

检测仪器及消解方式对罗布麻微量元素 检测效果的影响

石秋梅¹, 张 科², 吴启明³, 尹传华^{1*}

(1. 武夷学院, 茶与食品学院, 武夷山 354300; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 乌鲁木齐 830011; 3. 武夷山香甘厚茶业有限公司, 武夷山 354300)

摘 要: **目的** 探索罗布麻微量元素适宜的检测条件。**方法** 以新疆产罗布麻和白麻叶及其制品罗布麻茶为实验材料, 比较了电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)和电感耦合等离子体原子发射光谱法(inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, ICP-AES)2 种仪器对其 Li、B、Cr、Fe、Mn、Cu、Zn、Se 和 Sr 9 种微量元素的检测效果, 同时对比了 3 种不同的湿法消解方式对检测结果的影响。**结果** 采用不同酸解液的 3 种湿法消解方法, 硝酸/过氧化氢消解液处理条件较温和, 元素损失量较少, 检测结果稍高于浓硝酸/高氯酸消解液处理的结果, 但所耗消解时间更长。对于易挥发元素 Se, 选用酸性和氧化性较弱的硝酸/过氧化氢消解液更适宜。在本试验条件下, 罗布麻体内的 Li 和 Cr 2 种微量元素不宜采用 ICP-AES 仪器检测, 可选用 ICP-MS, 而对于难电离元素 Se 则正好相反。**结论** 检测罗布麻微量元素含量时, 应根据待检测元素类型特征, 选择适宜的检测仪器。

关键词: 罗布麻茶; 湿法消解; 微量元素; 电感耦合等离子体质谱法; 电感耦合等离子体原子发射光谱法

Effects of detection instruments and digestion methods on the detection of trace elements of *Apocynum venetum*

SHI Qiu-Mei¹, ZHANG Ke², WU Qi-Ming³, YIN Chuan-Hua^{1*}

(1. College of Tea and Food Technology, Wuyi University, Wuyishan 354300, China; 2. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Science, Urumqi 830011, China; 3. Wuyishan Xiangganhou Tea Co., Ltd., Wuyishan 354300, China)

ABSTRACT: Objective To explore the suitable conditions for detecting trace elements of *Apocynum venetum*. **Methods** The leaves from *Apocynum venetum* Linnaeus and *Apocynum pictum* Schrenk and *Apocynum venetum* tea in Xinjiang were used as materials, and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) were performed to comparatively detect their trace element content, including Li, B, Cr, Fe, Mn, Cu, Zn, Se and Sr. Moreover, the effects of 3 types of wet digestion on the microelement content were conducted. **Results** Totally 3 kinds of wet digestion methods using different acid hydrolysis solutions were used, the nitric acid/hydrogen peroxide digestion solution treatment conditions were milder, the element loss was less, the test results were slightly higher than the concentrated nitric acid/perchloric acid

基金项目: 武夷学院引进人才科研启动经费项目(YJ201806)

Fund: Supported by Wuyi University Introduces Talents and Starts Funding for Scientific Research (YJ201806)

*通讯作者: 尹传华, 副教授, 主要研究方向为植物营养与品质。E-mail: yinchh2006@126.com

*Corresponding author: YIN Chuan-Hua, Associate Professor, College of Tea and Food Technology, Wuyi University, Wuyishan 354300, China. E-mail: yinchh2006@126.com

digestion solution treatment results, but it took longer time to digest. For volatile element Se, it was more suitable to use nitric acid/hydrogen peroxide digestion solution with weak acidity and oxidation. Under the conditions of this test, the 2 trace elements of Li and Cr in *Apocynum* were not suitable for detection by ICP-AES instruments, and ICP-MS could be selected, while the opposite was true for the hard ionized element Se. **Conclusion** When detecting the content of trace elements in *Apocynum venetum*, an appropriate detection instrument should be selected according to the characteristics of the type of elements to be detected.

KEY WORDS: *Apocynum venetum* tea; wet digestion; trace element; inductively coupled plasma atomic emission spectrometry; inductively coupled plasma mass spectrometry

1 引言

我国罗布麻植物主要有 2 种: 罗布麻属罗布麻 (*Apocynum venetum* Linnaeus)(俗称红麻)和罗布麻属白麻 (*Apocynum pictum* Schrenk)^[1], 人们习惯把两者统称为“罗布麻”。1977 年, 罗布麻叶正式列入《中国药典》一部, 2015 年最新版本仍保留^[2]。罗布麻叶有被用做药用和茶饮的悠久历史, 在不产茶的大西北民间常被称为“野茶”^[3]。上世纪 80 年代, 罗布麻茶被批准上市^[4], 中国药典 2015 年版首次正式收入罗布麻茶(Luobuma Cha, *Apocynum venetum* tea)^[2]。罗布麻茶通常是指以罗布麻叶为材料制成的别样茶, 但在盛产白麻的新疆地区, 常以白麻叶作为代用品。对 2 种罗布麻叶类黄酮等活性成分的研究表明, 白麻叶的成分及含量与罗布麻接近, 亦具有良好的保健功能^[5,6]。

各种类型茶饮是人体微量元素的重要补充来源, 别样茶罗布麻茶亦如此。植物中微量元素的检测方法主要有: 电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)、电感耦合等离子体原子发射光谱法(inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, ICP-AES)、火焰原子吸收光谱法(flame atomic absorption spectrometry, FAAS)与石墨炉原子吸收光谱法(graphite furnace atomic absorption spectrometry, GFAAS)等。样品的前处理消解方式主要有湿法消解、干法消解和微波消解。虽已有若干文献分析检测了罗布麻叶的某些微量元素含量^[7-9], 但有关消解方式及检测仪器对罗布麻不同微量元素检测效果的研究鲜见报道。本研究以罗布麻和白麻叶及其制品罗布麻茶为实验材料, 分析比较了 ICP-MS 法和 ICP-AES 法对其 9 种微量元素的检测效果, 同时研究了 3 种不同湿法消解前处理方式对检测结果的影响, 以期为罗布麻微量元素检测及罗布麻茶质量控制提供理论依据。

2 材料与方 法

2.1 试验材料

罗布麻叶、白麻叶片及白麻种子均采自新疆阜康 222 团中国科学院阜康荒漠生态实验站盐生植物园; 罗布麻茶(产地: 新疆库尔勒), 购买于当地市场。

2.2 仪器与试剂

Optima 8000 型电感耦合等离子体原子发射光谱仪(美国 PE 公司); 安捷伦 8800 型电感耦合等离子体质谱仪(美国安捷伦科技有限公司); Mars 5 微波消解仪(美国 CEM 公司); EAL-1 恒温电热板(常州无有实验仪器有限公司); ML104 系列天平(英国梅特勒-托利多公司)。

铁(Fe)、铜(Cu)、锰(Mn)、锌(Zn)、硒(Se)、锶(Sr)、锂(Li)、硼(B)、铬(Cr)9 种元素标准溶液(质量浓度均为 1000 mg/L, 国家标准物质中心); 绿茶标准物质(标号 GBW10052, 地球物理地球化学勘察研究所); 硝酸、高氯酸、双氧水(优级纯, 国药试剂上海有限公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 样品消解方法

用粉碎机将样品粉碎成粉末, 装于自封袋中备用。采用以下 3 种湿法消解及微波消解方式进行样品前处理。

湿法消解体系 1(下文简称“湿法 1”): 精密称取样品 0.5 g, 置于用酸浸泡过夜且用二次水冲洗干净并用烘箱烘干的 50 mL 锥形瓶中。加入用二次水稀释过的 HNO₃(1:1, V:V)5 mL 及 H₂O₂ 3 mL, 加盖小漏斗, 静置过夜。次日, 将锥形瓶置于电热板上加热, 温度 260 °C。待锥形瓶中溶液剩余 1/3 左右时, 逐次补加 1 mL H₂O₂ 进行赶酸, 直至样品溶液变为无色透明。若样品消解不完全, 可重复加 50% HNO₃ 和 H₂O₂, 继续消煮, 直至溶液无色透明。二次水定容至 50 mL, 过滤, 装入塑料瓶待用。同时做空白对照。

湿法消解体系 2(下文简称“湿法 2”): 除加入的消解液为浓 HNO₃/H₂O₂ 外, 其余所用试剂量及实验步骤均同湿法消解 1。

湿法消解体系 3(下文简称“湿法 3”): 消解液为浓 HNO₃ 和 HClO₄, 分别加入 8 mL 和 2 mL, 消解至溶液剩余 1/3 左右, 若仍未变为无色透明, 可补加 2 mL HClO₄ 继续消煮, 直至样品溶液变为无色。其余步骤同湿法消解 1。

微波消解: 精密称取样品 0.1 g, 置于用酸浸泡过夜, 且用二次水冲洗干净并用烘箱烘干的专用消煮管内。加入 5 mL 浓 HNO₃ 及 3 mL H₂O₂, 静置 2 h 后, 盖上消煮管盖子, 置于微波消解仪消煮, 工作参数如表 1 所示。消解 1 h 后,

冷却至室温,在赶酸炉中赶酸 2 h,再次冷却至室温后,用二次水定容至 50 mL,装入塑料瓶备用。同时做绿茶标准物质对照及空白对照。微波消解参数见下表 1。

2.3.2 仪器工作条件

安捷伦 8800 型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)工作条件及参数:射频功率 1500 W,发射功率 1 W,RF 功率 1500 W,等离子气流速 15 L/min,载气流速 1.05 L/min,补偿气流速 1 L/min,采样锥孔径 1.1 mm,截取锥孔径 0.9 mm,复采样次数 3,采样深度 8.0 mm。

Optima 8000 型电感耦合等离子体原子发射光谱仪(ICP-AES)工作条件及参数:射频频率 40.68 MHz,射频功率 1500 W,进样量 1.5 mL/min,辅助气体流量 1.0 L/min。

2.3.3 微量元素含量检测

不同湿法消解前处理效果试验:罗布麻叶、白麻叶及白麻种子采用上述 3 种不同湿法消解体系消解,均用 ICP-AES 仪器检测样品中锂(Li)、硼(B)、铬(Cr)、铁(Fe)、锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn)、硒(Se)和锶(Sr)共 9 种微量元素量。

不同仪器检测效果试验:罗布麻叶、白麻叶及其制品罗布麻茶经湿法消解(湿法 2,即消解液为浓 HNO₃/H₂O₂)和微波消解处理后,分别用 ICP-AES 及 ICP-MS 仪器检测样品中锂(Li)、硼(B)、铬(Cr)、铁(Fe)、锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn)、硒(Se)和锶(Sr)共 9 种微量元素量。

ICP-AES 和 ICP-MS 检测条件见上述 2.3.2。

2.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 进行数据处理,采用 Excel 2016 绘制图表。

3 结果与分析

3.1 不同湿法消解方式对罗布麻微量元素检测效果的影响

以罗布麻叶、白麻叶和白麻种子为实验材料,采用 3 种湿法消解方式处理样品,即消解液分别为 50%硝酸/过氧化氢、浓硝酸/过氧化氢和浓硝酸/高氯酸,均采用 ICP-AES 检测样品中 9 种微量元素量,结果见下表 2。

由表 2 可知,3 种湿法消解方法中,无论是罗布麻叶、白麻叶还是白麻种子,均表现出如下规律:以浓硝酸/高氯酸为消解液处理样品,所检测微量元素量均稍低于另外 2 种消解液处理,其中 Se 和 Zn 含量差异尤为明显;与浓硝酸/过氧化氢消解液处理相比,“50%硝酸/过氧化氢消解液”前处理所测的微量元素,除两者的 Zn 含量差异较大及 Se 含量显著高于前者外,其他所检测微量元素之间差异表现不一致、不明显。

3.2 不同检测仪器对罗布麻微量元素检测效果的影响

罗布麻叶、白麻叶及罗布麻茶经湿法消解和微波消解后,分别采用 ICP-MS 和 ICP-AES 两种仪器检测样品 9 种微量元素量,结果见表 3。

将 2 种仪器的检测结果进行比较可知,湿法消解-ICP-AES 仪器对 Li 元素几乎检测不出,对 Cr 的检测效果亦不佳,而微波消解-ICP-MS 对难电离元素 Se 的检测效果较差。Fe、Mn、B、Cu、Zn 和 Sr 6 种元素在 2 种检测体系中未表现出明显规律,检测效果差异不大。

表 1 微波消解仪工作参数

Table 1 Working parameters of microwave digestion instrument

消解程序	功率/W	升温时间/min	温度/°C	持续时间/min
1	1200	5	120	5
2	1200	5	150	10
3	1200	10	180	20

表 2 3 种不同湿法消解方式下的罗布麻微量元素量(n=3)

Table 2 Trace elements in different organs of *Apocynum* plants under three kinds of wet digestion (n=3)

样品名称	消解方法	微量元素量/(mg/kg)								
		Li	B	Cr	Fe	Mn	Cu	Zn	Se	Sr
罗布麻叶	湿法 1	0.6	165.0	3.8	137.4	174.4	4.2	17.3	13.8	262.1
	湿法 2	0.2	185.7	0.6	143.3	155.9	4.0	11.3	6.8	265.1
	湿法 3	0.6	100.9	1.6	127.2	144.1	3.6	11.4	3.5	237.0
白麻叶	湿法 1	0.3	164.5	1.4	127.5	83.4	3.5	17.6	10.8	495.2
	湿法 2	0.2	135.5	0.4	126.1	81.1	2.3	11.4	6.1	484.8
	湿法 3	0.7	106.0	1.5	100.2	74.8	2.3	8.5	4.5	451.1
白麻种子	湿法 1	1.7	48.8	2.6	157.4	55.4	5.7	33.8	10.5	128.2
	湿法 2	0.7	60.1	1.3	162.2	50.6	5.6	27.1	2.2	112.4
	湿法 3	2.6	42.0	1.3	135.0	38.6	4.0	18.4	1.6	99.7

注:湿法 1、湿法 2 和湿法 3,均为湿法消解,消解液分别为 50%硝酸/过氧化氢、浓硝酸/过氧化氢和浓硝酸/高氯酸。

表 3 不同仪器检测的罗布麻微量元素含量(mg/kg, n=3)
Table 3 Trace elements of *Apocynum* plants detected by ICP-MS and ICP-AES, respectively (mg/kg, n=3)

微量元素	检测仪器	罗布麻叶	白麻叶	罗布麻茶
Li	ICP-MS	35.8	65.4	46.3
	ICP-AES	0.2	0.2	2.6
B	ICP-MS	120.5	140.9	41.2
	ICP-AES	165.7	135.4	36.1
Cr	ICP-MS	10.6	5.7	7.5
	ICP-AES	0.6	0.4	1.9
Fe	ICP-MS	190.2	200.9	271.5
	ICP-AES	153.2	126.1	286.0
Mn	ICP-MS	170.9	91.0	30.7
	ICP-AES	155.9	81.0	28.6
Cu	ICP-MS	4.3	3.3	4.8
	ICP-AES	3.9	2.2	4.4
Zn	ICP-MS	11.0	14.1	38.9
	ICP-AES	11.3	11.4	30.9
Se	ICP-MS	0.1	0.1	0.2
	ICP-AES	6.7	6.1	1.5
Sr	ICP-MS	258.5	472.8	244.8
	ICP-AES	265.0	484.7	238.4

3.3 3种湿法消解前处理效果比较

3种湿消解方法的操作步骤及使用试剂总结于下表4。将3种湿消解方法进行比较可知,以50% HNO₃/H₂O₂为消解液的湿法消解方式,条件温和,但耗时漫长,需12~15 h方可消解完全,且在消煮过程中需重复加酸和H₂O₂。以HNO₃/HClO₄为消解液时,因酸试剂氧化性较强,故消解时间也较短,仅3~4 h即可完成。而以浓HNO₃/H₂O₂为消解液的消解方式,反应条件和消解时间介于三者之间。

从上述表2可知,3种湿法消解方式均可取得较好的消解效果,且从总体上看,三者之间的检测结果差异不太大。但不同湿法消解方式因所选用酸试剂酸性强弱的不同,不仅影响消解时间,对消解过程中元素损失程度也有影响。以硝酸/过氧化氢为消解液,由于条件较温和,消解过程中元素损失较少,故检测的元素量总体较高;而消解液为浓硝酸/高氯酸时,由于试剂氧化性强,反应剧烈,易引发样品的挥发损失,所以与另外2种湿消解方式相比,所检测微量元素量稍偏低。在所检测的九种微量元素中,含量较低的Se和Zn,尤其是Se,检测结果受湿法消解方式影响最大。以50% HNO₃/H₂O₂为消解液时,罗布麻叶、大叶白麻叶和大叶白麻种子的Se含量分别为13.8、10.8和

10.5 mg/kg,而当消解液为浓硝酸/高氯酸时,含量则分别降为3.5、4.5和1.6 mg/kg。所以,对于一些极易挥发损失的元素,如砷、硒和汞等,一般不采用干灰化法或湿消化法进行前处理,可考虑微波消解或采用无损分析技术如中子活化技术(neutron activation technique, NAA)^[10]。

3.4 ICP-MS和ICP-AES仪器检测效果比较

从上述不同湿法消解方式对罗布麻微量元素检测效果影响(3.1)及相关文献研究结果可知,除少数元素外(如硒),消解方式对微量元素检测效果影响不显著^[11-13],故本论文研究中湿法消解-ICP-AES体系与微波消解-ICP-MS体系微量元素检测效果的差异主要源于检测仪器的不同。

与ICP-AES相比,ICP-MS所检测的Se含量低一个数量级,几乎检测不出。这是因为常规ICP-MS采用启动雾化器进样,对那些电离电位高的难电离元素灵敏度低。元素周期表中大多数元素在ICP中的电离度大于90%,然而像砷(As)、硒(Se)、汞(Hg)这些难电离元素在ICP中的电离度却相当低。这就导致ICP-MS法测定这些元素时,分析灵敏度相当差^[10,14]。因此,检测这类难电离元素时,不宜采用ICP-MS仪器,可应选用ICP-AES。

表 4 三种湿法消解体系比较
Table 4 Comparison among three kinds of wet digestion systems

	湿法 1	湿法 2	湿法 3
称样重量/g	0.5	0.5	0.5
酸种类	50% HNO ₃ +H ₂ O ₂	浓 HNO ₃ +H ₂ O ₂	浓 HNO ₃ +HClO ₄
酸总体积/mL	21 mL 50% HNO ₃	9 mL HNO ₃	8 mL HNO ₃ +4 mL HClO ₄
消解时间/h	12~15	5~6	3~4
消解最高温度/°C	180	180	180

将 ICP-AES 法与 ICP-MS 法所检测的结果(表 3)进行比较还可知,在本试验条件下,ICP-AES 法几乎检测不出各样品的 Li 和 Cr 含量,故不宜采用该仪器检测这 2 种微量元素含量,可选用 ICP-MS 法。

除上述几种微量元素有各自的适宜检测仪器外,本实验所检测的其他元素,即 Fe、Mn、Cu、Zn 和 Sr,采用 ICP-AES 和 ICP-MS 2 种仪器的检测效果差别不大。

4 结 论

以 50% HNO₃/H₂O₂、HNO₃/H₂O₂ 和 HNO₃/HClO₄ 为消解液的 3 种湿法消解前处理,因硝酸/过氧化氢消解液条件较温和,元素损失量较少,故检测结果稍高于浓硝酸/高氯酸消解液处理,但差异不大且前者所耗消解时间也更长。但对于易挥发元素 Se,酸解液的酸性和氧化性对其检测结果影响较大,应选用较温和的硝酸/过氧化氢为消解液。

在本试验条件下,罗布麻体内 Li 和 Cr 元素不宜用 ICP-AES 仪器检测,可用 ICP-MS 法,而难电离元素 Se 正好相反,不可用 ICP-MS 法检测,可选 ICP-AES 仪器。因此,在进行罗布麻微量元素含量检测时,应根据待检测元素类型特征,选择适宜的检测仪器。

参考文献

- 中国植物志编辑委员会. Flora of China(《中国植物志》英文修订版)第十六卷[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
Flora of China editorial board. Flora of China (revised english edition of the flora of China) Vol. 16 [M]. Beijing: Science Press, 1995.
- 国家药典委员会. 中国药典. 一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
Chinese Pharmacopoeia Committee. Chinese pharmacopoeia (Vol 1) [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2015.
- 张卫明, 肖正春, 顾龚平, 等. 罗布麻资源利用与罗布麻植物分类问题[J]. 中国野生植物资源, 2006, 25(2): 15-19.
Zhang WM, Xiao ZC, Gu GP, et al. On the resources utilization of *Apocynum* and its classification [J]. Chin Wild Plant Res, 2006, 25(2): 15-19.
- 谭晓蕾, 彭勇. 罗布麻茶的研究进展[J]. 中国现代中药, 2014, 16(8): 666-673.
Tan XL, Peng Y. Research progress of *Apocynum Venetum* tea [J]. Mod Chin Med, 2014, 16(8): 666-673.
- Ma M, Hong CL, An SQ, et al. Seasonal, spatial, and interspecific variation in quercetin in *Apocynum venetum* and *Poacynum hendersonii*, Chinese traditional herbal teas [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51: 2390-2393.
- 石秋梅, 邓翻云, 吴敏言. HPLC 法同时测定新疆产 2 种罗布麻叶中芦丁、金丝桃苷及异槲皮苷的含量[J]. 中草药, 2014, 45(9): 1326-1329.
Shi QM, Deng FY, Wu MY. Simultaneous determination of rutin, hyperin, and isoquercitrin in leaves of *Apocynum venetum* and *Poacynum hendersonii* located in Xinjiang by HPLC [J]. Chin Tradit Herbal Drugs, 2014, 45(9): 1326-1329.
- 黄爱华, 迟玉广, 陈宇文. AAS 法测定罗布麻叶中的 7 种微量元素[J]. 微量元素与健康研究, 2010, 27(3): 24-25.
Huang AH, Chi YG, Chen YW. Atomic absorption spectrometry determination of seven microelement in dogbane leaf [J]. Stud Trace Elem Health, 2010, 27(3): 24-25.
- 徐红, 薛海燕, 张丛文. ICP-AES 法测定不同产地罗布麻叶中的微量元素[J]. 分析试验室, 2010, 29(增刊): 194-196.
Xu H, Xue HY, Zhang CW. Determination of trace elements in *Apocynum venetum* L. from different regions by ICP-AES [J]. Chin J Anal Lab, 2010, 29(S): 194-196.
- 吴丽苹, 曾宪录, 施煜, 等. 微波消解-ICP-AES 法测定罗布麻叶中 16 种微量元素[J]. 化学分析计量, 2017, 26(3): 46-49.
Wu LP, Zeng XL, Shi Y, et al. Determination of 16 trace elements in the leaves of *Apocynum venetum* by microwave digestion-ICP-AES method [J]. Chem Anal Meter, 2017, 26(3): 46-49.
- 王小平, 马以瑾, 徐元春. 原子荧光光谱法测定不同产地茶叶中 As, Se, Hg 和 Bi 4 种元素含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(7): 1653-1657.
Wang XP, MA YJ, Xu YC. Studies on contents of arsenic, selenium, mercury and bismuth in tea samples collected from different regions by atomic fluorescence spectrometry [J]. Spectrosc Spectral Anal, 2008, 28(7): 1653-1657.
- 郭红丽, Christopher North, 刘利亚, 等. 不同消解方法对定量测定人参皂苷中 5 种重金属的对比研究[J]. 华西药理学杂志, 2015, 30(4): 511-514.
Guo HL, Christopher N, Liu LY, et al. Comparison research on the determination of 5 kinds of heavy elements in ginsenoside by the different digestion methods [J]. West China J Pharm Sci, 2015, 30(4): 511-514.
- 陆美斌, 王步军. 不同消解方式测定谷物中八种矿物质元素[J]. 食品工业, 2017, 38(9): 269-271.

Lu MB, Wang BJ. Determination of eight mineral elements in grains by different digestion methods [J]. Food Ind, 2017, 38(9): 269-271.

- [13] 潘嘉周. 不同消解法分析土壤重金属含量应用比较[J]. 中国资源综合利用, 2018, 36(7): 35-37.

Pan JZ. Analysis of heavy metal content in soil by different digestion methods [J]. China Res Comprehens Utilizat, 2018, 36(7): 35-37.

- [14] 吴莉. 电感耦合等离子体-质谱/发射光谱法测定生物样品、中药及水样中的微量元素[D]. 成都: 四川大学, 2007.

Wu L. Determination of micro- or trace elements in biological, Chinese medicinal herb and water samples by ICP-MS/OES [D]. Chengdu: Sichuan University, 2007.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



石秋梅, 副教授, 博士, 主要研究方向为植物营养与品质。

E-mail: sqm06@sina.com

尹传华, 副教授, 主要研究方向为植物营养与品质。

E-mail: yinchh2006@126.com