

刘水英,江 海,李新生,等. 火焰原子吸收光谱法测定彩色甘薯及其土壤中 6 种微量元素[J]. 江苏农业科学,2014,42(11):344-347.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.11.123

火焰原子吸收光谱法测定彩色甘薯及其土壤中 6 种微量元素

刘水英¹,江 海^{1,2,3},李新生^{1,2,3},米 桂¹,赵 璇¹,王 昕¹,杨智勇¹

(1. 陕西理工学院,陕西汉中 723000; 2. 陕西省资源生物重点实验室,陕西汉中 723000;

3. 陕西省黑色有机食品工程技术研究中心,陕西汉中 723000)

摘要:为了从微量元素角度评价彩色甘薯品质与其生长环境间的关系,本研究分析了陕西南部甘薯主要栽培区的 10 个品种彩色甘薯块根及土壤中微量元素含量。结果发现,彩色甘薯中微量元素含量与栽培条件、甘薯品种有关。土样中各微量元素含量均高于薯样,甘薯中微量元素含量与其土壤环境中微量元素含量成正相关;栽培条件相同时,不同品种的甘薯对土壤中同一元素吸收差异较大,同一品种的彩色甘薯对不同元素的选择性吸收也不相同。供试的 10 个品种中浙紫 1 号、密选 1 号、红心 431、徐薯 27 和香黄含有丰富的微量元素,开发利用的价值较大。

关键词:湿法高压消解;原子吸收光谱法;标准曲线法;微量元素

中图分类号:0657.31 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)11-0344-04

甘薯属旋花科,甘薯属草本植物,别称山芋、红芋、地瓜、红苕,是多年生或一年生蔓生草本植物。彩色甘薯是甘薯的一个特殊品种类型,因其薯肉呈多种颜色,所以得名彩色甘

薯。彩色甘薯除了具有普通甘薯的成分和功能外,还具有多种生理作用。彩色甘薯富含多种微量元素(锌、铁、锰等)、膳食纤维、淀粉、维生素、花青苷^[1-2]、碳水化合物、胡萝卜素、视黄醇、糖蛋白、去氢表雄(甾)酮及不饱和脂肪酸等多种功能性物质,具有抗氧化、抗肿瘤、预防高血压、增强机体免疫力等功能^[3-5]。常作为重要的食品、医药、饲料、化工、轻工、纺织等工业原料及新型能源^[6],据联合国粮农组织(FAO)统计,目前甘薯被世界上 100 多个国家种植。我国是世界上最大的甘薯生产国,产量占世界总产量的 80% 左右^[7],其中彩色甘薯在我国甘薯产业中占据相当重要的地位^[8]。

目前国内外对彩色甘薯的研究报道很多,但主要集中在彩色甘薯中的花青苷^[9-10]及花青苷的各种生理功能^[11-16],

收稿日期:2014-01-07

基金项目:陕西省科技统筹创新工程计划(编号:2014KTCL02-18);

陕西理工学院研究生创新基金(编号:SLGYCX-1419);陕西省汉中市科技创新工程设计项目(编号:2013KC26)。

作者简介:刘水英(1987—),女,硕士研究生,从事应用生物化学研究。E-mail:snutlsy@163.com。

通信作者:李新生,教授,从事生物资源开发应用研究。E-mail:lxn9@tom.com。

加强,氮素得到积累,为春茶生长提供丰富的氮元素,所以春茶氨基酸含量高于夏秋茶,幼嫩茶叶氨基酸含量高于粗老茶叶,可将氨基酸含量作为判断茶叶质量的一个化学指标。本研究中茶叶感官品质与茶多酚、咖啡碱含量也呈极显著相关,主要是因为茶多酚、咖啡碱含量随鲜叶嫩度提高而逐渐提高,但由于茶多酚是由多种物质组成,其主要成分儿茶素也分为简单儿茶素和复杂儿茶素,各种成分对茶叶感官品质的作用不同,而咖啡碱主要起到协调作用,所以茶多酚、咖啡碱都不能作为茶叶质量的判断标准。一般鲜叶越老,灰分、叶绿素含量越高,所以灰分、叶绿素含量可以作为鲜叶嫩度的一个判断标准。在 GB/T 22737—2008《地理标志产品 信阳毛尖茶》中,茶叶水分含量 $\leq 6.5\%$ ^[10],一般茶叶水分含量与茶叶品质基本不相关。

本研究检测的化学成分和茶叶样品较少,信阳毛尖茶感官品质与化学成分相关性有待进一步研究。

参考文献:

[1]宛晓春,龚淑英,龚正礼. 中国茶谱[M]. 北京:中国林业出版

社,2007.

[2]郭桂义. 信阳毛尖茶化学成分与品质关系初探[J]. 茶叶,2000,26(4):228-233.

[3]彭昌亚,李永飞,任 枫,等. 不同溶剂对绿茶中叶绿素的萃取效果[J]. 安徽农业科学,2006,34(6):1117,1254.

[4]刘绚霞,董振生,刘创社,等. 油菜叶绿素提取方法的研究[J]. 中国农学通报,2004,20(4):62-63.

[5]陆松侯,施兆鹏. 茶叶审评与检验[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2005.

[6]全国标准化技术委员会. GB/T 23776—2009 茶叶感官审评方法[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[7]宛晓春,黄继铨,龚正礼. 茶叶生物化学[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2007.

[8]施郁荫,刘宝林. 冻干速溶绿茶粉工艺优化[J]. 江苏农业科学,2013,41(8):269-271.

[9]陈学林,黄 阳. 发展茶食品加工,拓展江苏茶产业发展空间[J]. 江苏农业科学,2013,41(12):8-10.

[10]全国标准化技术委员会. GB/T 22737—2008 地理标志产品—信阳毛尖茶国家标准[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

β -胡萝卜素、糖蛋白^[17]、多酚类物质等方面。而对于彩色甘薯中微量元素却鲜有报道^[18],现有研究也局限在彩色甘薯茎叶或茎尖^[19]方面。微量元素与人类健康有密切关系,对机体的生长、发育和繁殖有着极其重要的生物学意义^[20]。随着人们生活水平的提高,微量元素对人体健康的影响越来越受到人们的重视。当微量元素摄入过量或不足时均会导致人体生理平衡紊乱而发生疾病^[21]。锌可以间接促进蛋白质的合成和骨髓的生长,具有改善心血管功能、增加红细胞数量和质量的作用^[22]。铜是细胞色素氧化酶、超氧化物歧化酶、过氧化酶等的主要成分^[23]。锰是多种酶的激活剂,与蛋白质结合成锰蛋白,重要的锰蛋白是丙酮酸羧化酶(是糖异生的关键酶)和超氧化物歧化酶(清除超氧自由基)。镍参与细胞激素和色素的代谢,具有生血、激活酶、形成辅酶的作用^[24]。

火焰原子吸收光谱法(flame atomic absorption spectroscopy,FAAS)是测定物质中微量元素含量的重要方法^[25-26],目前已成为无机元素定量分析检测的主要手段。为了从微量元素的角度评价不同品种彩色甘薯的品质,本试验采用湿法高压消解-原子吸收光谱法对陕南地区 10 个彩色甘薯品种块根中所含的微量元素进行测定。对微量元素含量与甘薯品质进行相关性分析,旨在从微量元素的角度为彩色甘薯资源的选种、育种、栽培、开发利用提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

10 个品种彩色甘薯及土样,采自陕西省汉中市汉台区洋县龙亭镇彩色甘薯种植基地(陕西省汉中市农技推广中心)。

1.2 试验仪器

M6 型原子吸收光谱仪(thermo electron cororation),配有火焰原子化系统;Fe、Cu、Zn、Mn、Mg、Ni 空心阴极灯(北京有色金属研究总院);摩尔超纯水仪(细胞型 1810B);WM-2H 型无油气体压缩机(天津市医疗器械二厂);ECH-1 型电子控温加热板(上海新仪微波化学科技有限公司);SHIMADZU AUW220D 十万分之一电子天平(日本岛津公司);KQ100-DA 超声波清洗器(江苏省昆山市超声仪器有限公司);101-3A 型电热恒温鼓风干燥箱(沪南电炉烘箱厂);ZN-02 中草药粉碎机(北京兴时利科技发展有限公司);容量瓶等玻璃容器使用前均用 1.6 mol/L 稀硝酸浸泡过夜,再用超声清洗机超声 10 min,最后用超纯水浸洗 3 次,烘干、编号、备用。

1.3 试剂

浓 HNO₃、HClO₄、H₂SO₄ 和 H₂O₂ 均为优级纯(上海国药集团),Mg、Ni、Cu、Mn 的标准溶液质量浓度均为 1 mg/mL(天津市光复精细化工研究所);Zn、Fe 标准溶液质量浓度均为 0.1 mg/mL(中国医药集团上海化学试剂公司);试验用水为超纯水 25 ℃ 条件下电阻率为 18.2 MΩ·cm。

1.4 试验方法

1.4.1 样品预处理 将采集到的 10 个品种的彩色甘薯块根用自来水洗净,再用超纯水清洗,切成 2~3 mm 厚的薄片,于 60 ℃ 电热恒温鼓风干燥箱中烘干,中草药粉碎机粉碎,过 60 目筛后于自封袋中密封保存。

1.4.2 消解溶剂的选择 样品消解常用 HNO₃、HCl、H₂SO₄、H₃PO₄、HClO₄、HF、H₂O₂ 等作为溶剂^[27-29]。为减少消解过程

中因生成难溶物导致部分微量元素的损失,以及分析时由于微量元素的共存而导致离子间相互干扰和掩蔽,分别试验 HNO₃、HClO₄、H₂SO₄ 和 H₂O₂ 及任意 2 种混酸作为消解液的消解效果。

1.4.3 湿法高压消解制备样品消解液 采用湿法高压消解样品,称取 0.50 g 样品于洁净干燥的聚四氟乙烯溶样杯中,用移液管加入 5 mL 浓 HNO₃,振荡摇匀后室温下放置 30 min,将溶样杯封存于不锈钢罐中,于 130 ℃ 烘箱内恒温消解 3 h。取出冷却至室温,将消解液完全转移入赶酸杯中置于设定温度为 170 ℃ 的电子控温加热板上挥酸,待酸雾散尽至消解液为 0.5~1.0 mL,再用 1% HNO₃ 定容于 10 mL 容量瓶中。每个样品做 5 组平行试验,做 1 个空白对照。

1.4.4 火焰原子吸收工作条件及参数 用 M6 系列火焰原子吸收光谱仪进行测量时,光谱仪器的最佳工作条件及参数见表 1。

表 1 火焰原子吸收光谱仪最佳工作条件及参数

微量元素	波长 (nm)	光谱带宽 (nm)	灯电流 (mA)	乙炔流量 (L/min)	燃烧器高 度(mm)	背景 校正
Mg	285.2	0.5	4.0	2.0	7.0	氘灯
Zn	213.9	0.2	5.0	1.2	7.0	氘灯
Fe	248.3	0.5	5.0	2.0	7.0	氘灯
Cu	324.8	0.5	4.0	1.1	7.0	氘灯
Mn	279.5	0.2	2.0	1.0	7.0	氘灯
Ni	232.0	0.2	4.0	2.0	7.0	氘灯

注:火焰类型为 Air-C₂H₂。

1.4.5 微量元素系列标准溶液的配制 以超纯水配制的 1% HNO₃ 溶液作为各标准溶液的稀释溶剂。取 Zn、Mg、Fe、Cu、Ni、Mn 元素的标准液按表 2 所示配制成对应浓度梯度的系列标准溶液。

表 2 各种微量元素标准溶液的浓度

微量元素	质量浓度梯度(mg/L)
Mg	0.00、0.10、0.30、0.50、1.00、2.00
Zn	0.00、0.50、1.00、2.00、4.00、6.00
Fe	0.00、0.50、1.00、2.00、4.00、8.00
Cu	0.00、0.20、0.50、1.00、2.00、3.00
Mn	0.00、0.50、1.00、4.00、8.00、20.00
Ni	0.00、0.50、2.00、4.00、8.00、12.00

1.4.6 标准曲线的绘制及样品中微量元素含量的测定 以超纯水配置的 1% HNO₃ 作为空白参比溶液,分别在原子吸收光谱仪对应的工作条件及参数下依次对各微量元素的系列标准溶液(按浓度依次递增的顺序)、薯样消解液进样检测,以系列标准溶液的质量浓度 *M* 对相应检测波长下的吸光度绘制标准曲线(含线性回归方程和相关系数 *r*),将样品及土样测得的吸光度,代入标准曲线方程即可计算出试样中各微量元素的含量。

1.4.7 精密度试验 为了判断本试验方法的可靠性和试验结果的准确性,需要做精密度试验。取同种样品进行多次重复试验,根据所测得的结果,计算各测定结果的相对标准偏差(*RSD*),根据 *RSD* 的大小来判断精密度的高低。*RSD* 值越小,表明试验的精密度越高,试验方法可靠性和结果的准确性也越好。本试验取秦紫 1 号作精密度试验,重复测定 5 次,根

据测得的 *RSD* 值来判断本试验方法的精密度。

1.4.8 回收率试验 做回收率试验是为了验证所用试验方法是否可靠,回收率越大证明所用方法可靠性越高。取秦紫 1 号进行加标回收率试验,在已知各微量元素含量的秦紫 1 号样品中加入一定量 Mg、Zn、Fe、Cu、Mn、Ni 标准溶液,测定其吸光度,计算回收率。其中 Zn、Cu 的加标量为 1.0 mg/L, Fe 的加标量为 2.0 mg/L, Mg、Mn、Ni 的加标量为 4.0 mg/L。

2 结果与分析

2.1 消解溶剂的确定

为防止微量元素的损失以及使各种微量元素能在消解制备液中被测定,笔者研究了 HNO₃、HClO₄、H₂SO₄ 和 H₂O₂ 及任意 2 种混合酸作为消解液对测定结果的影响。试验结果显示 HNO₃、HNO₃ - H₂O₂、HNO₃ - HClO₄ 消解效果相当,但是 HClO₄ 会与 Hg 结合成弱电解质 HgCl₂,吸附部分微量元素,使测量结果偏低。HNO₃ - H₂SO₄ 消解体系中有沉淀生成。Mg²⁺、Pb²⁺、Cr²⁺、Cd²⁺ 与 SO₄²⁻ 结合为沉淀,也导致测定结果偏低。彩色甘薯样品用 HNO₃ 消解效果最佳,不仅消解快速完全,而且消耗试剂量少、经济节约。

2.2 火焰原子吸收光谱法分析微量元素含量

2.2.1 标准曲线(线性回归方程)和相关系数 根据在仪器的最佳工作条件下测定标样中微量元素的含量绘制标准曲线。试验所得的各标准曲线方程和相关系数(表 3)显示,在工作范围内各微量元素的线性关系良好。

表 3 各种微量元素的标准曲线方程及相关系数

微量元素	线性回归方程	相关系数 <i>r</i>
Mg	$D=0.326\ 0C+0.010\ 1$	0.999 5
Zn	$D=0.130\ 8C+0.022\ 2$	0.998 7
Fe	$D=0.018\ 3C+0.002\ 0$	0.999 8
Cu	$D=0.054\ 9C-0.000\ 4$	0.999 4
Mn	$D=0.049\ 6C+0.003\ 8$	0.999 9
Ni	$D=0.026\ 5C-0.001\ 5$	0.999 9

表 6 土样及彩色甘薯中各种微量元素的含量

元素种类	微量元素的含量(mg/g)					
	Mg	Zn	Fe	Cu	Mn	Ni
土样	1.796 921	0.129 584	1.544 327	0.035 892	0.872 286	0.049 954
秦紫 1 号	1.079 70	0.020 192	0.165 061	0.012 015	0.043 868	0.002 185
浙紫 1 号	0.655 675	0.066 086	0.073 709	0.011 661	0.019 432	0.052 260
密选 1 号	0.936 375	0.038 344	0.117 642	0.012 309	0.044 012	0.019 416
红心 431	1.067 225	0.018 320	0.069 587	0.008 645	0.034 488	0.004 107
心香	0.710 075	0.039 899	0.005 724	0.009 729	0.002 893	0.002 528
香黄	0.909 425	0.018 240	0.117 463	0.013 151	0.029 575	0.002 235
徐薯 27	1.162 375	0.017 431	0.165 321	0.010 534	0.027 248	0.013 193
秦薯 5 号	0.948 175	0.015 285	0.106 133	0.010 366	0.030 782	0.004 283
秦薯 7 号	0.795 450	0.014 373	0.069 230	0.012 135	0.024 131	0.000 651
秦薯 8 号	0.622 775	0.016 345	0.065 480	0.009 578	0.032 249	0.002 590

由表 6 可以看出,在土壤中所检测到的各种微量元素,也同样存在于 10 个彩色甘薯品种块根中。彩色甘薯中各微量元素的含量与其生长的土壤环境中微量元素的含量成正比相关。各微量元素在 10 种彩色甘薯块根中的含量分布变化区

间是:Mg 为 0.622 775 ~ 1.162 375 mg/g、Zn 为 0.014 373 ~ 0.066 086 mg/g、Fe 为 0.005 724 ~ 0.165 321 mg/g、Cu 为 0.008 645 ~ 0.013 151 mg/g、Mn 为 0.002 893 ~ 0.044 012 mg/g、Ni 为 0.000 651 ~ 0.052 260 mg/g。各种微

表 4 精密度试验结果(*n* = 5)

微量元素	测定结果平均值 (mg/L)	标准差 (mg/L)	<i>RSD</i> (%)
Mg	0.082 9	0.003 1	3.77
Zn	0.235 0	0.008 6	3.65
Fe	2.437 9	0.041 5	1.70
Cu	0.147 0	0.006 7	4.60
Mn	0.082 4	0.002 0	2.42
Ni	0.072 1	0.001 3	1.80

2.2.3 回收率试验结果 表 5 结果表明回收率在 98.98% ~ 100.25% 之间。可见,该试验方法的可靠性较高。

由精密度试验和回收率试验结果可以看出,秦紫 1 号中各种元素的相对标准偏差(*RSD*)在 5% 以下,各种微量元素的回收率在 98.98% ~ 100.25% 之间,可见该试验方法的精密度良好,分析的结果准确可靠。

表 5 加标回收试验

元素	各元素含量(mg/L)				回收率 (%)
	加标前	加标量	加标后	回收量	
Mg	0.086 6	4.00	4.096 7	4.010 1	100.25
Zn	0.229 1	1.00	1.218 9	0.989 8	98.98
Fe	4.343 2	2.00	6.332 7	1.989 5	99.48
Cu	0.162 3	1.00	1.163 0	1.000 7	100.07
Mn	0.085 1	4.00	4.086 2	4.001 1	100.03
Ni	0.072 6	4.00	4.073 0	4.000 4	100.01

2.2.4 样品中微量元素的含量 按照表 1 所列检测条件进行各微量元素的分析测定,每个试样平行测定 5 组,测定结果见表 6。样品中微量元素含量 $W=(C_{测} \times V \times n)/m$,式中: W 为单位质量待测干样品中所含微量元素的质量,mg/g; C 测为样品溶液中微量元素的质量浓度,mg/L; V 为样品定容的体积,L; n 为对待测样品原溶液稀释的倍数; m 为干样的质量,g。

量元素在各品种彩色甘薯中含量的极差(含量分布区间内最大值和最小值之差)不同,从 Cu、Mg、Zn、Mn、Fe 到 Ni 依次呈现较为明显的递增趋势。

3 结论与讨论

本试验使用原子吸收光谱法测定彩色甘薯块根及其土样中 Mg、Zn、Fe、Cu、Mn、Ni 等微量元素的含量,材料处理采用了湿法高压消解,消解完全、彻底、试剂用量少、经济节约、污染少。

试验结果显示,彩色甘薯中微量元素含量与栽培条件、甘薯品种有关。彩色甘薯中各微量元素含量与其生长的土壤环境中微量元素含量呈正相关,当栽培条件相同时,不同品种的彩色甘薯对土壤中同一元素吸收差异较大。同一品种的彩色甘薯对不同元素的选择性吸收不同。彩色甘薯样除 Ni 含量高于土样外,Cu、Mg、Zn、Mn、Fe 的含量均低于土样,表明彩色甘薯对土壤中这 5 种微量元素是被动吸收,对 Ni 则是主动吸收。检测结果还显示,彩色甘薯对 Mg 和 Fe 这 2 种微量元素的吸收在不同品种中含量差异较大,但其含量均高于 Zn、Cu、Mn,说明甘薯对 Mg 和 Fe 吸收能力与品种有关,且对这 2 种元素吸收能力均高于 Zn、Cu、Mn。在不同彩色甘薯品种中 Zn、Cu、Mn 和 Ni 的含量差异不明显,表明不同彩色甘薯品种对这 4 种微量元素的吸收能力基本在同一水平。

供试的彩色甘薯中浙紫 1 号、密选 1 号、红心 431、徐薯 27 和香黄所测的元素含量分布区间均处于高位,表明相对于其他品种,这 5 个品种对所测定的这 6 种微量元素具有较高的吸收或富集效应,具有较高开发利用价值。

参考文献:

- [1] Koneczak I, Zhang W. Anthocyanins – more than nature's colours[J]. Journal of Biomedicine and Biotechnology, 2004(5): 239 – 240.
- [2] Goda Y, Shimizu T, Kato Y, et al. Two acylated anthocyanins from purple sweet potato[J]. Phytochemistry, 1997, 44(1): 183 – 186.
- [3] 余 华, 宋永康, 姚清华, 等. 不同肉色甘薯营养成分分析[J]. 福建农业学报, 2010, 25(4): 482 – 485.
- [4] Cho J, Kang J S, Long P H, et al. Antioxidant and memory enhancing effects of purple sweet potato anthocyanin and cordyceps mushroom extract[J]. Archives of Pharmacal Research, 2003, 26(10): 821 – 825.
- [5] Kim J M, Park S J, Lee C S, et al. Functional properties of different Korean sweet potato varieties[J]. Food Rcience and Biotechnology, 2011, 20(6): 1501 – 1507.
- [6] 孙金辉, 王 微, 董 楠. 紫薯花色苷的研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2011(11): 38 – 40, 44.
- [7] 刘庆昌. 甘薯在我国粮食和能源安全中的重要作用[J]. 科技导报, 2004, 21(9): 21 – 22.
- [8] 唐 君, 周志林, 张允刚, 等. 国内外甘薯种质资源研究进展[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2009, 29(5): 478 – 482.
- [9] 余燕影, 王 杉, 曹树稳, 等. 川山紫薯色素提取分离及主要组成成分分析[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 167 – 170.
- [10] Zhu H M, Zhao M. Study on chemical constituents and antioxidant activity of anthocyanins from *Ipomoea batatas* L. (purple sweet potato)[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2009, 29(1): 39 – 45.
- [11] 姜平平, 吕晓玲, 姚秀玲, 等. 紫心甘薯花色苷抗氧化活性体外实验研究[J]. 中国食品添加剂, 2002(6): 8 – 11.
- [12] 刘 宁, 王红兵, 王春波. 青紫薯色素抗肿瘤作用及毒理学实验研究[J]. 卫生研究, 2008, 37(4): 489 – 491.
- [13] Yoshimoto M, Okuno S, Yoshinaga M, et al. Antimutagenicity of sweet potato (*Ipomoea batatas*) roots[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 1999, 63(3): 537 – 541.
- [14] Suda I, Oki T, Masuda Mami, et al. Review physiological function – lity of purple fleshed sweet[J]. JARQ, 2003, 37(3): 167 – 173.
- [15] 马淑青, 吕晓玲, 范 辉. 紫甘薯花色苷对糖尿病大鼠肾脏的保护作用[J]. 中国食品添加剂, 2009(4): 79 – 82.
- [16] 韩永斌, 朱洪梅, 顾振新, 等. 紫甘薯花色苷色素的抑菌作用研究[J]. 微生物学通报, 2008, 35(6): 913 – 917.
- [17] 刘 主, 朱必斌, 彭 凌, 等. 甘薯糖蛋白化学结构及其生物学活性[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 582 – 584.
- [18] 柳洪鹏, 张立明, 史春余, 等. 甘薯矿质元素吸收与分配特性研究[J]. 中国土壤与肥料, 2011, 31(2): 71 – 75.
- [19] 鲁 宏. 不同采摘期甘薯茎尖中矿质元素分析[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(10): 5831 – 5833.
- [20] 葛亚龙, 唐志华. 微量元素与人体健康[J]. 饮料工业, 2013, 16(3): 4 – 6.
- [21] 韩丽琴, 董顺福, 刘建华. 金银花中金属元素与总黄酮含量的测定[J]. 中国药房, 2007, 18(33): 2596 – 2598.
- [22] 胡亦群, 宁慧青. 人体必需微量元素过量对健康的影响[J]. 太原科技, 2008, 172(5): 35 – 36.
- [23] 冯美云. 运动生物化学[M]. 北京: 人民体育出版社, 1999.
- [24] 夏 敏. 必需微量元素的生理功能[J]. 微量元素与健康研究, 2003, 20(3): 41 – 44.
- [25] 欧阳玉祝, 吴道宏, 舒庆敏, 等. 火焰原子吸收分光光度法测定路边青中重金属含量[J]. 分析科学学报, 2011, 27(4): 516 – 518.
- [26] 李冬梅, 韦小玲, 王立升, 等. 火焰原子吸收光度法测定格列齐特的研究[J]. 分析科学学报, 2011, 27(4): 463 – 466.
- [27] 胡林水, 何连军, 郑 珏. 微波消化 – 石墨炉原子吸收法测定银杏叶提取物中铅的含量[J]. 中成药, 2006, 28(3): 434 – 436.
- [28] 杨莉丽, 张德强, 高 英, 等. 氢化物发生 – 原子荧光光谱法测定中草药中的硒[J]. 光谱学与光谱分析, 2003, 23(2): 368 – 370.
- [29] 孔祥瑞. 必需微量元素的营养生理及临床意义[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1982: 51.