

DOI: 10.3976/j.issn.1002-4026.2011.06.016

菊芋研究进展

王少杰¹, 孟雨吟², 孙士青¹, 李秋顺¹, 孟令珩^{3*}, 杜昱光³

(1. 山东省科学院生物研究所, 山东 济南 250014; 2. 山东农业大学, 山东 泰安 271018;
3. 中国科学院大连化学物理研究所, 辽宁 大连 116023)

摘要: 菊芋作为一种耐盐植物对盐碱土地治理、生态农业开发具有重要的价值。菊芋种质的选育、植株的栽培, 块茎的深加工和秸秆的循环利用, 形成了循环生态经济圈, 对发展高效生态经济具有一定的借鉴意义。

关键词: 菊芋; 耐盐植物; 生态经济

中图分类号: S632.9 文献标识码: A 文章编号: 1002-4026(2011)06-0062-05

Research advances of Jerusalem artichoke

WANG Shao-jie¹, MENG Yu-yin², SUN Shi-qing¹, LI Qiu-shun¹, MENG Ling-yu³, DU Yu-guang³

(1. Biology Institute, Shandong Academy of Sciences, Jinan 250014, China; 2. Shandong Agricultural University, Taian 271019, China; 3. Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023, China)

Abstract: Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), a salt tolerant plant, plays an important role in saline land phytoremediation and the ecological agriculture development. Germplasm breeding, plant cultivation, intensive processing of tubers and straw recycling form a closed ecological economic circle. This model is of referential significance for the development of efficient ecological economy.

Key words: Jerusalem artichoke; salt tolerant plants; ecological economy

菊芋 (*Helianthus tuberosus* L.) 是菊科 (Compositae) 向日葵属的多年生草本植物, 英文名 Jerusalem artichoke, 中文俗名较多, 如洋姜、鬼子姜、五星草、洋羌、番羌等。菊芋原产北美, 经欧洲传入我国, 由于适应性强而在我国各地均有栽培。菊芋植株高大 (最高达 3 m 以上)、生长迅速, 地下块茎可食用, 富含的菊糖 (inulin) 在食品和医药领域是重要的原料。国内对菊芋的早期应用主要是作为腌制食品等的初级简单利用, 近年来则侧重于利用生物提取技术对块茎进行精细加工从而开发基于菊糖、果糖等菊芋块茎富含成分的生物物质营养产品; 同时, 菊芋由于具有很强的抗逆能力而在沙漠治理和水土保持方面体现出良好的生态价值。菊芋自传入我国以来, 无论是自然散生还是人工种植, 均生长于非盐碱土壤, 盐碱土地中没有自然分布。人们尝试将菊芋引入松嫩盐碱草地, 发现菊芋具有一定的耐盐碱能力, 可以在中度盐碱程度的退化草地上自然生长, 并顺利完成生活史过程。经过进一步的选育, 耐盐碱能力强的品系可以在重度盐碱程度的退化草地上完成生活史, 并生长良好^[1]。近年来, 南京农业大学的研究人员也尝试应用菊芋改良滨海滩涂的盐碱土壤,

收稿日期: 2011-07-04

作者简介: 王少杰 (1963 -), 男, 副研究员, 研究方向为工业生物制造过程分析与控制。

* 通讯作者, Email: meng_lingyumeng@126.com

并取得了良好的效果^[2-3]。

1 育种研究

南京农业大学在农业部948计划的资助下,以引进的材料为基础,选育了南芋1号菊芋,该耐盐碱菊芋已在江苏、山东、辽宁海涂有一定规模的种植,2008年分别在江苏、山东海涂及河南武陟、青海大通、内蒙盐池、新疆149团、黑龙江大庆等地盐碱土上进行区试,可望成为我国非耕地主要能源植物品种之一。栽培品种会影响菊芋的产量,Baldini等对6个菊芋品种的块茎和茎秆中菊粉和糖含量进行了评估,发现品种间差异较大^[4]。Stolzenburg对17个菊芋栽培品种的块茎产量和乙醇产率进行了研究,发现块茎产量越高,乙醇产率也越高。如BS-86-17块茎产量和乙醇产率分别为12.2 t/hm²和5 589 L/hm²,而Henriette的块茎产量和乙醇产率分别为5.6 t/hm²和2 630 L/hm²^[5]。Curt等对12个不同成熟期品种进行了茎和块茎的生产潜力比较。结果表明,早熟品种茎和块茎的产量都低于中、晚熟品种,中、晚熟品种的茎和块茎都表现出更高的产糖量,因此可能有更高的生产潜力^[6]。

2 种植研究

种植密度是影响作物生长发育、产量形成的重要因素。侯全刚等^[7]采用单因素随机区组设计5个处理,3次重复,测定菊芋产量的同时,观察其植物学性状的差异。旨在通过试验确定合理的种植密度,为菊芋种植生产提供依据。结果显示菊芋植物学性状指标在密度为株距40 cm,行距80 cm时达到最大,单株植物学性状指标高,光合面积大,积累同化物的能力强,单株产量高。但由于其种植密度小,单位面积种植的菊芋株数少,产量稍低。而密度为株距40 cm,行距70 cm时,虽然植物学性状未达最优,但由于密度适中,产量最高,增产2.1 t/hm²,增产率达到5.87%。因此,建议在菊芋种植中以株距40 cm、行距70 cm的密度为宜。青海省农林科学院园艺所^[8]报道在菊芋生长期施用叶面肥,对其有一定的增产效应,可改善菊芋的植物学性状,促进菊芋生长发育,提高菊芋的抗逆性。特别是试验中喷施丰乐后,增产率达到38.87%,效果显著。黄增荣的试验结论表明,随着土壤盐分含量的增加,菊芋生长发育受到抑制,茎干和根系伸长受到抑制,块茎产量降低,这可能是由于高浓度盐分影响了细胞分裂和细胞延伸速率而引起,整体表现为生物产量的降低。施氮肥和磷肥能缓解土壤盐分对菊芋的抑制作用,增加菊芋生物产量。施一定量的氮、磷肥,可显著提高的其块茎产量。因为施氮肥能够降低盐分尤其是钠离子对功能器官的伤害,而施过磷酸钙既为植物生长提供磷营养,阻止细胞内K⁺的外流和Na⁺的大量进入,能够增强活性氧清除系统的活性,减少具毒性和高活性的·OH的形成,有效阻止O⁻²和H₂O₂的积累,缓解植物生理代谢紊乱,同时磷可以调节盐胁迫下菊芋根系等细胞质膜H⁺-ATPase,液泡膜H⁺-ATPase和H⁺-PPase活性,促进光合作用中的光合磷酸化过程,产生大量的ATP,激活质膜和液泡膜上Na⁺/H⁺逆向运输蛋白,加速K⁺的吸收、Na⁺的排放及Na⁺在液泡中的积累,提高了K⁺的选择性吸收和运输,促使盐分区域化分配,进而增强植物细胞的抗盐性^[9]。Saengthongpinit等发现不同的收获时间和储藏温度对菊糖的含量和聚合度(Degree of polymerization, DP)均有一定影响,他们在种植菊芋后16~20周,发现随着时间的变化,高聚合度的菊糖(DP>10)含量有所下降,而果糖和蔗糖的含量有所上升^[10]。

3 块茎开发利用

菊芋的地下块茎富含菊粉,占其鲜重的15%~20%左右。目前国际上菊芋主要作为加工菊粉、低聚果糖、超高果糖浆等产品的原料。菊粉是一类果糖通过β-2,1键连接,末端带有一个葡萄糖分子的聚果糖。菊粉糖热量低,具有促进双歧杆菌生长、促进肠胃功能、防治便秘、增加维生素的合成量、提高免疫力、调节血脂、减肥等作用。

此外菊芋是制备高果糖浆的理想原料。果糖甜度是蔗糖的1.6倍,具有渗透压高、防腐性好、吸湿性强、

甜味纯正且在低温下甜度突出、生理安全、富有营养而又低能量等特征,是一种功能性甜味剂。在体内与细胞的键结合能力强,能起到稳定地逐步释放能量的作用,对于能量消耗大的人群,比如运动员服用含果糖饮料,可增加体能耐力,有助于保持体力和迅速消除疲劳。果糖在体内的代谢不受胰岛素调节,是低血糖患者和大部分糖尿病患者的安全食用糖,且不易引起肥胖、龋齿和动脉硬化,可加速乙醇在体内的代谢和铁元素的吸收。以饱和液体砂糖的甜度为 100,则纯果糖的甜度为 173,葡萄糖的甜度为 74,乳糖的甜度仅为 16。因此,高果糖浆已成为各国研究开发的热点。近几年,我国也高度重视菊芋产品的开发,其精深加工技术和工艺已趋成熟,必将成为我国重要的糖料作物。

4 以菊芋为原料生产液体燃料的相关研究进展

4.1 菊芋生产乙醇的工艺

国外自上世纪 30 年代开始进行发酵菊芋生产乙醇的研究,研究重点在菊粉酶生产菌株及乙醇发酵菌株的选育,并以菊粉为原料,对分步糖化发酵和同步糖化发酵进行了研究。90 年代进行了大量菊芋生产乙醇的研究工作,主要方法包括先将菊粉酸解或酶解,然后利用酵母或细菌等具有发酵能力的菌株进行发酵,或者利用高产菊粉酶的微生物如黑曲霉(*Aspergillus niger*)或脆壁克鲁维酵母(*Kluyveromyces fragilis*)与酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)混合发酵^[11-13]。

由于在耕地上种植菊芋的经济效益不如种植粮食作物和经济作物,菊芋不能形成规模化种植,迄今为止也没有真正成为乙醇工业化生产的原料品种。

中科院大连化学物理研究所、大连理工大学、复旦大学和南京农业大学,针对我国燃料乙醇产业的可持续发展迫切需要开发粮食替代资源,依托各自在菊芋品种选育、规模化种植、发酵菌株选育和改良、过程工程等方面的优势,联合开展这一领域的研究工作。对以菊芋作为唯一碳源,发酵生产乙醇的可行性进行了探讨,结果显示,酿酒酵母 BY4742 可以良好地利用菊芋水解产物生长和代谢,生物量、乙醇产量和葡萄糖或果糖做底物时相比无明显差异。当底物浓度较高时,菌种对糖化菊芋汁中还原糖的利用率明显下降,但是乙醇产量没有下降,说明菊芋中含有的一些可溶性蛋白、氨基酸和矿物质有可能被菌种代谢利用转化成乙醇。由菊芋生产燃料乙醇的生产成本与玉米燃料乙醇相比具有一定的成本优势。如果通过提高原料的利用率,增加副产品的利润,菊芋燃料乙醇的优势将更加明显。因此,由菊芋生产燃料乙醇不仅符合我国利用非粮作物生产燃料乙醇的发展战略,同时也能够为企业带来丰厚的利润^[14]。Szam-belan 等研究表明,当用具有菊粉酶活性的酵母(*Kluyveromyces fragilis*)与无菊粉酶活性的酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)或运动发酵单胞菌(*Zymomonas mobilis*)混合使用时,能获得比使用单种微生物高 2% ~ 12% 的乙醇产量^[15]。

4.2 菊芋为原料生产生物油脂研究现状

大连化物所于 2004 年在国内外率先提出“生物质制生物柴油”的学术思想和技术路线,开展了卓有成效的探索。目前已得到了一些能利用多种单糖高产油脂的菌株。液体培养时菌体生物量达 100 g/L 以上,油脂含量可达 70% 以上。还筛选得到了抗逆性好,能直接利用木质纤维素水解液和菊芋汁等产油的菌株。利用菊粉糖发酵生产微生物油脂是一条新思路,大连化物所的科研人员筛选得到了能直接利用菊芋汁、菊芋水解液和菊芋浆发酵产油的菌株,在优化条件下菌体油脂含量可达 60% 以上,部分研究成果已经发表^[16],并且申请了中国专利和 PCT 专利。据估算,以菊芋为原料利用微生物转化生产油脂,每 5 吨干菊芋可产 1 吨菌油,而利用非耕地大量种植的干菊芋价格可控制在 800 元/吨以内。可见,利用菊芋生产微生物油脂,原料成本在 4000 元/吨左右,同植物油相比,具有一定的竞争力和经济效益。更重要的是,通过发展菊芋转化为大宗产品的技术,可以拉动菊芋的规模化种植,有利于形成菊芋生物炼制的产业链。提高微生物产油的转化率及生产成本,降低碳水化合物发酵的原料成本,将成为具有市场前景的微生物油脂及替代石油的生物柴油的新产业。

5 茎叶开发利用

目前,国内外对菊芋叶、花及茎秆的开发和利用率较低,主要作为动物饲料,而对菊芋叶和花化学成分和生物活性的研究报道较少,对菊芋叶的药理活性方面几乎没有报道。由于菊芋种植生长期间具有无病虫害的特点,提示我们菊芋可能含有具有很强驱虫或杀虫活性的化学成分。刘海伟的研究结果表明,菊芋叶片水提取物处理的棉铃虫幼虫体重与对照相比差异不显著;各有机溶剂提取物处理的幼虫体重均显著比对照低;从第3d至第7d,各有机溶剂提取物处理的幼虫体重之间差异显著;各有机溶剂处理的校正死亡率差异显著,但以乙酸乙酯提取物死亡率为最高,达45.83%;各有机溶剂处理的幼虫期比对照延长了3~5d,化蛹率最低仅为36.67%;各处理蛹重也显著小于对照^[17]。

菊芋的茎叶可晒干制干草,也可青贮,青贮法可选择塑料装青贮或窖贮。巴哈提·加布克拜用菊芋饲养细毛羔羊的对比试验结果表明,菊芋组的饲后增重效果最好,各组试验羊的增重效果从高到低的排列顺序为:菊芋块茎组>颗粒粕组>甜菜组>菊芋秸秆组;菊芋块茎组的屠宰率为53.4%,菊芋秸秆组为50.0%,甜菜组46.2%,颗粒粕组44.9%,说明菊芋块茎组和菊芋秸秆组羊的屠宰率高。通过绵羊饲养试验及有关营养分析,证明菊芋的营养价值较高,其成份超过优良牧草苜蓿,是一种营养齐全的优质饲草^[18]。

中国制浆造纸研究院薛崇昉贺文明张睿玲对菊芋秆的纤维特性、化学成分及制浆造纸性能进行了研究。研究表明,菊芋秆纤维平均长度为0.72mm,最大值为2.21mm,最小值为0.22mm。菊芋秆的聚戊糖含量为16.08%,总纤维素为62.39%,均比人工构树木质部低5%~11%。采用NaOH-AQ制浆,制浆得率为31%;以10%的有效氯用量漂白KMnO₄值为15.5的浆料,浆料白度可达到70.21%ISO。采用化学预浸渍工艺制浆,其磨浆得率为88.7%,配入20%进口废旧箱纸板抄纸,成纸的裂断长达到了7.65km/4.03km(纵/横),环压强度为237.0N/m/187.0N/m,达到了高强瓦楞原纸及包装用纸的技术指标要求^[19]。

6 生态综合效应

菊芋生态适应性强,耐贫瘠、耐寒、耐旱抗风沙能力强,具有良好的耐盐碱性,是为数不多的抗逆、高产、高密度能源植物,适合在荒漠、滩涂、盐碱草地等边缘性土地上推广耕种,不与粮争地,生态价值巨大。杜昱光、孟令珩等发明了一种荒漠化固沙或水土保持综合生态系统的构建方法^[20],包括下列步骤:(1)地面植物种植:在荒漠化沙地或高原坡地上种植菊芋;(2)动物养殖:以菊芋茎和叶青饲料圈养羊;(3)种植植物的深加工:以菊芋为原料生产高活性生物饲料;(4)废弃物的再利用:构建沼气池,以羊粪、菊芋秸秆及生活垃圾为原料进行沼气生产;(5)沼渣利用:以沼渣为原料生产有机生物肥,将上述系统在空间上组合、可形成完整的向外提供绿色资源的体系。本发明可改善生态环境,经济效益显著。利用菊芋耐寒、耐旱、抗病虫害、繁殖能力强的特点,建立治荒、养殖、能源生态系统,符合社会可持续发展的要求。

7 结论

在沿海滩涂或盐碱地上种植菊芋,不但可以降低对生态破坏的影响,还可以吸引碳排放,在保护生态的同时,实现生态环境与经济收益的双丰收。菊芋超强的生态适应性及其作为能源植物的巨大应用潜力,使其在发挥治理沙漠、利用盐碱荒地、绿化环保的生态价值的同时,也必然在以菊芋为核心的生物基产品产业链的开发中产生巨大的经济价值。因此,对菊芋生态功能及其机理的科学认识,以及对其生态功能的进一步发掘,必将带来经济、生态和社会的三重效益。

参考文献:

[1] 阎秀峰,李一蒙,王洋.改良松嫩盐碱草地的优良植物——菊芋[J].黑龙江大学自然科学学报,2008,25(6):812-816.

- [2]刘兆普,隆小华,刘玲,等. 海岸带滨海盐土资源发展能源植物资源的研究[J]. 自然资源学报, 2008, 23(1): 9-14.
- [3]隆小华,刘兆普,郑青松,等. 不同浓度海水对菊芋幼苗生长及生理生化特性的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 1881-1889.
- [4]BALDINI M, DANUSO F, TURI M, et al. Evaluation of new clones of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for inulin and sugar yield from stalks and tubers [J]. Industrial Crops and Products, 2004, 19(1): 25-40.
- [5]STOLZENBURG K. Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) - Rohstoff für die Ethanolgewinnung [EB/OL]. [2010-07-09]. <http://www.lap-forchhemi.de/>.
- [6]CURT M D, AGUADO P, SANZ M, et al. Clone precocity and the use of *Helianthus tuberosus* L. stems for bioethanol [J]. Industrial Crops and Products, 2006, 24(3): 314-320.
- [7]侯全刚, 李江, 李莉, 等. 种植密度对菊芋植物学性状及产量的影响[J]. 青海科技, 2005(1): 24-25.
- [8]马本元, 侯全刚, 李江, 等. 不同叶面肥对菊芋植物学性状及产量的影响[J]. 中国果菜, 2006(1): 30.
- [9]黄增荣, 隆小华, 李洪燕, 等. 江苏北部滨海盐土盐肥耦合对菊芋生长和产量的影响[J]. 土壤学报, 2010, 47(4): 709-714.
- [10]SAENGTHONGPINIT W, SAJJAANANTAKUL T. Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers [J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 37(1): 93-100.
- [11]KIM C H, RHEE S K. Ethanol production from jerusalem artichoke by inulinase and zymomonas mobile [J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 1990, 23(2): 171-180.
- [12]OHTA K, HAMADA S, NAKAMURA T. Production of high concentrations of ethanol from inulin by simultaneous saccharification and fermentation using *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1992, 59(3): 729-733.
- [13]NAKAMURA T, OGATA Y, HAMADA S, et al. Ethanol production from Jerusalem artichoke Tubers by *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Journal of Fermentation and Bioengineering, 1996, 81(6): 564-566.
- [14]周正, 曹海龙, 朱豫, 等. 菊芋替代玉米发酵生产乙醇的初步研究[J]. 西北农业学报 2008, 17(4): 297-301, 305.
- [15]SZAMBELAN K, NOWAK J, CZARNECKI Z. Use of *Zymomonas mobilis* and *Saccharomyces cerevisiae* mixed with *Kluyveromyces fragilis* for improved ethanol production from Jerusalem artichoke tubers [J]. Biotechnology Letters, 2004, 26(10): 845-848.
- [16]华艳艳, 赵鑫, 赵金, 等. 圆红冬孢酵母发酵菊芋块茎产油脂的研究[J]. 中国生物工程杂志, 2007, 27(10): 59-63.
- [17]刘海伟, 刘兆普, 刘玲. 菊芋叶片提取物对棉铃虫生长发育的影响[J]. 植物保护, 2007, 33(1): 90-93.
- [18]巴合提·加布克拜, 阿衣达尔, 古丽白拉. 用菊芋饲养细毛羔羊的对比试验[J]. 草食家畜, 2001(3): 42, 47.
- [19]薛崇响, 贺文明, 张睿玲. 菊芋秆资源在造纸工业的利用[J]. 中华纸业, 2007, 28(2): 67-70.
- [20]杜昱光, 孟令珩, 徐俊光, 等. 一种荒漠化固沙或水土保持综合生态系统的构建方法. 中国: 200610046092[P]. 2007-09-19.