

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.05.005

安顺山药根茎与土壤中矿质元素相关性分析^①

张红霞^{1,2}, 魏方方^{1,2}, 王家顺², 龙菊², 吴能表³

1. 安顺学院 化学化工学院, 贵州 安顺 561000;

2. 贵州省教育厅功能材料与资源化学特色重点实验室, 贵州 安顺 561000;

3. 西南大学 生命科学学院, 重庆 400715

摘要: 选取安顺 4 个山药种植区的同种山药, 测定山药根茎灰分的质量分数及其对应生长土壤中几种矿质元素的质量比。结果表明: 山药根茎中灰分的质量分数与土壤中 Cu, Mn, Zn, Fe 元素的质量比呈显著负相关关系; 通过多元回归分析建立了山药根茎中灰分与土壤中这 4 种元素的数学模型, 模型揭示了土壤中 Cu, Mn, Zn, Fe 等元素的质量比对山药根茎营养品质产生的影响。

关键词: 山药根茎; 土壤; 矿质元素; 相关性; 多元回归分析

中图分类号: S158.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2017)05-0031-06

山药是薯蓣科薯蓣属植物, 为多年生草质缠绕藤本植物^[1], 其根茎内含多种药用成分, 具有调节和增强免疫功能、抗肿瘤、抗衰老等作用。山药是我国传统的药食同源食物之一, 在我国栽培历史悠久。据考证, 我国对山药的栽培驯化始于 1200 多年前^[2]。在长期栽培过程中, 由于栽培环境和人工选择等原因, 逐渐形成了一系列各具特色的地方品种。山药根茎是其药用及食用的主要器官, 在特定的地域和品种条件下, 土壤条件成为影响植物生长和产品品质的主导因素, 其中矿质元素被根系吸收同化并调节植物生理功能, 从而对产品品质产生一定影响。研究表明土壤中无机元素含量与植物中无机元素具有一定相关性^[3], 茶叶中锰含量与土壤中锰含量存在一定相关关系, 茶叶中的铜锌比与土壤中的铜锌比基本呈正相关^[4]。此外, 植物各矿质元素之间也存在紧密的相关关系^[5]。大多研究结果显示土壤质地对怀山药品质有直接影响, 山药根茎富含 Zn, Fe, Mn, Cu 等微量元素^[6-8], 且不同品种山药所含大量元素及微量元素的差异具有统计学意义^[9-10]。

对山药的研究主要集中在活性成分、栽培技术和种质资源等方面, 对土壤因子与山药品质相关性的研究不多。贵州安顺栽培山药至今已有近 400 年历史, 因其富含淀粉、蛋白质和游离氨基酸等营养成分, 以及多糖、矿物质等多种活性成分, 成为广受大众喜爱的食材, 安顺“刘官山药”于 2006 年成功申报为国家地理标志产品。本研究选取安顺辖区内 4 个主要山药种植区, 对土壤及根茎中多种矿质元素和主要

① 收稿日期: 2016-10-09

基金项目: 贵州省科学技术厅、安顺市人民政府、安顺学院联合科技基金项目(黔科合 J 字 LKA[2013]06 号, 黔科合 J 字 LKA[2012]05 号); 贵州省教育厅自然科学研究项目(黔教科合 KY 字[2013]178 号); 国家自然科学基金(30500041)。

作者简介: 张红霞(1970-), 女, 贵州安顺人, 副教授, 主要从事作物营养生理的研究。

通信作者: 吴能表, 博士, 教授。

的营养成分进行测定分析, 试图揭示土壤矿质元素对山药根茎相关品质的影响, 为安顺山药规范化种植和质量控制提供依据.

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

用刘官乡山药合作社提供的山药芦头为种源, 分别种植于安顺普定县太平农场、旧州镇蔡家院村、刘官乡南翠村和七眼桥齐家庄.

AA-7000 系列原子吸收光谱仪及空心阴极灯(北京东西仪器分析有限公司), 超纯水机(成都超纯科技有限公司), 马弗炉(上海实验炉厂).

各元素标准储备液均购自国家钢铁材料测试中心钢铁研究总院.

1.2 实验方法

1.2.1 实验设计

每个种植区所选种植的土地土壤类型为黄壤土, 于 2015 年 3 月 28 日—4 月 8 日进行种植, 采用统一的栽培管理措施. 于 2015 年 11 月 18 日—25 日进行采收, 分别于 4 个种植区采集土壤及山药样品.

土壤样品采集: 每个种植区选取 5 个点采样, 采用五点取样法, 采样深度为 20~25 cm, 四分法取样, 土样晾干粉碎, 过 60 目筛, 保存于广口瓶中备用.

山药样品采集: 每个种植区选取 5 个点采样, 每点采样 3 株, 洗净后切片于 60 °C 烘干至恒质量, 粉碎后过 60 目筛, 保存于广口瓶中备用.

1.2.2 样品处理及测定方法

土壤样品的前处理^[11]: 测定 K, Ca, Mg 采用 NaHCO₃ 浸提; 测定 Zn, Mn, Cu, Fe 采用 DTPA 浸提.

山药样品的前处理: 采用干法灰化后, 用 5 mL 体积比为 1:4 的盐酸溶解, 定容至 50 mL. 同时做试剂空白.

矿质元素质量比测定经仪器测定参数的试验优化, 选定最佳工作参数(表 1), 测定各元素标准溶液并绘制标准曲线, 同时进行相关方法学考察, 然后在相同仪器工作条件下对样品待测液进行测定.

山药根茎中蛋白质的质量分数测定采用 GB/T 5009.5-2010 中的分光光度法; 脂肪的质量分数测定采用 GB/T 5009.6-2003 中的酸水解法; 灰分的质量分数测定采用 GB/T 5009.4-2010 中的干法灰化法; 粗纤维的质量分数测定采用 GB/T 5009.10-2003 中的酸碱消煮法.

富集系数(PUF)计算公式为^[12]:

$$\text{富集系数} = \frac{\text{山药根茎中元素的质量比}}{\text{土壤中元素的质量比}}$$

采用 SPSS17.0 进行数据统计分析.

2 结果与分析

2.1 原子火焰吸收分光光度计测定条件的确定

在表 1 选定的工作条件下, 作出的各元素工作曲线线性关系良好, 相关系数 r 在 0.995~0.998 之间. 方法检出限通过连续测定元素空白标样 10 次, 在置信度 90% 取置信系数为 3 进行检出限测定, 结果显示各元素检出限范围在 0.003 015~0.084 13 mg/L, 平均标准偏差(RSD)在 0.45%~1.84% 之间, 说明仪器工作稳定, 重复性较好, 精密度较高. 各元素加标回收率在 91.3%~109.7% 之间, 说明该方法准确可靠, 可用于山药及土壤中微量元素的测定.

表 1 仪器工作条件

元素	波长/ nm	灯电流/ mA	狭缝/ nm	燃烧器高度/ mm	电压/ V	燃气流量/ (L·min ⁻¹)
K	766.5	3	0.4	8	227.3	1.2
Ca	422.7	3	0.2	8	227.3	1.5
Mg	285.2	2	0.2	8	227.3	1.5
Cu	324.7	2	0.2	8	227.3	1.5
Mn	279.5	3	0.2	8	227.3	1.0
Zn	213.9	3	0.2	8	227.3	1.2
Fe	243.8	3	0.2	8	227.3	1.7

2.2 不同种植区土壤中各元素的质量比

土壤是植物获得矿质元素的最主要途径. 由表 2 可见, 4 个不同栽培地土壤中各元素的质量比不同. 刘官和七眼桥土壤中 Cu, Mn, Zn 和 Fe 这 4 种元素的质量比较其他两地的高, 旧州和普定土壤中 Fe 和 Mn 的质量比极低, 旧州土壤中 Fe 比七眼桥土壤低了 92%, Mn 低了 98%, 这可能与土壤的成土母质和成土过程不同有关. 通过对比土壤中、微量元素丰缺标准(表 3)^[13], 刘官和七眼桥土壤中 Cu, Mn, Zn 和 Fe 这 4 种元素除 Cu 为高质量比外, 其余 3 种元素均为中级质量比, 说明这两个种植区土壤富含这 4 种微量元素. 此外, 4 个种植区土壤中均表现为缺乏 K 元素, 除普定种植区 Ca 和 Mg 的质量比为中级水平外, 其余 3 个种植区土壤均表现为缺 Ca 和 Mg.

表 2 土壤中各元素的质量比

/(mg·kg⁻¹)

种植区	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	Fe
刘官	69.19±1.51	137.05±7.31	35.46±3.68	1.44±0.01	12.22±0.25	1.68±0.03	5.83±0.21
七眼桥	90.28±3.49	157.27±16.86	40.05±0.97	1.44±0.10	13.56±0.18	1.18±0.07	12.12±0.48
旧州	76.97±0.52	98.55±12.54	24.40±0.64	0.22±0.03	0.30±0.02	0.62±0.04	0.96±0.14
普定	94.28±2.62	307.60±6.37	57.35±2.23	0.22±0.03	0.52±0.04	0.55±0.24	1.68±0.07

表 3 常规测定方法的土壤中量、微量元素有效质量比丰缺指标

/(mg·kg⁻¹)

元 素	分 级				
	很低	缺	中	高	很高
Fe	<2.5	2.5~4.5	4.5~10.0	10.0~20.0	>20.0
Mn	<5.0	5.0~10.0	10.0~20.0	20.0~30.0	>30.0
Cu	<0.1	0.1~0.2	0.2~1.0	1.0~2.0	>2.0
Zn	<0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	2.0~4.0	>4.0

元 素	极缺	缺	中	丰富	偏高
K(速效钾)	<50	50~100	100~150	150~250	>250
Ga(交换钙)	<100	100~250	250~1 000	1 000~2 000	>2 000
Mg(交换镁)	<25	25~50	50~100	100~200	>200

2.3 不同种植区山药根茎中各元素的质量比及富集能力

矿物质的质量比是评价山药营养品质的一个指标. 由表 4 可见, 在山药根茎中 K, Mg 和 Zn 的质量比差异不具有统计学意义, 其余元素差异都比较大, 以 Ca 的质量比差异最具有统计学意义, 质量比最高的普定山药比最低的七眼桥山药高 27.72%, 可能与普定土壤中 Ca 质量比偏高有关. 就微量元素的质量比来说, 七眼桥山药的 Cu, Mn 和 Fe 的质量比最低, 刘官山药、旧州山药和普定山药根茎中 Cu, Mn, Zn 和 Fe 元素的质量比较高, 说明这 3 个种植区山药在微量元素方面的营养品质较好.

表 4 山药中矿质元素的质量比

/(mg · kg⁻¹)

种植区	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	Fe
刘官	121.58±2.79	1 172.18±70.11	47.38±0.51	4.13±0.64	24.07±0.51	12.01±0.37	88.77±3.86
七眼桥	128.19±0.97	824.77±50.83	49.33±0.48	1.37±0.16	3.36±0.34	11.58±0.66	27.67±8.40
旧州	143.54±1.70	907.97±37.81	46.26±0.19	5.89±0.27	25.65±0.12	18.27±0.07	61.83±3.74
普定	138.92±1.65	1140.07±30.26	44.58±0.39	11.31±1.45	17.98±0.25	15.54±0.11	71.10±3.74

2.4 山药根茎对土壤中各元素的富集能力及相关性

植物根茎对土壤中矿质元素的吸收受土壤 pH、水分及养分状况和根系呼吸作用等多种因素影响. 本实验中各个种植区山药根茎对土壤中这 7 种矿质元素的富集能力不同(表 5). 土壤中 Cu, Mn, Zn 和 Fe 的质量比随 pH 值的下降而增大^[14], 安顺地区耕地土壤 pH 值均呈酸性(平均 5.52~5.77)^[15], 这种酸性土壤利于 Cu, Mn, Zn 和 Fe 元素的溶出, 植物对它们的吸收、转运均以水溶态为主. 比较表 2 和表 5 的数据发现, 在旧州和普定两个种植区土壤中虽然 Cu, Mn, Zn 和 Fe 元素的质量比较低, 但山药根茎对这些元素的富集却较强; 而七眼桥土壤中这 4 种元素的质量比比旧州和普定高, 其山药根茎中这 4 种元素的质量比却最低, 说明对这些元素的富集作用很弱, 可能与根系呼吸作用等其他因素有关.

通过对山药根茎与土壤中相应元素相关关系的分析, 结果显示仅有 Mn, Zn 和 Fe 这 3 种元素存在显著性相关(表 6), 说明土壤中 Mn, Zn 和 Fe 这 3 种元素的质量比与山药根茎的矿质营养品质有紧密关系. 谢彩侠^[16]对山西、河南两个山药产区的 GBS 特征比较发现, 两地的 GBS 特征差别较大, 尤其是气候和地质特征, 分析认为中药材生长和品质与其地质背景之间存在某种必然的内在联系, 其研究结果说明土壤中 Mn, Zn 和 Fe 这 3 种元素与地理位置有关, 据此本试验结果表明安顺山药根茎中这 3 种微量元素品质与种植地地理位置有关.

表 5 山药根茎对元素的富集系数

种植区	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	Fe
刘官	1.76	8.55	1.34	2.87	1.97	7.12	15.24
七眼桥	1.42	5.24	1.23	0.95	0.25	9.78	2.28
旧州	1.86	9.21	1.90	26.37	86.24	29.58	64.20
普定	1.47	3.71	0.78	50.95	17.98	28.26	42.23

表 6 山药根茎中矿质元素与土壤中矿质元素的相关性

相关性	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	Fe
相关系数	0.346	0.441	-0.381	-0.410	0.526*	-0.797**	-0.628**

注: ** 在 0.1 水平(双侧)上显著相关, * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关.

2.5 山药根茎中主要化学成分分析

山药根茎中丰富的化学成分是其营养价值的重要体现, 由于产地生态环境的不同导致山药根茎中的营养成分的质量分数有差异^[17]. 从图 1 可见, 4 个种植区的山药根茎在灰分、粗纤维和蛋白质的质量分数上有显著差异. 植物中灰分的质量分数是其含矿质元素的总体体现, 在一定范围内, 灰分的质量分数可用作评价食品的营养指标之一^[18]. 试验数据显示山药根茎中总灰分的质量分数在 3.0%~5.6%之间, 与齐红等人^[19]的研究结果一致.

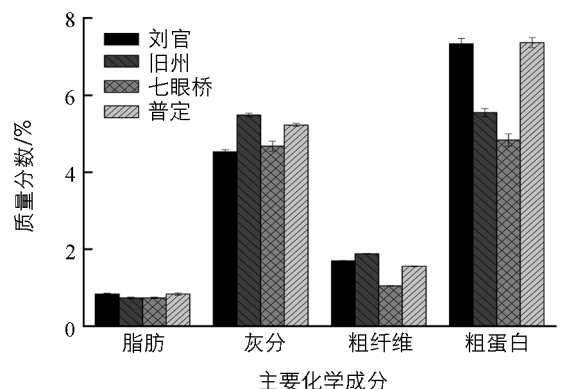


图 1 山药根茎主要化学成分的质量分数

对灰分的质量分数与土壤中各元素的相关性分析

结果(表 7)显示, Cu, Mn, Zn 和 Fe 元素的质量比与灰分的质量分数的相关系数在 $-0.7 \sim -0.9$ 之间, 且 $P=0.000 < 0.01$, 有统计学意义, 说明灰分与这 4 种元素的质量比之间均呈显著负相关关系. 据此本文将这 4 种元素的质量比与灰分的质量分数进行多元回归分析, 建立了模型:

$$Y(\text{灰分的质量分数}) = 5.451 - \text{Cu 的质量比} \times 0.190 - \text{Mn 的质量比} \times 0.050 - \\ \text{Zn 的质量比} \times 0.093 + \text{Fe 的质量比} \times 0.023 \quad R^2 = 0.918$$

表 7 山药根茎中灰分含量与土壤中矿质元素的相关性

相关性	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	Fe
相关系数	0.240	0.128	-0.079	-0.950**	-0.941**	-0.899**	-0.766**

注: ** 在 0.1 水平(双侧)上显著相关, * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关.

3 结 论

土壤是影响山药生长的主要环境因子之一, 山药的地下根茎不仅是重要的土壤养分和水分吸收器官, 同时也是主要营养储存器官, 其对土壤中矿质元素的吸收直接影响根茎中的灰分含量, 其中 Cu, Mn, Zn 和 Fe 元素因参与了叶绿素合成、糖酵解、三羧酸循环及光合电子传递等重要生理过程, 从而影响了光合作用、呼吸作用, 与植物体内蛋白质、脂肪、糖等营养成分的积累有紧密联系. 本试验结果表明安顺山药矿质营养与其种植土壤中矿质元素具有一定相关性. 试验数据显示: Mn, Zn 和 Fe 这 3 种元素在山药根茎和土壤中存在良好相关关系; 对山药根茎中灰分与土壤中矿质元素的相关性分析可知, 土壤中 Cu, Mn, Zn 和 Fe 元素与山药根茎中灰分含量呈显著负相关关系, 且通过多元回归分析建立了山药根茎中灰分与土壤中这 4 种元素的数学模型, 表明土壤中 Cu, Mn, Zn 和 Fe 这 4 种矿质元素对山药根茎营养品质有一定影响. 该结论可为安顺山药规范化栽培管理及质量监控提供理论参考.

参考文献:

- [1] NGO NGWE M F, OMOKOLO D N, JOLY S. Evolution and Phylogenetic Diversity of Yam Species (*Dioscorea* spp.): Implication for Conservation and Agricultural Practices [J]. Plos One, 2015, 10(12): e0145364-1-e0145364-13.
- [2] 冯学峰, 黄璐琦, 格小光, 等. 山药道地药材形成源流考 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(7): 859-862.
- [3] 张树平. 川泽泻无机元素含量及其与药材质量、土壤化学性质的相关性研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
- [4] 杨 纯, 衷明华, 侯惠萍, 等. 凤凰茶园茶叶和土壤中铜铁锰锌含量的相关分析 [J]. 广东化工, 2006, 33(9): 60-62.
- [5] 王 静, 章林平, 王利鹃, 等. 不同磷素水平对水稻根系生长及部分营养元素吸收的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(7): 30-36.
- [6] 孙在芝, 丛晓东, 张 云, 等. 山药化学成分和质量控制研究进展 [J]. 亚太传统医药, 2011, 7(9): 153-155.
- [7] CHEN Y F, ZHU Q, WU S. Preparation of Oligosaccharides from Chinese Yam and Their Antioxidant Activity [J]. Food Chemistry, 2015, 173: 1107-10.
- [8] YANG W, WANG Y, LI X, et al. Purification and Structural Characterization of Chinese Yam Polysaccharide and Its Activities [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 117(5): 1021-1027.
- [9] 徐恒骞, 李翠香, 巩旭东. 不同细毛山药品种矿质元素含量的研究 [J]. 作物杂志, 2011(6): 63-67.
- [10] 张重义, 谢彩侠, 黄晓书, 等. 怀山药道地产区与非道地产区药材质量比较 [J]. 现代中药研究与实践, 2003, 17(1): 19-21.
- [11] 张行峰. 实用农化分析 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [12] 张红振, 骆永明, 章海波, 等. 水稻、小麦籽粒砷、镉、铅富集系数分布特征及规律 [J]. 环境科学, 2010, 31(2): 488-495.
- [13] 姜 北, 未红红, 王 森, 等. 河北麻山药种植区土壤微量元素空间变异研究 [J]. 北方园艺, 2013(13): 188-191.
- [14] 冉 烈, 游玉明, 李会合. 重庆垫江牡丹主产区土壤养分含量现状及评价 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2015, 40(1): 73-78.

- [15] 李 洁. 贵州安顺地区耕地土壤养分调查分析 [J]. 西南农业学报, 2014, 27(5): 2050—2054.
- [16] 谢彩侠. 不同产地和品种对山药生长和品质的影响 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2002.
- [17] 谢彩侠, 史会齐, 张重义, 等. 产地对山药生长期成分积累的影响 [J]. 中国医药导报, 2009, 6(14): 38—40.
- [18] 张庆岭, 李培富, 刘晓蕙. 垆土铁棍山药与沙土铁棍山药成分比较 [J]. 实用中医药杂志, 2012, 28(11): 972—973.
- [19] 齐 红, 王 云, 宋希贵, 等. 2010 年版《中国药典》山药总灰分和浸出物的探讨 [J]. 药学研究, 2014, 33(2): 82—84.

Correlation Analysis of Mineral Elements in Yam Tuber and in Its Environmental Soil in Anshun of Guizhou Province

ZHANG Hong-xia^{1,2}, WEI Fang-fang^{1,2}, WANG Jia-shun²,
LONG Ju², WU Neng-biao³

1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Anshun University, Anshun Guizhou 561000, China;

2. Special and Key Laboratory of Functional Materials and Resource Chemistry of Guizhou Provincial Education Department, Anshun University, Anshun Guizhou 561000, China;

3. School of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: Ash and several mineral elements in the tuber of common yam (*Dioscorea batatas*) grown in four yam-cultivating regions in Anshun were determined, and the correlation between the mineral elements in the tuber ash and in the soil was analyzed. The results showed that the three elements of Mn, Zn and Fe in the yam tuber were in a good correlation with those in the environmental soil of the crop. The contents of Cu, Mn, Zn and Fe in the tuber ash were in a negative correlation with those in the planting soil. Based on multivariate regression analysis, a mathematical model was established for the four mineral elements in the yam tuber and in the soil, which showed that the four mineral elements in the soil had a certain effect on the nutritional quality of yam tuber.

Key words: yam tuber; soil; mineral element; correlation; multivariate regression analysis

责任编辑 潘春燕

