

## 不同前处理 - 原子吸收光谱法测定葡萄酒中的微量元素

吴广臣, 王光冲, 赵杰 (河北大学质量技术监督学院, 河北保定 071000)

**摘要** [目的] 确定利用原子吸收光谱法测定葡萄酒微量元素时的最佳前处理方法。[方法] 选用市售澄清干红葡萄酒为样品, 对原子吸收光谱法测定葡萄酒中微量元素(铁、锌、镁、钾)时的不同前处理方法进行了比对研究, 即直接稀释法、蒸发酒精法、高氯酸-硝酸消化法、双氧水-硝酸消化法, 通过方法的精密度、加标回收率及样品测定值等指标对比, 确定最佳的前处理方法。[结果] 试验表明, 双氧水-硝酸消化法测定葡萄酒中微量元素具有更好的效果, 是测定葡萄酒中微量元素的理想方法; 酒精在葡萄酒的微量元素测定中并无太大影响; 葡萄酒微量元素存在结合态, 即使是含杂质较少的葡萄酒也应进行消化处理, 以保证检测结果的准确性。[结论] 研究可为葡萄酒中微量元素的准确检测提供参考依据。

**关键词** 原子吸收; 葡萄酒; 微量元素

中图分类号 S509.9 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2013)26-10832-03

### Determination of Microelements in Wine by Atomic Absorption Spectrometry with Different Pretreatment

WU Guang-chen et al (College of Quality and Technical Supervision, Hebei University, Baoding, Hebei 071000)

**Abstract** [Objective] To obtain the optimum pretreatment for determination of microelements in wine by atomic absorption spectrometry. [Method] With marketed clarified Ganhong wine as samples, different pretreatment proposal methods for determination of microelements in wine (Fe, Zn, Mg, K) by atomic absorption spectrometry were compared, namely direct dilution method, evaporation of alcohol method, perchloric acid and nitric acid digestion method, hydrogen peroxide and nitric acid digestion method. Through comparison of precision, recovery of standard addition and sample determination value, the optimum pretreatment method was obtained. [Result] The results showed that hydrogen peroxide - nitration method has better results, it is the ideal way for determination of microelements in wine; alcohol has no significant effects on the determination of microelements in wine; Microelements in wine exists combination state, digestion proposal should also conducted on wine with fewer impurities, so as to achieve the accurate detection result. [Conclusion] The study can provide reference for accurate determination of microelements in wine.

**Key words** Atomic absorption; Wine; Microelements

葡萄酒作为一种酒精度较低的时尚饮料, 具有较显著的商业价值和社会价值<sup>[1]</sup>, 并且随着我国加入世贸组织及改革开放以来人们生活水平的提高, 葡萄酒越来越得到国人的青睐。葡萄酒含有丰富的营养物质, 如多种氨基酸、花青素、有机酸、矿质元素等, 经常适量饮用葡萄酒可起到防止动脉硬化、促进消化、利尿保肝、防止衰老等效果<sup>[2-3]</sup>。矿质元素在葡萄酒中属微量元素, 含量在一定范围内对人体有益, 但超过一定限量对人体健康是有严重影响的, 尤其重金属元素<sup>[4]</sup>, 因此对葡萄酒中微量元素的检测研究具有重要意义。

目前, 对于葡萄酒中微量元素的检测方法主要有原子吸收光谱法<sup>[5-6]</sup>、可见分光光度法<sup>[7]</sup>、ICP-OES<sup>[8]</sup>法等, 其中应用较广泛的依然是原子吸收光谱法<sup>[9]</sup>, 该方法具有速度快、用样少、选择性好、抗干扰能力强等优点。在利用原子吸收光谱法测定葡萄酒中的微量元素时, 对酒样的前处理有多种方法, 如直接稀释法、蒸发酒精法、高氯酸-硝酸消化法及双氧水-硝酸消化法等。笔者选用市售澄清干红葡萄酒为样品, 对葡萄酒中铁、锌、镁、钾等微量元素测定时的前处理方法进行了比较研究, 以确定利用原子吸收光谱法测定葡萄酒微量元素时的最佳前处理方法, 为葡萄酒中微量元素的准确检测提供依据。

## 1 材料与方

**1.1 材料** 供试葡萄酒为长城干红, 中粮酒业(沙城)有限公司, 购自超市。

主要试剂: 硝酸, 优级纯; 双氧水, 优级纯; 高氯酸, 优级纯; 1 000  $\mu\text{g}/\text{ml}$  的钾、镁、铁、锌标准溶液, 购自中国计量科学研究院, 色谱纯; 去离子水。

主要仪器: TAS-990 型火焰原子吸收光谱仪, 北京普析通用有限公司; 钾、镁、铁、锌元素空心阴极管, 衡水市宁强光源有限公司; 杰瑞尔不锈钢电热板 DB-2, 金坛市杰瑞尔电器有限公司; 万用电炉 220V-AC, 功率 0 ~ 2 000 W, 北京科伟永兴仪器有限公司; Human 超纯水机 (Ultra Pure Water System), Nex UP 1000 Scholar; 空气压缩机; 真空泵; 超声波清洗仪; 乙炔燃气。容量瓶 (10 ml、100 ml)、移液管 (10 ml、5 ml)、100 ml 锥形瓶、25 ml 比色管、10 ml 离心管、50 ml 量筒、移液枪 (1 ml、200  $\mu\text{l}$ )、烧杯 (100 ml、500 ml)。

**1.2 试验预处理** 将所需的玻璃仪器 (容量瓶、烧杯、比色管、锥形瓶等) 超声波清洗 30 min, 再用 10% 的硝酸溶液浸泡 24 h 以上, 取出用去离子水清洗干净, 通风晾干后备用。

## 1.3 方法

**1.3.1 溶液的制备。** 10% 的硝酸溶液: 量取 500 ml 硝酸于一清洗盆中, 加入 4 500 ml 的去离子水, 搅拌均匀后备用。0.5 mol/L 的硝酸溶液: 量取 32 ml 的硝酸溶液于 1 000 ml 容量瓶中, 用去离子水稀释并定容至刻度, 混匀后备用。高氯酸-硝酸 (1:4) 混合溶液: 量取 400 ml 硝酸溶液于大烧杯中, 然后缓缓加入 100 ml 高氯酸, 混合均匀后, 转移至 500 ml 棕色瓶中备用, 避光贮存。双氧水-硝酸 (1:4) 混合溶液: 量取 400 ml 硝酸溶液于大烧杯中, 然后缓缓加入 100 ml 双氧水, 混合均匀后, 转移至 500 ml 棕色瓶中备用, 避光贮存。100  $\mu\text{g}/\text{ml}$  的铁、锌、镁、钾标准储备液: 准确移取 1 000  $\mu\text{g}/\text{ml}$  的

基金项目 国家“十一五”科技支撑计划资助课题 (2006BAK02A17)。  
作者简介 吴广臣 (1963 - ), 男, 河北高碑店人, 教授, 从事食品安全检测研究, E-mail: wuguangchen168@126.com。  
收稿日期 2013-07-01

铁、锌、镁、钾标准品溶液 1 ml 于 10 ml 容量瓶中,用 0.5 mol/L 的硝酸溶液定容至刻度,摇匀后贮存在 4 ℃ 条件下备用。

**1.3.2 仪器的工作条件。**在微量元素测定时,需对仪器的工作条件进行确定。该试验通过寻峰确定了铁、锌、镁、钾 4 种元素的最佳波长,同时按照仪器工作条件确定了乙炔燃气流量、狭缝宽度、工作电流、能量平衡负高压,所得最佳的微量元素测定仪器参数条件如表 1 所示。

表 1 仪器工作参数

元素	波长 nm	工作 电流 mA	负高压 V	狭缝 宽度 nm	乙炔燃 气流量 ml/min	燃烧器 高度 mm
Fe	248.3	2	300.0	0.2	1 700	8
Zn	213.8	3	393.5	0.4	1 700	8
Mg	285.2	2	309.5	0.4	1 700	8
K	766.8	2	321.5	2.0	1 700	8

**1.3.3 酒样前处理。**

**1.3.3.1 直接稀释法。**准确移取 10 ml 酒样于 100 ml 容量瓶中,用 0.5 mol/L 的硝酸溶液定容至刻度,摇匀后贮存于 4 ℃ 条件下备用。同时做试剂空白。

**1.3.3.2 蒸发酒精法。**准确移取 10 ml 酒样于 100 ml 小烧杯中,在可调电热板上调节温度至 50 ℃ 加热 40 min,至酒精蒸发完全,取下冷却至室温,将试样转移至 100 ml 容量瓶,用 0.5 mol/L 的硝酸溶液润洗小烧杯 3~5 次,定容至刻度,摇匀后贮存于 4 ℃ 条件下备用。同时做试剂空白。

**1.3.3.3 双氧水-硝酸消化法。**准确移取 10 ml 酒样于 100 ml 锥形瓶中,缓缓加入双氧水-硝酸(1:4)混合溶液 10 ml,将其摇匀后转移至可调不锈钢电热板上预热 15 min,等溶液由红色变无色澄清后再将其转移至万用电磁炉上继续加热,开始会产生大量浓棕色的烟,继续加热浓棕色烟逐渐变成淡黄色至无色,待烟冒尽时取下,冷却至室温,然后将试样转移至 100 ml 容量瓶,用 0.5 mol/L 的硝酸溶液润洗锥形瓶 3~5 次,定容至刻度,摇匀后贮存于 4 ℃ 条件下备用。同时做试剂空白。

**1.3.3.4 高氯酸-硝酸消化法。**准确移取 10 ml 酒样于 100 ml 锥形瓶中,缓缓加入高氯酸-硝酸(1:4)混合溶液 10 ml,摇匀后转移至可调电热板上预热 10 min,等溶液颜色变浅后将其转移至万用电磁炉上继续加热,开始会产生大量浓棕色的烟,继续加热浓棕色烟逐渐变成淡黄色直至冒白色的烟,待烟冒尽试样有白色灰化物时取下,冷却至室温,然后将其转移至 100 ml 容量瓶,用 0.5 mol/L 的硝酸溶液润洗锥形瓶 3~5 次,定容至刻度,摇匀后贮存于 4 ℃ 条件下备用。同时做试剂空白。

**1.3.4 标准系列工作溶液的配制。**铁标准系列工作溶液:准确吸取 0、20、50、100、200 μl 的 100 μg/L 的铁标准储备液于 10 ml 容量瓶中,并用 0.5 mol/L 的硝酸溶液定容至刻度,制得浓度为 0、0.2、0.5、1.0、2.0 μg/ml 的系列工作溶液。

锌标准系列工作溶液:准确吸取 0、10、20、50、100 μl 的 100 μg/L 的锌标准储备液于 10 ml 容量瓶中,并用 0.5 mol/L 的硝酸溶液定容至刻度,制得浓度为 0、0.1、0.2、0.5、1.0 μg/ml 的系列工作溶液。

镁标准系列工作溶液:准确吸取 0、50、100、200、400 μl 的 100 μg/L 的镁标准储备液于 10 ml 容量瓶中,并用 0.5 mol/L 的硝酸溶液定容至刻度,制得浓度为 0、0.5、1.0、2.0、4.0 μg/ml 的系列工作溶液。

钾标准系列工作溶液:准确吸取 0、100、200、400、800 μl 的 100 μg/L 的钾标准储备液于 10 ml 容量瓶中,并用 0.5 mol/L 的硝酸溶液定容至刻度,制得浓度为 0、1、2、4、8 μg/ml 的系列工作溶液。

**1.3.5 精密度与加标回收率。**用前述不同前处理方法对采购的葡萄酒试样进行处理,每种方法平行取样 6 份进行前处理,并用火焰原子吸收光谱法对处理的酒样进行微量元素测定,计算测定均值和精密度。用相对标准偏差  $S_r$  表示其精密度<sup>[10]</sup>,其中  $S_r$  的计算公式为:

$$S_r(\%) = (\delta/A) \times 100$$

式中, $\delta$  为标准偏差,是由试样多次测定值计算得出的, $A$  为多次测定的试样溶液的平均吸光度值。

按不同前处理方法对酒样进行处理,每种方法平行取 2 组试样,每组 3 份,其中一组加入铁、锌、镁、钾的标准储备液适量,做加标回收率试验。

## 2 结果与分析

**2.1 标准曲线的绘制** 在仪器最佳的工作参数条件下,将铁、锌、镁、钾的标准系列工作溶液进样测定,其标准曲线方程及相关系数如表 2 所示。

表 2 各元素标准曲线方程及相关系数

元素	标准曲线	相关系数 $R^2$
Fe	$A = 0.045 1X - 0.002 0$	0.999 3
Zn	$A = 0.408 8X + 0.004 5$	0.999 5
Mg	$A = 0.422 3X + 0.007 8$	0.998 9
K	$A = 0.391 5X + 0.021 2$	0.999 1

从表 2 中可以看出,仪器工作状态良好,各元素标准曲线拟合状况良好,相关系数均达到了 99.89% 及以上,满足对葡萄酒微量元素的含量测定的要求。

## 2.2 不同前处理方法测定结果分析

**2.2.1 方法回收率结果分析。**对选购的酒样进行平行取样,每种前处理方法平行取样 6 份,3 份做平行处理测定,3 份做加标平行处理测定,对测定数据进行处理所得结果如表 3 所示。从表 3 中的数据可以看出,4 种不同的前处理方法的回收率均在 90%~110%,但双氧水-硝酸消化法所得回收率较其他 3 种前处理方法更好,且双氧水-硝酸消化法测定的样品本底值最高,所得铁、锌、镁、钾的回收率依次为 96.77%、96.33%、100.80%、101.27%,本底值依次为 7.88、2.51、100.83、1 046.33 μg/ml。

表3 不同前处理加标回收率计算结果对比

元素	方法	样品值// $\mu\text{g}/\text{ml}$	加标值// $\mu\text{g}/\text{ml}$	测定值// $\mu\text{g}/\text{ml}$	平均回收率//%
Fe	直接稀释法	3.90 ± 0.91	4	7.68 ± 0.98	94.44
	蒸发酒精法	4.29 ± 0.58	4	8.20 ± 0.24	92.88
	高氯酸硝酸法	7.30 ± 0.56	4	11.07 ± 0.52	94.23
	双氧水硝酸法	7.88 ± 0.92	4	11.75 ± 0.95	96.77
Zn	直接稀释法	0.57 ± 0.05	1	1.63 ± 0.12	106.67
	蒸发酒精法	0.53 ± 0.06	1	1.51 ± 0.15	93.00
	高氯酸硝酸法	2.12 ± 0.13	1	3.05 ± 0.13	94.67
	双氧水硝酸法	2.51 ± 0.06	1	3.47 ± 0.07	96.33
Mg	直接稀释法	73.83 ± 5.25	50	126.07 ± 5.09	104.47
	蒸发酒精法	68.00 ± 1.59	50	118.13 ± 1.96	100.93
	高氯酸硝酸法	99.13 ± 1.02	50	151.23 ± 5.68	104.33
	双氧水硝酸法	100.83 ± 0.49	50	151.30 ± 1.82	100.80
K	直接稀释法	580.33 ± 4.21	500	1 050.33 ± 6.75	94.00
	蒸发酒精法	573.00 ± 2.29	500	1 033.00 ± 2.94	92.00
	高氯酸硝酸法	1 038.00 ± 1.44	500	1 553.67 ± 1.72	103.13
	双氧水硝酸法	1 046.33 ± 1.01	500	1 552.67 ± 2.14	101.27

2.2.2 方法的精密度结果分析。将采购的葡萄酒按不同前处理方法取样,每种前处理方法平行取样6次,进行处理后进样测定,对所得数据进行处理得4种不同前处理方法测定各元素的精密度如表4所示。从表4的数据可以看出,4种不同前处理方法在测定葡萄酒中微量元素时精密度均小于

表4 不同前处理测定各元素的精密度对比 %

前处理	Fe	Zn	Mg	K
直接稀释法	3.01	2.33	1.82	1.46
蒸发酒精法	3.47	2.42	1.68	5.19
高氯酸硝酸法	2.50	1.29	1.05	0.89
双氧水硝酸法	2.30	0.63	0.85	0.60

5% (除了蒸发酒精法测K),其中双氧水-硝酸消化所测得各元素精密度最好,所测得的铁、锌、镁、钾的精密度依次为2.30%、0.63%、0.85%、0.60%。

2.2.3 样品测定结果对比分析。将采购的市售葡萄酒按不同前处理方法分别取样,每种前处理方法每种酒样平行取3次进行处理测定,测定结果如表5所示。从表5中的数据可以看出,直接稀释法与蒸发酒精法测定结果在同一范围,而高氯酸-硝酸消化法与双氧水-硝酸消化法测定结果明显高于直接稀释法和蒸发酒精法的测定结果,其中双氧水-硝酸消化法测定的结果最高。

表5 不同前处理酒样测定结果对比

前处理	酒样	Fe	Zn	Mg	K
直接稀释法	样-1	4.84 ± 0.19	0.54 ± 0.035	79.9 ± 3.39	628 ± 2.61
	样-2	3.02 ± 0.14	0.62 ± 0.044	70.7 ± 4.25	565 ± 2.40
	样-3	3.84 ± 0.11	0.54 ± 0.039	70.9 ± 4.11	548 ± 3.77
蒸发酒精法	样-1	4.72 ± 0.22	0.49 ± 0.038	66.8 ± 3.41	598 ± 2.51
	样-2	3.63 ± 0.26	0.60 ± 0.034	67.4 ± 2.86	553 ± 3.54
	样-3	4.52 ± 0.37	0.49 ± 0.039	69.8 ± 3.46	568 ± 3.52
高氯酸-硝酸法	样-1	7.94 ± 0.18	1.98 ± 0.033	98.8 ± 4.84	1 022 ± 4.14
	样-2	6.92 ± 0.21	2.25 ± 0.043	99.7 ± 4.41	1 050 ± 4.03
	样-3	7.04 ± 0.17	2.08 ± 0.037	98.9 ± 4.46	1 042 ± 4.06
双氧水-硝酸法	样-1	8.83 ± 0.09	2.27 ± 0.011	102.0 ± 2.92	1 035 ± 3.98
	样-2	7.00 ± 0.17	2.59 ± 0.014	100.4 ± 2.88	1 054 ± 4.04
	样-3	7.82 ± 0.23	2.47 ± 0.016	100.1 ± 3.33	1 050 ± 4.23

### 3 讨论

该研究对市售澄清干红葡萄酒微量元素(铁、锌、镁、钾)测定时的4种不同前处理方法(直接稀释法、蒸发酒精法、高氯酸-硝酸消化法及双氧水-硝酸消化法)进行了比较分析,得出以下结论:

通过对加标回收率、精密度及样品测定值的结果对比发现,双氧水-硝酸消化法在测定时效果最好,是测定葡萄酒中微量元素的理想方法,该研究为制定葡萄酒中微量元素的标准测定方法奠定了基础。

通过对直接稀释法与蒸发酒精法2种前处理方法的试验数据进行处理,发现这2种前处理方法在回收率、精密度及样品测定值方面均无大的差异,并且直接稀释法的测定结果还要略优于蒸发酒精法的测定结果。试验证明,酒精在葡萄酒的微量元素测定中并无太大影响。

通过对选用的市售澄清长城干红葡萄酒4种不同前处理方法的比较研究发现,直接稀释法和蒸发酒精法测得的葡萄酒中微量元素的含量与消化法(高氯酸-硝酸消化法、双

进一步端正学习态度,杜绝考试作弊、作业抄袭等现象的发生;大力营造“诚信光荣、作弊可耻”的氛围,严格按照学校相关规定严肃处理考试作弊的学生,维护考试的严肃性、权威性和公正性。

**3.2.4** 采取各项措施减少学生旷课。学风不好的一个显著表现就是旷课,应采取相关措施尽量杜绝学生旷课行为。严格考勤制度,成立学风督导小组,负责早晚自习考勤及每周的考勤统计。任课教师负责正课考勤。对每周统计出来的旷课达到 10 节的学生进行张榜公布,并责令在规定的时间内找辅导员或班主任谈话,对长期旷课的学生要深入做思想工作。从根本上解决学生的实际问题,对屡教不改的学生给予纪律处分,同时辅导员和班主任要加强和任课教师的沟通,着重关注“重点观察对象”。通过点名回答问题等形式督促学生的自觉性。

**3.2.5** 加强学生学习能力的培育和引导。从调查结果可以看出,大学生主要心理问题有学习适应不良,部分大学生难以适应大学的教学方式,目标计划不明,学习策略不多,学习热情不足,学习动机不强,知识基础不实,学习毅力不强以及学习考试焦虑等。这些问题将严重影响学生的学习效果和成长成才。因此,应着重在以下方面加强学生学习能力的培养:

(1) 加强不同阶段的学习适应能力培养。一年级是适应阶段,要对大学新生进行导向教育,使其尽快适应大学生活。二、三年级是充实阶段,要加强定向教育,帮助大学生掌握有效的学习方法和策略。四年级是冲刺阶段,进行去向

教育,帮助大学生做好就业前的心理准备,确立就业目标、继续学习的发展方向,引导他们树立终身学习信念。

(2) 加强学生的学习方法指导。首先,教师应针对大学生的心理特点引导他们明确学习目标。其次,要引导大学生制订科学合理的学习计划。第三,指导学生做好精心的学习准备。第四,努力培养大学生学习的基本技能,如学会笔记、学会读书、学会预习、学会听课、学会复习等。第五,促使大学生养成良好的学习习惯。第六,帮助大学生形成独特的学习风格,引导大学生完善学习方法,优化学习策略,调适情绪。

(3) 引导学生合理转变学习方式。在学习态度上,由他主学习转为自主学习。在学习性质上,由重复学习转向创新学习。在学习空间上,由课堂学习转向社会学习。在学习途径上,由经验学习转向体验学习。在学习内容上,由理论学习转向应用学习。

#### 参考文献

- [1] 赵平. 应当把学风建设作为高校德育工作的重要内容[J]. 中国高教研究, 1998(4): 34.
- [2] 李祺. 高校学风教风建设的探索[J]. 科技信息, 2009(31): 514.
- [3] 刘丰. 高校如何在教风与学风建设中有所作为[J]. 高等教育与学术研究, 2007(4): 49-52.
- [4] 吴珊. 浅议普通高校学风建设问题及对策[J]. 科技创业月刊, 2010(12): 112-113.
- [5] 李俊桂. 普通高校学风建设现状及对策[J]. 边疆经济与文化, 2010(12): 178-179.
- [6] 魏双燕. 加强教风学风建设, 提高教学质量[J]. 沈阳工程学院学报: 社会科学版, 2010, 6(4): 554-556.

(上接第 10834 页)

氧水-硝酸消化法)测得的含量相差较大。这与相关文献<sup>[11-12]</sup>指出的澄清葡萄酒可以通过直接稀释法来测定其中的微量元素不同,因此葡萄酒测定微量元素时应该采用消化方法处理,以保证测定结果的准确性。

在用 4 种前处理方法处理酒样时,发现高氯酸-硝酸消化样品时反应特别剧烈,具有潜在危险性。酒样处理完毕在室温 25℃ 下放置 12 h 后,直接稀释法和蒸发酒精法处理的酒样均出现絮状沉淀,高氯酸-硝酸消化处理的酒样由无色出现酒红色,而双氧水-硝酸消化处理的酒样未出现这 2 种变化。

#### 参考文献

- [1] JAROSLAVA SPERKOVA, MILOSLAY SUCHANEK. Multivariate classification of wines from different Bohemian regions (Czech Republic)[J]. Food Chemistry, 2005, 93: 659-663.
- [2] 鲍建民. 葡萄酒的营养成分及保健功能[J]. 食品与药品, 2006, 8(3): 72

-74.

- [3] 陈玉庆. 葡萄酒的成分与营养价值[J]. 酿酒, 2004, 31(5): 112-115.
- [4] 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]. 实验技术与方法, 2006, 18(4): 320-323.
- [5] 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(1): 74-79.
- [6] 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.
- [7] 刘彦杰. 甲醛脲分光光度法测定酒中锰方法的探讨[J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 18(2): 362.
- [8] 王莉丽, 刘连利, 张艳萍, 等. ICP-OES 法对葡萄酒中 14 种微量元素含量的测定[J]. 渤海大学学报: 自然科学版, 2012, 33(2): 145-148.
- [9] 李丽, 郭金英, 宋立霞, 等. 原子吸收光谱法测定葡萄酒中金属元素[J]. 酿酒科技, 2009, 176(2): 105-109.
- [10] 郭金英, 李丽, 任国艳, 等. 不同前处理-石墨炉原子吸收光谱法检测红葡萄酒中的铅[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(5): 185-190.
- [11] 于海森. 火焰原子吸收光谱法测定葡萄酒中的铁、铜离子[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2009(7): 63-64.
- [12] 高建会, 葛宝坤. 原子吸收光谱法测定进口葡萄酒中的铁、锰、铜、锌[J]. 口岸卫生控制, 1999, 5(2): 30-32.