

中/国/资/源/生/物/研/究/系/列

河南惠楼山药品质及其 立地条件研究

马建华/著



科学出版社

S632.1
20131

阅 览

河南省重点科技攻关项目
河南省国家重点学科培育项目

联合资助

中国资源生物研究系列

河南惠楼山药品质及其立地条件研究

马建华 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

惠楼山药是豫东地区“名、优、土、特”产之一,已有 400 多年的栽培历史。本书重点介绍了惠楼山药的品种类型及植物学特征;从糖类、蛋白质、氨基酸、矿物质含量等方面,论述了惠楼山药的品质特征;从土壤和地下水的物理化学性质和矿物组成等方面,详细分析了山药品质与其立地条件之间的关系。惠楼山药属于太谷山药(怀山药之一)的一个栽培品种,具有营养丰富,入口不麻不涩、软面香甜,易剥皮等优良品质。

本书可供山药种植区的农业技术人员和农民,以及植物学、土壤学、环境科学、中药学、营养学、自然地理学等领域的专家和爱好者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

河南惠楼山药品质及其立地条件研究/马建华著. —北京:科学出版社,2013
(中国资源生物研究系列)

ISBN 978-7-03-036023-6

I. ①河… II. ①马… III. ①山药-研究-商丘市 IV. ①S632.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 268884 号

责任编辑:马 俊 / 责任校对:张小霞

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

装 订 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 1 月第一次印刷 印张:10 1/2 插页:4

字数:248 000

定价:65.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

我国幅员辽阔,自然环境复杂,为地方性植物品种的形成提供了得天独厚的条件。在众多植物性“名、优、土、特”产当中,惠楼山药就是其中之一。惠楼山药种植区(以下简称种植区)位于江苏、山东、河南、安徽4省交界处的商丘市虞城县店集乡惠楼村附近,种植历史至今已有400多年。惠楼山药呈不规则扁圆柱形,体长0.5 m左右,体表根须较稀疏,有些个体表面具有紫红色斑块,故称其为“小红皮”。惠楼山药口感独特,不麻不涩,软面而香甜,极易剥皮。惠楼山药含有丰富的黏液质、蛋白质、糖类、淀粉、维生素、氨基酸及微量元素,有很高的营养价值和药用价值,具有养胃、健脾、宣肺、补肾、健脑安神、利湿止泻、壮阳滋阴、延年益寿等作用。据《虞城县志》记载,早在明朝万历年间,惠楼山药即为贡品,被封为“一品山药”。在1996年召开的国际扶贫会议上,“惠楼山药宴”被指定为特别招待宴,受到国内外来宾的交口称赞,获得“山珍海味吃遍,不如惠(楼)山(药)一宴”的美誉。

但是,由于种植区面积狭小、不能重茬种植等原因,目前年均种植山药的面积只有100多亩,市场供不应求,价格昂贵。曾有很多居民在种植区以外的附近村庄种植山药,其品种和农田管理措施与惠楼山药完全相同,但其与惠楼山药相比,口感差、产量低。这一奇特现象引起了作者的极大兴趣,曾先后多次深入种植区进行自然条件调查和栽培技术的座谈访问。惠楼山药的良好品质与种植区特有的土壤和地下水条件密切相关,要想推广种植惠楼山药,必须对种植区的立地条件进行深入研究。鉴于此,以河南大学环境与规划学院部分教师和研究人員为主体,联合商丘师范学院地理系和虞城县农业局的部分科技人员,2007年向河南省科技厅申请了“虞城惠楼优质山药立地条件及推广技术研究”,并作为河南省重点科技攻关项目(No. 0721021500)立项资助。经过几年的努力,基本摸清了惠楼山药的品质特征、种植区土壤和地下水对惠楼山药的影响,并在开封附近进行了推广实验研究,取得了可喜成果。本书就是该课题的研究成果之一。

本书主要包括四个方面的内容。第一,通过山药地上茎、叶、花、果和地下块茎的观察与实验,对惠楼山药的植物学特征和口感特征进行了系统研究。从起源和驯化角度看,惠楼山药与怀山药之一的太谷山药比较亲近,可能是在数百年之前从河南焦作地区引种铁棍山药至惠楼村附近,逐渐演变成了相对独立的栽培品种。第二,通过对惠楼山药的干物质、皮重、还原糖、多糖、淀粉、蛋白质、17种氨基酸和13种主要元素含量的测定,并与其他山药品种对比分析,揭示了惠楼山药的品质优势。惠楼山药中的很多营养或药用成分均高于其他多种山药品种,是一种品质更加优良的山药品种。第三,对种植区土壤的物理、化学和生物学性质(比重、容重、孔隙度、机械组成、pH、有机质、CEC、水解氮、速效磷、速效钾、有效硅、土壤酶活性、13种元素含量等),地下水组成和性质(pH、总碱度、硬度、矿化度、8种离子成分、13种元素含量等)与惠楼山药品质之间的关系进行了深入研究。种植区土壤偏砂、pH呈弱碱性、土体中无障碍土层、养分含量中等条件都适合山药生长:

种植区地势相对低洼,排水不畅,地下水中的微量元素含量普遍较高,这是惠楼山药优良品质形成的重要因素之一。第四,开展了不同土体构型对山药形态和产量影响的大田实验研究。全虚型土体构型比其他土体构型的山药产量高、商品性好,今后要积极推广“挖沟”或“打洞”种植山药的技术,以便进一步提高山药产量。

目前,国内已出版多种山药栽培(新)技术方面的著作,为指导山药种植起到了很好的作用。但是,迄今为止尚无一本针对某一山药栽培品种的专著问世。作者希望本书能在这方面起到“抛砖引玉”的功效。

在课题研究过程中,河南大学很多教师、研究生和本科生做了大量工作。先后参加本课题野外调查、样品采集、室内分析和计算工作的教师有马建华教授、阮心玲副教授、宋博副教授、张桂宾教授、赵庆良副教授、梁国付副教授、仝致琦讲师。2004级环境科学专业本科生孙明超、赵吝加、袁瑞霞、王丽君、孟超、申芳霞和王凡等同学,于2008年4~6月在种植区开展了山药、土壤和地下水样品的采集,并在室内完成了某些分析项目测定工作。2009年3月,2007级自然地理学专业硕士生杜平同学,以及2008级环境科学专业硕士生侯千、王晓云同学,在种植区开展了土壤动物样品采集,并进行了不同土体构型对山药形态和产量影响的大田实验设计。之后,杜平同学在实验室完成了山药、土壤和地下水样品剩余分析项目的测定工作,并为本书的某些章节写了初稿。2010年宋博副教授完成了土壤动物分离、鉴定与统计工作,并提供了相应的文字报告。2006级地理科学专业本科生赵恒同学,2010级环境地理学专业硕士生孔令华同学,2011级自然地理学专业硕士生张晓阳、董翠芳同学,以及2011级生态学专业的贾艳凤同学等,先后对不同实验土体构型的山药形态参数进行了测量和计算。本书是课题负责人马建华教授在往届多名本科生、硕士生和课题组成员文字报告或论文初稿的基础上,进行大量补充、改写或重写而成,前后历时两年有余。

虞城县农业局原局长徐玉选同志和商丘师范学院的张卫星教授极力推荐本课题,并为课题的执行提供了诸多便利条件。科学出版社的马俊编辑和赵峰副社长(分社)在本书的选题、编辑和出版等方面给予了多方帮助。河南大学环境与规划学院从河南省国家重点学科培育经费中拨出一定资金,才使本书得以顺利出版。在本书即将付梓之际,特向以上所有对课题研究和本书出版过程作出过贡献的领导、同事和学生们表示诚挚的感谢。

2012年适逢河南大学100年校庆,笔者作为在河南大学学习和工作34年的一位教师,谨以此书向河南大学建校100周年献礼!

由于本人学术水平有限,书中难免有很多不足和疏漏之处,恳请广大读者批评指正!

马建华

2012年8月11日于开封

目 录

前言

第 1 章 山药研究述评	1
1.1 薯蓣属植物分类与分布	1
1.2 山药化学成分	5
1.2.1 多糖	5
1.2.2 蛋白质和氨基酸	6
1.2.3 淀粉	6
1.2.4 矿质元素	7
1.2.5 脂肪和脂肪酸	7
1.2.6 尿囊素	7
1.2.7 山药皂苷元	8
1.2.8 其他成分	8
1.3 山药经济价值	9
1.3.1 药用价值	9
1.3.2 食用价值	12
1.4 山药立地条件	12
1.5 山药栽培技术	13
1.5.1 繁殖技术	13
1.5.2 薯蓣的引种与选育	15
1.5.3 栽培方式	16
1.5.4 病虫害防治	18
1.6 关于惠楼山药的研究	19
1.7 山药研究中存在的问题及本研究的意义	20
1.7.1 山药研究中存在的主要问题	20
1.7.2 本研究的目的和意义	21
第 2 章 惠楼山药种植区及惠楼山药简介	22
2.1 惠楼山药种植区	22
2.2 惠楼山药	24
2.2.1 惠楼山药的植物学特征	24
2.2.2 惠楼山药的口感	28
2.2.3 惠楼山药的品种分类及命名	29
2.2.4 惠楼山药种植	30

第3章 研究方法	33
3.1 样品采集	34
3.1.1 土壤样品采集	34
3.1.2 山药样品采集	40
3.1.3 地下水样品采集	40
3.2 样品处理与实验方法	42
3.2.1 样品处理	42
3.2.2 土壤中小型和湿生动物的分离与动物鉴定方法	42
3.2.3 土壤分析项目及方法	42
3.2.4 地下水分析项目及方法	43
3.2.5 山药分析项目及方法	43
第4章 惠楼山药品质分析	46
4.1 干物质含量和皮重	46
4.2 还原糖、多糖和淀粉含量	48
4.3 蛋白质和氨基酸含量	50
4.3.1 蛋白质含量	50
4.3.2 氨基酸种类及其含量	51
4.4 主要元素含量	54
4.4.1 必需常量元素含量	54
4.4.2 必需微量元素含量	56
4.4.3 其他微量元素含量	57
4.5 膳食山药重金属暴露的健康风险评价	59
4.5.1 健康风险评价模型	59
4.5.2 非致癌健康风险及其贡献率	60
4.5.3 致癌健康风险	62
4.5.4 关于我国现行蔬菜重金属限量指标问题的讨论	62
4.6 本章小结	63
第5章 惠楼山药种植区土壤条件分析	64
5.1 土壤物理性质	64
5.1.1 土壤比重、容重与孔隙度	64
5.1.2 土壤机械组成与质地类型	67
5.2 土壤化学性质与元素含量	70
5.2.1 土壤 pH	70
5.2.2 阳离子交换性能	71
5.2.3 土壤元素含量、分布与来源分析	74
5.2.4 土壤重金属污染评价及其防治	81
5.3 土壤生物学性质	84
5.3.1 土壤酶活性	84

5.3.2 土壤动物类群特征	90
5.3.3 山药的元素富集系数	95
5.4 土壤肥力因子分析	96
5.4.1 有机质	96
5.4.2 速效氮、磷、钾	99
5.4.3 有效硅	105
5.5 本章小结	107
第6章 惠楼山药种植区地下水条件分析	109
6.1 地下水化学性质	109
6.1.1 pH 和总碱度	109
6.1.2 硬度	110
6.1.3 矿化度	111
6.2 地下水离子组成	112
6.3 地下水微量元素组成	114
6.4 地下水质量综合评价	116
6.4.1 评价指标及其标准	116
6.4.2 评价方法	116
6.4.3 评价结果与分析	119
6.5 地下水化学组成对山药品质的影响	122
6.6 本章小结	123
第7章 土体构型对山药形态及产量的影响	125
7.1 人工土体构型设置	125
7.2 土体构型对山药形态的影响	128
7.2.1 山药形态基本数据的提取	130
7.2.2 山药形态指数及其计算	131
7.2.3 不同土体构型的山药形态比较	133
7.3 土体构型对山药产量的影响及提高产量的建议	137
7.3.1 不同土体构型对山药产量的影响	137
7.3.2 种植区应大力推广挖沟和打洞种植技术	137
7.4 本章小结	140
参考文献	142
图版	

第 1 章 山药研究述评

山药(*Dioscorea* spp.)是薯蓣科(Dioscoreaceae)薯蓣属(*Dioscorea* L.)的一种植物。薯蓣属植物是一年或多年生缠绕藤本,茎蔓长 2~3 m,横断面呈圆形或多棱形;单叶或复叶,叶形多变,常为心形或三角状卵形,茎基部的叶多互生,茎中上部为对生,基出叶脉 6~9 条,侧脉呈网状,叶腋常着生气生珠芽(零余子,或称山药豆);根状茎或块茎着生于茎基部,垂直向下生长,呈长柱形、圆筒形、纺锤形或掌状等,表面密生须根,肉质呈白色或淡黄色,可入药和食用;花单性,雌雄异株,雄花有雄蕊 6 枚,雌花有退化雌蕊 3~6 枚,穗状或圆锥状花序;蒴果具三棱翅,种子有膜质翅;细胞染色体基数一般是 9 或 10,极少数种或变种是 12(丁志遵等,1985;陈新荣等,2007;李月仙等,2009)。

山药营养丰富,是一种集粮食、蔬菜、药材、饲料、加工原料为一体的兼用型经济作物(黄晓玲和李海燕,1999;赵冰,2011;Dweck,2002;Tschannen et al., 2005)。我国种植山药已有 2000 多年的历史,早在唐代王旻所著的《山居要术》一书中,对山药栽培就有过详细的记载。近些年来,随着我国对山药需求量的增加,山药种植面积与产量均呈逐渐上升趋势(图 1-1)。

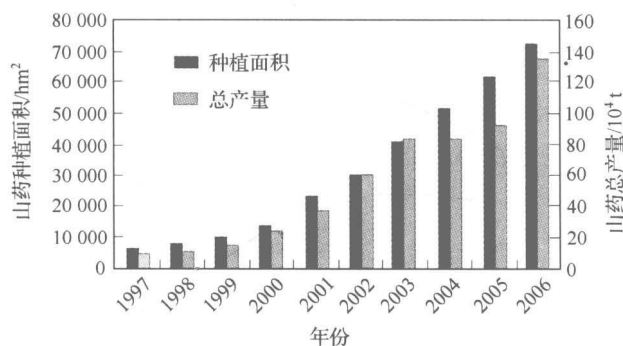


图 1-1 中国 1997~2006 年山药种植面积与产量 [据白彭慧(2007)改绘]

1.1 薯蓣属植物分类与分布

全世界薯蓣科植物约有 10 属 650 种,中国只有 1 属(薯蓣属)约 80 种(江西中医药研究所,1959;中国科学院植物研究所,1976;丁志遵和张美珍,1982;丁志遵等,1985;中国科学院昆明植物研究所,1983;裴鉴和丁志遵,1985;万金荣,1990)。从世界范围看,山药主要分布在西非、加勒比海、太平洋诸岛及东南亚等热带、亚热带和温带地区(Rubatzky and Amaguchi, 1997)。在我国,山药广泛分布于东北、华北、华中、东南、西南等地(王飞等,2005),尤其在河南、山东、江苏、福建、台湾、广东、广西和四川等地广泛种植(巩庆平等,

2004)。

山药的起源和驯化中心有 4 个。一是中国南部起源中心,包括台湾、广东、海南、云南、贵州、西藏和印度东北部、中南半岛,以及中国南海诸岛的热带和亚热带地区;二是中国中部起源中心,包括华北、华中、华东、华南、西北、东北的部分省(自治区),以及朝鲜、日本等国;三是非洲西部起源中心;四是加勒比海起源中心,包括加勒比海周围的一些国家(陈新荣等,2007)。

早在 20 世纪 20~30 年代,Knuth、Prain 和 Burkill 等(刘鹏等,1993)就对我国薯蓣属植物进行过分类研究,但限于当时的条件,其工作尚不全面。自 20 世纪 50 年代开始,我国学者从园艺学性状、感官特征、块茎形态、生境与地理分布、理化性质等方面对山药分类及种质鉴别进行了大量研究。由于不同学者依据的分类标准不尽相同,所以目前对山药的分类仍然比较混乱,同物异名或同名异物的现象也比较突出,某些品种在“种”的归属上混淆不清。具有代表性的分类体系有以下几种。

(1) 丁志遵等(1985)在《中国植物志》中,根据薯蓣属种间的亲缘关系将该属植物分为 6 组,并建立了各组的检索系统表。①根状茎组(Sect. *Stenophora* Uline):地下部分为多年生根状茎,藤茎左旋,单叶,叶腋无珠芽,蒴果着生在中轴胎座中部,蒴果长宽相等,种翅周生;②丁字形毛组(Sect. *Combilium* Prain et Burkill):藤茎左旋,被丁字形毛,根状茎常分叉,叶腋无珠芽,蒴果着生在中轴胎座中部,蒴果长大于宽,种翅周生;③顶生翅组(Sect. *Shannicorea* Prain et Burkill):藤茎左旋,地下部分为 1~2 年生块茎,单叶,叶腋无珠芽,蒴果着生在中轴胎座中部以下,蒴果长大于宽,种翅向顶部延伸;④基生翅(黄独)组(Sect. *Opsophyton* Uline):藤茎左旋,地下部分为 2 年生块茎,单叶,叶腋有珠芽,蒴果着生在中轴胎座顶部,蒴果长大于宽,种翅向基部延伸;⑤复叶组(Sect. *Lasiophyton* Uline):藤茎左旋,地下块茎形状多样,复叶,叶腋有珠芽或无珠芽,蒴果着生在中轴胎座顶部,蒴果长大于宽,种翅向基部延伸;⑥周生翅(薯蓣)组(Sect. *Enantiophyllum* Uline):藤茎右旋,地下部分为 1 年生块茎,单叶,叶腋有珠芽或无珠芽,蒴果着生在中轴胎座中部,蒴果宽大于长,种翅周生。在 6 个自然组中,种类最多的地区是云贵高原地区,有 5 组 34 种;其次是横断山地区,有 5 组 24 种;滇黔桂地区 5 组 23 种;华南地区 4 组 21 种;华东地区 5 组 20 种;华北地区 3 组 12 种(万金荣等,1994;徐有明等,2005)。

薯蓣属根状茎组中的多数品种具有较高的药用价值,且在我国分布广泛。例如,盾叶薯蓣(*D. zingiberensis* C. H. Wright)主要分布于秦岭山脉以南、大别山区以西、横断山脉以东地区;小花盾叶薯蓣(*D. sinoparviflora* C. T. Ting)主要分布于云南西北地区;穿龙薯蓣(*D. nipponica* Makino)主要分布于华北、东北、西北和华东地区;柴黄姜[*D. nipponica* Makino subsp. *rosthornii*(Prain et Burk.)C. T. Ting]主要分布于秦岭以南,湖北、湖南、贵州、四川东部和甘肃南部地区;纤细薯蓣(*D. gracillima* Mip)分布于安徽、浙江、江西、湖南等地;叉蕊薯蓣(*D. collettii* Hook. f.)分布于南起云南、北至陕西南部、西至云南腾冲、东至台湾基隆地区;粉背薯蓣[*D. collettii* Hook. f. var. *hypoglauca* (Palibin)C. T. Ting et al.]分布于南起福建厦门、北至安徽霍山、西至四川越西、东至台湾基隆地区;蜀葵叶薯蓣(*D. althaeoides* R. Kunth)分布于南起云南勐海、北至四川茂县、西至西藏波密、东至贵州玉屏地区;三角叶薯蓣(*D. deltoidea* ex Griseb. Wall)分布于南起

云南禄劝、北至四川阿坝、西至西藏吉隆、东至四川理县地区。食用价值较高的是周生翅组的山药,我国的地方品种非常丰富,如怀山药(*D. opposite* Thunb)主要分布于河南、山西、河北、山东、安徽、浙江、湖北、贵州、四川、甘肃东部、陕西南部等地,尤以河南省焦作附近的温县、武陟、博爱和沁阳等地种植的铁棍山药最为有名(陈新荣等,2007)。

(2) 根据山药植物学性状、生境特征和地理分布,将我国种植的山药划分为普通山药(*D. batatas* Decne)和参薯(*D. alata* L.)两大类。普通山药类叶对生,蔓茎圆形,无棱翼,叶脉7~9条,在长江以南和长江以北均有种植,并且在长期的栽培过程中形成了各具特色的地方品种,如焦作铁棍山药、射阳淮山药、太谷山药、花籽山药、鸡皮糙山药、红紫山药、兖州黄牛腿山药、禄丰脚板山药、梁河梨子山药、永平白山药、日本白山药、华州山药等。参薯也叫田薯,茎蔓具有棱翼,叶柄短,叶脉多为7条,主要分布在长江以南地区,由于栽培环境和人工驯化的不同,其种内生物学性状和农艺性状也有明显差异(浙江农业大学,1988;中国农业百科全书编辑部,1990;宋君柳,2009)。

(3) 根据山药块茎的形态特征,将普通山药类和参薯类划分为长柱种、扁块种与圆筒种。普通山药类的长柱种主要分布在河南、陕西、河北、山东、江西等地,扁块种主要分布在江西、湖南、四川、贵州和浙江等地,圆筒种主要分布在台湾和浙江等地。参薯类的长柱种主要分布在台湾和江西等地,扁块种主要分布在台湾、广东、广西等地,圆筒种主要分布在广东、福建、江西等地(中国作物种质信息网,2011)。

(4) 中国科学院植物研究所(1976)在其编著的《中国高等植物图鉴》(第5册)中,将中国薯蓣属首先分为地下部分是根状茎和块茎两类,然后根据种子着生位置、种翅长短和延伸方向、单叶或复叶、雄蕊枚数、有梗或无梗、叶片形状和颜色、有无珠芽及其形状和枚数等,分5个级别,对薯蓣种进行分类,并建立了相应的检索表。

(5) 蔡金辉等(1999)在收集我国15个省(自治区、直辖市)46个山药栽培品种进行栽培试验的基础上,观察记载其茎蔓形状、旋性、长势、分枝力、棱翼有无、颜色,零余子数量及其形态特征,叶片大小、形状、缺裂指数、叶基特征、基出脉数、托叶特征,开花与否、花期、花果特征,块茎皮色、块茎形状、块茎大小、分叉性等22项园艺学性状;以及块茎皮层及茎肉颜色,皮肉分离的难易程度,煮后肉色,肉质粉、绵、脆、甜、糯性等8项感官性状对各品种进行品种鉴别。按“种—变种—品种群”的分类体系编制了山药分类系统检索表(表1-1)。

随着现代科学的不断进步,解剖学、细胞学、分子生物学、电镜技术及指纹图谱技术被应用于山药的鉴定与分类研究,可以将多种外观非常接近、按传统方法极难鉴别的品种区别开来,取得了重要进展。

表 1-1 我国部分栽培山药品种分类

种	变种	品种群
普通山药(<i>D. batatas</i> Decne)	长山药变种	浅裂三角形叶品种群
		深裂三角形叶品种群
	棒山药变种	长心形叶品种群
		棒山药品种群

续表

种	变种	品种群
参薯(<i>D. alata</i> L.)	长柱形变种	白肉品种群
		淡黄肉品种群
	圆筒形变种	白肉品种群
		紫红肉品种群
	扁块形变种	白肉品种群
		紫红肉品种群

1. 解剖学和细胞学技术在山药分类中的应用

张美珍(1982)与凌萍萍(1982)通过对中国薯蓣属 5 组、36 种、2 变种茎的解剖和叶表皮气孔类型的观察研究,推论出薯蓣属各组之间亲缘关系及其系统演化的趋势。结果表明,根状茎组最原始,薯蓣组最进化,其他各组处于两组之间。丁志遵(1983)对根状茎组的根状茎进行了详细的解剖学研究,将解剖的主要构造特征作为其分类的重要参考。

裴鉴和丁志遵(1979)根据山药根状茎组的外部形态特征、细胞染色体数量、花粉形态、植物化学成分和地理分布规律等,证明根状茎组是薯蓣属中较原始的自然类群。秦慧贞(1985)从中国薯蓣属 6 组、39 种、1 亚种的染色体数量的演化特征也论证了根状茎组是原始类群。

2. 显微技术在山药分类中的应用

用显微镜观察薯蓣属根状茎或块茎的细部特征,发现薯蓣(山药)的淀粉粒众多,有黏液细胞、草酸钙针晶束及树脂道,无中柱鞘石细胞环层;山薯(*D. fordii* Prain et Burk)有中柱鞘石细胞环层,具草酸钙棱晶,有色素细胞,石细胞 1~2 列呈断续环状;参薯的中柱鞘由 2~4 列石细胞呈断续环状,有三面增厚的石细胞(李月仙等,2009)。

随着扫描电子显微镜的应用,我国薯蓣属的分类研究进入了新阶段。丁志遵(1983)用扫描电镜观察了根状茎组植物的花粉,认为它们的形成结构一致,是一个接近自然性状的类型。舒璞(1987)用电镜观察了薯蓣属 5 组、33 种的花粉形态,根据花粉粒由单沟向双沟、由二端尖向二端平截、体积由大到小、纹饰由条状向拟脑纹-网状的过渡,提出根状茎组是最原始的类型,其次是复叶组,顶生翅组较靠近复叶组,黄独组较为进化,薯蓣组最进化。

3. 分子生物学技术在山药分类中的应用

同工酶(isozyme)作为基因的标记是一种可靠的生化指标。凌萍萍(1985)对薯蓣属不同种类进行了聚丙烯酰胺凝胶电泳的过氧化物同工酶的测定,发现根状茎组与复叶组的酶带迁移率(Rf)相近,薯蓣组、黄独组、顶生翅组及丁形毛组的迁移率相近,证实薯蓣属各组之间存在着相关性。

4. 指纹图谱技术在山药分类中的应用

指纹图谱是利用分析仪器结合数学统计手段和模拟等方法来揭示山药物理和化学性质,从而对其进行定性和定量研究的一类技术(姜芳婷等,2004;何海玲等,2006)。已有文献报道的研究手段有紫外分光、电泳、薄层色谱、气相色谱和 X 射线衍射等。赵羲和都恒青(1992)用聚丙烯酰胺凝胶电泳法研究了山药蛋白质的电泳特性,通过其凝胶电泳图谱的差异鉴别出了怀山药、褐苞薯蓣(*D. persimilis*)、参薯和山薯。王刚立等用 X 射线粉末衍射全谱分析技术,鉴别出了怀山药及其代用品山薯(李月仙等,2009)。宋爱新和张经纬(2003)采用热分析方法对 5 个产地的山药分别进行了差热分析(DTA)和微商热重法(DTG)分析,发现不同品种山药的 DTA 和 DTG 图谱均有差异。王东等(2008)采集河南、山西、山东、河北、广东、广西等地 8 个有代表性的山药样品,采用 PCR 直接测序技术进行了山药 rDNA ITS 区序列的测定,发现不同产地的山药之间的 ITS 序列图谱有不同的变异,可以作为鉴别不同产地山药的重要参考;野生山药与栽培山药的碱基数目相差较大,说明栽培山药在驯化过程中产生了变异,进化程度更高。

1.2 山药化学成分

现代科学研究表明,山药中的营养成分及生物活性物质较多,主要有淀粉、蛋白质、糖类、氨基酸、脂肪酸、胆碱、薯蓣皂苷元、多酚氧化酶,以及多糖和蛋白质的复合体——黏液质等,其他微量成分有维生素(以维生素 C、维生素 B、核黄素、尼克酸、胡萝卜素、硫胺素等为主)、无机元素(包括 Ba、Be、Ce、Co、Cr、Cu、Ca、Li、Mn、Ni、P、Sr、Fe、K、Na、Zn 等,其中 P 含量最高)、胆碱、尿囊素、止杈素、酚性物质(交叉酚胺、多巴胺、盐酸山药碱、3,4-二羟基苯乙胺、多酚氧化酶、胆固醇、麦角固醇、菜油固醇)和碘质等。

1.2.1 多糖

山药多糖是目前公认的主要生物活性成分之一。山药多糖的组成和结构比较复杂,不同学者运用不同的提取分离方法得到了不同的山药多糖,其中有均多糖、杂多糖,也有糖蛋白等,相对分子质量从数千到数百万不等,其含量和糖基组成也各不相同。

乔善义等(2003)用葡聚糖凝胶柱层析和高效液相层析纯化得到 S1 和 S2 两个多糖组分,它们都是 $[\alpha\text{-D-Glc}(1\rightarrow4)]_n$ 型葡聚糖,相对分子质量分别为 63 000 和 7400。赵国华等(2002a,2003)利用气相色谱分析技术从山药块茎中提取到一种多糖 RDPS-I,它是一种由葡萄糖、甘露糖和半乳糖构成的杂多糖,各糖基的摩尔比为 1 : 0.4 : 0.1,平均相对分子质量为 41 000。顾林等(2007)发现山药水溶中性多糖的单糖是 $\alpha\text{-D-葡萄糖}$ 和 $\alpha\text{-D-甘露糖}$,其摩尔比为 0.56 : 0.44。蔡婀娜等(2006)对山药多糖组分 DTA 进行高效液相分析,发现 DTA 由果糖和葡萄糖两种组成,摩尔比为 1 : 26.36。陶乐平和吴东儒(1988)从山药块茎中提取到一系列性质各异的多糖,热水提取物中的多糖主要由葡萄糖组成,而冷水提取物中的多糖则主要由甘露糖组成,单糖主要是葡萄糖、甘露糖和半乳糖。何书英等(1994)用热提法获得的山药多糖 RP 由带分枝的 1,4-连接的吡喃葡萄糖苷骨架构成,同

时含有少量 1,3-连接的岩藻糖。杭悦宇等(1992)用气相色谱测定了 4 种山药类多糖的糖基摩尔比,证明薯蓣多糖中的单糖以甘露糖为主,而山薯、参薯和褐苞薯蓣等多糖中的单糖则以半乳糖为主。徐琴等(2006)从淮山药中提取的粗多糖 RP 的单糖组成是葡萄糖、D-甘露糖、D-半乳糖,摩尔比为 1 : 1.04 : 0.84。王刚等(2007)采用 HPLC 法从山药中得到两个均一多糖,相对分子质量分别为 62 000 和 7300,山药总多糖含量为 $164.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2.2 蛋白质和氨基酸

山药中含有较丰富的蛋白质,但不同品种之间有很大差别。Martin 和 Thompson (1971)测定的山药粗蛋白平均含量为 $81.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,唐世蓉和庞内浩(1987)测定的山药蛋白质含量为 $89.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,王飞等(2005)测定的新鲜淮山药含粗蛋白含量为 $35.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,贾士奇等(1991)测定的河南武陟铁棍山药蛋白质含量为 $104.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,倪少云和宋学华(2002)报道浙江江山市二十八都镇山药的蛋白质含量为 $92.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。山药中还含有一种与蛋白质有关的特殊物质——黏液质(mucilage)。1928 年 Takahashi 首次发表了山药黏液质的论文,认为黏液质是由蛋白质和甘露聚糖组成;1967 年 Satoh 的研究表明,扁平型山药的黏液质是甘露聚糖、蛋白质和植酸的复合物;1981 年 Tomda 等对长型山药中黏液质的研究也表明它是甘露聚糖和蛋白质的复合物(王巧兰,2004)。张兵和谢九皋(1996)对湖北利川长型山药黏液质的组成进行了研究,结果表明黏液质含总糖(甘露聚糖) $214 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,含氮 $93.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,含蛋白质 $582.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,并且含有 17 种氨基酸,其含量为 $452.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

氨基酸是蛋白质的基本结构单元。山药中普遍含有多种氨基酸。唐世蓉和庞内浩(1987)的研究表明,山药中氨基酸种类在 17 种以上,游离氨基酸以丝氨酸、精氨酸含量为最高。陈艳和姚成(2004a)的研究表明,怀山药中含有苏氨酸、甲硫氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸和赖氨酸等 17 种氨基酸,氨基酸总量为 $72.56 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中人体必需氨基酸(亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、苯丙氨酸、色氨酸、苏氨酸、赖氨酸和组氨酸)的含量占氨基酸总量的 25.32%。廖朝晖等(2003)的研究表明,山药富含 18 种氨基酸,且人体必需的氨基酸齐全,其中谷氨酸含量最高($3.02 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。杭悦宇等(1988)报道,山药中含有多种水解氨基酸,其中谷氨酸含量最高,其次是天冬氨酸和精氨酸;怀山药的氨基酸含量高于其他山药种类。日本学者 Tono(1968)对中国山药进行水解氨基酸分析,发现山药中含有大量的天冬氨酸和谷氨酸。张丽梅等(2008)采用盐酸水解法分析了福建省建阳山药 7 个品种的氨基酸含量及其组成,表明山药氨基酸总量越高,人体必需的氨基酸和鲜味氨基酸含量亦越高;氨基酸总量平均为 $49.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,必需氨基酸和鲜味氨基酸平均含量分别为 $15.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $25.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。黄明霞(2008)研究表明,山东菏泽鸡皮山药含有 19 种氨基酸,总量达 $192.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中人体必需氨基酸总量为 $67.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,占氨基酸总量的 35.18%。由此可见,山药含有较丰富的蛋白质和较多种类的氨基酸,具有很高的营养价值。

1.2.3 淀粉

山药中含有大量淀粉。Wang 等(2006)研究发现,不同山药中直链淀粉含量变化区

间为 $207.4 \sim 258.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。贾士奇等(1991)研究了不同产地的铁棍山药、太谷山药、山薯、褐苞薯和参薯等的淀粉含量,分别为 $224.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $224.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $261.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $255.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $284.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。据周玥等(2011)报道,铁棍山药和湖南普通山药的淀粉含量分别为 $152.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $65.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。Wang 等(2006)从怀山药中分离出了两种淀粉,其颗粒呈球形和椭圆形,平均分子直径分别是 $40.3 \mu\text{m}$ 和 $38.7 \mu\text{m}$;X 射线衍射表明,山药淀粉的晶体结构为 A-型和 B-型共存的混合晶型。Wang 等(2008)的进一步研究表明,山药淀粉的非结晶区域位于颗粒内部,结晶区域位于外部。

部分学者对山药淀粉的提取方法开展了研究(Huang et al., 2006; Daiuto et al., 2005)。Daiuto 等(2005)的研究发现,用比碱法、乙醇法及果胶酶法提取淀粉的回收率分别为 70.77%、89.74%和 75.28%,以乙醇法的提取效率最高。

1.2.4 矿质元素

很多学者对山药中的矿质元素种类和含量进行了大量研究,发现山药含有丰富的常量元素和微量元素。杭悦宇等(1992)用 ICP-AES 法测定了山药中的 29 种元素,发现 P 含量最高,Fe、Zn、Cu、Co 和 Cr 等的含量也较高。张兵和谢九皋(1996)对湖北利川山药的测定结果表明,山药含有 K、Na、Ca、Mg、Fe、Cu、Mn 和 Zn 等多种矿物质元素。廖朝晖等(2003)的分析表明,山药含有丰富的微量元素(如 Zn、Cu 和 Se 等)和常量元素(如 Ca、Mg、Fe 和 Mn)。陈艳和姚成(2004b)测定了淮山药 18 种元素的含量,其中以 K 的含量最高,其次为 P、Na、Mg 和 Ca 等。张重义和谢彩霞(2003)分别对怀山药和土壤样品进行了微量元素测定,发现不同产地的山药对无机元素的富集能力存在差异。怀山药中 Cu 和 Ca 含量最高,对 P、Sr、Zn、Cu、K 和 Na 的富集能力均大于非地道产区的山药。刘晓颖等(2007)认为,山药中 Na、K、Mg、Ca 和 Zn 的含量非常丰富,Cu、Mn 和 Fe 的含量较为丰富。周新勇等(2010)对紫参薯和铁棍山药中 9 种矿质元素的含量进行了测定,发现铁棍山药中的 Fe、K、Ca、Mg、P 和 Cu 的含量较高,而紫参薯中 Se、Mn 和 Zn 等元素的含量较高。

1.2.5 脂肪和脂肪酸

山药中含有一定数量的脂肪和脂肪酸。全国山药脂肪含量的代表值为 $1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (杨月欣等,2002)。周玥等(2011)研究发现,铁棍山药中含粗脂肪约 $5.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,略高于普通山药粗脂肪的含量($5.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。周新勇等(2010)研究发现,怀山药的脂肪含量为 $1.1 \sim 2.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,与参薯的脂肪含量($1.3 \sim 1.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)基本相当。王勇等(2008)分离鉴定了河南怀山药脂肪酸的成分,结果表明怀山药含有较多的对人体有益的不饱和脂肪酸和奇数碳脂肪酸。他们共从怀山药中检出 27 种脂肪酸,其中饱和脂肪酸 18 种,占脂肪酸总量的 51%;不饱和脂肪酸 9 种,占脂肪酸总量的 49%。饱和脂肪酸的主要成分是十六酸,其中奇数脂肪酸 8 种;不饱和脂肪酸主要是亚油酸、油酸和亚麻酸。

1.2.6 尿囊素

尿囊素(allantoin)是咪唑类杂环化合物(1-脲基间二氮杂戊烷-2,4-二酮),具有多种

生物活性。Fu 等(2006)研究表明,山药皮中富含尿囊素及尿囊酸,台湾基隆山药的尿囊素平均含量为 $3.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,尿囊酸平均含量为 $11.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;花莲三号山药尿囊素平均含量为 $0.28 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,尿囊酸平均含量为 $7.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。白雁(2003)的研究表明,不同产地山药的尿囊素含量不同,以山东济宁山药的尿囊素含量为最高,可达 $6.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。王海波和蔡宝昌(2004)的研究表明,河南武陟县山药的尿囊素含量较高达 $7.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。日本学者岩越淳(1986)发现,中国山药尿囊素的含量为 $0.7 \sim 3.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。Kazuhiko (1990)也用高效液相色谱法定量测定了山药及其蜜丸中的尿囊素含量。徐琴(2006)测定了苏北淮山药和铁棍山药尿囊素含量,分别为 $11.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $18.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。丁志遵和秦慧贞(1995)研究表明,怀山药、广西淮山药和广东淮山药的尿囊素含量分别为 $3.93 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $3.82 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $3.81 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。宋爱新(2002)对河南怀山药的尿囊素测定表明,其含量变化范围为 $4.8 \sim 5.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2.7 山药皂苷元

薯蓣属植物中的皂苷元是生产和合成各类甾体类药物的初始原料,生产的医药产品多达上千个(如避孕药物、皮肤病类药物、性激素类药物等)。目前我国只有根状茎组中的 17 个种、1 个亚种及 2 个变种中含有甾体皂苷元,占全世界含有薯蓣皂苷配基植物的 50% 以上。其中,鲜质皂苷元含量大于 $4.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的薯蓣类植物有 10 种,主要是盾叶薯蓣 (*D. zingiberensis* C. H. Wright)、穿龙薯蓣 (*D. nipponica* Makino)、黄山药 (*D. panthaica* Prain et Burk)等;小于 $4.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的有 8 种(唐世蓉,1985;陈新荣等,2007)。薯蓣种 (*D. opposita*) 的皂苷元含量一般较少。据王绍美和吴秀章(2001)及黄明霞(2008)研究,贵州安顺怀山药和山东菏泽鸡皮山药的皂苷元含量为 $0.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。宋爱新(2002)对河南怀山药的测定表明,其皂苷元含量很低,估计在 $0.05 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下。

1.2.8 其他成分

牛建平等(2007)利用 GC-MS 技术对怀山药中的有机成分进行了鉴定,共提取分离出 74 种化合物,并鉴定出其中 41 种有机成分,主要是脂肪酸类、甾醇类、酯类和维生素 E 等,其中含量最高的是甾醇类化合物(占 45%)。白冰等(2008)首次从薯蓣植物中分离出腺苷,并认为腺苷可以作为怀山药产品质量优劣的重要指标。一些学者对不同山药品种的 α -淀粉酶、 β -淀粉酶和多酚氧化酶进行过测定。例如,王绍美和吴秀章(2001)发现,安顺怀山药中上述三种酶的含量分别为 $2.1[\text{麦芽糖} \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}]$ 、 $12.34[\text{麦芽糖} \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}]$ 和 $56.84[\text{氧化维生素 C 分子数} \mu\text{g} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}]$;黄明霞(2008)发现,菏泽鸡皮山药中上述三种酶的含量分别为 $0.412[\text{麦芽糖} \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}]$ 、 $2.2544[\text{麦芽糖} \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}]$ 和 $48.17[\text{氧化维生素 C 分子数} \mu\text{g} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}]$ 。王绍美和吴秀章(2001)和黄明霞(2008)还对山药中的胆碱含量进行过测定,发现安顺怀山药和菏泽鸡皮山药胆碱含量分别为 $80.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $76.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。可见,不同山药品种之间的酶含量差别较大,但其胆碱含量基本一致。此外,山药中还含有各类维生素。按照《中国食物成分表》(杨月欣等,2002),中国鲜质山药维生素 A、胡萝卜素、硫胺素、核黄素、尼克酸、维生素 C 和维生素 E 的代表值分别为 $30 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $200 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、

0.2 mg · kg⁻¹、3 mg · kg⁻¹、50 mg · kg⁻¹和 2.4 mg · kg⁻¹。

1.3 山药经济价值

1.3.1 药用价值

山药之所以称为“药”是因为它具有药用价值。东汉时期的《神农本草经》中将山药列为药中的上品,具有除寒邪热、补中益气、长肌肉之功效,久服能耳目聪明、延年益寿(尚志钧和尚元藕,2009)。自明清以来,河南焦作温县附近(当时隶属怀庆府管辖)的“怀庆山药”(简称怀山药)被誉为“怀参”,已成为道地药材(姜芳婷等,2004)。怀山药不仅是常用中药,同样也是不可或缺的保健食品,具有健脾、补肺、固肾等功效,主治脾虚泄泻、久痢、虚劳咳嗽、消渴等症。李时珍指出“山药益肾气,健脾胃。”明代张介宾所撰《本草正》亦载“山药,能健脾补虚,滋精固肾,治诸虚百损,疗五劳七伤”。清代陈念祖在《本草经读》中记载“山药,能补肾填精,精足则阴强、目明、耳聪。凡上品之药,法宜久服,多则终身,少则数年,与五谷之养人相佐,以臻寿考”。明代贾所学在《药品化义》中认为,山药具有“补中益气,温养肌肉”等作用(胡献国,2001)。据近代科学研究,山药有调节或增强免疫功能、抗衰老、抗氧化、降血糖、降血脂、抗肿瘤、抗突变、调整肠胃功能等作用(赵彦青和王爱凤,2000;王林丽和孟德胜,2005)。

1. 增强免疫功能

山药中的多糖是公认的生物活性成分(Tono, 1971; 阚建全等, 2001; 李明静等, 2003),其药理机制表现在多个方面,其中之一就是调节或增强人体的免疫功能。苗明三(1997)的研究表明,淮山药多糖可明显促进正常小鼠腹腔巨噬细胞吞噬功能和正常小鼠的淋巴细胞转化,也可明显促进正常小鼠溶血素和溶血空斑的形成,同时也能明显提高正常小鼠外周血 T 细胞的百分比。Zhao 等(2005b)研究表明,山药多糖可以促进胸腺依赖性淋巴细胞增殖,对免疫活性表达非常重要。赵国华等(2002b)发现,山药多糖 RDPS-I 可不同程度地促进小鼠的 T 淋巴细胞增殖能力,提高 NK 细胞和血清溶血素活性及血清 IgG 的含量,也能增强巨噬细胞的吞噬能力,从而提高小鼠的非特异性免疫、特异性细胞免疫和体液免疫功能。杭悦宇等(1992)对不同种类的薯蓣属植物(山药、山薯、褐苞薯蓣、参薯)地下块茎多糖的动物试验表明,4 种薯蓣属植物的多糖均有显著提高小鼠免疫机能的效果。

山药含有丰富的 Zn、Cu、Mn、Se 等微量元素和 Ca、Fe 等常量元素,对提高人体多种生理功能,特别是提高机体免疫力具有积极作用(廖朝晖等,2003; 张重义和谢彩霞,2003)。山药含有的这些矿质元素均是人体组织和器官的重要组成成分,维持着机体细胞渗透压与机体的酸碱平衡。例如, Ca 能预防心血管疾病的发生; Zn 和 Fe 对体内多种酶有活性作用,具有促进蛋白质和核酸合成、调节细胞免疫功能和细胞繁殖的作用(宋君柳, 2009)。