

油莎豆主要营养成分及生理功能研究进展

郭婷婷, 万楚筠*, 黄凤洪, 魏春磊, 胡正华

(中国农业科学院油料作物研究所, 油料油脂加工技术国家地方联合工程实验室, 农业农村部油料加工重点实验室,
湖北 武汉, 430062)

摘要: 油莎豆 (*Cyperus esculentus* L.), 又称虎坚果, 莎草科莎草属多年生草本植物。油莎豆具有适应性广、生长期短、生物量大、含油量高等优势特性。油莎豆茎叶可做青贮饲料, 块茎可生吃或熟吃, 此外, 油莎豆还可用来榨油, 榨油后的油饼可用来做饲料。因此油莎豆作为一种集粮、油、牧、饲于一体的新兴农作物, 具有较高的经济价值和开发潜力。为了深入了解油莎豆, 促进油莎豆资源的高值化利用和研究, 本文综述了油莎豆中油脂、蛋白和多糖等主要营养成分的研究进展, 详细阐述了油莎豆降血脂、降血糖、抗氧化和保肝等生理功能, 并就其市场规模和科学研究前景进行了展望。

关键词: 油莎豆; 块茎; 营养成分; 生理功能

中图分类号: TS222

文献标识码: A

文章编号: 1007-9084(2021)06-1174-07

Research progress on the main nutritional components and physiological functions of tiger nut (*Cyperus esculentus* L.)

GUO Ting-ting, WAN Chu-yun*, HUANG Feng-hong, WEI Chun-lei, HU Zheng-hua

(Oil Crops Research Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences, Oil Crops and Lipids Process Technology National & Local Joint Engineering Laboratory Key Laboratory of Oilseeds processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China)

Abstract: Tiger nut (*Cyperus esculentus* L., TN), is a perennial herb of *Cyperus* Linn. It has the advantages of wide adaptability, short growth period, large biomass and high oil content. Stems and leaves of TN can be used as silage, and tubers of TN can be eaten raw or cooked. Noteworthily, TN can be used for oil production, and the cake can be further applied for feed. Therefore, as a new crop, TN integrates food, oil and fodder as a whole and has high economic value and development potential. In order to deeply understand TN and promote its high-value utilization, the research progress of the main nutrients such as oil, protein and polysaccharide in TN were summarized. The physiological functions of TN in reducing blood lipid, lowering blood glucose, antioxidation and protecting liver were expounded in detail. Moreover, the market scale and scientific research prospect were forecasted.

Key words: tiger nut; tuber; nutritional components; physiological functions

油莎豆 (*Cyperus esculentus* L.), 原产自非洲东北部, 20 世纪 60 年代初引入我国广泛种植, 2016 年被列入农业部《全国种植业结构调整规划(2016–2020 年)》, 目前我国油莎豆种植面积 1.33 万公顷以上^[1], 年产鲜豆 12~30 t/hm² (干物质质量 6~20 t/hm²)^[2]。油莎豆是一种重要的多用途经济作物, 其茎叶可用作绿色饲料也可用做编织原料, 根系具有清香气

味, 可用于萃取精油, 油莎豆块茎富含脂肪、蛋白、淀粉、膳食纤维等成分, 通常用于食用油、豆乳、休闲食品等加工材料。随着现代分析技术的不断提高, 人们对油莎豆的认识逐步深入, 油莎豆的营养价值和功效作用日渐明晰。本文概述了油莎豆主要营养成分及生理功能两方面的研究进展, 展望未来的研究方向, 以期油莎豆进一步开发利用提供

收稿日期: 2020-05-29

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程 (CAAS-ASTIP-2016-OCRI)

作者简介: 郭婷婷 (1989–), 女, 山西吕梁人, 硕士, 主要从事粮油加工与利用研究, E-mail: tingtingguo23@sina.com

* 通讯作者: 万楚筠 (1980–), 男, 湖北江陵人, 博士, 副研究员, 主要从事粮油加工与利用研究, E-mail: wanchuyun@caas.cn

参考。

1 油莎豆主要营养成分

1.1 油莎豆油脂

油莎豆块茎中油含量为20%~36%^[3,4],深入开发和利用油莎豆油,对打破我国油料供给瓶颈有着重要的战略意义。与几种常见植物油脂脂肪酸组成相比,油莎豆油的主要脂肪酸是单不饱和脂肪酸油酸(>65%)、多不饱和脂肪酸亚油酸(>9%)和饱和脂肪酸棕榈酸(表1)。

油莎豆块茎油脂合成与积累主要来源于糖类代谢。在块茎发育的前40 d,油莎豆块茎中糖类代谢较为活跃,蔗糖和可溶性糖含量整体逐渐下降,而脂肪的含量逐渐积累,该时期是糖类(主要是蔗糖)向脂肪转化的高峰期。40 d至块茎成熟期间,可溶性糖含量基本保持不变,蔗糖含量继续降低,脂肪含量持续上升^[5]。蔗糖合成油脂的途径为:蔗糖在蔗糖酶及蔗糖合成酶的作用下分解为己糖,进入糖酵解、三羧酸循环和戊糖磷酸途径转化为丙酮酸、磷酸丙糖等,进而完成合成。研究还证实油莎豆块茎含油量与物种遗传和栽培措施有关。杨敏等^[6]在新疆干旱气候区试种了河南大粒、河南圆粒、广西圆粒、山西小粒和内蒙古小粒5个油莎豆品种,收获后检测到圆粒品种的油脂含量极显著地高于大粒和小粒品种,其中河南圆粒含油率最高为26.29%,河南大粒最低仅为15.61%。研究发现栽培条件的不同直接影响着油莎豆块茎的含油量,从施肥和化控角度来看,单一追施氮肥不但不能提高油莎豆块茎含油率,反而会降低含油率,但是在一定范围内,追施磷肥能有效提高其含油率。且与单一追肥磷肥相比,追施氮磷钾复合肥能更有效提高含油率。喷施烯效唑能提高油莎豆块茎的含油率,但不是施用的浓度越大越好。在播种后60 d,在油莎豆叶片上分别喷施浓度为0.6、1.0、1.4、1.8 g/L的烯效唑,发现浓度较低(0.6 g/L)和浓度较高的烯效唑处理油莎豆含油量的差异不显著(1.8 g/L),中等浓度(1.0、1.4 g/L)含油量最高,分别为23.56%和23.78%^[7]。此外,播种期也是重要影响因素,黄思^[8]在实验中设计了3月初、4月初、5月初、6月初和7月初共5个播种期处理,结果显示播期为5月得到的油莎豆块茎油含量为21.48%,显著高于其它月份。

1.2 油莎豆蛋白

油莎豆蛋白质含量约为5%~10%^[8],油莎豆蛋白

主要是由谷蛋白、白蛋白、球蛋白和醇溶蛋白组成的,其中谷蛋白含量最高(>47.5%),其次是白蛋白(31.8%)、球蛋白(4.7%)和醇溶蛋白(3.8%)。油莎豆蛋白等电点为4.90,表观分子量(m^m)为5.3~88 kDa。白蛋白和球蛋白组分的 m^m 分别为5.3~73 kDa,而醇溶蛋白和谷氨酰胺组分分别为5.3~46.2和5.3~30 kDa^[9]。Kizzie-Hayford等^[9]研究油莎豆蛋白热力学性质发现其构象变化的起始温度(onset temperature, T_o)为54.40℃、变性温度(denaturation temperature, T_d)为69.61℃、焓变(ΔH)为5.43 J/g。蛋白质组分中的 T_o 和 T_d 从高到低依次为醇溶蛋白、白蛋白、球蛋白和谷蛋白。

油莎豆中含有参与蛋白质合成的18种氨基酸,总量为34.2 g/kg,氨基酸组成以谷氨酸和精氨酸为主,其次是天冬氨酸和亮氨酸^[10]。Aljuhaimi等^[11]研究结果显示油莎豆中这四种氨基酸分别占总氨基酸的16.96%、11.99%和11.11%和7.02%。房芳等^[12]通过计算可知,油莎豆蛋白的必需氨基酸指数93.8,生物价90.54,均高于大豆蛋白和马铃薯蛋白。从氨基酸比值系数分可以看出,油莎豆蛋白的氨基酸比值系数分82.41,高于大豆蛋白和马铃薯蛋白,与鸡蛋蛋白氨基酸比值系数分接近,提示油莎豆蛋白的营养与鸡蛋蛋白的营养价值相近,是一种优良蛋白质。

1.3 油莎豆多糖

1.3.1 油莎豆淀粉 油莎豆淀粉是一种无臭、亮白色或灰白色的粉末。由于油莎豆块茎的品种和大小的不同,淀粉产量不一,约为14%~37%不等^[13]。与其它来源淀粉相似,油莎豆淀粉颗粒是由结晶区和非结晶区环状交替形成的,二者相对比例为88.5:11.5^[14]。结晶区主要是支链淀粉和少量直链淀粉组成,大部分直链淀粉形成非结晶区和结晶区,即油莎豆淀粉中支链淀粉含量较高。油莎豆淀粉颗粒大多呈现出球形及椭圆形,少数呈现出不规则形,与马铃薯淀粉颗粒相比,颗粒较紧密,且直径较小,平均直径为8.6 μm 。利用偏振显微镜观察两种淀粉颗粒均可形成偏光十字。

油莎豆淀粉的糊化温度为80.9℃,淀粉糊的透光率较好,冻融稳定性略大于马铃薯淀粉^[15]。Builders等^[16]研究结果表明,随着pH值的变化,油莎豆淀粉的理化性质和黏结性能呈现出多样性。随pH值的升高,糊化温度逐渐降低,而发泡能力、糊化澄清度、冻融稳定性、溶胀性和粘度均增加。酸性和中性体系中淀粉的糊化物在第一次冻融循环中形成

表1 油莎豆和几种常见植物油脂肪酸组成
Table 1 Composition of fatty acids in tiger nut and several common vegetable oils

植物油 Vegetable oils	脂肪酸组成 Fatty acid composition /%					
	棕榈酸 Palmitic acid (C16:0)	硬脂酸 Stearic acid (C18:0)	油酸 Oleic acid (C18:1)	亚油酸 Linoleic acid (C18:2)	亚麻酸 Linolenic acid (C18:3)	花生酸 Arachidic acid (C20:0)
油莎豆油 Tiger nut oil	12.2 ~ 14.2	2.4 ~ 4.9	67.7 ~ 74.6	8.8 ~ 11.5	0.2 ~ 1.9	-
低芥酸菜籽油 Low erucic acid rapeseed oil	2.5 ~ 7.0	0.8 ~ 3.0	51.0 ~ 70.0	15.0 ~ 30.0	5.0 ~ 14.0	0.2 ~ 1.2
橄榄油 Olive oil	7.5 ~ 20.0	0.5 ~ 5.0	55.0 ~ 83.0	3.5 ~ 21.0	0.0 ~ 0.1	0.0 ~ 0.6
花生油 Peanut oil	8.0 ~ 14.0	1.0 ~ 4.5	35.0 ~ 69.0	13.0 ~ 43.0	0.0 ~ 0.3	1.0 ~ 2.0
玉米油 Corn oil	8.6 ~ 16.5	0 ~ 3.3	20.0 ~ 42.2	34.0 ~ 65.6	0.0 ~ 2.0	0.2 ~ 1.0
大豆油 Soybean oil	8.0 ~ 13.5	2.0 ~ 5.4	17.0 ~ 30.0	48.0 ~ 59.0	4.2 ~ 11.0	0.1 ~ 0.6
葵花籽油 Sunflower seed oil	5.0 ~ 7.6	2.7 ~ 6.5	14.0 ~ 39.4	48.3 ~ 74.0	0.0 ~ 0.3	0.1 ~ 0.5
油茶籽油 Camellia oil	3.9 ~ 14.5	0.3 ~ 4.8	68.0 ~ 87.0	3.8 ~ 14.0	0.0 ~ 1.4	0.0 ~ 0.5
芝麻油 Sesame oil	7.9 ~ 12.0	4.5 ~ 6.9	34.4 ~ 45.5	36.9 ~ 47.9	0.2 ~ 1.0	0.3 ~ 1.0
棉籽油 Cottonseed oil	19.0 ~ 26.4	1.5 ~ 3.3	13.5 ~ 21.7	46.7 ~ 62.2	0.0 ~ 0.7	0.1 ~ 0.8

注:表中数据来源于相应行业标准或国家标准,具体为油莎豆(LS/T 3259-2018)、低芥酸菜籽油(GB/T 1536-2004)、橄榄油(GB/T 23347-2009)、花生油(GB/T 1534-2017)、玉米油(GB/T 19111-2017)、大豆油(GB/T 1535-2017)、葵花籽油(GB/T 10464-2017)、油茶籽油(GB/T 11765-2017)、芝麻油(GB/T 8233-2018)和棉籽油(GB/T 1537-2019)

Note: Data are derived from the corresponding industry standards or national standards, specifically including tiger nut (LS / T 3259-2018), low erucic acid rapeseed oil (GB/T 1536-2004), olive oil (GB/T 23347-2009), peanut oil (GB/T 1534-2017), corn oil (GB/T 19111-2017), soybean oil (GB/T 1535-2017), sunflower seed oil (GB/T 10464-2017), camellia oil (GB/T 11765-2018), sesame oil (GB/T 1534-2017) 8233-2018 and cottonseed oil (GB/T 1537-2019)

一团硬的粗凝胶,表现出明显的不稳定性。碱性体系中糊化物在第四次冻融循环后仍保持正常的粘弹性凝胶结构。为了进一步扩大油莎豆淀粉的应用,提高功能特性,学者对其进行了酶法等改性研究。Li等^[17]利用普鲁兰酶(pullulanase,PUL)对油莎豆淀粉进行脱支反应后,其慢消化淀粉含量显著增加,淀粉糊体粘弹性降低,但仍表现出典型的假塑性,可被广泛用于汤或调味品中。

淀粉作为油莎豆的主要成分之一,对油莎豆产品的营养价值和感官品质有着重要的影响。油莎豆淀粉作为一种未充分利用的资源,开发成新型功能性食品也很有价值。然而,由于对其理化性质和功能性质认识不足,目前油莎豆淀粉的加工利用仍受到限制。

1.3.2 油莎豆膳食纤维 油莎豆中膳食纤维含量

约为8.9 g/100g,与其它坚果类纤维含量相似,显著高于普通块茎植物如土豆(0.68 g/100g)、甘薯(1.68 g/100g)、洋姜(3.12 g/100g)、雪莲果(1.75 g/100g)和木薯(1.18 g/100g)^[18]。在我国,不同产地的油莎豆中膳食纤维有所差异。陕西、新疆、湖北、河北和辽宁油莎豆不溶性膳食纤维含量分别为7.63%、11.12%、12.10%、8.58%和8.06%^[19]。Zapata等^[20]发现油莎豆豆乳加工副产物中总膳食纤维含量高达59.71 g/100g,其中99.8%为不溶性膳食纤维。与其它来源加工副产物的膳食纤维相比,油莎豆膳食纤维具有更优越的功能性质,但对油莎豆豆乳加工副产物进行微生物计数结果显示数量较高。上述研究结果表明油莎豆纤维是一种有潜力的食品原料,可增加食品中总膳食纤维含量,并改善其工艺性能。

2 油莎豆的生理功能

2.1 降血脂和降血糖

心血管疾病是人类健康最大的威胁,据世界卫生组织报道全球死于心血管疾病的人数占死亡总数的30%。根据现代中医临床经验和现代医学实验研究发现,引发心血管疾病的主要原因是动脉内膜过量血脂、血糖及血液其它成分沉积造成的动脉粥样硬化。

Bamishaiye等^[21]对饲喂大豆油和油莎豆油的大白鼠进行组织学分析发现,各组织中血脂、类甘油三酯、高密度脂蛋白和低密度脂蛋白水平没有显著性差异($P>0.05$),油莎豆油组血清总胆固醇显著低于大豆组($P<0.05$)。Moon等^[22]利用油莎豆油粕建立C57BL/6J小鼠高血脂模型,探讨其对小鼠脂质代谢的影响,结果显示高剂量可显著降低高脂饮食引起的体重增加、脂肪组织重量和脂肪细胞大小增加,且血清总胆固醇和甘油三酯、肝脏甘油三酯水平较对照组明显降低。低剂量(5%)豆油粕组数值上低于对照组,但无显著性差异。提示适量摄入油莎豆粕有助于预防饮食引起的高脂血症。Salem等^[23]以ApoE^{-/-}小鼠(在低脂食物中自发发展为动脉粥样硬化)为对象,用加有油莎豆块茎的食物喂养后,小鼠出现动脉粥样硬化病变减轻症状,这与血液中炎症细胞(单核细胞、巨噬细胞和树突状细胞)数量减少,以及这些细胞表达IL-2Ra和LFA-1有关。在体外实验中,用水或油莎豆乙醇提取物处理血液和脾细胞,产生的脂多糖(LPS,T、B细胞有丝分裂原)、ConA可诱导B淋巴细胞、T淋巴细胞发生增殖反应。表明油莎豆块茎的某些成分具有抗炎特性,并且在免疫活性宿主中具有免疫刺激作用,减少动脉粥样硬化病变的发生。

膳食血糖指数(glycaemic index,GI)和血糖负荷(glycaemic load,GL)是碳水化合物质量的指标,反映了其对血糖的影响。低GI食物(<55)通常会降低患糖尿病的风险,增加胰岛素敏感性,减少食物摄入量 and 体重,可能还会降低血清胆固醇。Oluwajuyitan等^[24]分别用油莎豆面粉团(TNT)和市售面粉团(CNT)饲喂正常大白鼠7 d,之后禁食12 h取血分析,结果显示,TNT组大鼠GI和GL均显著低于CNT组(14.82%和42.95%),说明油莎豆属于低血糖指数和负荷食品,适合糖尿病患者食用。用两种面团饲喂链脲佐菌素诱导的糖尿病大鼠,血清检测发现糖尿病大鼠在TNT实验食物样本上的血糖降低百分比为60.5%,CNT样本为46.1%,表明TNS比CNT

有更高潜力降低糖尿病大鼠血糖,这可能是由于油莎豆中膳食纤维、肽等生物活性化合物的活性,它们可抑制 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的活性(油莎豆对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶抑制的IC₅₀值分别为2.09 mg/mL和0.76 mg/mL)^[25],从而延缓了面团的老化胃排空率和减少葡萄糖通过肠边界膜的主动转运。

2.2 保肝

肝脏是人体五脏之一,起着解毒、代谢、造血和免疫防御重要作用。一旦肝脏出现问题,人体极易生病,也会影响其它器官发挥作用。随着人们生产生活方式的改变,现在有很大一部分人长期暴露于食品、化妆品、药品和工作场所的肝毒素中,保肝护肝已成为保障人类健康的关键。

Oladipipo等^[26]提出油莎豆是绿色、营养的加工原料,具有肝保护功能。Onuoha等^[27]应用乙酰氨基酚(APAP)诱导的肝损伤模型研究油莎豆乳(tiger nut milk, TNM)保肝作用,大鼠血清中肝毒性和氧化应激的生化指标测定结果显示血清丙氨酸氨基转移酶(alanine aminotransferase, ALT)从对照组的334.3 IU/L降低至2000 mg/kg bw-TNM组的65.4 IU/L,且呈剂量关系($P<0.001$),天冬氨酸氨基转移酶(aspartate aminotransferase, AST)和碱性磷酸转氨酶(alkaline phosphatase, ALP)浓度呈同样的剂量关系。所有实验组大鼠超氧化物歧化酶活性较对照组显著提高($P<0.001$),丙二醛含量略低于阴性对照组,表明TNM在实验浓度下对肝损伤有明显的改善作用,这主要是由于TNM中的抗氧化性物质,直接或间接诱导合成还原型谷胱甘肽,与损伤肝细胞中毒性中间体N-乙酰-p-苯醌亚胺(N-acetyl-p-quinoline imine, NAPQI)-15结合,有效避免游离的NAPQI与蛋白质上的半胱氨酸基团,形成3-(半胱氨酸Syl)APAP加合物,诱导氧化应激,快速细胞死亡和坏死,从而达到保肝作用。Willis等^[28]采用体外大鼠肝细胞单层培养法,研究得到80%乙醇脱脂油莎豆块茎粉提取物对治疗CCl₄诱导的肝损伤有效浓度为500 g/mL,石油醚提取物的有效浓度为200 g/L。Hassanein等^[29]对水蒸汽蒸馏和微波辅助萃取技术制备的油莎豆挥发油也进行了体外肝毒性和保肝研究,结果发现微波辅助萃取技术制备的精油浓度高达1000 μ g/mL时仍未显示半致死效应,而随着水蒸馏获得的精油浓度升高,肝细胞坏死数量增多,计算其LC为125 μ g/mL。以水飞蓟素作为阳性对照,两种精油浓度为12.5 μ g/mL时均对乙酰氨基

酚诱导的肝毒性起作用。

2.3 抗氧化

氧化应激是许多慢性疾病病理学的主要影响因素,包括癌症、糖尿病和肥胖等,抗氧化剂通过中和自由基从而减轻氧化应激的影响。Jing等^[30]以5周龄昆明种雌鼠(22~28 g)为实验对象,对油莎豆提取物抗氧化活性研究发现,低、中、高剂量的油莎豆提取物均能显著提高小鼠肝组织和血清中超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活力,且在5~15 mL kg⁻¹ BW d⁻¹剂量范围内具有剂量效应关系,提示具有增强机体抗氧化的能力。Willis等^[28]分别用水和80%甲醇浸提油莎豆,得到水提取物和甲醇提取物,水提取物中总酚含量为1186.68 GAE/100g,显著高于甲醇提取物,而甲醇提取物中黄酮含量为220.68 CAE/100g高于水提取物。两种提取物对2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(2, 2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基都具有清除作用,当浓度为0.02 mg/mL时,对DPPH自由基的清除率均达到50%以上。水提取物铁离子还原能力(ferric ion reducing antioxidant power, FRAP)为169.83 mm Fe²⁺/100g,高于甲醇提取物。Badejo等^[31]将油莎豆豆乳、水和姜汁以70:20:10的比例混合,调制成油莎豆饮料,体外实验分析得到其对DPPH清除率为32.53%、ABTS清除能力为14.06 μ mol TE/mL、FRAP为1.66 μ g V_c Eqv/mL。研究还发现发芽可提高油莎豆的抗氧化活性,Adebayo和Arinola^[32]比较发芽油莎豆块茎和新鲜块茎成分及抗氧化能力,发现与大豆和花生类似,发芽不会增加油莎豆中多酚含量,但块茎清除DPPH IC₅₀值由45.00 μ g/mL降至33.22 μ g/mL。

2.4 其它

除此外,油莎豆还具有神经保护、胃保护、抑菌、壮阳和治疗贫血等功能。Jing等^[33]分别用CoCl₂处理HT22细胞建立体外缺血再灌注(I/R)损伤模型和线栓法建立体内大脑中动脉阻塞大鼠模型,用油莎豆荳蔻(Cyperus esculentus L. orientin, CLO)干预,发现CLO可通过降低体外模型的脂质过氧化和活性氧的生成,抑制Caspase-3蛋白表达,从而发挥对缺血再灌注损伤的保护作用。但CLO干预未降低乳酸脱氢酶的释放,也未提高超氧化物歧化酶的活性。CLO还可减少脑含水量和脑梗死体积,从而改善体内模型大鼠神经功能。Elshamy等^[34]对乙醇

诱导的胃溃疡大鼠分别饲喂25、50和100 mg/kg油莎豆提取物,发现其血清中半乳糖-3和TNF- α 水平显著降低,进一步组织病理学和组织化学研究显示溃疡对照组浅表上皮中度糜烂,少量炎性细胞浸润,胃组织糖蛋白缺乏,提取物对胃上皮细胞的保护作用呈剂量依赖性。Prakash和Ragavan^[35]采用滤纸扩散法研究了油莎豆不同溶剂提取物抑菌作用,得出所有提取物均对弗氏梭菌敏感。丙酮提取物对金黄色葡萄球菌、肺炎支原体和普通肺炎支原体的抑制作用最强,50%乙醇提取物对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和沙门氏菌的抑制作用最强,氯仿提取物对金黄色葡萄球菌的抑制作用最强,石油醚提取物对沙门氏菌的抑制作用最强。Nto等^[36]对氟他胺处理雄性Wistar大鼠睾丸功能障碍干预21 d后,镜检结果显示,氟他胺处理的大鼠生发上皮和间质组织发生退行性改变,经油莎豆提取物干预后生发上皮细胞数量和体积显著增加,说明油莎豆提取物能增强睾丸活力,减轻氟他胺对睾丸的不良反应。油莎豆油中富含油酸,可抑制Her-2/neu的过度表达,进而通过Her-2/neu癌基因扩增促进乳腺癌细胞凋亡^[37]。此外,油莎豆油可使镰状细胞抗氧化能力增强,使镰状细胞形态减少,球形红细胞增多,从而缓解贫血^[38]。

3 展望

油莎豆作为一种健康绿色的油料作物,深入开发研究对我国粮油产业发展具有重要意义。就当前状况来看,我国对油莎豆市场规模和科学研究等方面还存在一些不足。市场规模方面,虽然种植面积广、时间长、产量高,但广大消费者对油莎豆及其产品认知度偏低,如何进一步推广,使其得到大众认可,是油莎豆研发工作人员和相关企业亟需解决的一大问题。科学研究方面,首先是品种优化问题有待解决,我国种植的品种多为引进时老品种,经60代自我繁殖,品种混杂退化严重,需加快培育适宜在我国种植单产和含油量高的油莎豆新品种,建立油莎豆高活力种子繁育技术体系;其次是加工技术设备有待研发,目前高油脂、高糖、高蛋白原料特性下的高得率提炼工程化技术与装备无直接经验可借鉴,需自主研发全新加工及衍生产品联产设备,形成产业化成套技术装备体系;再者就是油莎豆中表达特定功能的调控因子有待探明,目前的研究主要关注的是油莎豆具有的功能活性,但未对相应的功能因子进行进一步鉴定及表征,需通过聚焦

具体功能因子,研究其结构与特定功能活性关系,为开发具有不同功能特性的油莎豆食品,甚至保健品提供理论指导。

参考文献:

- [1] 张学昆. 我国油莎豆产业研发进展报告[J]. 中国农村科技, 2019: 67-69.
- [2] 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.
- [3] 王瑞元, 王晓松, 相海. 一种多用途的新兴油料作物: 油莎豆[J]. 中国油脂, 2019, 44(1): 1-4. DOI: 10.3969/j.issn.1003-7969.2019.01.001.
- [4] Adel A A M, Awad A M, Mohamed H H, et al. Chemical composition, physicochemical properties and fatty acid profile of Tiger Nut (*Cyperus esculentus* L.) seed oil as affected by different preparation methods [J]. Int Food Res J, 2015, 22(5): 1931-1938.
- [5] 师茜, 田丽萍, 薛琳, 等. 油莎豆块茎发育过程中糖与脂肪积累的相关性研究[J]. 北方园艺, 2015(19): 39-42. DOI: 10.11937/bfy.201519011.
- [6] 杨敏, 田丽萍, 薛琳. 不同油莎豆品种在新疆干旱气候区的产量表现与品质差异[J]. 中国油料作物学报, 2013, 35(4): 451-454. DOI: 10.7505/j.issn.1007-9084.2013.04.017.
- [7] 黄明华. 主要栽培因子对油莎豆生长发育及产量品质的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
- [8] 黄思. 油莎豆茎尖培养体系的构建及高效栽培技术研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [9] Kizzie-Hayford N, Jaros D, Schneider Y, et al. Physico-chemical properties of globular tiger nut proteins [J]. Eur Food Res Technol, 2015, 241(6): 835-841. DOI: 10.1007/s00217-015-2508-9.
- [10] 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.
- [11] Aljuhaimi F, Şimşek Ş, Özcan M M. Comparison of chemical properties of taro (*Colocasia esculenta* L.) and tigernut (*Cyperus esculentus*) tuber and oils [J]. J Food Process Preserv, 2018, 42(3): e13534. DOI: 10.1111/jfpp.13534.
- [12] 房芳, 敬思群, 马泽鑫, 等. 油莎豆蛋白营养评价[J]. 食品科技, 2013, 38(10): 69-73. DOI: 10.13684/j.cnki.spkj.2013.10.032.
- [13] Adama K K, Afolayan M O, Oberafo A A, et al. Isolation and physicochemical characterization of tigernut (*Cyperus esculentus*) starch as a potential industrial biomaterial [J]. Int J Mater Sci Appl, 2014, 3(2): 37-41. DOI: 10.11648/j.ijmsa.20140302.15.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Builders P F, Mbah C C, Adama K K, et al. Effect of pH on the physicochemical and binder properties of tigernut starch [J]. Starch Stärke, 2014, 66(3/4): 281-293. DOI: 10.1002/star.201300014.
- [17] Li X, Fu J, Wang Y, et al. Preparation of low digestible and viscoelastic tigernut (*Cyperus esculentus*) starch by *Bacillus acidopullulyticus* pullulanase [J]. Int J Biol Macromol, 2017, 102: 651-657. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.04.068.
- [18] 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.
- [19] 闫军, 杜静, 李聪, 等. 陕西靖边油莎豆主要成分分析[J]. 中国油脂, 2016, 41(3): 85-88. DOI: 10.3969/j.issn.1003-7969.2016.03.020.
- [20] Sánchez-Zapata E, Fuentes-Zaragoza E, Fernández-López J, et al. Preparation of dietary fiber powder from tiger nut (*Cyperus esculentus*) milk ("Horchata") byproducts and its physicochemical properties [J]. J Agric Food Chem, 2009, 57(17): 7719-7725. DOI: 10.1021/jf901687r.
- [21] Bamishaiye E I, Muhammad N O, Bamishaiye O M. Histological changes and serum lipid profile of selected rat tissues fed on *Cyperus esculentus* (tiger nut) tuber oil meal-based diet [J]. Der Pharma Chemica, 2010, 2(6): 90-96.
- [22] 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 Biotechnol, 2012, 21(2): 317-322. DOI: 10.1007/s10068-012-0042-0.
- [23] Salem M L, Zommara M, Imaizumi K. Dietary supplementation with *Cyperus esculentus* L (tiger nut) tubers attenuated atherosclerotic lesion in apolipoprotein E knockout mouse associated with inhibition of inflammatory cell responses [J]. American J Immunology, 2005, 1(1): 60-67. DOI: 10.3844/ajisp.2005.60.67.
- [24] Oluwajuyitan T D, Ijarotimi O S. Nutritional, antioxidant, glycaemic index and Antihyperglycaemic properties of improved traditional plantain-based (*Musa AAB*) dough meal enriched with tigernut (*Cyperus esculentus*) and defatted soybean (*Glycine max*) flour for diabetic pa-

- tients[J]. Heliyon, 2019, 5(4): e01504. DOI:10.1016/j.heliyon.2019.e01504.
- [25] Ademosun A O, Obboh G. Inhibition of carbohydrate hydrolyzing enzymes associated with type 2 diabetes and antioxidative properties of some edible seeds *in vitro*[J]. Int J Diabetes Dev Countr, 2015, 35 (3) : 516–521. DOI:10.1007/s13410-015-0339-7.
- [26] Saheed S, Oladipipo A E, Abraham B F. Four weeks daily dose oral administration assessment of *Cyperus esculentus* L. aqueous extract on key metabolic markers of wistar rats [J]. Pharmacologia, 2016, 7 (2) : 125–133. DOI:10.5567/pharmacologia.2016.125.133.
- [27] Onuoha N, Ogbusua N, Okorie A, et al. Tigernut (*Cyperus esculentus* L.) 'milk' as a potent 'nutri-drink' for the prevention of acetaminophen-induced hepatotoxicity in a murine model[J]. J Intercult Ethnopharmacol, 2017, 6 (3) : 1. DOI:10.5455/jice.20170603094811.
- [28] Willis S, Jackson C, Verghese M. Effects of processing on antioxidant capacity and metabolizing enzyme inhibition of tiger nut tubers[J]. Food Nutr Sci, 2019, 10(9) : 1132–1141. DOI:10.4236/fns.2019.109082.
- [29] Hassanein H M, Nazif N M, Aboutabl E A, et al. In-vitro hepatoprotection study, free radical scavenging activity and gc/ms analysis of *Cyperus esculentus* essential oils from hydrodistillation and mae techniques [J]. Planta Med, 2013, 79(13) : 312–320. DOI:10.1055/s-0033-1352381.
- [30] Jing S, Ouyang W, Ren Z, et al. The *in vitro* and *in vivo* antioxidant properties of *Cyperus esculentus* oil from Xinjiang, China[J]. J Sci Food Agric, 2013, 93(6) : 1505–1509. DOI:10.1002/jsfa.5927.
- [31] Badejo A A, Olawoyin B, Salawu S O, et al. Antioxidative potentials and chromatographic analysis of beverages from blends of gluten-free acha (*Digitaria exilis*) and tigernut (*Cyperus esculentus*) extracts [J]. J Food Meas Charact, 2017, 11 (4) : 2094–2101. DOI: 10.1007/s11694-017-9593-3.
- [32] Adebayo S F, Arinola S O. Effect of germination on the nutrient and antioxidant properties of tigernut (*Cyperus esculentus*) [J]. Biol Agr Healthc, 2017, 7(18) : 88–94.
- [33] Jing S Q, Wang S S, Zhong R M, et al. Neuroprotection of *Cyperus esculentus* L. orientin against cerebral ischemia/reperfusion induced brain injury [J]. Neural Regen Res, 2020, 15 (3) : 548–556. DOI: 10.4103/1673-5374.266063.
- [34] Elshamy A I, Farrag A R H, Ayoub I M, et al. UPLC-qTOF-MS phytochemical profile and antiulcer potential of *Cyperus conglomeratus* rothb. alcoholic extract [J]. Molecules, 2020, 25 (18) : 4234. DOI: 10.3390/molecules25184234.
- [35] Prakash N, Ragavan B. Phytochemical observation and antibacterial activity of *Cyperus esculentus* L. [J]. Anc Sci Life, 2009, 28(4) : 16–20.
- [36] Nto N, Hassan L, Anyanwu G, et al. Curative effect of aqueous extract of *Cyperus esculentus* on flutamide-induced testicular dysfunction in male Wistar rats [J]. J Exp Clin Anat, 2018, 17(1) : 13. DOI:10.4103/jeca.jeca_27_18.
- [37] Achoribo E S, Ong M T. Tiger nut (*Cyperus esculentus*) : Source of natural anticancer drug? Brief review of existing literature [J]. Euromediterranean Biomed J, 2017, 12(19) : 91–94. DOI:10.3269/1970-5492.2017.12.19.
- [38] Jagpal C. P29 The *in vitro* use of natural antioxidant oils (*Cyperus esculentus*; *Nigella sativa*) to reduce cell sickling in sickle cell anaemia [J]. Biochem Pharmacol, 2017, 139: 134. DOI:10.1016/j.bcp.2017.06.030.

(责任编辑:郭学兰)