

doi:10.11937/bfyy.20170541

油莎豆的特性及其研究进展

阳 振 乐

(中国科学院 植物研究所, 资源植物重点实验室, 北京 100093)

摘 要:油莎豆是目前已知唯一在块茎器官中积累大量油脂的特种经济作物。油莎豆可生吃或熟吃,也可打浆做成豆奶,还可以磨粉用作食用面粉。油莎豆可用来榨油、制糖和酿酒,而剩渣可用来做饲料。茎叶除可作绿肥和青饲料外,又是造纸、包装填充及编织的好材料。因此油莎豆集粮、油、饲为一体,具有较高的综合利用价值。但目前国内对油莎豆的认知度较低,有必要进行推广和知识普及。为此该研究主要介绍了油莎豆的优势特性、经济价值和研究进展,并对目前油莎豆研究中存在的问题进行了探讨。

关键词:油莎豆;块茎;优势特性;用途;食品;食用油

中图分类号:S 565.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)17-0192-10

1 概要

油莎豆(*Cyperus esculentus*),又名油莎草、铁荸荠、地杏仁、地下板栗、地下核桃、人参果和人参豆,有的地方又叫油豆。英文名为 yellow nut-sedge、tiger nut 或 earth almond(图 1)。

油莎豆的名称很形象地反映了它的特点。第一个字反映了其主成分,表示它富含油脂;第二个字反映了它的属性,表示其属莎草科,是指较适宜长在沙地上的草类;第三个字反映了它的形态,表示其形状和大小类似于花生(图 2);也与花生一样,地下结果。不过,油莎豆如薯类作物一样是地下块茎,既可以直接食用,还可以作为“种子”进行繁殖。

我国最早是在 1952 年由中科院植物研究所北京植物园从前苏联引种,又于 1960 年由保加利亚引入栽培。1974—1975 年,植物研究所北京植物

园和中国科学院遗传研究所又分别从朝鲜引进大粒油莎豆。大粒油莎豆是朝鲜科学院植物研究所通过化学诱变剂-甲基磺酸乙酯(EMS)浸种处理油莎豆块茎培育成的新品种,大小相当于普通油莎豆的 2~3 倍。大粒油莎豆个大、丰产、便于收获,但含油量偏低(较普通油莎豆低 4%~6%)^[1]。

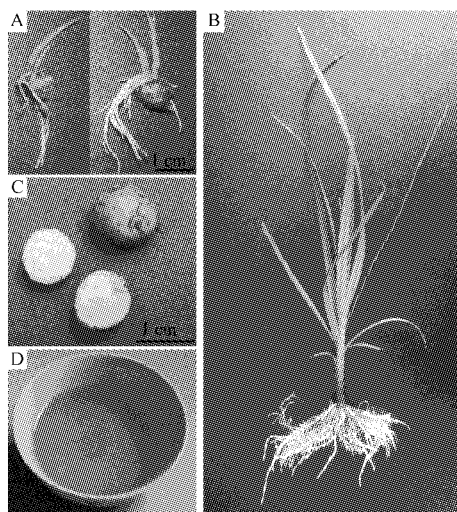
20 世纪 60 年代初,经过引种和繁育,油莎豆在中科院植物研究所北京植物园试种成功。北京郊区县区的砂土地、沙滩地、低洼地、高岗地、砂荒地和盐碱地试验种植均获得成功,667 m² 产量达到 500 kg 以上^[1]。此后经推广,油莎豆逐渐传播到全国各地。至 20 世纪 70 年代,全国掀起了油莎豆种植高潮,国家还为此拍摄了科教片《油莎豆》于 1976 年春节期间在全国公演。但由于种植成本以及市场销路问题,导致农民种植油莎豆的热情大为减退。从 20 世纪 80 年代至 21 世纪初,全国油莎豆种植一直处于低潮。2000 年以来,随着对油莎豆经济价值的深入了解和认识以及栽培和深加工技术的提高与完善,全国部分地区陆续又开始引种和扩大种植油莎豆,尤其是从 2006 年起,国内许多省区包括新疆、内蒙古、广西、湖南、湖北、河北、北京等已开始小规模种植。

我国已在 2007 年将油莎豆油认证为无公害农产品(农业部、国家认证认可监督管理委员会公

作者简介:阳振乐(1966-),男,博士,研究员,现主要从事资源植物油脂代谢及其调控等研究工作。E-mail: yangzhl@ibcas.ac.cn.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31371692);北京市自然科学基金重点资助项目(5151001)。

收稿日期:2017-04-06



注: A, 块茎出苗和生根(播种 6 d); B, 植株(播种 20 d); C, 成熟块茎; D, 油莎豆油。

Note: A. Tubers with emergence and rooting (6 days after seed tuber sowing); B. Young plant (20 days after seed tuber sowing); C. Ripen tubers; D. Oil from tubers.

图 1 油莎豆

Fig. 1 *Cyperus esculentus*

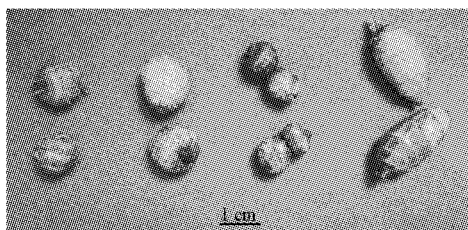


图 2 不同形态的油莎豆块茎

Fig. 2 Tubers of *Cyperus esculentus* in different morphology

告(第 699 号)), 又于 2012 年将油莎豆认证为有机产品(农业部、国家认证认可监督管理委员会 2012 年第 2 号公告)。此后农业部分别于 2015 年 11 月和 2016 年 6 月发文《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)》, 建议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。

2 油莎豆分类

油莎豆属被子植物门、单子叶植物纲、莎草

目、莎草科、莎草属。莎草属植物约有 5 500 种^[2], 分布在我国的共有 30 多种, 但可食用的莎草属植物目前已知只有油莎豆一种。

3 油莎豆分布

研究表明, 油莎豆起源于新生代晚期(late Cenozoic age)的非洲, 最近共同祖先也有 500 多万年的历史^[3]。最早种植油莎豆的可能是古埃及人^[4]。公元 8 世纪, 随着阿拉伯伊斯兰帝国在欧洲的侵略扩张, 油莎豆也被北非摩尔人带至西班牙, 随后逐渐被传入南欧各国^[5]。1854 年油莎豆被引入美国, 如今在美国各个州都有分布。由于油莎豆根系发达、繁殖快、生命力强而难以去除, 在美国曾被当成一种恶草^[6]。

现在油莎豆广泛分布于非洲、欧洲、亚洲、北美洲和拉丁美洲的热带、亚热带及温带地区。在许多国家, 如埃及、摩洛哥、尼日利亚、刚果、西班牙、意大利、保加利亚、俄罗斯、中国等均有栽培。在欧洲, 主要商业种植区是在西班牙, 集中于该国的巴伦西亚地区。

油莎豆有栽培种(cultivated species)和野生种(wild species)。栽培种油莎豆 *Cyperus esculentus* var. *sativa* 分布于南欧、非洲和亚洲^[5-9]。野生油莎豆常见的变种及其分布有^[10]: *Cyperus esculentus* var. *esculentus*, 分布于南欧、非洲和亚洲; *Cyperus esculentus* var. *hermannii*, 分布于美国南部, 尤其是佛罗里达州; *Cyperus esculentus* var. *leptostachyus*, 分布于北美洲, 南美洲也有少量分布; *Cyperus esculentus* var. *macrostachyus*, 分布于中美洲到美国南部地区。

目前世界上有黄色、棕色、红色和黑色 4 种颜色的油莎豆。较为常见的是黄色和棕色, 红色油莎豆只发现在非洲的喀麦隆, 黑色油莎豆分布在喀麦隆和加纳^[11-14]。

4 油莎豆的优势特性

4.1 适应性广

油莎豆最早产于沙漠干旱地区, 在长期的自然选择中形成了较为顽强的生命力。不论是野生还是驯化栽培种, 油莎豆繁殖快、根系发达、生命力强、生长迅速、抗逆性广, 具有耐旱、耐涝、耐贫

瘠、耐盐碱、病虫害少的特点。因此在我国南北各地不同性质的土壤如沙滩、山坡、丘陵、林间可正常生长。但如果作为农业生产,应以沙壤土种植油莎豆为宜,这是由于油莎豆是根系作物,沙质土壤有利于根系生长及地下块茎的形成和发育,较易获得高产。沙质土壤也有利于油莎豆后期的收获,可节省不少劳力。

4.2 生育期短

油莎豆的生育期长短因各地气候条件和播种期而异。3—7月均可播种,生长期约70~150 d。一般北方较南方生育期长,春播较夏播长。北方

地区油莎豆生育期120~150 d,南方地区油莎豆生育期90~120 d。在海南冬季栽培生育期为70 d^[1]。

4.3 生物量大

一般667 m²产鲜豆800~1 000 kg(干质量400~500 kg),丰产地667 m²产量可达1 200~1 500 kg,高产667 m²产量可达2 000 kg。

4.4 含油量高

油莎豆油脂含量>20%(干质量),非洲有的品种高达40%。油莎豆667 m²产量要高于大豆、油菜、花生等油料作物,见表1。

表1 油莎豆与主要油料作物的产量比较

Table 1 Yield of *Cyperus esculentus* and major oil crops

	大豆 Soybean	油菜 Rapeseed	花生 Peanut	向日葵 Sunflower	棉籽 Cottonseed	芝麻 Sesame	油棕 Oil palm	油莎豆 Tiger nut
667 m ² 产量/kg	150~200	200~250	250~300	150~200	150~200	40~100	800~1 000	400~500
含油量/%	15~20	35~40	45~50	45~50	10~15	45~55	25~30	20~30
出油率/%	15~18	30~35	30~35	40~45	10~14	42~45	25~30	约20
667 m ² 油脂产量/kg	20~40	60~90	70~90	60~90	15~30	15~45	200~300	80~100

4.5 高附加值

油莎豆块茎可生吃或熟吃,也可打浆做成豆奶,还可以磨粉用作食用面粉。油莎豆可用来榨油,榨油后的油饼可用以制糖和酿酒,而糖渣和酒糟可用来做饲料。茎叶除可作绿肥和青饲料外,又是造纸、包装填充及编织的好材料。因此油莎豆集粮、油、牧、饲为一体,综合利用价值较高,见图3。

5 油莎豆的经济价值

与其它块茎类作物和油料作物相比(表2),油莎豆同时富含淀粉(25%~40%)、油脂(20%~30%)和糖(15%~20%)。此外,油莎豆也含丰富的蛋白质(5%~10%)、膳食纤维(8%~10%)、维生素C、E(8~14 mg·(100g)⁻¹)^[5,8,15]和矿物质(钾、磷、钠、钙、镁)^[16-20]。主要蛋白质成分是清蛋白(albumin),占总蛋白的80%~95%。其它少量蛋白为球蛋白(globulin)、醇溶谷蛋白(alcohol soluble protein, prolamin)、谷蛋白(glutelin)^[21]。蛋白质中含有较多的谷氨酸、蛋氨酸、精氨酸和天冬氨酸^[22]。此外,油莎豆中生物活性物质如甾醇(phytosterol)、生物碱(alkaloid)、皂苷



图3 油莎豆的用途

Fig. 3 Various application of *Cyperus esculentus*

(saponin)、丹宁(tannin)、黄酮(flavonoid)和萜类(terpenoid)也较丰富^[23-24],具有很好的杀菌效果和预防心血管疾病、抑制肿瘤作用。

5.1 可口食品

有研究表明,200 万年前生活在东非的人类共同祖先主要以采摘野生油莎豆为食,日常的能量和营养依靠进食油莎豆^[32]。在古埃及,油莎豆

是除小麦、大麦外第 3 种最早驯化作为粮食作物的植物,在当时是一种重要的食物来源^[4]。在古

代的东地中海沿岸地区,油莎豆广泛应用在食品、香料和医药行业^[4]。

表 2 油莎豆与其它块茎类作物、油料作物的主要成分及其含量

Table 2 Proximate composition of *Cyperus esculentus* and other tuber and root crops and oil crops

%

作物 Crop	水分 Moisture	淀粉 Starch	蛋白质 Protein	油脂 Oil	糖 Sugar	膳食纤维 Dietary fiber	灰分 Ash	参考文献 Reference
油莎豆	26.00	29.90	5.04	24.49	15.42	8.91	1.70	[19]
土豆	78.75	13.82	1.97	0.16	0.47	0.68	0.95	[25]
甜薯	70.54	10.29	0.66	3.88	6.63	0.88	1.49	[26]
木薯	60.00	29.40	1.40	0.30	7.98	1.18	4.97	[27]
山药	62.50	18.89	2.55	0.20	15.71	1.68	1.50	[28]
菊薯	80.69	6.94	2.22	0.13	9.90	1.75	1.10	[29]
菊芋	80.00	16.18	1.41	0.21	4.12	3.12	1.07	[30]
大豆	8.54	30.16	36.49	19.94	7.33	9.30	4.87	[31]
花生	6.50	16.13	25.80	49.24	4.72	8.50	2.33	[31]
向日葵	4.73	20.00	20.78	51.46	2.62	8.60	3.02	[31]
芝麻	4.69	23.45	17.73	49.67	0.30	11.8	4.45	[31]

在国外,油莎豆被称作是上帝的休闲食品 (snack food of the God)^[33],可作为主粮的有效补充和新的食物来源^[8]。美国航空航天局 (NASA)曾对各种太空食品进行过评估,油莎豆在各种测试指标中表现突出^[34]。在太空中,油莎豆可长时间储存而不易变质和腐烂,油莎豆本身具有的丰富营养能满足较长时间的太空生活。生物再生生命保障系统 (bioregenerative life support system)的研究也表明,油莎豆是生物再生系统中较为理想的粮食生产原料^[35]。

油莎豆可生吃,食味香甜。尤其是新鲜收获的油莎豆,切开后的果实雪白、清亮(图 1C),散发出阵阵清香,其味集花生、核桃、荸荠于一体,但比花生多一些甜味,比核桃又多一些水分,不过要比荸荠少一些清甜。

油莎豆除可生吃、炒食外,还可磨成面粉制成各种食品。油莎豆磨成粉作为面制品在非洲应用非常普遍,是当地百姓的常用食品。非洲、欧洲和南美洲一些国家,把油莎豆作为可可和咖啡的代用品;也用油莎豆代替扁桃仁和杏仁来制作各种糖果、点心。因营养丰富,油莎豆在国外早已被开发成饮料、可乐、奶粉等婴幼儿、老年保健食品,也常常作为冰淇淋和各种糕点的美味添加剂^[36]。在非洲和西班牙、墨西哥,油莎豆还常被用来做成可口的特色饮品(在非洲叫库南阿亚 (kunun aya),在西班牙和墨西哥叫欧洽塔 (Horchata,意

为“油莎豆乳汁”))。该饮品呈乳白色,类似牛奶,口味清凉、香甜,在其他欧洲国家如英国、法国、葡萄牙等以及拉丁美洲和美国也非常受欢迎^[5,19]。目前,欧洽塔产业已成为西班牙瓦伦西亚地区重要的经济支柱,油莎豆种植面积 2 500 hm²,年产量达 9 000 t。年产 400 万~500 万 L 欧洽塔,零售市场年销售额达 6 000 万欧元^[19,37],每年还需从非洲国家和印度进口大量的油莎豆以弥补当地的供应不足。

5.2 保健用油

油莎豆油是中东、欧洲及北非地中海一带青睐的营养保健食用植物油。油莎豆油品透明清亮,食味醇香。性能稳定,耐低温,不易酸败,易为人体吸收,是一种优质食用油。含有丰富的单不饱和脂肪酸,并含有营养价值高的蛋白质,也含有丰富的矿物质特别是磷和钾,钠的含量极低。尤其是不含胆固醇^[38],是防止高血脂、心脑血管疾病的新型营养、保健食用油。抗氧化性远高于花生油、大豆油和菜籽油,其油质可与橄榄油相媲美^[39]。油莎豆油与橄榄油、牛油果 (avocado) 油、榛果 (hazelnut) 油在脂肪酸成分、组成和含量方面极为相似^[40](表 3),折射率、色泽和氧化稳定性也近似于橄榄油,但酸值、碘值和皂化值高于橄榄油^[8,19],甾醇含量(约 1 000 μg · g⁻¹)也远高于橄榄油(约 100 μg · g⁻¹)^[41]。

表 3 油莎豆油和其它植物油的脂肪酸组成及其含量

Table 3 Fatty acid composition and contents of *Cyperus esculentus* oil and other plant oil

油 Oil	脂肪酸百分含量 Percent content of fatty acid/%					维生素 E 含量 Content of tocopherols/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)					参考文献 Reference
	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	α -T	β -T	γ -T	δ -T	
大豆油	10.1	0.0	4.3	22.3	53.7	8.1	116	17	578	263	[42]
菜籽油	4.6	0.3	1.7	60.1	21.4	11.4	180	—	340	—	[43]
花生油	11.2	0.0	3.6	41.1	35.5	0.1	141	4	131	9	[42]
玉米油	11.6	0.0	2.5	38.7	44.7	1.4	222	1	570	23	[42]
葵花籽油	5.2	0.1	3.7	33.7	56.5	0.0	671	23	4	0	[44]
棉籽油	23.0	0.0	2.3	15.6	55.6	0.3	403	2	383	4	[42]
橄榄油	13.8	1.4	2.8	71.6	9.0	1.0	96	6	12	—	[45]
棕榈油	44.8	0.0	4.6	38.9	9.5	0.4	377	1	4	—	[46]
油莎豆油	14.5	1.5	3.4	69.5	8.8	0.4	87	33	—	—	[8]

油莎豆油脂肪酸的主要成分是不饱和脂肪酸,占比 75%以上,饱和脂肪酸只有 20%左右。不饱和脂肪酸中以单键不饱和脂肪酸油酸为主,含量大于 60%,因此油莎豆油不易氧化变质,适宜长期贮存。有试验表明,加热至 280℃时,油莎豆油色不变深、仍透明,也无析出物出现^[47],所以油莎豆油非常适宜做糕点、饼干、面包或油炸食品,作烹调用油或作凉拌菜用油也是上品。

油莎豆油中含有丰富的维生素 C、E 和甾醇^[48],赋予油莎豆油良好的保健功能和储存功

能。油莎豆油也是一种不干性油,抗氧化性强,不易酸败,是工业用油的优质原料,可做精密机械的润滑油、防锈油^[4]。油莎豆油粘度低(30℃为 46.10 mPa·s⁻¹,40℃时为 39.8 mPa·s⁻¹^[49]),较适合于涂料工业和生物柴油^[5,50]。

5.3 优质面粉

油莎豆粉作为面制品在非洲应用较为普遍,是当地百姓的常用食品。油莎豆粉和其它常见面粉的组成成分及其含量见表 4。油莎豆晒干后磨

表 4 油莎豆粉和其它常见面粉的组成成分及其含量(每 100 g)

Table 4 Proximate composition of flours from *Cyperus esculentus* and other common crops (per 100 g)

主要成分 Main component	土豆粉 Potato	大豆粉 Soybean	玉米粉 Corn	大米粉 Rice	小麦粉 Wheat	葛粉 Arrowroot	油莎豆粉 ^[16] Tiger nut
碳水化合物/g	83.10	31.92	76.85	80.13	71.97	88.15	41.22
蛋白质/g	6.90	37.81	6.93	5.95	13.21	0.30	9.70
脂肪/g	0.34	20.65	3.86	1.42	2.50	0.10	35.43
膳食纤维/g	5.90	9.60	7.30	2.40	10.70	3.40	5.62
水分/g	6.52	5.16	10.91	11.89	10.74	11.37	3.78
灰分/g	3.14	4.46	1.45	0.61	1.58	0.10	4.25
能量/kJ	1 493	1 816	1 510	1 531	1 424	1 494	1 511
Ca/mg	65	206	7	10	34	40	140
Fe/mg	1.38	6.37	2.38	0.35	3.60	0.33	0.80
Mg/mg	65.0	429.0	93.0	35.0	137.0	3.0	56.3
P/mg	168	494	272	98	357	5	121
K/mg	1 001	2 515	315	76	363	11	255
Na/mg	55	13	5	0	2	2	235
Zn/mg	0.54	3.92	1.73	0.80	2.60	0.10	0.01
Vitamin A/mg	0.00	6.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.21 ^[17]
Vitamin B/mg	1.048	2.202	0.696	0.595	1.074	0.000	0.430 ^[17]
Vitamin C/mg	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3 ^[17]
Vitamin D/mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42 ^[17]
Vitamin E/mg	0.25	1.95	0.42	0.11	0.71	0.00	0.74 ^[17]

粉或利用榨油后的饼粕磨粉,营养价值很高,油莎豆粉可以代替部分面粉制作糕点、饼干等。因油莎豆含有 10%~20% 的糖分,所以制作糕点、饼干时可节省用糖 10%~20%。

与麦类面粉不同的是,油莎豆粉不含麸质蛋白(gluten)或谷胶蛋白。麸质蛋白是大麦、小麦、燕麦、黑麦等谷物中最普遍的蛋白质。麸质食品会导致部分人麸质过敏(gluten sensitivity),产生麸质过敏症或麸质过敏性肠炎(celiac disease),又称腹腔病、乳糜泻,在北美、北欧、澳大利亚发病率较高。据美国国立卫生研究院的统计数据显示,已经有多达 1% 的美国人口受到麸质过敏症的影响,轻者会营养不良并产生慢性腹泻、自身免疫性疾病、消化道症状,重者会出现诸如贫血、骨质疏松、糖尿病、肠癌等疾病。

将油莎豆通过低温脱脂和机械细化,可制成优质的脱脂油莎豆面粉,不易氧化和酸败。脱脂油莎豆面粉成分、口感与小麦类似,富含淀粉、蛋白质、糖分及大量矿物质,是较有发展前途的小麦面粉替代品。

淀粉是油莎豆粉的主要成分,其中支链淀粉占 66%,直链淀粉占 24%。支链淀粉成分较高,高于玉米淀粉,但低于马铃薯淀粉^[51]。油莎豆淀粉的凝胶形成能力、冻融稳定性和老化性优于玉米淀粉。此外,油莎豆淀粉也具有较好的透明度、溶解度和膨胀度。

5.4 制糖酿酒

油莎豆榨油后的豆饼含有 20% 以上的糖分,其中蔗糖占 90%,葡萄糖和果糖占 10%。100 kg 豆饼可制饴糖 50~60 kg(35°~37°Be),质量可与米糖媲美。豆饼经分解发酵等工艺,可酿出 40°~50° 白酒 15 kg 或双料酒 60~70 kg、50° 三花酒 35~40 kg。酒质优良,酒味香醇,质量好于其它杂粮酒。以 667 m² 产油莎豆干豆 500 kg 计算,榨油后可得豆饼 300~350 kg,酿出 35° 双料酒 180 kg;以酿 1 kg 双料酒需要 2 kg 大米计算,能节约 180 kg 大米^[52-53]。在意大利,将油莎豆制浆发酵,做成略带酸味的轻度酒精饮料,可消暑并防治胃肠炎。

5.5 优质饲料

油莎豆的茎叶营养丰富,利用价值高。茎叶含粗脂肪 7.6%~8.9%、糖 10.6%、粗蛋白 9.8%和

粗纤维 19.3%^[1]。无论是新鲜草叶还是干草,都是上乘的饲草,可直接或打碎后饲养牛、羊、兔、鸡、鸭、鹅、鱼等。油莎豆茎叶柔软无茸毛,是牛、马、羊、兔等家畜非常喜爱的饲料。据美国报道,把油莎草茎叶研磨成粉喂养奶牛,牛的产奶量显著增加。在美国南部各州,将猪放牧于油莎草地里,饲养效果良好。油莎豆草产量高,667 m² 产鲜草 750~1 250 kg,667 m² 油莎豆草可供饲养 2 头牛或 10 只羊或 100 只兔或 500 尾鱼。油莎豆榨油后的饼粕以及熬糖、酿酒之后的糖渣都是喂养畜禽的优质饲料。油莎豆块茎、粉粕饲料是优质的混合饲料产品,可替代目前市场上其它种类混合饲料,是蛋白饲料、水产饲料和其它饲料的替代品。

5.6 药用功能

据《新华本草纲要》记载,油莎豆具辛、甘之药味,药性温热,有疏肝、通气、健脾和健胃功效,主治脾胃气滞所致的腹胀、胃痛、脾虚、消化不良等症^[54]。

油莎豆可有效预防多种疾病包括结肠癌^[55]、冠心病、肥胖症、糖尿病、肠胃病^[56]。油莎豆用于减肥也有很好的效果^[57]。在巴西东北部的农村,油莎豆被用作性兴奋剂和抗毒素,还用来治疗麻疹和发热^[58]。油莎豆对于治疗胃肠气胀、消化不良、腹泻和痢疾也有一定的疗效^[19]。此外,油莎豆还可促进排尿,防止月经失调、子宫内膜异位以及输卵管堵塞,预防口腔溃疡和牙龈炎、囊肿、前列腺、疝气、直肠脱垂变形等病症^[33,59]。

5.7 生态效益

油莎豆耐旱和耐贫瘠,特别适合在砂质土壤中生长。油莎豆根系发达,根与根之间彼此相连,每墩须根可达 300~500 根,整个根系深达 40~60 cm。只要有一个块茎留在土中,整个油莎豆种群就会重新长出。据国外报道,一颗油莎豆种子一年内能在 3 m² 的面积范围内长出 1 900 株新植株和结出近 7 000 个新豆^[60]。油莎豆生长迅速,2 个月的生长期就可基本覆盖沙质土地,具有天然防风固沙的作用,具有显著的生态效益。新疆早在 20 世纪 80 年代就曾推广种植油莎豆,以达到改善生态环境和防风固沙的目的。

6 油莎豆研究进展

20 世纪的中后期,是油莎豆研究的高潮期。国内外对油莎豆的形态特征、发育特点、生长习性、组成成分以及油莎豆的栽培和种植等进行了大量的系统研究^[61-66],也开发出了不少初加工产品,如油、糖、酒等^[1,53]。研究表明,油莎豆通常情况下播种 2~3 d 开始发芽。出苗后 10~15 d 开始分蘖,40~50 d 是分蘖盛期,60~70 d 分蘖基本结束,80~90 d 地上部分基本停止生长。出苗后 35~40 d 地下块茎开始形成,50~60 d 是块茎形成的旺盛时期。块茎从形成到成熟需要 40 d 左右,再到完全成熟还需大约 40 d 时间。油莎豆从出苗到收获一般需要 120 d 左右。

进入 21 世纪以来,随着对油莎豆经济价值的不断认识,更多的研究侧重于油莎豆有效成分和营养价值的深入分析以及油脂、淀粉、糖和蛋白的提取工艺^[15,18,58,67]。同时,油莎豆在食品、饮料、医学等方面的更多应用得到进一步挖掘^[19,55,68-73]。国内工作者也对油莎豆的组织培养和快繁技术进行过有效的探索^[74-75]。

相对而言,油莎豆分子机理方面的研究显得较为薄弱。只有少数学者曾用分子生物学手段研究过油莎豆的遗传多样性、起源及 1~2 个基因的初步克隆^[3,76-81]。尽管如此,油莎豆是目前已知唯一在块茎器官中积累大量油脂的植物,因此仍是研究非种子器官或营养器官中油脂代谢及其调控的一种理想材料^[82]。

7 油莎豆研发中的问题

7.1 大众认知度问题

油莎豆广泛分布于世界各地,人类种植油莎豆的时间较长,而目前油莎豆各种产品以及深加工技术也较为成熟,但广大老百姓对油莎豆的认知度普遍较低,大部分公众对油莎豆感到陌生。如何推广油莎豆及其产品、使其走入普通百姓的生活从而得到消费者的认可,是广大油莎豆研发工作人员和相关企业亟需解决的一大问题。

7.2 市场前景问题

由于大众认知度低,国内消费市场规模较小和需求少,油莎豆产品尚未真正进入大众市场,市

场前景还不甚明朗。因而在未充分了解市场行情的情况下,不宜盲目扩大种植面积和投资生产。

7.3 产业化问题

目前种植油莎豆所获得的经济效益尚未达到传统作物的水平,因而很难调动广大农户种植油莎豆的积极性,油莎豆难以大面积推广,也严重影响油莎豆的产业化发展,使得国内油莎豆的产业化一直举步维艰。提高品种产量、降低种植和收获成本、丰富油莎豆加工产品、改进开发模式等,是提升油莎豆种植效益的有效途径。

7.4 优良品种问题

油莎豆块茎油脂的含油量不稳定,依生长地点、环境条件和土壤状况等的不同,株系之间变动很大。但是现有油莎豆的优良品种很少,尤其是我国的油莎豆遗传多样性很低,利用常规杂交培育优质品种比较困难。培育大粒、丰产、含油量高的新品种,仍然是需要研究的课题。

7.5 抗逆性问题

油莎豆尽管有一定的抗逆性,但抗性不是太强。油莎豆因根系浅,只能忍耐一定程度的干旱。干旱条件下油莎豆生长不良,分蘖少,容易枯萎和早衰,影响块茎的发育和生长,导致产量低。此外,油莎豆只可在轻度盐碱土壤(盐度<0.2%以下)中正常生长。土壤盐度超过 0.3%时,油莎豆生长不良甚至死亡。

7.6 遗传转化问题

油莎豆的组织培养和再生以及遗传转化体系尚未成熟建立,使得通过基因工程对油莎豆性状进行遗传改良受到很大限制。

7.7 分子机理问题

油莎豆块茎油脂高效积累的生物学机制。油莎豆是目前已发现的唯一在营养器官高效积累油脂的新型经济油料作物。但迄今为止对油莎豆块茎这种营养器官富集油脂的生物学机制还不清楚。营养器官的油脂合成代谢与传统的生殖器官如种子、果实等有何不同?是否有特殊的调控机制?是否存在特异的油脂相关的主效基因和调控因子?尚有待进一步研究。全面而系统地解析油莎豆油脂合成和积累的分子基础和调控因子,对于利用分子育种提高油莎豆以及其它油料作物的

油脂产量和品质、进而培育优良油品种,具有十分重要的理论意义和应用价值。

参考文献

- [1] 段健喜,马杰.油莎豆栽培[M].北京:科学普及出版社,1983.
- [2] GOVAERTS R, SIMPSON D A, GOETGHEBEUR P, et al. World checklist of Cyperaceae Sedges[M]. London: Kew Publishing, 2007.
- [3] de CASTRO O, GARGIULO R, DEL G 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: 733-745.
- [4] NEGBI M. A sweetmeat plant, a perfume plant and their weed relatives, a chapter in the history of *Cyperus esculentus* L. and *C. rotundus* L. [J]. Econ Bot, 1992, 46: 64-71.
- [5] PASCUAL B, MAROTO J V, LOPEZ-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: 439-448.
- [6] HOLM L G, PLUCKNETT D L, PANCHO J V, et al. The world's worst weeds, distribution and biology[M]. Honolulu: University Press of Hawaii, 1977.
- [7] de VREIS F T. Chufa (*Cyperus esculentus*, Cyperaceae), a weedy cultivar or a cultivated weed? [J]. Econ Bot, 1991, 45: 27-37.
- [8] ARAFAT S M, AHMED M, GAUFAR, et al. Nassef. Chufa tubers (*Cyperus esculentus* L.): As a new source of food[J]. World Appl Sci J, 2009(7): 151-156.
- [9] BAMISHAIYE E I, BAMISHAIYE O M. Tiger nut, as a plant, its derivatives and benefits[J]. Afri J Food, Agri Nutri Dev, 2011, 11: 5157-5170.
- [10] SCHIPPERS P, BORG S J T, BOS J J. A revision of the infraspecific taxonomy of *Cyperus esculentus* (yellow nutsedge) with an experimentally evaluated character set[J]. Syst Bot, 1995, 20: 461-481.
- [11] 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(2): 673547.
- [12] EJOH R A, DJOMDI, NDJOUENKEU R. Characteristics of tigernut (*Cyperus esculentus*) tubers and their performance in the production of a milky drink[J]. J Food Process Preserv, 2006, 30: 145-163.
- [13] BARMINAS J T, MAINA H M, TAHIR S, et al. A preliminary investigation into the biofuel characteristics of tigernut (*Cyperus esculentus*) oil[J]. Biores Technol, 2001, 79: 87-89.
- [14] ABANO E, AMOAH K. Effect of moisture content on the physical properties of tiger nut (*Cyperus esculentus*) [J]. Asian J Agri Res, 2011(5): 56-66.
- [15] COSKUNER Y, ERCAN R, KARABABA E, et al. Physical and chemical properties of chufa (*Cyperus esculentus* L.) tubers grown in the Cukurova region of Turkey[J]. J Sci Food Agri, 2002, 82: 625-631.
- [16] OLADELE A K, AINA J O. Chemical composition and functional properties of flour produced from two varieties of tigernut (*Cyperus esculentus*) [J]. Afri J Biotech, 2007(6): 2473-2476.
- [17] EKEANYANWU R C, ONONOGBU C I. Nutritive value of Nigerian tigernut (*Cyperus esculentus* L.) [J]. Agri J, 2001(5): 297-302.
- [18] OZCAN M M, GUMUSCU A, ER F, et al. Chemical and fatty acid composition of *Cyperus esculentus* [J]. Chem Nat Compound, 2010, 46: 276-277.
- [19] SÁNCHEZ-ZAPATA E, FERNÁNDEZ-LÓPEZ J, PÉREZ-ALVAREZ J A. Tiger Nut (*Cyperus esculentus*) commercialization: Health aspects, composition, properties and food applications [J]. Compr Rev Food Sci Food Safety, 2012(11): 366-377.
- [20] GLEW R H, GLEW R S, CHUANG L T, et al. Amino acid, mineral and fatty acid content of pumpkin seeds (*Cucurbita* spp.) and *Cyperus esculentus* nuts in the Republic of Niger [J]. Plant Foods Hum Nutr, 2006, 61: 51-56.
- [21] CODINA-TORRELLA I, GUAMIS B, TRUJILLO A J. Characterization and comparison of tiger nuts (*Cyperus esculentus* L.) from different geographical origin. Physico-chemical characteristics and protein fractionation[J]. Indus Crop Product, 2015, 65: 406-414.
- [22] LOPÉZ-CORTÉS I, SALAZAR-GARCÍA D C, MALHEIRO R, et al. Chemometrics as a tool to discriminate geographical origin of *Cyperus esculentus* L. based on chemical composition [J]. Ind Crop Product, 2013, 51: 19-25.
- [23] ADEKANMI O K, OLUWATOYIN O F, YEMISI A A. Influence of processing techniques on the nutrients and antinutrients of tigernut (*Cyperus esculentus* L.) [J]. World J Dairy Food Sci, 2009(4): 88-93.
- [24] CHUKWUMA E R, OBIOMA N, CRISTOPHER O I. The phytochemical composition and some biochemical effects of Nigerian tigernut (*Cyperus esculentus* L.) tuber [J]. Pak J Nutr, 2010(9): 709-715.
- [25] MURNIECE I, KARKLINA D, GALOBURDA R, et al. Nutritional composition of freshly harvested and stored Latvian potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties depending on traditional cooking methods[J]. J Food Compost Anal, 2011, 24: 699-710.
- [26] OLAYIWOLA I O, ABUBAKAR H N, ADEBAYO G B, et al. Study of sweet potato (*Ipomea batatas* Lam) foods for indigenous consumption through chemical and anti-nutritive analysis in Kwara State, Nigeria [J]. Pak J Nutr, 2009(8): 1894-1897.
- [27] MAIEVES H A, CARDOSO de OLIVEIRA D, BERNARDO C, et al. Microscopy and texture of raw and cooked cassava (*Manihot esculenta* Crantz) roots [J]. J Texture Stud, 2012, 43:

164-173.

[28] ABARA A E. Proximate and mineral elements composition of the tissue and peel of *Dioscorea bulbifera* tuber[J]. Pak J Nutr, 2011(10):543-551.

[29] OJANSIVU I, FERREIRA C L, SALMINEN S. Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use[J]. Trends Food Sci Technol, 2011(22):40-46.

[30] BARTA J, PÁTKAI G. Chemical composition and storability of *Jerusalem artichoke* tubers[J]. Acta Aliment, 2007, 36:257-267.

[31] Nutrient Data Laboratory. USDA food composition databases for standard reference[EB/OL]. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture(2017-06-10)[2017-06-10]. <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/nutrients/index.html>.

[32] MACHO G A. Baboon feeding ecology informs the dietary niche of *Paranthropus boisei*[J]. PLoS One, 2014(9):e84942.

[33] DEFELICE M S. Yellow nutsedge *Cyperus esculentus* L.: Snack food of the Gods[J]. Weed Tech, 2002(16):901-907.

[34] GITELSON I J, LISOVSKY G M, MACELROY R D. Man-made closed ecological systems[M]. New York: Taylor & Francis Group, 2003.

[35] SHKLAVTSOVA E S, USHAKOVA S A, SHIKHOV V N, et al. Effects of mineral nutrition conditions on heat tolerance of chufa (*Cyperus esculentus* L.) plant communities to super optimal air temperatures in the BTLSS[J]. Adv Space Res, 2014, 54:1135-1145.

[36] CANTALEJO M J. Analysis of volatile components derived from raw and roasted earth-almond (*Cyperus esculentus* L.)[J]. J Agric Food Chem, 1997, 45:1853-1860.

[37] SEBASTIÀ N, EL-SHENAWY M, MANES J. Assessment of microbial quality of commercial and home-made tiger-nut beverages[J]. Lett Appl Microbio, 2012, 54:299-305.

[38] ODERINDE R A, TAIRU O A. Evaluation of the properties of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) tuber oil[J]. Food Chem, 1988(28):233-237.

[39] GAMBO A, DAU A. Tiger nut (*Cyperus esculentus*), composition, products, uses and health benefits: A review[J]. Bayero J Pure Appl Sci, 2014(7):56-61.

[40] LINSSEN J P H, KIELMAN G M, COZIJNSEN J L, et al. Comparison of chufa and olive oils[J]. Food Chem, 1988(28):279-285.

[41] YEBOAH S O, MITEI Y C, NGILA J C, et al. Compositional and structural studies of the oils from two edible seeds: Tiger nut, *Cyperus esculentum*, and asiato, *Pachira insignis*, from Ghana[J]. Food Res Inter, 2012, 47:259-266.

[42] Van NIEKERK P J, BURGER A E C. The estimation of the composition of edible oil mixtures[J]. J Am Oil Chem Soc, 1985, 62:531-538.

[43] GUSTAFSSON I B, HAGLUND A, JOHANSSON L. The taste of dietary fat based on rapeseed oil was superior to that

based on sunflower oil when used for frying and baking[J]. J Sci Food Agric, 1993, 62:273-281.

[44] NAGAO A, YAMAZAKI M. Lipids of sunflower seeds produced in Japan[J]. J Am Oil Chem Soc, 1983, 60:1645-1658.

[45] EL-AGAIMY M A, NEFF W E, EL-SAYED M, et al. Effect of saline irrigation water on olive oil composition[J]. J Am Oil Chem Soc, 1994, 71:1287-1289.

[46] YOSHIDA H, HIROOKA N, KAJIMOTO G. Microwave energy effects on quality of some seed oils[J]. J Food Sci, 1990, 55:1412-1416.

[47] 左青, 黄启林, 刘继华. 油莎豆油的理化特性及其工艺的探讨[J]. 西部粮油科技, 1998(23):40-41.

[48] EZEHI O, GORDON M H, NIRANJAN K. Tiger nut oil (*Cyperus esculentus* L.): A review of its composition and physico-chemical properties[J]. Euro J Lipid Scie Tech, 2014, 116:783-794.

[49] ALI R F M, EL ANANY A M. Physicochemical studies on sunflower oil blended with cold pressed tiger nut oil during deep frying process[J]. Grasas Aceites, 2012, 63:455-465.

[50] ZHANG H Y, HANNA M A, ALI Y, et al. Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) tuber oil as a fuel[J]. Ind Crop Prod, 1996(5):177-181.

[51] 陈丽娜, 石矛. 双波长法测定油莎豆直、支链淀粉含量的研究[J]. 食品科技, 2010(35):325-327.

[52] MANEK R V, BUILDERS P F, KOLLING W M. Physico-chemical and binder properties of starch obtained from *Cyperus esculentus*[J]. AAPS Pharm Sci Tech, 2012(13):379-388.

[53] 广西植物研究所. 油莎豆[M]. 南宁: 广西人民出版社, 1977.

[54] 江苏省植物研究所, 中国医学科学院药用植物资源开发研究所, 中国科学院昆明植物研究所, 中国医学科学院药物研究所. 新华本草纲要(第三册)[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1993.

[55] ADEJUYITAN J A. Tigernut processing: Its food uses and health benefits[J]. Am J Food Technol, 2011(6):197-201.

[56] ANDERSON J W, BAIRD P, DAVIS R H, et al. Health benefits of dietary fibre[J]. Nutr Rev, 2009, 67:188-205.

[57] BORGES O, GONCALVES B, SGOEIRO L. Nutritional quality of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) cultivars from Portugal[J]. Food Chem, 2008, 106:976-984.

[58] de ABREU MATOS F J, CAVALCANTI F S. Qualitative and quantitative agronomic study of *Cyperus esculentus* L. (earth almond): An unexplored source of energetic food[J]. Revista Ciencia Agronomica, 2008, 39:124-129.

[59] WILLS J B. Tiger nut (*Cyperus esculentus*). Agriculture and Land Use in Ghana[M]. London: Oxford University Press for Ghana Ministry of Food and Agriculture, 1962:378-504.

[60] TUMBLESON M E, KOMMEDAHL T. Reproductive potential of *Cyperus esculentus* by tubers[M]. Weeds, 1961(9):646-653.

[61] JANSEN L L. Morphology and photoperiodic responses of

- yellow nutsedge[J]. *Weed Sci*, 1971(19):210-219.
- [62] WILLS G D, HOAGLAND R E, PAUL R N. Anatomy of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) [J]. *Weed Sci*, 1980, 28: 432-437.
- [63] WILLS G D. Description of purple and yellow nutsedge (*Cyperus rotundus* and *C. esculentus* L.) [J]. *Weed Tech*, 1987 (1):2-9.
- [64] STOLLER E W, SWEET R D. Biology and life cycle of purple and yellow nutsedges (*Cyperus rotundus* and *C. esculentus*) [J]. *Weed Tech*, 1987(1):66-73.
- [65] GIFFORD E M, BAYER D E. Developmental anatomy of *Cyperus esculentus* (yellow nutsedge) [J]. *Int J Plant Sci*, 1995, 156:622-629.
- [66] RANSOM R V, RICE C A, SHOCK C C. Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) growth and reproduction in response to nitrogen and irrigation [J]. *Weed Sci*, 2009, 57: 21-25.
- [67] 晏小欣. 油莎豆油、淀粉的制备关键技术及性质的研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学, 2011.
- [68] SÁNCHEZ-ZAPATA E, ZUNINO V, PÉREZ-ALVAREZ J A, et al. Effect of tiger nut fibre addition on the quality and safety of a dry-cured pork sausage during the dry-curing process [J]. *Meat Sci*, 2013, 95:562-568.
- [69] SANFUL R E. Production and sensory evaluation of tiger-nut beverages [J]. *Pak J Nutr*, 2009(8):688-690.
- [70] 李国平, 杨鹭生, 卢月娇. 油莎豆饮料的制作工艺研究 [J]. *广东农业科学*, 2011(6):103-106.
- [71] 陈星, 刘雷, 吴琼. 花生-油莎豆蛋白饮料的制作工艺研究 [J]. *食品研究与开发*, 2014(1):49-51.
- [72] PRAKASH N, RAGAVAN B. Phytochemical observation and antibacterial activity of *Cyperus esculentus* L. [J]. *Anc Sci Life*, 2009, 28:16-20.
- [73] MOON M K, AHN J, LEE H, et al. Anti-obesity and hypolipidemic effects of chufa (*Cyperus esculentus* L.) in mice fed a high-fat diet [J]. *Food Sci Biotech*, 2012, 21:317-322.
- [74] 瞿萍梅, 龙春林, 程治英, 等. 油莎豆的组织培养和快速繁殖 [J]. *植物生理学通讯*, 2007, 43(2):331-331.
- [75] 吴琼. 油莎豆再生体系的建立及多倍体诱导[D]. 兰州:兰州大学, 2009.
- [76] HORAK M J, HOLT J S, ELLSTRAND N C. Genetic variation in yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) [J]. *Weed Sci*, 1987, 35:506-512.
- [77] ABAD P, PASCUAL B, MAROTO J V, et al. RAPD analysis of cultivated and wild yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) [J]. *Weed Sci*, 1998, 46:318-321.
- [78] TAYYAR R I, HOLT J S. Genetic and morphological analysis of two novel nutsedge biotypes from California [J]. *Weed Sci*, 2003, 51:731-739.
- [79] 赵永国, 危文亮. 利用 SRAP 标记分析油莎豆遗传多样性 [J]. *中国油料作物学报*, 2011(33):351-355.
- [80] CHENG C, HU J, ZHI Y, et al. Cloning and characterization of ADP-glucose pyrophosphorylase small subunit gene in *Cyperus esculentus* (yellow nutsedge) [J]. *Genet Mol Res*, 2015 (14): 18302-18314.
- [81] HOFVANDER P, ISCHEBECK T, TURESSON H, et al. Potato tuber expression of *Arabidopsis* WRINKLED1 increase triacylglycerol and membrane lipids while affecting central carbohydrate metabolism [J]. *Plant Biotechnol J*, 2016(14):1883-1898.
- [82] 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]. *Amer J Bot*, 2010, 97:1884-1893.

Characteristics and Research Progress of *Cyperus esculent*

YANG Zhenle

(Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences/Key Lab of Plant Resources, Beijing 100093)

Abstract: *Cyperus esculentus* is currently found as a special economic crop with high accumulation of oil in its tuber tissues. Tubers of *C. esculentus* can be eaten raw or roasted, or ground to make a refreshing drink like milk and milled into flour. The tubers can be also used to produce edible oil, and the residual cake can be further applied for making sugar and wine, while sugar residue and lees are favorable feed. Leaves of *C. esculentus* can be used as green manure and forage, and are also good materials for paper making, packing and weaving. Therefore, *C. esculentus* integrates the food, oil and fodder as a whole with a high value of comprehensive utilization. As the low recognition of this kind of crop in China, it is worthy of promoting and popularizing the knowledge of *C. esculentus*. This article mainly introduced the characteristics and economic value as well as research progress of the crop, and also discussed the problems in the investigation regarding *C. esculentus*.

Keywords: *Cyperus esculentus*; tuber; superiority characteristics; application; food; edible oil