法,常用的是干法灰化、硝酸消解、直接蒸馏、微波消解。现今分析技术中非常受重视的前处理方法悬浮液进样技术、浊点萃取、非完全消化和超声波辅助技术等,将成为测定葡萄酒中金属元素研究的重点。

另一方面,高效分离气相色谱、液相色谱和原子吸收光谱法联用,流动注射与原子吸收联用等联用技术也将成为检测葡萄酒中金属离子的一个发展方向。

参考文献:

- [1] Jaroslava Sperkova, Miloslav Suchanek. Multivariate classification of wines from different Bohemian regions (Czech Republic)[J]. Food Chemistry, 2005, 93: 659-663.
- [2] 粟金水. 葡萄酒的营养与人体健康[J]. 营养与保健, 2002, (5): 126-127.
- [3] 张红军, 等译. 葡萄酒的效用[J]. 日本医学介绍, 2002, 23(5): 223.
- [4] 白稳红, 徐爱荣, 何宏权. 葡萄酒中矿物元素的检测[J]. 葡萄酒, 2003, (5): 61-62.
- [5] 夏广丽. 分光光度法在葡萄酒分析中的应用[J]. 葡萄酒, 2004, (2): 60.
- [6] 邓勃, 迟锡增, 刘明钟, 等. 应用原子吸收与原子荧光光谱分析仁[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [7] 李记明, 姜忠军, 段辉, 王晓红, 梁冬梅. 葡萄酒中主要矿质元素的研究[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2004, (5): 7-10.
- [8] 姜忠军, 王永杰. 原子吸收分光光度计测定葡萄酒中铁含量的两种方法比较[J]. 酿酒科技, 2004, (2): 89-91.
- [9] 李华. 葡萄与葡萄酒研究进展[M]. 西安: 陕西人民出版社, 2000.
- [10] 孙东方. 金属元素对葡萄酒稳定性的影响[J]. 酿酒科技, 2005, (4): 75-77.
- [11] 李灵, 张玉. 原子吸收光谱法测定不同矿泉水中的微量元素[J]. 上饶师范学院学报, 2007, 36(6): 46-51.
- [12] 肖慧, 黄雪源, 方邢有, 范媛媛. 火焰原子吸收光谱法测定不锈钢食铅、铬、镍[J]. 现代科学仪器, 2007, (5): 108-109.
- [13] 盛明纯. 铝对人体健康影响的研究进展综述[J]. 安徽预防医学杂志, 2006, 12(1): 46-48.
- [14] 岳新, 毕雪艳. 火焰原子吸收法测定碳酸铋片中铋的含量[J]. 中国药事, 2007, 21(12): 951-987.
- [15] DAVIS A C, WU P, ZhANG X F, et al. Determination of cadmium in biological samples[J]. Appl Spectrosc Rev, 2006, 41: 35-75.
- [16] 赵侠, 万桂芬. 浅谈原子吸收分析技术发展新动向[J]. 检测与监理, 2007, (5): 113-114.
- [17] 李雯, 杜秀月. 原子吸收光谱法及其应用[J]. 盐湖研究, 2003, 11(4): 67-70.
- [18] 王森勋, 王锋, 马峰. 火焰原子吸收法测定葡萄酒中的铜、铅[J]. 光谱实验室, 2000, 17(3): 297-298.
- [19] NASCENTESC C, KAMOGAWAM Y, FERNANDES K G, et al. Direct determination of Cu, Mn, Pb and Zn in beer by thermospray flame furnace atomic absorption spectrometry[J]. Spectrochim Acta, B, 2005, 60: 749-753.
- [20] 张云嫦, 吴鹏, 吴莉, 吕弋, 侯贤灯. 热喷雾进样镍管火焰原子吸收法直接测定葡萄酒中的镉[J]. 分析测试学报, 2007, 26(4): 577-579.
- [21] 肖波, 陈子学, 齐璐璐, 孟凡辉. 连续光源原子吸收光谱仪在测定土壤有效态锌、锰、铁、铜中的应用[J]. 现代科学仪器, 2007, (6): 108-110.
- [22] 刘晶. 原子吸收光谱测定重金属影响因素分析[J]. 环境研究与监测, 2006, 19(4): 35-36.
- [23] 许华杰, 谭红, 宋玉萍, 陈红亮, 谢锋, 何锦林. 石墨炉原子吸收法测定蔬菜中镉含量不确定度的评定[J]. 分析试验室, 2007, (26): 104-105.
- [24] 张志胜, 高峰, 阎军, 崔岩. 石墨炉原子吸收光谱法测定水产加工品中铝[J]. 分析试验室, 2007, 26: 290-291.
- [25] 彭靖茹, 甘志勇, 梁立娟. 石墨炉原子吸收法测定雪莲果中的铅、镉[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(28): 8789-8790.
- [26] 左正运, 张敏, 孙致安等. 磷酸二氢铵为基体改进剂石墨炉原子吸收光谱法测定葡萄酒中铅[J]. 光谱学与光谱分析, 2002, 22(5): 859-861.
- [27] 刘达雄, 蒋卓勤. 石墨炉原子吸收绝对分析法测定葡萄酒中的铜、铅[J]. 中国食品卫生杂志, 2006, 18(4): 320-321.
- [28] 周丽, 储成顶, 陈文军. 石墨炉原子吸收光谱法测定红葡萄酒中的微量铅[J]. 中国酿造, 2008, 178(1): 76-77.
- [29] 彭速标, 蔡慧华. 环境中砷的原子光谱分析方法进展[J]. 分析

- 测试,2005,(9):55-57.
- [30] 马劫,陆喜里,张贵荣.原子吸收光谱的样品前处理方法进展[J].化学世界,2007,(11):431-436.
- [31] 周志,唐巧玉,汪兴平,罗祖友,胡丹.微波消解-原子吸收法快速测定莼菜中铜锌的含量[J].食品科学,2007,28(6):285-287.
- [32] 简慧兰,殷小琴,张健夫.微波消解-原子吸收光谱法测定沉积物中 Cu、Zn、Pb、Cd 和 Cr[J].光谱实验室,2007,24(2):138-140.
- [33] 段明革,马会国,郎明林.微波消解-石墨炉原子吸收光谱法测定蔬菜中微量铅和镉[J].中国卫生检验杂志,2006,16(11):1350-1351.
- [34] 王元忠,李涛,曹玉娟,刘鸿高,沙本才.微波消化-氢化物原子吸收法测定巨大口蘑中砷的含量[J].微量元素与健康研究,2006,23(6):48-49.
- [35] 黄卫,倪小英.微波消解-石墨炉原子吸收光谱法测定小麦粉标样中镉的含量[J].质量检测,2007,(5):46-47.
- [36] YE Qiao-yun, LI Yan, JIANG Yan, et al. Determination of trace cadmium in rice by flame atomic absorption spectrometry[J]. J. Agric. Food Chem., 2003, 51: 2111.
- [37] 高甲友.流动注射-在线富集火焰原子吸收分光光度法测定痕量铅[J].分析科学学报,2007,3(4):489-491.
- [38] 苏耀东,朱文颖,覃俐,陈龙武.空气隔离法流动注射在线预富集火焰原子吸收测定水样中的痕量铜和镉[J].光谱学与光谱分析,2006,26(5):959-962.
- [39] 朱霞石,朱小红,封克,王葆生.油点萃取-石墨炉原子吸收光谱法测定环境样品中的痕量镉[J].分析化学(FENXI HUAXUE).研究简报,2006,34(7):951-954.
- [40] 宋吉英,李军德,张利香,王艳丽.油点萃取-氢化物发生原子吸收光谱法测痕量汞[J].广州化学,2007,32(2):51-56.
- [41] 孙汉文,温晓华,梁淑轩.悬浮体进样-基体改进效应石墨炉原子吸收光谱法直接测定土壤中的铅和铜[J].光谱学与光谱分析,2006,26(5):950.
- [42] 刘立行,于萌.悬浮液技术-火焰原子吸收光谱法测定明胶中钙镁[J].理化检验-化学分册,2006,42(5):357.
- [43] 江节,伍光辉,陈大勇.原子吸收悬浮进样处理法测定茶叶中的铜[J].池州师专学报,2006,20(5):67-68.
- [44] 韩丽,孔鲁裔.悬浮液进样石墨炉原子吸收光谱法测定亚麻制品中的镉、钴、铬[J].中国纤检,2006,(9):18-19.
- [45] 吴瑶庆,孟昭荣.非完全消解-石墨炉原子吸收光谱法测定柞蚕蛹中铅、镉[J].光谱实验室,2007,24(2):132-134.
- [46] 吴瑶庆,孟昭荣.非完全消解-火焰原子吸收对瘦猪肉中微量元素测定[J].甘肃农业,2007,(2):79-80.
- [47] 张宏霞,杜晓燕,梁艳洁.非完全消化-火焰原子吸收光谱法测定人发中的钙和镁[J].哈尔滨医药,2004,24(2):47.

(上接第 102 页)

2500 kWh(按年运行 7000 h 计),年发电量 1750 万 kWh(发电成本取 0.15 元/kWh,外购电取 0.56 元/kWh,去税价)。则电收益为 1680 万 kWh \times (0.55~0.15)=717.5 万元/年。

节能量测算:按 3535 Nm³/h 的沼气量核算(低位发热值 20930 kJ/Nm³)年运行 7000 h,则年节约标煤量为:3535 \times 7000 \times 0.714/1000=1.767 万 t 标煤/年。

4 结论

在酒精生产中,副产物酒精废水是酒精产量的 10~15 倍^[6],因此对于它的合理利用显得尤为重要。经过综合治理后,该酒厂不仅实现了废水的达标排放,更利用产生的沼气来实现资源的综合利用,为企业节约了

大量的能源。这一项目对于薯类酒精行业具有很好的示范作用和推广意义。

参考文献:

- [1] 周海峰,吕锡武,王新刚,等.酒精行业循环经济模式研究[J].安全与环境工程,2007,14(3):1-5.
- [2] 方亚叶,石贵阳.酒精糟液的综合处理[J].酿酒,2003,30(1):74-78.
- [3] 闫庆松.酒精废糟液综合治理工程实例[J].工业给排水,2001,27(11):38-39.
- [4] 张德清.薯类酒精废糟液治理工程设计初探[J].给水排水,1999,25(7):34-36.
- [5] GB/T 50441-2007,石油化工设计能耗计算标准[S].
- [6] 耿式锁,袁嗣兵.高浓度酒糟废水的综合利用[J].江苏环境科技,1997,(2):29-30.

(上接第 104 页)

参考文献:

- [1] Ortega-Heras M., Gonzalez-SanJose M. L., Beltran S. Aroma composition of wines studied by diferent extraction methods [J]. Analytica Chimlea Aeta, 2002, 458(1):85-93.
- [2] Athanasios M., Michael K., Athanasios K., Maria K.. Wine fermentations by immobilized and free cells at different temperatures. Effect of immobilization and temperature on volatile by-products [J]. Food Chemistry, 2003, 80(1): 109-113.
- [3] 李铁纯,回瑞华,侯冬岩.固相萃取 GC/MS 法分析白酒中的香气成分 [J].质谱学报,2007,28(2):96-100.
- [4] 文瑞明.香料香精手册[M].长沙:湖南科学技术出版社,2000.369-371.