

新疆引进红枣中微量元素和重金属含量的测定与聚类分析

蒋卉¹, 韩爱芝², 蔡雨晴¹, 白红进^{1,*}

(1.塔里木大学生命科学学院, 新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室, 新疆 阿拉尔 843300;

2.塔里木大学分析测试中心, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要:为评价引进红枣果实元素的营养价值,以塔里木盆地50种内地引进嫁接2 a后生红枣品种的成熟果实为试材,分别采用火焰原子吸收光谱法、石墨炉原子吸收光谱法和原子荧光光谱法测定Fe、Zn、Mn、Cu、Ca、Se 6种有益元素和Cd、As、Hg、Pb 4种有害元素的含量,并根据红枣中元素种类和含量的不同,采用SPSS 19.0软件欧氏距离法对红枣品种进行了聚类分析。结果表明:50个红枣品种均含有丰富的微量元素,其中蛤蟆枣中Ca元素和Fe元素的含量最高,Se元素含量普遍较低。除了义乌大枣和蛤蟆枣中Hg元素含量略高以外,其他供试红枣品种中Cd、Hg、As和Pb 4种有害元素的含量均符合GB 2762—2012《食品中污染物限量》要求。结论:引进红枣品种果实中微量元素种类多、含量高,安全性高,研究结果可为红枣专属品种选育和药食同源产品开发提供科学依据。

关键词:红枣;微量元素;微波消解;原子吸收光谱法;聚类分析

Determination and Clustering Analysis of Microelements and Heavy Metals in Introduced Varieties of Jujube in Xinjiang

JIANG Hui¹, HAN Aizhi², CAI Yuqing¹, BAI Hongjin^{1,*}

(1. Xinjiang Production and Construction Corps Key Laboratory of Protection and Utilization of Biological Resources in Tarim Basin,

College of Life Sciences, Tarim University, Alar 843300, China;

2. Analysis and Test Center, Tarim University, Alar 843300, China)

Abstract: The goal of this study was to evaluate nutritional and medicinal values of trace elements in fruits of fifty grafted jujube varieties introduced in Tarim Basin, Xinjiang. The contents of ten trace elements including six beneficial elements such as Fe, Zn, Mn, Cu, Ca and Se as well as four harmful elements such as Cd, As, Hg and Pb were measured by atomic absorption spectrophotometry and atomic fluorescence spectrophotometry, respectively. Based on changes in trace element contents, cluster analysis of jujube varieties was conducted using Euclidean distance. The results showed that all 50 jujube varieties tested were rich in microelements. Among the ten elements analyzed, the contents of Ca and Fe in "Hama" jujube were the highest, while Se was less abundant than other elements. The contents of four harmful elements were lower than the maximum levels stipulated in the Chinese National Standard (GB 2762—2012) except for slightly higher contents of Hg in "Yiwu Dazao" and "Jinling Changzao" jujubes. Conclusions: Fifty introduced jujube varieties contain multiple beneficial microelements at relatively high contents with high safety. The results can provide a basis for breeding special jujube varieties suitable for developing medicinal and edible products in the future.

Key words: *Zizyphus jujuba* Mill.; microelements; microwave digestion; atomic absorption spectrometry; cluster analysis

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201606036

中图分类号: S665

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)06-0199-05

引文格式:

蒋卉, 韩爱芝, 蔡雨晴, 等. 新疆引进红枣中微量元素和重金属含量的测定与聚类分析[J]. 食品科学, 2016, 37(6): 199-203. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201606036. <http://www.spkx.net.cn>

JIANG Hui, HAN Aizhi, CAI Yuqing, et al. Determination and clustering analysis of microelements and heavy metals in introduced varieties of jujube in Xinjiang[J]. Food Science, 2016, 37(6): 199-203. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201606036. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2015-06-22

基金项目: 浙江大学馥莉食品研究院基金资助项目(KY201404); 兵团科技局农社处科技援疆专项(2013AB023)

作者简介: 蒋卉(1972—), 女, 高级实验师, 学士, 研究方向为天然活性成分的分离分析。E-mail: jh1156@163.com

*通信作者: 白红进(1967—), 男, 教授, 硕士, 研究方向为天然产物化学。E-mail: bhj67@163.com

红枣 (*Zizyphus jujuba* Mill.) 系鼠李科 (Rhamnaceae) 枣属 (*Ziziphus* Mill.) 植物, 是我国特产果树之一, 与桃、李、杏、栗并称“中国五果”^[1]。枣中含有丰富的多糖^[2]、黄酮^[3]、生物碱^[4]、环核苷酸^[5]、酚类^[6]、维生素等有益于人体健康的化合物, 因其VC含量高, 故有“天然维生素丸”的美誉^[7]。此外红枣还含有Ca、Fe和Mn等微量元素^[8]。现代医学研究表明, 微量元素是人体的重要组成部分, 参与人体许多生化反应, 是维持生命活动不可缺少的物质, 缺少时可以引起各种疾病。

医学界认为凡是占人体总质量0.01%以下的元素称为微量元素^[9]。人体的微量元素可以从外源的粮食、水果、饮用水、食品、药品和保健品中汲取。由于微量元素在人体内不仅可以提供促进机体合成生命活动所需的物质、提高生命质量, 而且还可以提高酶的活性, 因此具有增强机体的免疫功能^[10]。近年来, 食品的营养价值及中药材的药效与其含有的微量元素关系^[11]以及对人体具有毒性的Pb、Cd、Hg和As等元素的分析检测评价已引起人们的普遍关注。因此, 对于食药两用红枣中微量元素的研究对于解释其药食功效机理、鉴别和评定其品质等具有重要意义。

近年来新疆红枣产业发展迅速, 种植面积与产量快速增加, 枣品质享誉全国, 但其品质划分尚停留在大小、颜色等外观特征上, 人们也越来越关注红枣的内在品质的研究。因此, 分析红枣果实中微量元素的含量, 评价其元素营养价值, 对指导果农科学、合理的施肥和保障区域果业优质高效生产与可持续发展具有重要的现实意义, 同时也为红枣深加工和专属功效红枣品种的选育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

红枣样品的采集: 50种内地引进嫁接在2 a生红枣成熟果实于2013年10月采集于塔里木大学植物科学学院园艺试验站红枣资源圃, 经塔里木大学植物科学学院吴翠云教授鉴定为鼠李科 (Rhamnaceae) 枣属 (*Zizyphus*) 红枣 (*Zizyphus jujuba* Mill.) 植物, 见表1。

表1 50种红枣品种的编号

Table 1 Numbers of fifty varieties of red jujube

编号	品种	品种来源	编号	品种	品种来源	编号	品种	品种来源
S1	义乌大枣	浙江义乌	S18	赞2	新疆阿拉尔	S35	金丝新3号	山东无棣
S2	金铃长枣	辽宁省朝阳县	S19	山东梨枣	山东乐陵	S36	金丝小枣	河北沧州
S3	狗头枣	陕西省延川县	S20	晋矮1号	山西	S37	乐金3号	山东德州
S4	京39	北京	S21	晋矮4号	山西	S38	金丝新2号	山东泰安
S5	槟榔枣	山西	S22	核桃纹	河北大名	S39	长紫脆	河北
S6	长鸡心	河北	S23	扁核酸	河北	S40	郎家园枣	北京朝阳区
S7	衡阳珍珠	衡阳	S24	11-17灰枣优选	新疆36团	S41	蛤蟆枣	山西永济
S8	婆婆枣	山西	S25	金谷大枣	山西太谷	S42	献县无核	河北沧州

续表1

编号	品种	品种来源	编号	品种	品种来源	编号	品种	品种来源
S9	新郑小长枣	河南	S26	小紫枣	山西	S43	中阳木枣	陕西绥德
S10	陕西雅枣	陕西	S27	乐金四号	山东乐陵	S44	东陵无核小枣	河北唐山
S11	大白铃	山东	S28	大荔铃枣	陕西大荔	S45	胎里红	山西太谷
S12	襄汾木枣	山西	S29	圆铃1号	山东	S46	激浦尖枣	湖南
S13	蓝田大枣	陕西	S30	葫芦枣	河北古北口	S47	224陈	新疆和田
S14	三变红	河南	S31	阎家柳园枣	陕西西安	S48	大荔知枣	陕西
S15	雪枣	新疆阿克苏	S32	大荔圆枣	陕西	S49	辣椒枣	山东夏津
S16	蜂蜜罐	陕西大荔	S33	六月鲜	陕西	S50	平陆尖枣	山西
S17	新郑小圆枣	河南	S34	相枣	山西			

嫁接用砧木均为1 a生酸枣树苗。50个引进红枣品种种植在同一块土地上, 土质为沙土, 土壤pH值为7.3~7.5, 有机质含量为5.98~6.78 mg/kg、主要微量元素Fe、Cu、Mn、Zn、B含量分别为5.12~5.71、2.13~2.35、2.25~2.93、0.81~0.12 mg/kg和0.41~0.97 mg/kg, 水、肥、农药的使用等栽培管理措施相同。

Fe、Ca、Cu、Zn、Mg、As、Cd、Pb (1 mg/L) 标准储备液 国家有色金属及电子材料分析测试中心; Hg、Mn (500 µg/L) 标准储备液 环境保护部标准样品研究所。用0.16 mol/L硝酸溶液按需要逐级稀释标准储备液来做标准工作液 (现用现配); 0.1%、2%、3%二氨基萘试剂 (diaminonaphthalene, DAN); 0.2 mol/L 乙二胺四乙酸 (ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA) 二钠盐和10%盐酸羟胺溶液各50 mL、0.02%甲酚红溶液5 mL, 加水稀释至1 L所得。硝酸、高氯酸等均为分析纯; 实验用水均为娃哈哈纯净水。

1.2 仪器与设备

BS-124S分析天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司; Fe、Mn、Ca、Cu、Zn、Mg空心阴极灯、AAS-800型原子吸收分光光度计 美国PE公司; AFS-9230型原子荧光分光光度计 北京吉天仪器有限公司; DHG-9140A恒温干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司; 微波消解仪 北京吉天仪器有限公司。

1.3 方法

采用原子吸收分光光度法测定微量元素Mn、Fe、Cu、Zn、Ca、Cd和Pb, 其中Mn、Fe、Cu、Zn和Ca元素采用火焰原子吸收法^[12-13]测定, Cd和Pb元素采用石墨炉原子吸收法^[14]测定。As、Hg和Se元素采用原子荧光分光光度法^[15-16]测定。

将解冻的不同品种红枣去核、切成薄片, 每个品种的红枣做3个平行样本, 放入烘箱中烘干至恒质量, 粉碎、密封保存。

分别准确称取烘干后的红枣样品2 g, 置于具塞的300 mL三角瓶内, 加20 mL混合酸 (硝酸:70%~72%高氯酸=2:1, V/V, 以浓酸为基准) 放置过夜。次日, 在电热板上加热煮沸, 至高氯酸将要冒白烟时切断电源, 让高氯酸缓慢冒烟10 min后取下冷却, 再加入1 mL浓硝

酸,重新盖上瓶塞,继续加热溶液到淡黄色为止,用少量水洗掉瓶塞和瓶壁,并稀释至25 mL左右。将上述消化液加入20 mL EDTA混合液,用氨水(1:1, V/V)及盐酸调至淡粉红色(pH 1.5~2.0)。在暗室中加入DAN荧光试剂3 mL,混匀后,置沸水浴中加热5 min,取出冷却后,加环己烷3 mL,振荡4 min,将全部液体移入分液漏斗,待分层后放掉水层,将环己烷层由分液漏斗上口倾入带式管中,得到红枣提取液样品,测定,根据微量元素标准曲线计算出枣中的各微量元素含量^[17-18]。

1.4 数据处理

采用Origin 85数据统计软件对数据进行统计分析处理,采用SPSS 19.0数据统计软件的欧氏距离法进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 标准曲线的绘制

分别准确移取各种1 mg/mL的标准储备液适量,用0.16 mol/L硝酸溶液按需要稀释至相应质量浓度,作为标准工作溶液系列,按表2所选定的仪器工作条件测定其吸光度并求得吸光度与质量浓度关系的回归方程。

2.2 红枣中有益微量元素含量的测定结果

在测定的50个红枣品种中,含量最高的元素是Ca和Fe,尤其是Ca。由图1A可知,红枣中Fe含量的差异不明显,Ca含量有显著的差异。Fe含量较高的红枣有224陈、襄汾木枣、金铃长枣,Ca含量较高的红枣是蛤蟆枣(含量高于1 000 mg/kg)。

由图1B可知,在测定的50个红枣品种中,微量元素Mn、Cu、Zn、Se含量较低。红枣中Se元素含量很低,而且不同品种的含量差异不明显,其中金铃长枣中Se元素相对含量较高。不同红枣品种中Cu元素含量差异较明

显,其中槟榔枣、陕西稚枣、雪枣、长紫脆枣、平陆尖枣Cu元素含量较高。Zn元素含量较高的红枣品种有襄汾木枣、赞2、献县无核枣、辣椒枣、蓝田大枣5个品种,其中Zn元素含量差异明显,且含量比较高。Mn元素含量较高的红枣品种有陕西稚枣、长鸡心枣、山东梨枣、晋矮4号、六月鲜、蛤蟆枣、224陈7个品种的红枣,不同品种红枣中Mn元素含量差异较明显。

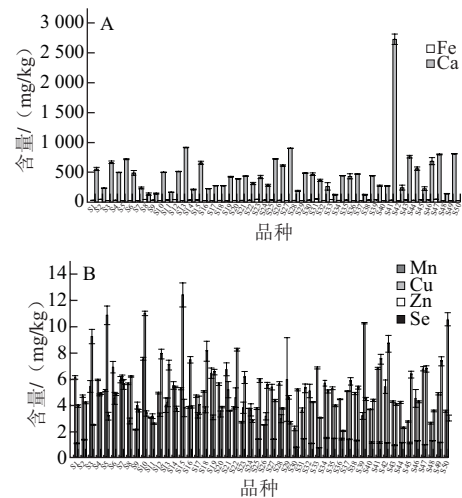


图1 50个红枣品种中Fe、Ca (A)和Mn、Cu、Zn、Se (B)含量的比较

Fig.1 Contents of Fe and Ca (A) and Mn, Cu, Zn and Se (B) in 50 jujube varieties

综上所述,红枣中有益微量元素的含量丰富,在50个红枣品种中Ca的含量最高,其次是Fe,Se的含量是所有有益微量元素中含量最低的,因此红枣也属于高钙高铁低硒食品。

2.3 红枣中有害微量元素含量的测定结果

由图2可知,在测定的50种红枣中As、Hg、Cd、

表2 火焰原子吸收、石墨炉原子吸收和原子荧光吸收光谱的工作条件和各元素回归方程

Table 2 Working conditions of flame atomic absorption spectrometry, graphite furnace atomic absorption spectrometry and atomic fluorescence spectrometry and linear regressions for elements

元素	火焰原子吸收工作条件					原子荧光工作条件					石墨炉原子吸收工作条件		回归方程	相关系数 R^2
	波长/mm	灯电流/mA	负高压/V	空气流量/(L/min)	乙炔流量/(L/min)	观测高度/cm	加热温度/℃	载气流量/(mL/min)	屏蔽气流量/(mL/min)	读数时间/s	延迟时间/s	狭缝/mm	进样量/ μ g	
Fe	248.3	20	350	17	2	—	—	—	—	—	—	—	$y=0.107\ 6x-0.000\ 8$	0.999
Zn	213.9	10	350	17	2	—	—	—	—	—	—	—	$y=0.425\ 2x-0.002\ 2$	0.999
Mn	422.7	15	350	17	2	—	—	—	—	—	—	—	$y=0.127\ 6x+0.012\ 2$	0.998
Cu	324.8	15	270	17	2	—	—	—	—	—	—	—	$y=0.106\ 8x-0.000\ 4$	0.999
Ca	422.7	15	270	17	2	—	—	—	—	—	—	—	$y=0.002\ 2x+0.001\ 0$	0.996
Se	—	60	270	—	—	8	200	400	800	7	1	—	$y=49.140x-6.122\ 1$	0.998
As	—	60	270	—	—	8	200	400	800	7	1	—	$y=38.812x-2.218\ 5$	0.996
Hg	—	30	270	—	—	10	200	400	800	7	1	—	$y=365.78x-2.851\ 4$	0.999
Cd	228.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.7	$y=0.057\ 4x+0.000\ 9$	0.999
Pb	283.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.7	$y=0.002\ 4x-0.000\ 3$	0.999

注:—无条件。

Pb 4 种元素的含量较低, 均小于0.1 mg/kg。其中蛤蟆枣中不含有As元素, 献县无核枣中As元素含量低于0.001 mg/kg, 而金谷大枣、大荔铃铃枣As含量最高。从图2还可以看, 除狗头枣、京39、核桃纹、葫芦枣、阎家柳园枣、金丝新3号、六月鲜、相枣8个品种的红枣中检测出Hg元素均小于0.001 mg/kg, 而义乌大枣、金铃长枣中Hg元素含量最高。长鸡心枣、襄汾木枣、雪枣、乐金四号、葫芦枣、东陵无核小枣6个红枣品种中均未检测出Cd元素, 其中小紫枣中检测出Cd元素含量最高。义乌大枣、襄汾木枣、晋矮1号、圆铃1号、东陵无核小枣、胎里红6个品种不含Pb元素, 而赞2和小紫枣中Pb元素含量最高。

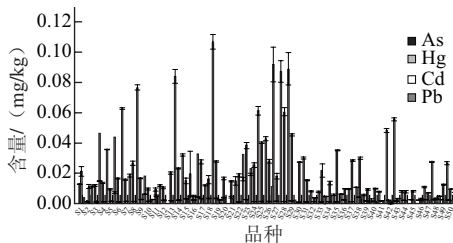


图2 50种红枣中有害元素As、Hg、Cd和Pb含量的比较

Fig.2 Contents of harmful elements As, Hg, Cd and Pb in 50 jujube varieties

2.4 红枣中有益元素的聚类分析

2.4.1 红枣中Fe、Ca元素的聚类分析

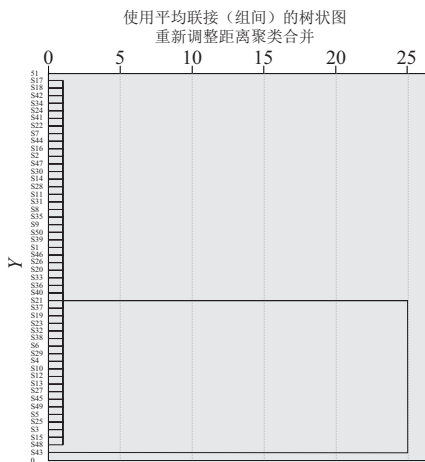


图3 50种样品的Fe、Ca含量聚类分析

Fig.3 Cluster analysis of Fe and Ca contents in 50 jujube varieties

以50种红枣中有益微量元素Fe、Ca的含量为变量, 运用SPSS 19.0数据统计软件, 采用欧氏距离进行聚类分析研究, 结果见图3。可将50种红枣样品分为2类, 由图3可知, S44是一类, 其他49个品种红枣是一类。S44红枣品种中Ca元素和Fe元素含量均较高, 可以作为高钙高铁红枣的栽培品种。

2.4.2 红枣中Mn、Cu、Zn、Se元素的聚类分析

以50种红枣中有益微量元素Mn、Cu、Zn、Se的含

量为变量, 运用SPSS 19.0数据统计软件, 采用欧氏距离进行聚类分析研究, 结果见图4。可将50种红枣样品分为2类, S3、S5、S10、S15、S16、S41是一类, 其他44个品种红枣是一类。从微量元素的角度来看, S41是一种微量元素含量高的品种, 可以考虑作为富含微量元素红枣栽培的候选品种。

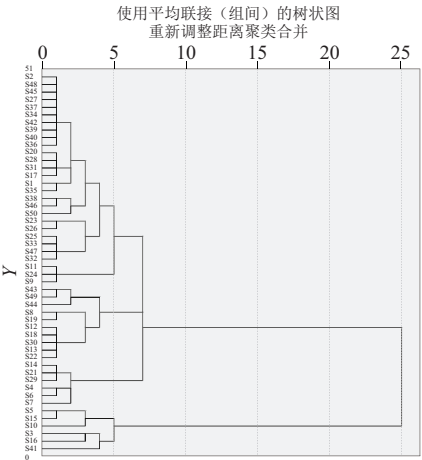


图4 50种样品的Mn、Cu、Zn、Se含量聚类分析

Fig.4 Cluster analysis of Mn, Cu, Zn and Se contents in 50 jujube varieties

2.5 红枣中有害元素的聚类分析

以50种红枣中As、Hg、Cd、Pb 4种有害微量元素的含量为变量, 运用SPSS 19.0数据统计软件, 采用欧氏距离进行聚类分析研究, 结果见图5。50种红枣样品可分为3类, 其中S6、S24、S25、S41、S42是一类, 其有害元素含量相对较高, S8、S13、S18、S26、S27、S28是一类, 其有害元素含量一般, 其他39个品种红枣是一类, 其有害元素含量相对较低。

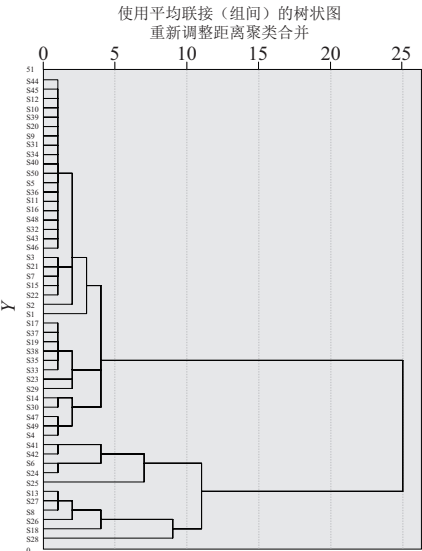


图5 50种样品的4种有害微量元素的聚类分析

Fig.5 Cluster analysis of harmful elements Mn, Cu, Zn and Se in 50 jujube varieties

3 讨论与结论

红枣果肉中微量元素含量丰富。供试红枣样品均含有Fe、Zn、Mn、Cu、Ca和Se 6种有益微量元素,其中Ca的含量最高,Fe、Zn等元素含量较高,Cu、Se等元素的含量较低,说明这些红枣含有多种丰富的微量元素,这与文献[10,12,13,19-20]报道结果基本一致。不同地域同一品种不同微量元素之间和同一种元素之间的含量存在一定的差异性,这可能与红枣的品种、栽培地域环境(气候条件、土壤中可利用元素含量)和栽培管理,特别是浇灌水的水质和农药使用量等因素有关^[20-21]。

50种红枣品种中虽然含有元素Se,但其含量均低于富硒干果(0.1~1.0 mg/kg)和鲜果(≤ 0.5 mg/kg)^[22]。富硒食品是一种具有多种保健功效的流行食品,对于作为药食同源的红枣富硒新功效红枣产品的研发值得关注。

聚类分析结果可以为以微量元素或功效成分来评定红枣品质提供参考依据。以元素Fe、Ca为变量进行聚类分析,主要是Fe、Ca元素是食品中人们最关注的常见营养元素,另一个原因是50种实验红枣品种中S44中Ca和Fe元素含量极显著高于其他红枣品种。以食品中主要有害元素进行聚类分析,可以为食品的安全性评价提供依据。与GB 2762—2012《食品中污染物限量》规定相比较,所有红枣品种的Cd、As和Pb含量均不超标,但是义乌大枣、金铃长枣Hg含量超标,其超标原因可能与红枣品种、栽培地域环境、栽培管理和贮藏环节等因素有关^[19-21],具体原因尚待进一步研究。因此,根据生产需要合理选择红枣栽培品种、栽培地域并进行科学的栽培管理对提高红枣的内在品质和保障红枣产品源头安全具有重要意义。

参考文献:

- [1] 杨艳杰, 张会芬. 红枣微量元素含量测定分析[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(8): 94-96. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2011.08.029.
- [2] QU Chenling, YU Songcheng, LUO Li, et al. Optimization of ultrasonic extraction of polysaccharides from *Ziziphus jujuba* Mill. by response surface methodology[J]. Chemistry Central Journal, 2013, 7(1): 160-166. DOI:10.1186/1752-153X-7-160.
- [3] GUO Sheng, DUAN Jinao, TANG Yu, et al. Simultaneous qualitative and quantitative analysis of triterpenic acids, saponins and flavonoids in the leaves of two *Ziziphus* species by HPLC-PDA-MS/ELSD[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2011, 56(2): 264-270. DOI:10.1016/j.jpba.2011.05.025.
- [4] CHENG Gong, BAI Yanjing, ZHAO Yuying, et al. Flavonoids from *Ziziphus jujuba* Mill. var. spinosa[J]. Tetrahedron, 2000, 56(45): 8915-8920. DOI:10.1016/S0040-4020(00)00842-5.
- [5] 张琼, 王中堂, 单公华, 等. 枣化学成分研究进展[J]. 江西农业学报, 2013, 25(11): 25-29. DOI:10.3969/j.issn.1001-8581.2013.11.007.
- [6] PAWLOWSKA A M, CAMANGI F, BADER A, et al. Flavonoids of *Zizyphus jujuba* L. and *Zizyphus spina-christi* (L.) Wild (Rhamnaceae) fruits[J]. Food Chemistry, 2009, 112(4): 858-862. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.06.053.
- [7] 雷昌贵, 陈锦屏, 卢大新. 红枣的营养成分及其保健功能[J]. 现代生物医学进展, 2006, 23(3): 56-57. DOI:10.3969/j.issn.1673-6273.2006.03.020.
- [8] 芮玉奎, 中琳, 生吉萍. 冬枣果实中微量元素和重金属含量研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(8): 1928-1930. DOI:10.3964/j.issn.1000-0593.2008.08.054.
- [9] 叶胜兰. Fe、Zn对山地梨枣生长特性、产量品质及微量元素含量的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [10] 杨艳杰, 何弘水. 不同品种红枣中微量元素的分析[J]. 光谱实验室, 2008, 25(3): 484-486. DOI:10.3969/j.issn.1004-8138.2008.03.052.
- [11] 孙瑞霞, 周玲妹, 薛万刚, 等. 原子吸收光谱法测定中成药中微量元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2002, 22(5): 853-855. DOI:10.3321/j.issn.1000-0593.2002.05.044.
- [12] 刘一兵, 董丽花. 金丝小枣中微量元素含量的研究[J]. 社区医学杂志, 2006, 4(9): 5-6. DOI:10.3969/j.issn.1672-4208.2006.17.003.
- [13] 柴仲平, 王雪梅, 孙霞, 等. 原子吸收光谱法测定新疆灰枣中微量元素含量[J]. 陕西农业科学, 2012, 22(1): 54-55. DOI:10.3969/j.issn.0488-5368.2012.01.019.
- [14] 杨欢春, 杨翠青, 陆凯南. 石墨炉原子吸收法测定食品中铅的分析[J]. 现代医药卫生, 2007, 23(24): 3750-3751. DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2007.24.104.
- [15] 郭金英, 李丽, 刘开永, 等. 石墨炉原子吸收光谱直接进样法测定红葡萄酒中铅[J]. 食品科学, 2009, 30(18): 233-236. DOI:10.3321/j.issn.1002-6630.2009.18.050.
- [16] 刘海燕, 黄彩梅, 周盛勇, 等. 茶叶锌、硒含量变化与种植土壤差异的研究[J]. 植物科学学报, 2015, 33(2): 237-243. DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2015.20237.
- [17] 李丹蕾, 董爱荣, 王峰, 等. 栽培方式对黑木耳铅镉汞砷含量的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(25): 88-92. DOI:10.3969/j.issn.1000-6850.2012.25.017.
- [18] 江玉姬, 黎志银, 谢宝贵, 等. 四种重金属在金针菇栽培过程中的迁移规律[J]. 菌物学报, 2014, 33(2): 449-455. DOI:10.13346/j.mycosystema.130289.
- [19] 周晓英, 王东东, 辛禄德, 等. 微波消解-FAAS法测定新疆6种红枣中的8种金属元素[J]. 新疆医科大学学报, 2010, 33(11): 1312-1313. DOI:10.3969/j.issn.1009-5551.2010.11.013.
- [20] 沈燕, 韩超, 张波, 等. 微波消解-ICP-AES同时测定不同产地红枣中的微量元素[J]. 光谱实验室, 2011, 28(2): 559-562. DOI:10.3969/j.issn.1004-8138.2011.02.016.
- [21] 王东东. 新疆红枣化学成分与抗氧化活性的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2011.
- [22] 李以暖, 薛立文. 富硒保健食品硒含量标准的探讨[J]. 广东微量元素科学, 2000, 7(5): 18-21. DOI:10.3969/j.issn.1006-446X.2000.05.005.