

菊芋的化学成分、生物活性及其利用研究进展

李玲玉¹, 孙晓晶², 郭富金¹, 郑振佳^{1,*}

(1. 山东农业大学 食品科学与工程学院, 山东省高校食品加工技术与质量控制重点实验室,
山东 泰安 271018; 2. 山东医学高等专科学校, 山东 济南 250002)

摘要: 菊芋是一种极具开发潜力的农产品, 研究表明菊芋具有多种化学成分和生物活性。该文结合国内外相关文献, 对菊芋中菊糖、萜类、黄酮类等化学成分及菊芋的主要生理活性和应用现状等方面进行总结, 以期对菊芋进一步开发提供科学依据。

关键词: 菊芋; 化学成分; 生理活性; 产品开发; 综合利用

Study on the Chemical and Bioactive Compounds and Applications of *Helianthus tuberosus* L.

LI Ling-yu¹, SUN Xiao-jing², GUO Fu-jin¹, ZHENG Zhen-jia^{1,*}

(1. College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Key Laboratory of Food Processing Technology and Quality Control in Shandong Province, Tai'an 271018, Shandong, China;
2. Shandong Medical College, Jinan 250002, Shandong, China)

Abstract: *Helianthus tuberosus* L. is an agricultural product with great development potential. Many chemical components and biological activities have been found in *Helianthus tuberosus* L. by modern researches. Based on the related literatures at domestic and foreign, the physiological activities of the chemical constituents such as inulin, steroids and flavonoids in *Helianthus tuberosus* L. were summarized. The review provides a scientific basis for the further developments and applications of *Helianthus tuberosus* L.

Key words: *Helianthus tuberosus* L.; chemical composition; biological activity; product development; comprehensive application

引文格式:

李玲玉, 孙晓晶, 郭富金, 等. 菊芋的化学成分、生物活性及其利用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(16): 213-218
LI Lingyu, SUN Xiaojing, GUO Fujin, et al. Study on the Chemical and Bioactive Compounds and Applications of *Helianthus tuberosus* L.[J]. Food Research and Development, 2019, 40(16): 213-218

菊芋(*Helianthus tuberosus* L.)为菊科向日葵属宿根生草本植物, 又名洋姜、鬼子姜、姜不辣^[1], 有通便利胆、消肿去湿、和中益胃等功效, 还有治疗糖尿病和风湿病的潜在价值^[2-3]。菊芋原产北美洲, 后经欧洲传入中国, 具有丰富的营养成分和极强的生存能力, 目前在我国各地均有栽培^[4-5]。菊芋地上部分为茎叶和花,

地下部分为根和块茎, 各部分中均含有菊糖、酚酸和萜类等多种生物活性成分, 具有控制血糖、免疫调节和抗肿瘤等多种作用。目前国内的菊芋主要用于生产酱菜、动物饲料等初级产品和作观赏用途, 少数菊芋开始用于菊粉等产品的生产, 极少数菊芋应用于工业生产乙醇等能源物质; 国外早在 20 世纪中期开始对菊芋能源和活性成分等进行研究, 菊芋作为能源植物研究应用工业比较成熟, 菊芋活性成分及系列菊芋保健品开发取得一定成果, 但仍存在单体化合物不明确、单体及单体间的作用机制和菊芋未能综合利用等问题。本文对菊芋化学成分、生物活性和应用方面进行总结, 为菊芋进一步研究开发提供依据。

基金项目: 2018 年烟台市科技计划项目(2018ZDCX014); 山东省 2017 年度农业重大应用技术创新项目

作者简介: 李玲玉(1996—), 女(汉), 在读硕士, 研究方向: 农产品加工与贮藏。

* 通信作者: 郑振佳(1985—), 男(汉), 副教授, 博士, 研究方向: 果蔬加工与功能食品。

1 化学成分

1.1 菊糖

菊糖是菊芋块茎中的主成分,其中菊芋干物质中约 80 % 为菊糖,鲜块茎中菊糖含量占 15 %~18 %^[6]。菊糖是一种天然大分子线性聚合物,由 D-呋喃果糖经 β (2 $\rightarrow$ 1)糖苷键聚合而成,其还原末端带有一分子葡萄糖,每个菊糖分子约含 30~50 个果糖残基,可以利用菊糖内切酶进行酶解与纯化后的菊糖来制备低聚果糖^[7-8]。现代研究表明菊糖具有调节血糖、调节肠道菌群等保健功能,可作为添加剂应用到食品加工中,例如菊糖可作为糖、脂肪和面粉的替代物应用于生产巧克力、奶酪、肉馅、香肠和面条等多种产品。

1.2 脂肪酸

植物脂肪酸可以用于食品,也可以用于油酸、润滑剂和生物柴油等工业产品的生产。脂肪酸因碳链的长短和不饱和键的数目不同,所发挥的功能有很大差异,了解原料中脂肪酸的含量和类型是食品研发的前提。研究发现含水量 7.6 % 的菊芋块根中总脂肪(total lipids, TL)、游离脂类(free lipids, FL)和结合脂类(bound lipids, BL)分别为 0.56 %、0.39 % 和 0.36 %,其中非极性脂类、糖脂类和磷脂类含量分别为结合脂的 29.9 %、46.9 % 和 23.2 %,其中结合脂类中的非极性成分大部分为亚油酸,不饱和脂肪酸含量高达 70 %^[9]。菊芋脂质水解产物为脂肪酸和不皂化物质,脂肪酸含量由高到低分别为块根>叶>茎,其中块根和叶中脂肪酸主要含 C18:2(十八碳双不饱和脂肪酸),茎和少量块茎中主要含 C18:3(十八碳三不饱和脂肪酸),菊芋中含量最多的脂肪酸为 C16:0(十六碳饱和脂肪酸)^[10]。

1.3 萜类

菊芋中萜类主要为倍半萜类化合物,具有抗炎、抗肿瘤等多种生物活性,可用于抗肿瘤药物及多种保健食品的开发。Pan 等^[11-12]从菊芋中分离得到对映-17-氧代贝壳杉烷-15(16)-烯-19-酸、对映-17-羟基贝壳杉烷-15(16)-烯-19-酸、对映-15 β -羟基贝壳杉烷-16(17)-烯-19-羧酸-甲酯、 α -蒎烯、 α -蒎烯、 β -蒎烯、桉烯、柠檬烯、 α -古巴烯、 α -柏木烯、 β -倍半水芹烯、 β -甜没药烯、 α -花侧柏烯和芳樟醇等数 10 种萜类化合物。袁晓艳等^[13-14]从菊芋叶片中分离得到去乙酰基卵美菊素、1 α -乙酰氧基-羽状半裂素、1 α -羟基-羽状半裂素等。Jantaharn 等^[15]从菊芋花中分离得到对映-贝壳杉烷-16-烯-19-酸、15-羟基贝壳杉烷-16-烯-19-酸、17-羟基贝壳杉烷-15-烯-19-酸、对映-16 β , 17-二羟基-贝壳杉烷-19-羧酸、醋酸洛利酯、款冬二醇、款冬二醇-3-O-脂肪酸酯衍生物和 16 β -羟基-羽

扇豆醇-3-O-脂肪酸衍生物等。

1.4 酚酸类

目前我国酚酸类化合物大多从丹参、金银花等名贵药材中提取,研究发现非药材菊芋中同样富含酚酸类成分。袁晓艳等^[16-18]从菊芋叶片分离纯化得到 3-O-咖啡酰奎宁酸(绿原酸)、咖啡酸、3,5-O-二咖啡酰奎宁酸、3,4-O-二咖啡酰奎宁酸、1,5-O-二咖啡酰奎宁酸、4,5-O-二咖啡酰奎宁酸、3,5-O-二咖啡酰奎宁酸甲酯、P-香豆酰奎宁酸、咖啡酰葡萄糖和阿魏酰奎宁酸等。Tchone 等^[19]采用比色法、反相高效液相色谱、液相色谱-质谱和气相色谱-质谱等多种技术联用从菊芋中分离鉴定多种酚酸类化合物,主要为没食子酸、原儿茶酸、龙胆酸、4-羟基苯甲酸、香草酸、丁香酸、3,5-二硝基水杨酸、对香豆酸、阿魏酸、芥子酸、香豆素-3-羧酸、3-羟基肉桂酸、鞣花酸和水杨酸等。

1.5 甾体类

甾体化合物种类多、结构复杂,广泛分布于动植物中,其中植物甾醇对心脏和降低胆固醇有益,对结肠癌有一定预防作用。现代研究发现菊芋中含有丰富的甾醇,李晓栋^[20]从菊芋叶和茎中共分离鉴定出 12 个甾体类化合物,分别为 β -谷甾醇、5 α ,8 α -表二氧-22 β ,23 β -表-二氧麦角甾-6-烯-3 β -醇、5 α ,8 α -表二氧-22 α ,23 α -表二氧麦角甾-6-烯-3 β -醇、豆甾醇、(24R)-5 α ,8 α -表二氧麦角甾-6-烯-3 β -醇、7 α -羟基豆甾醇、(24R)-24-乙基-5 α -胆甾烷-3 β ,5 α ,6 β -三醇、谷甾-5-烯-3 β -醇-乙酸酯、7 α -羟基谷甾醇、(22E,24R)-5 α ,8 α -表二氧麦角甾-6,9(11),22-三烯-3 β -醇、(22E,24R)-5 α ,8 α -表二氧麦角甾-6,22-二烯-3 β -醇和 3 β ,7 α -7-甲氧基豆甾-5-烯-3-醇。Hartmann 等^[21]对菊芋远红外等诱导处理后分离鉴定得到 (24R)-24-乙基胆甾醇-5,Z-22-二烯-3 β -醇、24-亚甲基-9 β ,19 β -环木菠萝烯-3 β -醇、(24R)-24-甲基胆甾烷-5-烯-3 β -醇、9 β ,19 β -环木菠萝烯-24-烯-3 β -醇、(24R)-24-乙基胆甾烷-5-烯-3 β -醇等甾体化合物。Jantaharn 等^[15]从菊芋花中分离得到豆甾-4-烯-3-酮、3-O- β -吡喃葡萄糖基-谷甾醇和 6'-乙酰基-3-O- β -吡喃葡萄糖基-谷甾醇 3 个甾体类化合物。

1.6 黄酮类

菊芋叶片和花中含有丰富的黄酮成分,可对菊芋花和叶片资源活性成分进行开发。袁晓艳等^[13,18-19]从菊芋叶片中分离得到 5,8-二羟基-6,7,4'-三甲氧基黄酮、5,8-二羟基-6,7-二甲氧基-2-(3,4-二甲氧基苯)-4-苯并吡喃酮、异鼠李素-O-葡萄糖苷、山奈酚葡萄糖醛酸苷、山奈酚-3-O-葡萄糖苷、儿茶素和表儿茶

素。Jantaharn 等^[15]从菊芋花中分离得到异甘草素、2,4,2',4'-四羟基查尔酮、甘草素、针依瓦菊素、槲皮素-7-O- β -葡萄糖苷、硫黄菊素和硫黄菊素葡萄糖苷。

1.7 其他

另外,菊芋中还含有丰富的氨基酸、香豆素类和聚乙炔类化合物。TCHONE 等^[15,19,22]从菊芋中分离得到6-甲氧基-7-异戊烯氧基香豆素、秦皮甲素、伞形花内酯、7-羟基-6-甲氧基香豆素、4-羟基香豆素和6,7-二甲二氧基-香豆素等香豆素类化合物。Jantaharn 等^[15]从菊芋花中分离得到色素类物质7-羟基色酮。Matsuura 等^[23]从菊芋叶中首次分离得到了10- β -D-葡萄糖苷-3-羟基-11-十二烷-6,8-二炔酸甲酯、甲基-9- β -D-葡萄糖苷-10-十一烯-5,7-二炔酸甲酯、10- β -D-葡萄糖苷-3-羟基-4,11-十二碳二烯-6,8-二炔酸甲酯和(8Z)10- β -D-葡萄糖苷-8-癸烯-4,6-二炔酸酯4个聚乙炔衍生物。Kim 等^[24]研究表明菊芋中富含赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、缬氨酸和亮氨酸7种必需氨基酸及天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、胱氨酸、酪氨酸、组氨酸、精氨酸和脯氨酸10种非必需氨基酸。

2 生物活性

2.1 抗糖尿病作用

菊芋中含有的菊糖具有一定的抗糖尿病效果。Wang 等^[25]比较发现,由植物乳杆菌发酵的菊芋(*L. plantarum*-fermented purple Jerusalem artichoke, LJA)对 α -葡萄糖苷酶抑制活性最好,抑制率达49.34%;另外考察了LJA对非胰岛素依赖型糖尿病动物的功效,结果发现口服LJA 400 mg/kg组比对照组血糖水平减少42.25%;LJA组小鼠体内的血清胰岛素、高密度脂蛋白和高密度胆固醇分别增加30%、38.89%和13.52%;糖化血红蛋白和甘油三酯分别减少10.32%和65.27%。Yang 等^[26-27]研究发现菊芋有降低 β 细胞凋亡和改善肝脏胰岛素敏感性的作用。李季泓等^[28]研究菊芋菊糖对链脲佐菌素诱导I型糖尿病大鼠的作用效果,结果显示3%菊芋菊糖治疗效果最好,在28d时胰岛素表达和体内含量均明显增加,血糖水平恢复正常,表明菊芋菊糖可应用到I型糖尿病的治疗研究。黄晓东等^[29]考察菊芋多糖对II型糖尿病大鼠的作用,发现菊芋多糖可以降低血糖水平,升高血清胰岛素,增加细胞内阳性染色颗粒数量以及提高胰岛素阳性表达水平。

2.2 抗氧化作用

袁晓艳等^[17]研究表明,菊芋乙酸乙酯相抗氧化性

效果最好,其中对1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基、ABTS⁺自由基和羟自由基的半数清除率(SC₅₀)分别为(11.01 $\pm$ 1.43)、(2.54 $\pm$ 0.09)和(23.98 $\pm$ 1.97) μ g/mL。Kim 等^[24]研究发现,高静水压提取结合酶处理后的产物具有最佳抗氧化性,DPPH自由基清除率可达(24.93 $\pm$ 0.13)%,超氧化物歧化酶类似物(superoxide dismutase-like, SOD-like)活性达(20.14 $\pm$ 0.97)%。郑晓涛等^[30]研究发现菊芋叶总黄酮对超氧自由基、羟基自由基和DPPH自由基的半数抑制率(IC₅₀)分别达146.7、132.3 μ g/mL和76.1 μ g/mL。

2.3 保肝作用

Okada 等^[31]考察了菊芋提取物对高脂饮食大鼠的保肝作用,结果显示喂养菊芋提取物组与对照组相比,粪便中甘油三酯和总胆固醇升高,大鼠肝脏的甘油三酯、总胆固醇、血糖及血浆天门冬氨酸转氨酶和丙氨酸氨基转移酶降低,结果表明菊芋提取物组可以有效改善肝脏的糖耐量和脂肪肝分布不均匀。Kim 等^[32]研究链脲菌素处理的大鼠发现,菊芋提取物阻止大鼠天门冬氨酸转移酶、丙氨酸氨基转移酶、乳酸脱氢酶和 γ -谷氨酰转肽酶的升高,降低肝脏血清中甘油三酯和总胆固醇水平,有利于肝功能的恢复。

2.4 免疫作用

王亚锴^[33]考察了肉鸡基础日粮中添加菊芋提取物,喂养42天后对其免疫器官影响,结果显示添加0.4%菊芋粗提物组的法氏囊、胸腺和脾脏指数明显高于其他组,说明菊芋可以提高免疫性能。Tientgam 等^[34-35]研究菊粉和菊芋对罗非鱼的生长影响,试验表明菊粉和菊芋均可以提高和改善罗非鱼的生长速度、存活率和生长状态,同时可以增加血细胞中血糖、白蛋白、蛋白质、镁、铁的含量和红细胞数目;另外,饲料中添加5 g/kg~10 g/kg菊糖,可以提高罗非鱼的免疫力。

2.5 抗肿瘤作用

吴婧等^[36]研究发现,菊芋叶中黄酮提取物对瘤株细胞有抑制作用,在200 μ g/mL时菊芋黄酮提取物对人鼻咽癌细胞、人肝癌细胞和人白血病细胞抑制率分别为11.65%、12.56%和16.78%。Jantaharn 等^[15]从菊芋花中分离得到萜类、黄酮类、香豆素类和色素物质,其中对映-贝壳杉-16-烯-19-酸、款冬二醇、异甘草素、 β -豆甾-4-烯-3-酮和针依瓦菊素等对结肠癌细胞株HCT116和HT29有抗增殖活性,其中款冬二醇活性最好,抑制效果与标准控制药物相当;对映-贝壳杉-16-烯-19-酸和异甘草素具有中等程度抑制性效果,其IC₅₀值小于50 μ g/mL;但是款冬二醇和异甘草素对正常Vero细胞的相当大的细胞毒性(IC₅₀=14.64 $\pm$

1.68 $\mu\text{g/mL}$ 和 $18.78 \pm 3.28 \mu\text{g/mL}$ 。

2.6 抑菌作用

刘海伟等^[37]比较了石油醚、乙醚、乙酸乙酯和水 4 种溶剂提取物的抑菌活性,发现菊芋叶乙酸乙酯部分具有很好的抑菌效果,在浓度 20 mg/mL 时对番茄早疫病和番茄灰霉菌已达到完全抑制,对水稻纹枯菌抑菌效果达 77.91 %。韩睿等^[38]比较了丙酮、氯仿、乙醇、乙酸乙酯和石油醚 5 种菊芋叶提取物对植物中病原菌的抑制效果,发现丙酮提取效果最好,在 25 mg/mL 时辣椒灰霉菌、番茄白霉菌和青霉菌的抑菌率分别为 $(90.46 \pm 0.535) \%$ 、 $(77.17 \pm 0.145) \%$ 和 $(60.38 \pm 0.401) \%$ 。Jantaharn 等^[19]发现对映-贝壳杉-16-烯-19-酸和 β -豆甾-4-烯-3-酮对屎肠球菌(*E. faecium*)抑菌活性一致,其最低抑菌浓度(minimum inhibitory concentration, MIC)范围为 6.25 $\mu\text{g/mL}$ ~12.50 $\mu\text{g/mL}$,后者还具有抑制结核杆菌的活性, MIC 为 25.00 $\mu\text{g/mL}$ 。

3 应用现状

3.1 菊粉及果糖生产

目前以菊芋为原料生产的菊粉产量和质量仅次于菊苣,是菊粉生产的重要原料。菊粉的提取方法主要有水热法、超声波辅助提取、微波辅助提取和酶法提取等,张宏志等^[39]以新鲜菊芋为原料,比较了热水浸提法、酶解法、超声提取和微波辅助 4 种方法,其中热水浸提前进行微波处理效率最高。安晓东等^[40]将新鲜菊芋,用锤片式粉碎机粉碎至 10 mm, 90 $^{\circ}\text{C}$ 热水浸提 2 遍,菊糖提取率高达 98 %。李鑫等^[41]利用菊芋渣选择性吸附黑曲霉产的天然菊粉酶,保留较多的菊粉酶活力,进而应用到菊粉生产短链低聚果糖,有效的提高了低聚果糖质量浓度,实现了低聚果糖的高效和低成本生产。

3.2 生产柠檬酸

柠檬酸是一种安全无害添加剂,可在婴幼儿配方食品、辅助食品和浓缩果蔬汁中添加,调节酸度平衡,抑菌防腐,广泛应用于食品、洗涤产品和医药等方面。王凌飞等^[42]利用基因工程菌株 *Y. lipolytica* 30 发酵菊粉生产柠檬酸,转化率可达 84 %;该菌株在通气量 5 $\text{L}/(\text{L} \cdot \text{min})$, 转速 300 r/min , 温度 28 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,发酵 14 d,柠檬酸产量达 68.3 g/L ,残余总糖为 9.16 g/L ,残留还原糖 2.14 g/L ,经钙盐法精制和高效液相色谱分析得纯度为 96 %的柠檬酸。

3.3 生物能源

菊芋是我国优先发展的能源植物之一,开发菊芋资源可以缓解能源紧张问题。19 世纪末期,法国化学

家利用菊芋块茎发酵蒸馏提纯得到纯酒精;20 世纪 90 年代以来,国内外学者利用菊芋菊糖生产乙醇,工艺流程主要有两种,一种是经酶或酸处理,再与酵母或者细菌混合发酵;另一种是直接利用产菊粉酶较高的微生物与酿酒酵母混合发酵^[43]。我国发酵菊芋生产研究主要在发酵菌株的筛选和生产工艺上,目前已经有研究投入到工业生产。俞静等^[44]以菊芋原料为底物,利用鹰嘴豆孢克鲁维酵母同步糖化与发酵生产乙醇,在 5 L 发酵罐中进行发酵,其中接种量为 10 %,总糖含量为 22 %,温度为 30 $^{\circ}\text{C}$,转速 300 r/min ,在密闭条件下发酵 144 h,乙醇浓度可达到 12.3 %,糖醇转化率为 86.9 %,糖利用率达到 93.6 %。

菊芋作为一种非粮食作物具有很高的菊糖,可被产油微生物利用生产油脂,大多数产油酵母缺乏菊粉酶,微生物油脂的产生需要菊芋水解或者产油酵母与菊芋酶产生菌共同发酵,或者利用基因工程技术在产油酵母中导入菊粉酶基因,实现菊粉的进一步产油^[45]。

3.4 生产动物饲料和叶蛋白

菊芋秸秆以及副产物菊芋渣等可用做生产动物饲料。刘海燕等^[46]通过对玉米秸秆和菊芋秸秆适量的混合青贮,降低了菊芋秸秆制作青贮饲料的纤维物质含量,提高了非纤维物质含量,增加了消化率和饲喂价值。赵芳芳等^[47]发现生产菊糖的副产物-菊芋粕可以用于泌乳奶牛能量饲料的生产,其粗蛋白和粗纤维含量在 12 %~14 %之间,菊芋中无氮浸出物含量较低,产奶净能、脂肪含量较低,消化率高,按一定比例添加到饲料,不会影响泌乳功能。

叶蛋白是世界上最多的可再生蛋白之一,叶蛋白提取物包括细胞质蛋白、细胞壁结构蛋白和核蛋白等优质蛋白,可直接食用或生产高蛋白食品、食品添加剂和家畜饲料等用途^[48]。俞梦妮等^[49]以新鲜菊芋叶片为原料,加入提取剂榨汁,经调 pH 值、水浴、冷却、离心和烘干等步骤,得到粗蛋白和叶蛋白,其中最优条件下平均粗蛋白含量可达 48.96 %,提取率达 27.36 %以及叶蛋白得率为 4.09 %。

4 展望

菊芋是一种潜在的多功能植物,可在盐碱地和滩涂等逆境中生长且产量可观。目前国内菊芋产品主要为酱菜、调味料等初级产品,另外青海等地区已经开始开发菊芋资源,用来生产菊粉应用于医药和食品中。但是就目前国内菊芋资源利用来看,菊芋的主成分菊糖有了初步研究,但是市场上菊粉产品良莠不齐,建立菊粉纯度鉴定和聚合度的方法是菊粉质量控

制的必要手段;另外菊芋中萜类、黄酮类、酚酸类等次级代谢产物研究较少,存在单体化合物不稳定,具体结构和作用机理不明确等亟待解决的问题;菊芋作为生物能源生产乙醇的研究主要在菊粉酶的筛选方面,并未大量投入工业生产;菊芋叶片也可以用于生产蛋白、黄酮等成分。因此,我们有必要对菊芋具体化学成分、生物活性及机理进行深入研究,为后续菊芋产品开发、保健食品研究、菊芋综合利用及后续医药的应用提供依据。

参考文献:

- [1] 昌盛,陈爽,李晓光. 菊芋的种植现状研究[J]. 北方园艺, 2012(5): 186-187
- [2] 曹林. 水杨酸对菊芋耐铝性调控机制的研究[D]. 金华: 浙江师范大学, 2016: 9-10
- [3] KAYS S J, NOTTINGHAM S F. Biology and chemistry of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.)[J]. Journal of Agricultural & Food Information, 2007, 10(4): 97-108
- [4] 胡素琴,蔡飞鹏,王建梅,等. 菊芋的种植和开发利用[J]. 生物质化学工程, 2012, 46(1): 51-54
- [5] 许勤虎. 菊芋(洋姜)的产业化开发应用研究[J]. 食品工程, 2001(2): 33-34
- [6] 胡娟,金征宇,王静. 菊芋菊糖的提取与纯化[J]. 食品科技, 2007, 32(4): 62-65
- [7] PANCHEV I, DELCHEV N, KOVACHEVA D, et al. Physicochemical characteristics of inulins obtained from Jerusalem artichoke(*Helianthus tuberosus* L.)[J]. European Food Research & Technology, 2011, 233(5): 889-896
- [8] 刘彬. 菊芋菊糖的制备及其降解生产低聚果糖[D]. 无锡: 江南大学, 2016: 2-3
- [9] CHERNENKO T V, GLUSHENKOVA A I, RAKHIMOV D A. Lipids of *Helianthus tuberosus* tubers[J]. Chemistry of Natural Compounds, 2008, 44(1): 1-2
- [10] TALIPOVA M. Lipids of *Helianthus tuberosus*[J]. Chemistry of Natural Compounds, 2001, 37(3): 213-215
- [11] PAN L, SINDEN M R, KENNEDY A H, et al. Bioactive constituents of *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke)[J]. Phytochemistry Letters, 2009, 2(1): 15-18
- [12] BACH V, KIDMOSE U, KJELDSEN B G, et al. Effects of harvest time and variety on sensory quality and chemical composition of Jerusalem artichoke(*Helianthus tuberosus*) tubers[J]. Food Chemistry, 2012, 133(1): 82-89
- [13] YUAN X Y, CHENG M C, GAO M Z, et al. Cytotoxic constituents from the leaves of Jerusalem artichoke(*Helianthus tuberosus* L.) and their structure-activity relationships[J]. Phytochemistry Letters, 2013, 6(1): 21-25
- [14] BABA H, YAOITA Y, KIKUCHI M. Sesquiterpenoids from the Leaves of *Helianthus tuberosus* L.[J]. Journal of Tohoku Pharmaceutical University, 2005, 52: 21-25
- [15] JANTAHARN P, MONGKOLTHANARUK W, SENGAWONG T, et al. Bioactive compounds from organic extracts of *Helianthus tuberosus* L. flowers[J]. Industrial Crops & Products, 2018, 119: 57-63
- [16] SUN P C, LIU Y, YI Y T, et al. Preliminary enrichment and separation of chlorogenic acid from *Helianthus tuberosus* L. leaves extract by macroporous resins[J]. Food Chemistry, 2015, 168(9): 55-62
- [17] YUAN X Y, GAO M Z, XIAO H B, et al. Free radical scavenging activities and bioactive substances of Jerusalem artichoke(*Helianthus tuberosus* L.) leaves[J]. Food Chemistry, 2012, 133(1): 10-14
- [18] 谌馥佳. 菊芋叶片化学成分分析及抑菌活性成分研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013: 43-51
- [19] TCHONE M, BARWALD G, ANNEMULLER G, et al. Separation and identification of phenolic compounds in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.)[J]. Science Des Aliments, 2006, 26(5): 394-408
- [20] 李晓栋. 三种海岸带植物次生代谢产物及其生物活性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012: 64-71
- [21] HARTMANN M A, BENVENISTE P, DURST F. Biosynthesis of sterols in jerusalem artichoke tuber tissue[J]. Phytochemistry, 1972, 11(10): 3003-3005
- [22] CABELLO-HURTADO F, DURST F, JORRIN J V, et al. Coumarins in *Helianthus tuberosus*: characterization, induced accumulation and biosynthesis[J]. Phytochemistry, 1998, 49(4): 1029-1036
- [23] MATSUURA H, YOSHIHARA T, ICHIHARA A. Four New Polyacetylenic Glucosides, Methyl β -D-Glucopyranosyl Helianthenate C-F, from Jerusalem Artichoke(*Helianthus tuberosus* L.)[J]. Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan, 2014, 57(9): 1492-1498
- [24] KIM D, FAN J P, CHUNG H C, et al. Changes in extractability and antioxidant activity of Jerusalem artichoke(*Helianthus tuberosus* L.) tubers by various high hydrostatic pressure treatments[J]. Food Science & Biotechnology, 2010, 19(5): 1365-1371
- [25] WANG Z Q, SEUNGHWAN H, SUNYOUNG L, et al. Fermentation of purple Jerusalem artichoke extract to improve the α -glucosidase inhibitory effect in vitro and ameliorate blood glucose in db/db mice[J]. Nutrition Research & Practice, 2016, 10(3): 282-287
- [26] YANG H J, YOUNG K D, JUNG K M, et al. Jerusalem artichoke and chungkookjang additively improve insulin secretion and sensitivity in diabetic rats[J]. Nutrition & Metabolism, 2012, 9(1): 112
- [27] 李晓月,张晶晶,张红建,等. 菊粉对反式脂肪酸致小鼠胰岛素抵抗的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 201-204
- [28] 李季泓,王密,林树梅,等. 菊芋菊糖对链脲佐菌素诱导大鼠 I 型糖尿病治疗作用的研究[J]. 现代预防医学, 2015, 42(16): 2997-3000
- [29] 黄晓东,王艳春,李晓光,等. 菊芋多糖对 2 型糖尿病大鼠胰岛细胞形态与功能影响[J]. 中国公共卫生, 2018, 34(3): 365-368
- [30] 郑晓涛. 菊芋叶总黄酮含量变化及其提取、纯化、抗氧化性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012: 31-34
- [31] OKADA N, KOBAYASHI S, MORIYAMA K, et al. *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke) tubers improve glucose tolerance and hepatic lipid profile in rats fed a high-fat diet[J]. Asian Pacific

- Journal of Tropical Medicine, 2017, 10(5): 418-422
- [32] KIM H S, HAN G D. Hypoglycemic and hepatoprotective effects of Jerusalem artichoke extracts on streptozotocin-induced diabetic rats[J]. Food Science & Biotechnology, 2013, 22(4): 1121-1124
- [33] 王亚锴. 菊芋提取物对肉鸡生产性能、肉质及免疫器官的影响[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2013: 32-34
- [34] TIENG TAM N, KHEMPAKA S, PAENGKOUM P, et al. Effects of inulin and Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) as prebiotic ingredients in the diet of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Animal Feed Science & Technology, 2015, 207: 120-129
- [35] TIENG TAM N, PAENGKOUM P, SIRIVOHARN S, et al. The effects of dietary inulin and Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tuber on the growth performance, haematological, blood chemical and immune parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings[J]. Aquaculture Research, 2017, 48(4): 5280-5288
- [36] 吴婧. 菊芋叶黄酮类化合物的提取及其抗氧化性、抗肿瘤和抑菌性的研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2010: 49
- [37] 刘海伟, 刘兆普, 刘玲, 等. 菊芋叶片提取物抑菌活性与化学成分的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2007, 19(3): 405-409
- [38] 韩睿, 王丽慧, 钟启文, 等. 菊芋叶片提取物抑菌活性研究[J]. 现代农业科技, 2010(5): 120-121
- [39] 张宏志, 马艳弘, 黄开红, 等. 菊芋菊糖的提取、聚合度分布及抗氧化活性的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(10): 1069-1075
- [40] 安晓东, 杨丽微, 李乾丽, 等. 菊芋中菊粉提取与护色工艺的研究[J]. 中国食品添加剂, 2018(3): 115-119
- [41] 李鑫, 周瑾, 赖晨欢, 等. 菊芋渣选择性吸附天然菊粉酶催化制备短链低聚果糖[J]. 生物质化学工程, 2017, 51(6): 33-37
- [42] 王凌飞. 基因工程菌株 *Yarrowia lipolytica* 30 利用菊芋提取液柠檬酸的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 21-41
- [43] 汪伦记, 董英. 以菊芋粉为原料同步糖化发酵生产燃料乙醇[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 263-267
- [44] 俞静, 江佳稀, 张永强, 等. 鹰嘴豆孢克鲁维酵母利用菊芋原料同步糖化与发酵生产乙醇[J]. 生物工程学报, 2010, 26(7): 982-990
- [45] 谢同舟. 营养胁迫调控粘性丝孢酵母生产油脂的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2016: 1-2
- [46] 刘海燕, 王秀飞, 王彦靖, 等. 玉米秸秆和菊芋秸秆混合青贮的研究[J]. 中国奶牛, 2017(12): 15-17
- [47] 赵芳芳, 郑琛, 李发弟. 菊芋粕对泌乳奶牛的营养价值评定[J]. 草业学报, 2011, 20(6): 264-269
- [48] 王震, 乔天磊, 霍乃蕊, 等. 植物叶蛋白提取及应用前景[J]. 山西农业科学, 2015, 43(1): 1727-1730
- [49] 俞梦妮, 包婉君, 湛馥佳, 等. 菊芋叶蛋白提取工艺研究及氨基酸分析[J]. 草业科学, 2015, 32(1): 125-131

收稿日期: 2018-10-29

欢迎订阅 2020 年《食品研究与开发》

《食品研究与开发》是由天津市食品研究所有限公司和天津市食品工业生产力促进中心主办, 国内外公开发行的食品专业科技期刊, 1980 年创刊, 半月刊, 采用国际流行开本大 16 开。其专业突出, 内容丰富, 印刷精美, 是一本既有基础理论研究, 又包括实用技术的刊物。本刊已被“万方数据库”、“中文科技期刊数据库”、《乌利希期刊指南》、美国《化学文摘》、英国国际农业与生物科学研究中心 (CABI)、英国《食品科技文摘》(FSTA) 等知名媒体收录, 并被列入“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、RCCSE 中国核心学术期刊 (A)。主要栏目有: 基础研究、应用技术、检测分析、生物工程、专题论述、食品机械等。

本刊国内统一刊号 CN 12-1231/TS; 国际刊号 ISSN 1005-6521; 邮发代号: 6-197。全国各地邮局及本编辑部均可订阅。从本编辑部订阅全年刊物享八折优惠。2020 年定价: 30 元/册, 全年 720 元。

本编辑部常年办理邮购, 订阅办法如下:

(1) 邮局汇款。地址: 天津市静海县静海经济开发区南区科技路 9 号; 收款人: 《食品研究与开发》编辑部; 邮政编码: 301600。

(2) 银行汇款。开户银行: 工商银行静海支行, 行号: 102110000863。

账号: 0302095119300204171; 单位: 天津市食品研究所有限公司。

《食品研究与开发》编辑部

www.tjfrad.com.cn

E-mail: tjfood@vip.163.com

电话(传真): 022-59525671