

河南惠楼山药营养成分分析

马建华¹, 杜平², 阮心玲¹

(1. 河南大学 资源与环境研究所, 河南 开封 475004; 2. 河南省封丘县农业技术推广中心, 河南 新乡 453300)

摘要: 分别采集惠楼山药和武陟太谷山样品 14 份和 15 份, 对其还原糖、多糖、淀粉、蛋白质、氨基酸和 11 种微量元素质量分数进行了测定。结果表明: 惠楼山药平均还原糖、多糖、淀粉和蛋白质质量分数分别为 15.8、55.6、208.6 和 108.1 g/kg。氨基酸总量为 97.7 g/kg, 其中人体必需氨基酸 (EAA) 占氨基酸总量的 28.05%, 鲜味氨基酸占氨基酸总量的 36.75%; 多数 EAA 的 RAA 和 RC 大于 1, 蛋氨酸和胱氨酸含量最为丰富, 亮氨酸是第一限制氨基酸, SRC 为 74.42, 营养价值较高。Zn、Mn、Fe、Li、Ba 和 Sr 质量分数分别为 15.68、3.31、52.71、2.28、1.54 和 8.75 g/kg。与其他多数山药品种相比, 惠楼山药上述营养成分具有明显的比较优势。惠楼山药口感好, 具有很高的食用和药用价值, 是一种品质十分优良的山药品种。种植区地下水的化学组成是影响惠楼山药品质的因素之一。

关键词: 惠楼山药; 多糖; 淀粉; 蛋白质; 氨基酸; 微量元素

中图分类号: S 539 文献标志码: A 文章编号: 1673—1689(2014)04—0438—07

Nutrient Analysis of Huilou Yam in Henan Province

MA Jianhua¹, DU Ping², RUAN Xinling¹

(1. Institute of Natural Resources and Environment, Henan University, Kaifeng 475004, China; 2. Fengqiu Popularization Center of Agricultural Technique, Xinxiang 453300, China)

Abstract: Fourteen samples of Huilou yam from planting area of Huilou yam and fifteen samples of Taigu yam from Wuzhi County, Henan Province were collected, and contents of nutritional components, such as reducing sugar, polysaccharide, starch, protein, amino acids and thirteen kinds of trace elements in the samples were determined by different methods. The quality of Huilou yam is identified according to its nutritional components and compared with many other kinds of yam varieties. Mean contents of reducing sugar, polysaccharide, protein and starch in Huilou yam are 15.8, 55.6, 208.6, 108.1 g/kg respectively. TAA (Total amino acid) of the yam is 97.7 g/kg, among which EAA (essential amino acid) is 28.05%, and FAA (flavor amino acid) is 36.75%. RAA (ratio of amino acid) and RC (ratio coefficient of amino acid) of most EAA in the yam are higher than 1, contents of methionine and cystine are very rich, and the first limiting amino acid is leucine. SRC (score of RC) of the yam is 74.42, so its nutritional value of EAA is quite high. Mean concentrations of Zn, Mn, Fe, Li, Ba and Sr are 15.68, 3.31, 52.71, 2.28, 1.54, 8.75 g/kg respectively.

收稿日期: 2013-07-21

基金项目: 河南省重点科技攻关项目(0721021500)。

作者简介: 马建华(1958—), 男, 河南濮阳人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事土壤环境与植物营养研究。Email: mjh@henu.edu.cn

The results show that many nutritional components in the yam are higher than that in most other Chinese yam varieties. Huilou yam is a very excellent yam variety not only because of higher edible and medicinal values but good taste that is soft and sweet, not hemp and puckery. Chemical component of groundwater in the planting area of Huilou yam is one of the important factors that influence the quality of Huilou yam.

Keywords: Huilou yam, polysaccharide, starch, protein, amino acids, trace elements

我国种植山药已有 2000 多年的历史,出现了地方品种,如铁棍山药、太谷山药、花籽山药、白玉山药、紫山药、鸡皮山药瑞昌山药等等。惠楼山药产自河南省商丘市虞城县店集乡的惠楼村附近,面积约 270 hm²,种植历史距今已有 400 多年。惠楼山药入口不麻不涩,软面甘甜,是豫东著名的传统名优土特产之一。但是,惠楼山药种植区面积狭小,山药总产量少,供不应求。自 20 世纪 80 年代以来,很多学者从不同侧面对铁棍山药^[1-5]、太谷山药^[3-6]、白玉山药^[4]、淮山药^[1-2,7]、瑞昌山药^[2]、利川山药^[8]、紫山药^[9]、鸡皮山药^[10]、花籽山药^[5]等我国主要山药品种的不同营养成分进行过研究。但迄今为止,尚未见到惠楼

山药营养成分或品质特征报道。鉴于此,作者开展惠楼山药还原糖、多糖、淀粉、蛋白质、氨基酸和主要微量元素含量分析,旨在阐明惠楼山药的品质特征,为国家资源生物保护提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

2009 年 11 月在惠楼山药种植区不同山药地块上采集整株山药样品 14 份(图 1)。为了对比分析惠楼山药与怀山药的品质差异,又在河南省焦作市武陟县大封镇董宋村采集太谷山药(一种怀山药)整株样品 15 份。

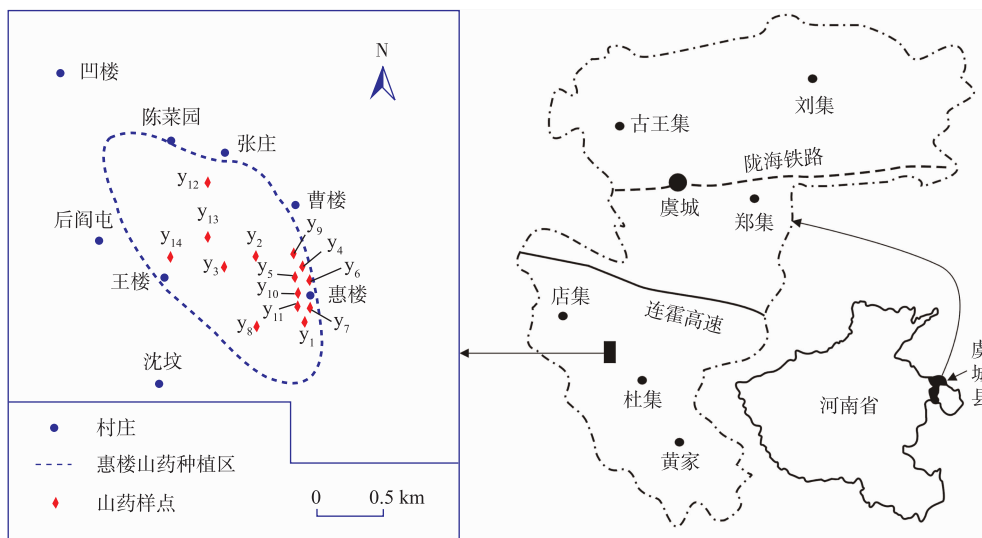


图 1 惠楼山药种植区和山药样点分布

Fig. 1 Planting area of Huilou yam and yam sample sites

在实验室,首先用自来水反复冲洗整株山药样品,再用蒸馏水淋洗 3 次;然后用不锈钢刀削去表皮,将山药肉尽量切碎,放入鼓风干燥箱,在 40℃下烘干;最后用植物粉碎机粉碎山药样品,全部过 60 目尼龙筛,备用。

1.2 山药营养成分测定方法

山药还原糖含量测定先按照 GB/T 5009.7-2008 中的直接滴定法提取山药还原糖溶液,然后按照水解酶比色法测定还原糖^[11]。多糖质量分数采用苯酚-硫酸法测定^[12]。淀粉质量分数测定先按照 GB/

T 5009.9-2008 对样品进行处理,然后用水解酶测定中的比色法测定还原糖质量分数,再乘以 0.9^[11]。蛋白质质量分数按照 GB/T 5009.5-2010 测定,氮换算为蛋白质的系数采用 6.25。氨基酸质量分数采用 GB/T 5009.124-2003 中的仪器分析法。Zn、Cu、Mn、Fe、Ca、Mg 质量分数采用 F-AAS 法测定,Pb、Cr、Ni、Co、Sr、Li、Ba 质量分数采用 ICP-MS 法测定。

2 结果分析

2.1 还原糖、多糖和淀粉质量分数

山药多糖和还原糖是最主要生物活性成分,具有增强人体免疫、降血糖、降血脂、抗氧化、抗肿瘤、抗突变、抗衰老等生理功能^[12-15]。山药淀粉中的抗性淀粉也具有降血糖和降血脂作用^[16],并且山药淀粉质量分数越高,“粉”性就越好,入口更面甜^[1]。

惠楼山药样品还原糖、水溶多糖和淀粉的平均质量分数分别为 15.8、55.6、208.6 g/kg(表 1),均高于武陟太谷山药,分别是武陟太谷山药的 2.16 倍、1.44 倍和 1.09 倍。

表 1 惠楼山药还原糖、多糖、淀粉和蛋白质质量分数测定结果

Table 1 Content of reducing sugar, polysaccharide, starch and protein in Huilou yam

营养成分	质量分数/%			
	范围	均值	SD	Cv
还原糖	6.9~27.2	15.8	8.1	51.5
多糖	17.9~90.1	55.6	28.2	50.7
淀粉	125.7~289.3	208.6	49.9	23.9
蛋白质	71.3~154.7	108.1	34.0	31.4

表 2 惠楼山药与其他山药品种还原糖、多糖、淀粉和蛋白质质量分数比较

Table 2 Content of reducing sugar, polysaccharide, starch and protein in different Chinese yams

山药品种及产地		质量分数/%			
		还原糖	多糖	淀粉	蛋白质
铁棍山药	河南武陟 ^[3]	—	10.9	224.1	104.6
	河南沁阳 ^[4]	—	14.8	206.5	100.5
太谷山药	河南武陟 ^[3]	—	6.3	224.3	99.2
	河南沁阳 ^[4]	—	5.4	279.8	100.5
	山西太谷 ^[4]	—	3.8	195.2	104.8
	河南武陟(本研究)	7.3	38.4	191.1	108.1
白玉山药	山东 ^[4]	—	7.2	204.3	117.1
花籽山药	江苏 ^[4]	—	8.4	199.5	117.4
利川山药	湖北利川 ^[8]	4.7	11.51	287.3	117.8
惠楼山药	河南虞城(本研究)	15.8	55.6	208.6	108.1

由表 2 可见,惠楼山药还原糖质量分数明显高于太谷山药和利川山药;多糖质量分数高于其他所有山药品种,分别是铁棍山药和太谷山药平均值的 4.33 倍和 4.13 倍;不同山药品种的淀粉质量分数虽然有差别,但差别并不十分明显。

2.2 蛋白质质量分数

从表 1 可见,惠楼山药平均蛋白质质量分数为 108.1 g/kg,高出全国山药蛋白质代表值(94.0 g/kg) 14%。与其他山药品种蛋白质质量分数(表 2)相比,惠楼山药蛋白质质量分数略高于铁棍山药和太谷山药,但比白玉山药、花籽山药和利川山药低约 8%。

2.3 氨基酸种类及其质量分数

惠楼山药含有 17 种氨基酸,种类齐全,氨基酸质量分数为 97.7 g/kg(表 3),其中人体必需氨基酸质量分数为 27.4 g/kg,占氨基酸总质量的 28.05%;鲜味氨基酸质量分数为 35.9 g/kg,占氨基酸总质量的 36.75%。

与其他山药品种的氨基酸组成及其质量分数相比(图 2),除鸡皮山药^[10]的氨基酸总量与惠楼山药相当外,高于江山山药^[17]、铁棍山药和瑞昌山药^[2]、安顺山药^[18]、灌南山药^[7]、紫山药^[9]和武陟太谷山药(本研究)。紫山药、灌南山药和瑞昌山药的氨基酸总量分别仅相当于惠楼山药的 74.2%、74.4%和 75.5%。从必需氨基酸质量分数来看,惠楼山药明显高于瑞昌山药^[2]和灌南山药^[7],其必需氨基酸质量分数分别相当于惠楼山药的 58.8%和 69.7%;明显低于鸡皮山药^[10],约相当于鸡皮山药的 80.6%;其他山药品种的必需氨基酸质量分数略高于或略低于惠

楼山药,差异不明显。从鲜味氨基酸质量分数来看,惠楼山药不同程度地高于其他山药品种,其中高于瑞昌山药 2 倍以上。

表 3 惠楼山药氨基酸种类及质量分数测定结果

Table 3 Amino acid types and contents in Huilou yam

氨基酸类型	质量分数/%			
	范围	均值	SD	Cv
天冬氨酸 Asp**	7.6~9.4	8.5	0.07	8.25
酪氨酸 Tyr	1.7~1.9	1.8	0.01	3.93
脯氨酸 Pro	2.1~2.4	2.2	0.01	4.98
丝氨酸 Ser	11.2~16.3	13.9	0.19	13.47
谷氨酸 Glu**	14.3~19.2	17.5	0.22	12.65
甘氨酸 Gly**	3.5~4.1	3.7	0.03	6.78
丙氨酸 Ala**	7.0~9.6	8.1	0.14	16.83
胱氨酸 Cys	3.7~4.0	3.8	0.01	2.88
缬氨酸 Val*	4.8~5.8	5.4	0.04	7.05
蛋氨酸 Met*	0.7~1.3	0.9	0.02	25.58
亮氨酸 Leu*	4.5~4.9	4.7	0.02	3.5
异亮氨酸 Ile*	2.7~3.1	2.9	0.02	5.45
苯丙氨酸 Phe*	4.6~5.6	5.1	0.04	7.12
赖氨酸 Lys*	4.2~4.5	4.3	0.01	2.65
苏氨酸 Thr*	3.8~4.4	4.1	0.02	5.45
组氨酸 His	2.1~2.4	2.3	0.01	5.83
精氨酸 Arg	5.5~10.0	8.5	0.18	20.74
氨基酸总量 TAA	92.9~107.2	97.7	0.57	5.82
必需氨基酸 EAA	—	27.4	—	—
鲜味氨基酸 FAA	—	35.9	—	—

注:* 为必需氨基酸,** 为鲜味氨基酸。

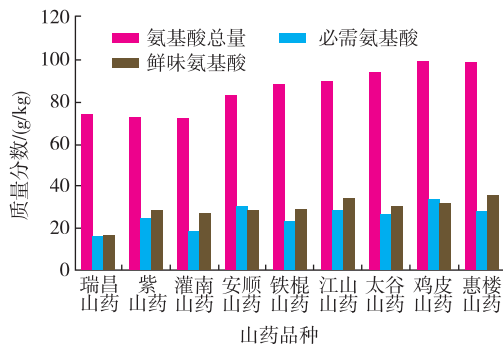


图 2 不同山药品种氨基酸总量及其组成比较

Fig. 2 Total amino acid and its components in different Chinese yams

营养价值高的山药不仅要求氨基酸种类齐全、EAA 含量高,而且其组成比例越接近人体需要,其质量就越高。据此,世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)提出了评价蛋白质营养价值的 EAA 模式^[19]。作者根据 EAA 比值系数法^[20],分别计算惠楼山药和武陟太谷山药的 EAA 比值(RAA),比值系数(RC)和比值系数分(SRC)。如果山药蛋白质中 EAA 的组成比例与 WHO/FAO 氨基酸模式一致,则各种 EAA 的 RAA 或 RC 应等于 1,若大于 1 表明则该种 EAA 相对过剩,若小于 1 则表明该种 EAA 相对不足,RC 最小者为第一限制性氨基酸。SRC 越接近 100,山药各个 EAA 含量变异较小,营养越均衡。由表 4 可见,惠楼山药大部分 EAA 的 RAA 或 RC 大于 1, Met+Cys 最为丰富,第一限制氨基酸是 Leu,第二限制氨基酸是 Ile, SRC 为 74.42,营养价值较高。武陟太谷山药必需氨基酸比值系数与惠楼山药基本相同,但 SRC 为 72.52,营养价值稍逊于惠楼山药。

表 4 惠楼山药与太谷山药必需氨基酸平均比值系数比较

Table 4 Comparison of average RAA ,RC and SRC between Huilou yam and Taigu yam

山药品种及其必需氨基酸比值系数		必需氨基酸种类						
		Thr	Val	Met+Cys	Ile	Leu	Phe+Tyr	Lys
惠楼山药 (n=14)	RAA	1.51	1.52	1.90	1.01	0.95	1.62	1.10
	RC	1.12	1.10	1.39	0.74**	0.69*	1.17	0.80
	SRC	74.42						
武陟太谷山药 (n=15)	RAA	1.23	1.49	1.78	0.98	0.94	1.66	0.98
	RC	0.96	1.45	1.37	0.75**	0.72*	1.28	0.77
	SRC	72.52						

注:* 为第一限制氨基酸,** 为第二限制氨基酸。

2.4 微量元素质量分数

惠楼山药含有丰富的微量元素(表 5),微量元素平均含量的大小顺序为 Fe (52.71 mg/kg)>Zn (15.68 mg/kg)>Sr(8.75 mg/kg)>Cu(4.60 mg/kg)>Mn (3.31 mg/kg)>Co (2.94 mg/kg)>Li (2.28 mg/kg)>Ni (1.97 mg/kg)>Ba (1.54 mg/kg)>Pb (1.15 mg/kg)>Cr (0.14 mg/kg)。不同山药品种的微量元素质量分数差别较大(表 6),其中惠楼山药 Zn 质量分数高于所报道的其他山药品种和全国山药代表值,比铁棍山

药高 48.11%,比太谷山药平均值高 44.04%,比全国代表值高 65.26%;惠楼山药 Mn、Fe、Ba、Li 和 Sr 含量也具有较明显的比较优势,但其 Cu、Cr、Ni 和 Co 含量优势不明显。山药微量元素含量的高低除与不同山药品种有关外,还与其局地环境条件有关,如文献 [6] 所报道的沁阳太谷山药 Fe 含量高达 283 mg/kg,分别是惠楼山药和全国代表值的 4.9 倍和 70.8 倍,就可能与其局部土壤和水分条件有关,并不能代表太谷山药的一般情况。

表 5 惠楼山药微量元素质量分数

Table 5 Contents of trace elements in Huilou yam

(mg/kg)

统计项	Cu	Zn	Cr	Ni	Co	Mn	Fe	Ba	Li	Sr	Pb
最大值	6.86	20.76	0.20	3.88	4.16	5.03	98.33	2.41	7.96	9.60	1.37
最小值	3.00	11.75	0.11	0.80	2.31	1.18	20.55	1.04	0.42	8.24	0.75
均值	4.60	15.68	0.14	1.97	2.94	3.31	52.71	1.54	2.28	8.75	1.15

表 6 惠楼山药与其他山药品种微量元素质量分数

Table 6 Contents of trace elements in different Chinese yams

(mg/kg)

山药品种及产地	Cu	Zn	Cr	Ni	Co	Mn	Fe	Ba	Li	Sr	Pb
铁棍山药	河南武陟 ^[3]	13.1	10.6	1.1	12.0	6.6	3.1	35.0	—	—	1.5
太谷山药	河南武陟 ^[3]	4.7	9.1	2.1	67.0	8.7	1.2	122.0	—	—	1.9
	河南沁阳 ^[6]	17.4	12.1	0.5	0.4	0.01	6.7	283.0	1.2	0.57	6.9
	河南武陟(本研究)	3.1	11.4	0.2	1.1	3.0	1.3	19.4	1.2	1.9	8.3
参薯	浙江瑞安 ^[3]	14.8	7.9	3.0	90.0	4.9	7.3	20.0	—	—	2.9
惠楼山药	河南虞城(本研究)	4.6	15.7	0.1	2.0	3.0	3.3	52.7	1.5	2.4	8.8
中国山药代表值 ^[21]		6.3	9.5	—	—	—	2.3	4.0	—	—	—

3 讨论

通过上述分析可以发现,与其他多数山药品种相比,惠楼山药的主要营养成分含量优势明显,具有较高药用和食用价值,且口感好,是一种优良山药品种。惠楼山药优良品质的形成除与该品种本身的生理特性有关外,还与当地自然环境条件有关。

惠楼山药种植区呈西北-东南向延伸(图 1),地势相对低洼,约比周围地区低 1~2 m。相传在很久以前,山药种植区有一条河流(小清河)穿过,后来河水干涸,当地农民将河漫滩和低阶地辟为农田,因此地势比较低洼。受河床相和漫滩相沉积物的影响,惠楼山药种植区土壤砂性明显,砂粒(>0.05 mm)、粉粒(0.05~0.002 mm)和黏粒(<0.002 mm)质量百分比分别为 48.3%、45.5%和 6.2%,土壤质地多为砂壤土和粉砂壤土,通气透水性好,且 1 m 深度范围内变化不明显,无障碍土层,适合山药生长^[22]。

表层土壤 pH 平均为 7.76,也适合山药生长。土壤表层有机质、碱解氮、速效磷和速效钾平均质量分数分别为 16.91、115.48、10.32、103.93 mg/kg,土壤肥力水平属于“较适中”或“适中”等级^[23],可满足山药生长的需要。

由于山药种植区地势低洼,形成了区域性地下水汇集中心,从周围地区输入了大量的微量元素,雨季常常出现地表积水,所以地下水对山药品质具有重要影响。山药种植区地下水 pH 和矿化度略高于周围地区,属弱碱性水和微咸硬水。地下水中的大多数元素(Cu、Pb、Zn、Ni、Ba、Co、Fe、Mn 等)的含量也高与周围地区,其中 Cu、Zn、Ni 和 Co 的含量差异达到显著水平($P<0.01$ 或 $P<0.05$)。

地下水与土壤水具有天然的联系,山药吸收土壤水分的同时,也吸收大量的化学元素,地下水化学组成对山药元素含量及品质具有重要影响。用山药种植区地下水、山药和土壤样品中上述 11 种微

量元素含量,开展地下水、山药和土壤样品3个数据序列的相关分析,发现地下水化学元素与山药相应的化学元素呈显著正相关,相关系数高达0.840,而地下水与土壤、土壤与山药元素之间的相关性很差,相关系数分别是-0.154和-0.120,说明地下水的化学组成是影响惠楼山药品质的重要因素之一。

之所以地下水与土壤、土壤与山药化学元素含量之间不具有显著相关性,可能是由于作者所测定的是土壤元素全量质量分数,包括了不同生物有效性的赋存形态,其中水溶态和交换态元素的生物有效性最强,但其含量一般很低的缘故。与此相反,地下水和土壤水中的元素大部分呈离子态,可以被山药顺利吸收利用。另外,山药下扎深度较大,特别是在雨季,地下水的化学组成对惠楼山药元素质量分数的影响更为显著。

4 结 语

与我国其他多数山药品种相比,惠楼山药营养丰富,是一种品质十分优良的山药品种。惠楼山药还原糖、多糖、淀粉和蛋白质平均质量分数分别为15.8、55.6、208.6、108.1 g/kg。17种氨基酸的总质量为97.7 g/kg,其中人体必需氨基酸总量占氨基酸总质量的28.05%,鲜味氨基酸质量分数占氨基酸总质量的36.75%;大部分EAA的RAA或RC大于1, Met+Cys最为丰富,第一限制氨基酸是Leu, SRC为74.42,营养价值较高。惠楼山药Zn、Mn、Fe、Li、Ba和Sr质量分数分别为15.68、3.31、52.71、2.28、1.54、8.75 g/kg,具有明显的比较优势。地下水的化学组成是影响惠楼山药品质的重要因素之一。

参考文献:

- [1] 周玥,郭华,周洁. 铁棍怀山药中主要营养成分的研究[J]. 中国食品与营养,2011,17(3):69-71.
ZHOU Yue, GUO Hua, ZHPU Jie. Study on main nutrients in iron *Dioscorea opposita* Thunb[J]. **Food and Nutrition in China**, 2011,17(3):69-71.(in Chinese)
- [2] 刘可越,舒长兴,石向群,等. 不同产地山药主要生化成分对比分析[J]. 湖北农业科学,2011,50(10):2108-2110.
LIU Keyue, SHU Changxing, SHI Xiangqun, et al. Analysis of biochemical ingredients in *Rhizoma Dioscorea* from different producing areas[J]. **Hubei Agricultural Science**, 2011,50(10):2108-2110.(in Chinese)
- [3] 贾士奇,都恒青,赵曦,等. 几种山药的质量比较[J]. 中国中药杂志,1991,16(6):360-361.
JIA Shiqi, DU Hengqing, ZHAO xi, et al. Quality comparisons of several kinds of yam [J]. **China Journal of Traditional Chinese Medicine**, 1991,16(6):360-361.(in Chinese)
- [4] 谢彩侠,高山林,张重义,等. 山药地方品种的化学成分和淀粉酶同工酶分析[J]. 植物资源与环境学报,2004,13(2):21-24.
XIE Caixia, GAO Shanglin, ZHANG ZHongyi, et al. Analysis of the chemical components and isomorphic amylase different local cultivars of *Dioscores opposites*[J]. **Journal of Plant Resources and Environment**, 2004,13(2):21-24.(in Chinese)
- [5] 王飞,刘红彦,鲁传涛. 五个山药品种资源的农艺性状和营养品质比较[J]. 河南农业科学,2005(3):58-60.
WANG Fei, LIU Hongyan, LU Chuantai. Comparison of the agronomical traits and nutrient quality among five Yam Germplasm [J]. **Journal of Henan Agricultural Sciences**, 2005(3):58-60.(in Chinese)
- [6] 张重义,谢彩霞. 怀山药无机元素的特征分析[J]. 特产研究,2003(1):41-44.
ZHANG Zhongyi, XIE Caiaia. Analysis on the characteristics of inorganic elements in *Dioscorea opposita* Thumb [J]. **Special Wild Economic Animal and Plant Research**, 2003(1):41-44.(in Chinese)
- [7] 陈艳,姚成. 淮山药中氨基酸含量的测定[J]. 氨基酸和生物资源,2004,26(2):47-48.
CHEN Yan, YAO Cheng. Analysis of amino acids in *Rhizoma Dioscorea* [J]. **Amino Acids and Biotic Resources**, 2004,26(2):47-48.(in Chinese)
- [8] 张兵,谢九皋. 山药营养成分的研究[J]. 湖北农业科学,1996(6):56-58.
ZHANG Bing, XIE Jiugao. Study on nutritional components of Chinese yam[J]. **Hubei Agricultural Sciences**, 1996(6):56-58.(in Chinese)
- [9] 于东,林跃伟,陈桂星,等. 紫山药营养成分分析研究[J]. 营养学报,2010,32(2):190-192.
YU Dong, LIN Yaowei, CHEN Guixing, et al. Analysis of the nutritional components of purple yam[J]. **Acta Nutrimenta Sinica**, 2010,32(2):190-192.(in Chinese)

- [10] 黄明霞. 菏泽鸡皮山药营养成分分析[J]. 长江蔬菜, 2008(6b):65-66.
HUANG Mingxia. Analysis of nutrient components in Jipi Chinese Yam[J]. **Journal of Changjiang Vegetables**, 2008(6b):65-66.(in Chinese)
- [11] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986:274-320.
- [12] 阚建全, 王雅茜, 陈宗道, 等. 山药活性多糖抗突变作用的体外实验研究[J]. 营养学报, 2001, 23(1):76-78.
HAN Jianquan, WANG Yaqian, CHEN Zongdao, et al. Studies on antimutagenic activities of active polysaccharide extracts from Chinese yam by Ames Test[J]. **Acta Nutrimenta Sinica**, 2001, 23(1):76-78.(in Chinese)
- [13] 赵国华, 李志孝, 陈宗道. 化学改性对山药多糖抗肿瘤活性的影响[J]. 中国食品学报, 2004, 4(1):39-42.
ZHAO Guohua, LI Zhixiao, CHEN Zongdao. Effects of Chemical Modification on Antitumor Activity of Polysaccharides Isolated from Chinese Yam[J]. **Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology**, 2004, 4(1):39-42.(in Chinese)
- [14] Zhao G H, Kan J Q, Li Z X, et al. Structural features and immunological activity of a polysaccharide from *Dioscorea opposita* Thunb roots[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2005, 61(2):125-131.
- [15] 孙锋, 谷文英, 丁霄霖. 山药粗多糖的提取工艺[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(3):79-84.
SUN Feng, GU Wenying, DING Xiaoli. Study on the extraction Technology of polysaccharide from *Dioscorea opposita* Thunb[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2006, 25(3):79-84.(in Chinese)
- [16] 何海玲, 单承莹, 张卫明, 等. 山药研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2006, 25(6):1-6.
HE Hailing, SHAN Chengying, ZHANG Weiming, et al. Progress of study on *Dioscorea opposita* Thunb [J]. **Chinese Wild Plant Resources**, 2006, 25(6):1-6.(in Chinese)
- [17] 倪少云, 宋学华. 山药的营养成分分析[J]. 江苏药学与临床研究, 2002, 10(2):26-27.
NI Shaoyun, SONG Xuehua. Analysis of the nutritional components of Chinese yam [J]. **Jiangsu Pharmaceutical and Clinical Research**, 2002, 10(2):26-27.(in Chinese)
- [18] 王绍美, 吴秀章. 安顺山药营养成分分析[J]. 山地农业生物学报, 2001, 20(3):191-195.
WANG Shaomei, WU Xiuzhang. Analysis of nutrient components in Anshun Chinese yam[J]. **Journal of Mountain Agriculture and Biology**, 2001, 20(3):191-195.(in Chinese)
- [19] FAO/WHO. Energy and protein requirements[J]. **FAO Nutrition Meeting Report Series**, 1973:52-63.
- [20] 朱圣陶, 吴坤. 蛋白质营养价值评价——氨基酸比值系数法[J]. 营养学报, 1988, 10(2):187-190.
ZHU Sengtao, WU Kun. Nutritional evaluation of protein:coefficients of amino acid [J]. **Acta Nutrimenta Sinica**, 1988, 10(2):187-190.(in Chinese)
- [21] 杨月欣, 王光亚, 潘兴昌. 中国食物成分表 2002[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2002.
- [22] 周小果, 王爽, 吴克宁, 等. 怀山药生长土壤的研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(7):347-350.
ZHOU Xiaoguo, WANG Shuang, WU Kening, et al. Studies on the soils for *Dioscorea opposita* Thunb [J]. **Chinese Agricultural Science Bulletin**, 2006, 22(7):347-350.(in Chinese)
- [23] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术[M]. 北京: 农业出版社, 1992, 50:243.