

我国油莎豆产业发展现状、潜力及对策

杨向东¹, 李子勇²

(1. 吉林省农业科学院农业生物技术研究所 / 吉林省农业生物技术重点实验室, 吉林 长春, 130033;

2. 中国食品和机械工业协会油莎豆种植加工及装备技术专业委员会, 北京, 100086)

摘要:油莎豆(*Cyperus esculentus* L.)是一种粮油饲兼用、综合利用价值较高的经济作物。其地下块茎富含油脂、淀粉、糖、蛋白质、膳食纤维等营养成分,地上茎叶可作为畜禽优质饲草。作为一种原产于沙漠地区的多用途作物,油莎豆具有适应性广、生物产量大、高附加值等特性,具有较大的开发应用潜力。我国丰富的沙地等边际土地资源为油莎豆产业发展提供了坚实的基础。目前,我国油莎豆产业基础已经形成,产业链条基本具备,发展前景广阔。本文概述了油莎豆特性与用途、研究与产业发展现状,分析了我国油莎豆产业发展潜力和存在问题,提出了产业发展对策与建议,以期为我国油莎豆产业健康快速发展提供参考。

关键词:油莎豆; 产业发展; 发展潜力; 对策建议

中图分类号: S565.9

文献标识码: A

文章编号: 1007-9084(2022)04-0712-06

Tigernut industry in China: current status of development, potential and adaptive suggestions

YANG Xiang-dong¹, LI Zi-yong²

(1. Institute of Agricultural Biotechnology, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China;

2. Tigernut Planting and Processing Machinery Committee, China Food and Packaging Machinery Industry Association, Beijing 100086, China)

Abstract: Tigernut (*Cyperus esculentus* L.) received increasing attention in recent years because of its comprehensive utilization potentials. As a new source of food, vegetative oil, feed for the consumption of humans and live-stock, it accumulates great nutrients including oil, starch, sugars, protein, dietary fibers etc. in its underground tubers. The aboveground grass could also be utilized as high-quality forage for livestock. As a multi-purpose crop originated in the desert area, tigernut has the characteristics of wide adaptability, higher biomass yield and value added chain, and shows great potential for the versatile applications in agricultural and industrial sectors. Abundant marginal land with sandy texture provides a basis for the development of tigernut industry in China. Currently, foundation of tigernut industry has been established in China, and the essentials of the industrial chain are also in place. The present paper reviewed the characteristics and utilization of tigernut as a cultivated crop in China, and analyzed its current status of research and industrial development. Potential, problems and adaptive suggestions related to the industry were also discussed.

Key words: tigernut; industrial development; development potential; adaptive suggestions

油莎豆(*Cyperus esculentus* L.)又称虎坚果、地杏仁、地下板栗、地下核桃,是一种适应性广、生物量大、附加值高,综合利用价值较大的经济作物^[1,2]。近年来,随着我国种植业结构调整的推进,以及对油莎豆油、粮、饲、药及生态价值的深入了解,油莎豆在我国种植面积迅速扩大,由2017年的2400

hm²增加到2019年的13 300 hm²(全国油莎豆产业联盟统计数据),种植区域覆盖吉林、内蒙古、新疆等20多个省份。目前,我国油莎豆产业基础已经形成,产业链条基本具备,发展前景广阔。本文对油莎豆起源与分布、特性与用途、研究与发展现状、发展潜力及存在问题进行综述,提出油莎豆产业发展

收稿日期: 2021-12-06

基金项目: 国家重点研发计划课题(2019YFC0507602)

作者简介: 杨向东(1976-),男,研究员,主要从事大豆和油莎豆生物育种研究, E-mail: xdyan020918@126.com

对策与建议,以期为我国油莎豆产业健康快速发展提供参考。

1 油莎豆起源与分布

油莎豆起源于非洲尼罗河流域和地中海沿岸地区,其栽培种植历史可追溯至公元前4000年以前^[3]。作为尼罗河流域早期驯化物种之一(晚于二粒小麦和大麦),古埃及人很早就开始栽培种植油莎豆,并作为当地居民重要的食物来源^[3-5]。公元8世纪,随着阿拉伯帝国在欧洲的侵略扩张,油莎豆被北非摩尔人带至西班牙,随后逐渐传入南欧各国^[1,3,6]。19世纪中叶,油莎豆被引入美国南部各州及智利、巴西等南美国家,并作为饲料加以利用^[2,7,8]。前苏联于1932年引入油莎豆并进行试种,首次证明油莎豆是北温带地区的一种高产油料作物^[9]。目前,油莎豆在非洲、欧洲、亚洲、北美洲和拉丁美洲的热带、亚热带及温带地区均有广泛分布^[2,6]。需要指出的是,目前已发现油莎豆存在5个不同的变种,包括4个野生变种(*C. esculentus* var. *esculentus*, var. *heermannii* (Buckley) Britton, var. *leptostachyus* Boeckeler 和 var. *macrostachyus* Boeckeler)和栽培变种(var. *sativus* Boeckeler)^[3]。这些油莎豆类型在形态上较为相近,但地理起源与分布特征存在差异^[3,10]。由于不同类型油莎豆形态上较为相近,在农业生产中不易识别,因此,在许多国家栽培型油莎豆通常被认为是恶性杂草^[6],这可能是油莎豆未被人类广泛利用的重要原因之一。如未特别指明,本文涉及的油莎豆主要指栽培型油莎豆。

2 油莎豆特性与用途

分类学上油莎豆属于莎草科(Cyperaceae)莎草属(*Cyperus* Linn.)多年生植物,在农业生产中则主要作为一年栽培作物。油莎豆地上部形态与早熟禾科植物中的禾草相类似,叶片狭长,叶鞘不封闭,没有严格意义上的地上茎。地下块茎与薯类作物类似,由根状茎顶端膨大形成,其分布范围约在地下15~20 cm土层。地下茎可产生萌蘖并形成完整的植株,每株油莎豆可以产生35~80个萌蘖苗。块茎形状和大小类似于花生^[3],其形状主要有圆形、肾型和长粒型3种;颜色主要有黄色、棕色、红色和黑色4种类型,其中黑色油莎豆主要分布在加纳和喀麦隆,而红色油莎豆则主要分布在喀麦隆^[1,6]。国外有报道表明,油莎豆为异花授粉作物,可开花结实,且主要通过地下块茎和种子进行繁殖^[3,11]。但国内引进的油莎豆资源在田间一般不开花或不结实,主

要以块茎繁殖为主。我们前期的研究表明,油莎豆很可能为三倍体,这可能是造成其无法开花结实的重要原因。

作为一种原产于沙漠干旱地区的植物,油莎豆根系发达,萌蘖能力强,生长迅速,抗逆性(干旱、盐碱、湿涝)强、耐瘠薄,在沙滩、丘陵及沙漠边缘地区均可广泛种植。但不同土壤类型对油莎豆块茎大小和产量具有显著影响^[6]。研究表明,沙质土壤利于油莎豆根系生长及地下块茎的形成和发育,其块茎大小和产量均显著高于其它类型土壤^[12];同时,砂质土壤也便于后期机械采收。油莎豆生育期一般为70~150 d,其生长季长短因气候和土壤条件而异^[6]。在吉林地区生育期一般为120~130 d,在新疆等地区可达到150 d左右,而在海南生育期仅为70 d左右。由于油莎豆地下茎可以不断产生新的萌蘖,一般说来,较长的生长季可以促进块茎的发育和营养物质积累。前期研究表明,油莎豆块茎鲜重产量在吉林地区为12 000~15 000 kg/hm²,而在湖北等地区则可以达到22 500 kg/hm²,含油量可达30%以上。

油莎豆块茎营养物质兼具薯类和坚果类作物特性,富含淀粉(25%~40%)、油脂(20%~30%)、糖类(15%~20%)和蛋白质(5%~10%)等营养物质^[2,13]。油莎豆也是目前唯一已知在地下营养器官中大量积累油脂的作物^[1,14]。据测算,每公顷油莎豆可产出1200~1800 kg油脂,其单位面积油脂产量是大豆的4倍,油菜的2倍,花生的1.5倍,仅次于木本油料作物——油棕^[1,15]。油莎豆油中不饱和脂肪酸含量达85%以上(其中油酸含量约为70%),油脂品质可与橄榄油和榛子油相媲美^[16,17]。油莎豆淀粉含量接近于水稻和木薯^[18]。块茎中丰富的糖类物质赋予油莎豆类似核桃或杏仁的风味^[18]。与其它坚果类植物相比,油莎豆蛋白含量较低^[2],其蛋白质成分主要为清蛋白(80%~95%)。蛋白中含有17种主要的人体必需氨基酸成分^[17]。另外,油莎豆还含有丰富的膳食纤维(8%~10%)、维生素C和E(8~14 mg·100g⁻¹),以及矿物质(钾、磷、钠、钙、镁)等^[1,2,17,19]。甾醇、生物碱、皂苷、丹宁、黄酮和萜类化合物等其它生物活性物质含量,也较为丰富^[1,2]。此外,油莎豆地上茎叶具有较高的饲用价值,其脂肪含量7.6%~8.9%,蛋白含量9.8%,糖10.6%,粗纤维19.3%,可作为畜禽的优质饲料^[1]。

油莎豆集粮、油、饲用和生态价值为一体,具有较高的综合利用价值。按单产为15 000 kg/hm²计算,每公顷可产出1500 kg油脂,2250 kg淀粉、1200

kg糖;另外还产出11 250~15 000 kg的鲜草。油莎豆可直接生食或炒食,或用来榨油、制作面粉、制糖酿酒,也可加工豆奶、饮料、糕点等产品或食品添加剂^[1,2]。油莎豆中丰富的次生代谢产物赋予油莎豆较高的药用价值,如促进血液循环、预防心血管疾病、降低胆固醇、阻止细胞退化和衰老、抑制肿瘤等功能^[1,2,20,21]。对糖尿病、心血管疾病及肥胖症患者具有较好的营养保健作用^[2,22]。油莎豆也被国外认为是21世纪的超级食品或上帝的休闲食品^[5]。油莎豆加工副产品如饼粕、酒糟、糖渣等可用做畜禽饲料,地上茎叶可用作绿肥和饲草。在尼日利亚、喀麦隆、加纳等非洲国家,油莎豆主要是直接食用或是代替扁桃仁和杏仁制作各种糖果和点心^[19,23]。西班牙等欧洲国家主要利用油莎豆生产一种不含酒精的饮料—欧洽塔(horchata de chufa)、幼儿奶粉、冰淇淋、糕点和老年保健食品^[1,24]。美国、巴西和智利等国家则利用油莎豆生产畜禽饲料^[2]。我国目前主要利用油莎豆榨油和酿酒,加工豆奶、豆粉、糕点等产品,或直接作为畜禽饲料。此外,作为沙漠原生植物,油莎豆根系发达、萌蘖力强、生长迅速,具有天然的防风固沙作用^[25],可以作为一种脆弱生态系统生物修复先导植物加以利用。

3 油莎豆研究与产业发展现状

油莎豆是人类较早开始驯化利用的植物,但长期以来却没有受到广泛重视,一个重要原因是在许多国家油莎豆一直被认为是一种杂草。国外相关的研究也主要集中在油莎豆形态特征、发育特点、生长习性、营养成分、栽培种植等方面^[2,12,14,17,18]。随着对人类对油莎豆特性及其营养价值认识的逐步深入,油莎作为一种新的粮、油、饲料源作物日益受到人们关注。目前国际上种植油莎豆的国家主要包括尼日利亚、马里、塞内加尔、加纳、多哥、象牙海岸等非洲国家,以及西班牙、美国、智利、巴西等欧美和拉丁美洲国家。其中,位于南欧地区的西班牙种植面积最大,仅在瓦伦西亚地区,油莎豆的种植面积就达2450 hm²,年生产油莎豆约9000吨,产值达到6000万欧元,已发展成为该地区的代表性作物和农业支柱产业^[6]。另外,作为加工原料,该地每年还从非洲等国家进口油莎豆2300吨^[2,6]。在美国及部分南美洲国家,油莎豆也有一定的种植面积,但其主要用途是作为畜禽饲料,少部分用来生产饮料^[2]。

20世纪50、60年代,我国从前苏联、保加利亚和朝鲜陆续引进油莎豆资源,并在北京等地进行试

种^[1]。由于人工收获困难以及市场接受度低等问题,油莎豆产业并没有得到大力推广和发展。进入21世纪,随着对油莎豆的油、粮、饲用价值的深入了解,以及油莎豆收获、加工设备和技术的逐步提高,我国油莎豆产业开始进入恢复性增长阶段。农业农村部分别于2015年和2016年连续发文,提出《关于“镰刀弯”地区玉米结构调整的指导意见》和《全国种植业结构调整规划(2016–2020年)》意见,建议在适宜地区示范推广种植油莎豆,以调整种植结构和增加新的食用油来源^[1,15]。此后,我国油莎豆种植面积和产量逐年增加。据中国油莎豆产业联盟不完全统计,2017年全国油莎豆种植面积约2400 hm²,2018年增加至6670 hm²,2019年种植面积增加至13 300 hm²左右,总产量达到10万吨。种植区域也由零散种植发展到覆盖吉林、内蒙古、新疆、湖北、河北、河南等20多个省份,油莎豆产业发展已初具规模。2019年,油莎豆被列入国家重点研发计划,主要开展油莎豆产业化和防风固沙关键技术研发与示范。油莎豆的经济、产业和生态价值也得到地方政府、大型企业及资本行业的日益关注。部分省份相关部门陆续制定了油莎豆产业发展的相关扶持政策,有力调动了油莎豆从业者的积极性,我国油莎豆产业也迎来重大发展机遇期。

在国家和地方政府的支持下,我国在油莎豆种质资源收集、育种、栽培、机械及加工技术领域取得重要进展。目前国内油莎豆相关科研机构收集的油莎豆资源约60余份,选育和认定的油莎豆新品种有4个,包括由中国农业科学院油料作物研究所选育的中油莎1号、2号,吉林省农业科学院选育的吉莎1号、吉莎11。研发了适宜不同生态区的油莎豆种植方法,如吉林和黑龙江地区单垄单行、窄行密植、大垄双行种植模式等。油莎豆保苗技术、水肥管理、杂草防控、采收技术等研究正在顺利推进,油莎豆专用除草剂、栽培方法等已申报国家专利或地方标准。油莎豆机械研发方面,由国内相关企业自主研发的牵引式或自走式油莎豆收获机已广泛应用,大型机械作业效率达到2~3.3 hm²/d,收净率提高至95%以上。最近,新一代携带卫星定位和红外线操控系统的无人驾驶油莎豆收获机械已研发成功,其作业效率达到5~6 hm²/d。另外,油莎豆播种机、割草机、抛光机、比重色选机、卧式低温烘干机等作业机械均已研发成功并投入应用。初步建立了以机械化为核心的油莎豆生产技术体系^[15]。我国油莎豆产业基础已经形成,产业链条基本具备,发

展前景广阔。

4 油莎豆产业发展潜力分析

我国沙质土地资源丰富,生态类型多样。据统计,我国现有荒漠化、沙化和有明显沙化趋势的土地总计 $4.6 \times 10^8 \text{ hm}^2$ (第五次全国荒漠化和沙化监测数据)。利用沙地种植常规主要作物生产率较低,且严重消耗地下水资源。作为一种生命力顽强、适应性广、耗水量少,抗旱耐瘠薄的沙生植物,油莎豆非常适宜在这些沙质土地中种植。在不挤占现有粮食生产面积情况下,充分利用我国“镰刀弯”、“漏斗区”等沙化耕地,以及东北和西北沙化边缘土地资源,可发展种植油莎豆至少 $6.67 \times 10^6 \text{ hm}^2$,其中,仅吉林省可利用的沙化土地面积就达 $8 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。丰富的沙地资源为我国大力发展油莎豆产业提供了坚实的基础。根据国家粮油信息中心统计数据,2017–2020年我国食用油自给率仅为31%左右。按种植 $6.67 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 油莎豆计算,每年可新增食用油供给1000万吨,约占我国食用油消费量的 $1/3^{[15]}$ 。同时还可产出约1500万吨淀粉和250万吨蛋白,对于我国畜牧业蛋白饲料需求也是一个巨大的补充(尚未计算地上部饲草产量)。

目前我国从事油莎豆品种培育、种植、机械或加工研发的科研机构约20余家,包括中国农业科学院、中国农业大学、中国农业机械研究院、中国科学院、河南农业科学院、内蒙古农牧业科学院、吉林省农业科学院、河南工业大学等。从事油莎豆种植、加工和经营的企业约20多家,包括吉林好易收农业科技有限公司、湖北泽惠丰科技产业有限公司、北京鑫科创油莎豆科技有限公司、北京中农霞光科技有限公司、河北南宫油莎豆产业发展有限公司等。中油莎1号、吉莎1号等系列油莎豆品种通过认定,初步解决了我国油莎豆产业中品种匮乏的问题。作为油莎豆生产体系的核心—油莎豆收获机械研发的成功为油莎豆产业顺利发展注入强大动力。吉林好易收农业科技有限公司研发的第6代自走式大型收获机已进入实际应用。山东济宁沃克机械制造有限公司研发的无人驾驶油莎豆收获机械获得成功,其作业效率较常规收获机械提高2~3倍。适应不同作业区域的系列中、小型收获机械也已陆续研发成功。油莎豆加工技术和工艺研发顺利推进,部分工艺或产品已形成标准,系列油莎豆产品如食用油、酒、豆粉、豆奶等已在市场上销售。目前,围绕油莎豆产业链的关键技术正在逐步解决,

产业链条已初步形成,我国油莎豆产业有望迎来蓬勃发展期。

综上,利用我国丰富的沙地资源发展油莎豆产业,对于提高我国食用油自给率,满足畜牧业饲料(饼粕和饲草)需求,保障国家粮、油、饲安全具有重要的意义。对于东北和西北沙化边缘土地,发展油莎豆产业,也为扩大我国沙漠治理产业化面积,促进生态经济可持续发展,保障国家18亿亩耕地红线起到战略储备作用。作为一种集粮、油、饲、药及生态价值于一体的多用途作物,利用东北和西北沙化边缘土地发展油莎豆循环生态产业,将有力推动农村农业发展,巩固脱贫攻坚成果,助力乡村振兴战略实施。

5 油莎豆产业发展存在的问题

目前我国油莎豆产业还存在许多亟待解决的关键问题,如种质资源匮乏,专用品种缺乏,栽培技术不规范,收获机械、烘干和仓储设备效率较低,产品深加工滞后,市场开发不足,公众对油莎豆认知度不高等问题,严重制约了我国油莎豆产业的快速发展。

5.1 品种缺乏、栽培技术不规范

优良品种是油莎豆产业发展的芯片。目前国内油莎豆资源极度匮乏,品种退化和混杂现象严重,严重影响产量和品质。品种选育主要通过物理诱变或化学诱变,育种手段单一。缺乏适宜不同生态区(如黄河流域、东北和西北沙化土地),或不同用途(食用、榨油、饲用等)的专用油莎豆品种。油莎豆栽培技术不规范,对抗旱保苗、杂草防控、水肥和化控管理等丰产栽培技术尚缺乏系统性研究。

5.2 收获机械、烘干和仓储设备效率较低

机械化收获是实现油莎豆规模化种植的核心。尽管目前已研发出系列大、中型油莎豆收获机,但随着油莎豆种植规模的扩大,一台大型收获机械至少需要满足 $150 \sim 200 \text{ hm}^2$ 油莎豆的收获,才能适应产业发展需要。现有收获机械作业效率、收净率、故障率仍需进一步改进。对于东北、内蒙古等地区,由于霜冻出现较早,现有烘干设备如烘干塔、卧式烘干设备效率仍然较低,油莎豆低温仓储设施缺乏,仓储成本较高。目前,油莎豆收获、烘干等设备尚未列入国家农机补贴目录,一般小型油莎豆种植企业或种植大户难以承受。

5.3 产品深加工滞后,市场开发不足

产品深加工对延长油莎豆产业链,拉动油莎豆

产业发展至关重要。目前国内油莎豆产品深加工技术、加工设备较为缺乏。传统压榨设备和工艺出油率较低,油莎豆油脂精炼工艺和装备匮乏。制糖、制粉、饲料利用等产业链延伸产品深加工技术与装备亟须研发配套。油莎豆有效功能成分提取工艺滞后,加工产品仍处于产业链中低端,且没有形成行业标准。多数消费者对油莎豆及其产品认知度不高,产品销售困难,市场开发严重不足。

6 对策与建议

目前我国油莎豆产业基础研究薄弱、市场培育不足,产业发展整体呈现小、散、弱的问题。充分发挥政、产、学、研各市场主体的作用,形成产业链合力,对于实现我国油莎豆产业健康快速发展具有重要的现实意义。

6.1 加强顶层设计,合理规划

针对目前我国油莎豆产业发展现状,应加强顶层设计、合理规划,疏通产业发展堵点。针对适宜油莎豆产业发展的生态区,支持建立品种繁育基地、机械研发基地、产品深加工基地、循环经济园区等,以点带面,重点突破。设立重大科技攻关项目或将油莎豆纳入国家现代农业产业技术体系,对产业发展中的关键技术进行重点攻关。通过税费减免、贷款贴息等措施扶持企业主体,并吸引社会和金融资本的参与。支持大型种企和加工企业介入油莎豆产业,通过并购重组,培育油莎豆产业龙头。对油莎豆种植、良种、农机进行补贴,增强企业、专业合作社和农牧民种植油莎豆的积极性。依托中国油莎豆产业联盟及各种信息平台,加强油莎豆宣传和教育培训,提高从业人员科技水平及公众对油莎豆及其产品的认识。

6.2 聚焦产业关键核心,提升产业创新能力

围绕产业发展中的“卡脖子”关键技术问题,加强适宜不同生态类型和不同用途的油莎豆品种培育。因地制宜建立油莎豆良种繁育基地,提高优良品种供给能力。依托“一带一路”建设,加强非洲国家油莎豆资源引进与利用,创新育种方法。加大播种、收获、烘干机械研发,提升作业效率。加快深加工技术、工艺和设备研发以及油莎豆产品相关标准的制定。加大高附加值产品开发力度,延伸产业链。

6.3 加强市场导向,做好市场培育

油莎豆作为营养保健的有机食品,适于老年人、小孩以及糖尿病、心血管疾病和肥胖症者食用。

建议加强加工产品开发利用,打造特色品牌,培育适应不同区域的特产产业,提高油莎豆产业市场化水平。利用电商、新媒体工具,加强产品宣传与销售,让更多消费者认识和使用油莎豆产品,培育和壮大油莎豆市场。

6.4 发展油莎豆生态循环产业,实现“三生共赢”

东北和西北沙化地区是发展油莎豆产业的优势区域,该地区风蚀沙化严重,生态脆弱、土地承载力低,适宜建立以油莎豆为核心的“种-养-加-销”及生态保护为一体的生态循环产业。油莎豆地下块茎可以榨油、酿酒制糖及加工产品,饼粕和地上部茎叶可用作畜禽饲料,植株残体、加工副产品等可作为肥料培肥地力,茎叶也可加工成可降解地膜,减蒸保墒,减少地表水土流失。建立以油莎豆为核心的生态循环经济模式,将有助于发展特色优势产业,推动生态治理的可持续发展,从而实现生态治理、生态产业、生态富民“三生共赢”。

参考文献:

- [1] 阳振乐. 油莎豆的特性及其研究进展[J]. 北方园艺, 2017(17): 192-201. DOI: 10.11937/bfy.20170541.
- [2] Sánchez-Zapata E, Fernández-López J, Angel Pérez-Alvarez J. Tiger nut (*Cyperus esculentus*) commercialization: health aspects, composition, properties, and food applications[J]. Compr Rev Food Sci Food Saf, 2012, 11(4): 366-377. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2012.00190.x.
- [3] de Castro O, Gargiulo R, del Guacchio E, et al. A molecular survey concerning the origin of *Cyperus esculentus* (Cyperaceae, Poales): two sides of the same coin (weed vs. crop)[J]. Ann Bot, 2015, 115(5): 733-745. DOI: 10.1093/aob/mcv001.
- [4] Zohari D. The origin and early spread of agriculture in the old world[J]. Dev Agric Manag For Ecol, 1986, 16: 3-20. DOI: 10.1016/B978-0-444-42703-8.50006-3.
- [5] Defelice M S. Yellow nutsedge *Cyperus esculentus* L. - Snack food of the gods[J]. Weed Technology, 2002, 16(4): 901-907.
- [6] Pascual B, Maroto J V, López-Galarza S, et al. Chufa (*Cyperus esculentus* L. var. *sativus* boeck.): an unconventional crop. studies related to applications and cultivation [J]. Econ Bot, 2000, 54(4): 439-448. DOI: 10.1007/BF02866543.
- [7] Ormeño-Núñez J, Pino-Rojas G, Garfe-Vergara F. Inhibition of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) and bermudagrass (*Cynodon dactylon* (L.) pers) by a mulch derived from rye (*Secale cereale* L.) in grapevines [J]. Chilean J Agric Res, 2008, 68(3): 238-247. DOI:

- 10.4067/s0718-58392008000300003.
- [8] Matos F D, Cavalcanti F S, Parente J. Qualitative and quantitative agronomic study of *Cyperus esculentus* L. (earth almond) – an unexplored source of energetic food [J]. Revista Ciencia Agronomica, 2008, 39 (1) : 124–129.
- [9] 周多俊, 廖馥荪. 油莎草的引种栽培及其在园林绿化中的应用[J]. 园艺学报, 1964(1): 83–94, 117.
- [10] Schippers P, Bos B J J. A revision of the infraspecific taxonomy of *Cyperus esculentus* (yellow nutsedge) with an experimentally evaluated character set [J]. Syst Bot, 1995, 20(4): 461–481.
- [11] Schippers P, Ter Borg S J, Van Groenendael J M, et al. What makes *Cyperus esculentus* (yellow nutsedge) an invasive species? A spatial model approach[C]//Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference, 1993, 2: 495–504.
- [12] Pascual B, Maroto J V. Influencia de la textura en la cantidad y calidad de los tubérculos de las chufas (*Cyperus esculentus* L.) [J]. Agricultura, 1981, 592: 873–875.
- [13] Bado S, Bazongo P, Son G, et al. Physicochemical characteristics and composition of three morphotypes of *Cyperus esculentus* tubers and tuber oils [J]. J Anal Methods Chem, 2015, 2015: 673547. DOI: 10.1155/2015/673547.
- [14] Turesson H, Marttila S, Gustavsson K E, et al. Characterization of oil and starch accumulation in tubers of *Cyperus esculentus* var. sativus (Cyperaceae): a novel model system to study oil reserves in nonseed tissues [J]. Am J Bot, 2010, 97 (11) : 1884–1893. DOI: 10.3732/ajb.1000200.
- [15] 张学昆. 我国油莎豆产业研发进展报告[J]. 中国农村科技, 2019 (4) : 67–69. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9768.2019.04.022.
- [16] Dubois V, Breton S, Linder M, et al. Fatty acid profiles of 80 vegetable oils with regard to their nutritional potential [J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2007, 109(7) : 710–732. DOI: 10.1002/ejlt.200700040.
- [17] Arafat S M, Gaafar A M, Basuny A M, et al. Chufa tubers (*Cyperus esculentus* L.): as a new source of food [J]. World Appl Sci J, 2009, 7(2): 151–156.
- [18] Manek R V, Builders P F, Kolling W M, et al. Physicochemical and binder properties of starch obtained from *Cyperus esculentus* [J]. AAPS PharmSciTech, 2012, 13 (2): 379–388. DOI: 10.1208/s12249-012-9761-z.
- [19] Maduka N, Ire F S. Tigernut plant and useful application of tigernut tubers (*Cyperus esculentus*) – A review [J]. Curr J Appl Sci Technol, 2018, 29(3): 1–23.
- [20] Chukwuma E R, Obioma N, Christophe O I. The phytochemical composition and some biochemical effects of Nigerian tigernut (*Cyperus esculentus* L.) tuber [J]. Pakistan J Nutrition, 2010, 9(7): 709–715. DOI: 10.3923/pjn.2010.709.715.
- [21] Adejuyitan, Otunola, Ak E, et al. Some physicochemical properties of flour obtained from fermentation of tigernut (*Cyperus esculentus*) sourced from a market in Ogbomoso, Nigeria [J]. Afr J Food Sci, 2009, 3: 51–55.
- [22] Borges O, Gonçalves B, de Carvalho J L S, et al. Nutritional quality of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) cultivars from Portugal [J]. Food Chem, 2008, 106 (3) : 976–984.
- [23] Omode A A, Fatoki O S, Olaogun K A. Physicochemical properties of some underexploited and nonconventional oilseeds [J]. J Agric Food Chem, 1995, 43(11): 2850–2853. DOI: 10.1021/jf00059a015.
- [24] Cantalejo M J. Analysis of volatile components derived from raw and roasted earth-almond (*Cyperus esculentus* L.) [J]. J Agric Food Chem, 1997, 45(5): 1853–1860. DOI: 10.1021/jf960467m.
- [25] 瞿萍梅, 程治英, 龙春林, 等. 生物柴油植物“油莎豆”的发展前景 [J]. 可再生能源, 2008, 26(1): 106–109. DOI: 10.3969/j.issn.1671-5292.2008.01.028.

(责任编辑:胡志勇)