

吕林,李义强,马斯琦. 向日葵在北方盐碱地的种植及多用途开发展望[J]. 江苏农业科学,2021,49(5):51-57.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.05.009

向日葵在北方盐碱地的种植及多用途开发展望

吕林,李义强,马斯琦

(中国农业科学院烟草研究所,山东青岛 266101)

摘要:向日葵是改良盐碱地的“先锋作物”,其生产投入低,管理方便,经济价值高,适宜在北方滨海和内陆滩涂等区域大规模种植,发挥利用和改良盐碱地的作用。本文总结了向日葵在北方盐碱地的利用现状及其生物改良模式,重点从以下几个方面介绍了向日葵适宜在盐碱地种植的优势和意义:(1)向日葵的植物特点及分布;(2)向日葵的经济价值,包括其在食品加工、饲料加工、肥料制造、工业原料、生物医药原料、环保吸附剂方面的应用,以及其本身的观赏价值;(3)向日葵耐盐碱性研究及配套技术,包括耐盐碱向日葵品种的选育和栽培技术、对盐碱地的改良效果等;(4)耐盐碱机制等。向日葵作为集多种功能于一体的经济作物,相比于粮食等大宗作物及观赏性花卉,在生物改良中具有强大的竞争优势,在盐碱地推广向日葵种植的发展前景良好。

关键词:向日葵;盐碱地;生物改良;经济价值;耐盐碱机制

中图分类号:S565.501 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)05-0051-06

向日葵(*Helianthus annuus* L.)为菊科(Compositae)一年生草本植物,原产于美洲,在明代后期传入我国,种植历史悠久。向日葵最初作为观赏性和可食用性植物为人们所喜爱,随着向日葵种植的普及,人们渐渐注意到其对盐碱土具有良好的改良效果。向日葵在生长发育过程中,对土壤的要求不严格,其耐寒、耐涝,在贫瘠地、盐碱地、旱地均可种植,特别是对盐碱有较强的忍耐力,是生物治理盐碱地的主要作物之一。向日葵生育期短,播期灵活性强,栽培管理简便,适应能力强,既可以单独种植,又可以与其他作物间种、混种和套种,从而充分利用土地资源,具有较好的生产发展潜力。

盐渍土是土壤经过盐化、碱化后形成的,含有的盐碱成分使土壤物理性质、化学性质发生改变,导致土壤易板结,有效营养成分缺乏,不利于植物的生长。目前,土地盐碱化问题在世界 100 多个国家存在,面积高达 $9.55 \times 10^6 \text{ km}^2$,是备受关注的世界性问题^[1]。

本文针对向日葵的耐盐碱特性,总结并分析了关于向日葵在北方盐碱地种植及其多用途开发的可行性,并对推广种植向日葵提出了展望。

1 向日葵的特点及分布

向日葵是一年生草本植物,高 1.0~3.5 m,最高可达 9 m,因其花序随太阳转动而得名。向日葵的果实呈矩卵形瘦果,果皮木质化,灰色或黑色,俗称葵花籽。按用途可将向日葵分为食用型向日葵(食葵)、油用型向日葵(油葵)和中间型向日葵(食用、榨油均可)^[2]。向日葵在生长期可以适应跨度较大的温度,最低 5~10℃,最高 37~40℃。向日葵在世界很多国家都有种植,据不完全统计,其种植面积大于 2 200 万 hm^2 ,其中我国向日葵种植区主要分布在北方,包括黑龙江省、内蒙古、辽宁省、吉林省、新疆、宁夏、青海省、甘肃北部、陕西北部、山西省、河北省、山东省、河南省北部等地区^[3]。

2 向日葵的经济价值

向日葵具有极高经济价值,不仅可直接利用(如榨油、食用等),其副产物(秸秆、脱粒后的向日葵盘、压榨后的壳及饼粕等)也具有较高的利用价值。随着技术设备条件的优化及产业化条件的成熟,向日葵及其副产物的开发应用前景也越来越广阔。

2.1 用作食品加工原料

油葵葵花籽可用于提取油脂,其主要成分为多

收稿日期:2020-07-07

基金项目:中国农业科学院科技创新工程(编号:ASTIP-TRIC07);

中国农业科学院烟草研究所青年基金(编号:2019B03)。

作者简介:吕林(1994—),女,山东青岛人,硕士,主要从事耐盐碱植物种质资源保护与利用相关研究。E-mail:LL19940203@163.com。

通信作者:马斯琦,博士,助理研究员,主要从事耐盐碱植物基因挖掘与利用相关研究。E-mail:masiqi@caas.cn。

不饱和脂肪酸,油色纯正,气味芳香,是优质的食用油^[4-5];葵花籽油富含中链脂肪酸,尤以月桂酸为甚,含量可达 45.1%~53.2%,具有抗氧化、降低胆固醇水平、抑菌抗病毒等多种功能,已经被越来越多地用于人造奶油中^[6]。葵花籽除用于榨油外,籽粒可炒熟食用,富含蛋白质,广受人们喜爱^[7]。

向日葵盘含有的绿原酸和果胶,是安全的食品添加剂,其中绿原酸别称咖啡鞣酸,是由咖啡酸(caffeic acid)与奎尼酸(quinic acid)形成的缩酚酸,具有食品保鲜效果^[8];果胶是一种聚半乳糖醛酸,可以广泛应用于食品及生物培养基的制造领域^[9]。

葵花脱脂粕中的蛋白质量分数为 38%~42%,是很好的植物蛋白资源,其吸水性、吸油性和油乳化性都好于大豆浓缩蛋白,可用作食品添加剂或用作饲料,也是制作酱油、醋等的原料^[10]。葵花脱脂粕还可以作为提取膳食纤维的原料,目前生物酶法提取葵花膳食纤维的得率高达 78%^[11]。

2.2 用作饲料加工原料

脱粒后的向日葵盘、压榨后的葵花籽壳及饼粕富含蛋白质、纤维素及矿物质,营养价值高,生产成本低,是畜禽的良好饲料材料。研究发现,将黑曲霉、米曲霉、产朊假丝酵母和枯草芽孢杆菌按 1:1:2:1 的接种比例、1.5% 接种量发酵制成复合菌剂,并对向日葵盘粉进行发酵处理,得到的向日葵盘发酵饲料可以有效提高奶牛的采食量、产奶量^[12]。采用粉碎、配料、搅拌、再粉碎、造粒工艺制备葵花盘颗粒饲料,饲喂大白猪后具有良好的育肥效果^[13]。美国纽尔卡斯畜牧水产研究所将榨油后的葵花籽饼粕进行膨化处理,再将其用作畜禽、鱼饲料的原料,代替鱼粉、大豆蛋白、豆粕等高蛋白饲料原料,在效果相同的条件下,可以使饲料成本降低 25%~37%^[14]。

2.3 用作肥料制造原料

向日葵秸秆富含氧化钾,可以作为无机钾肥的原料^[15]。张峻海发明了一种以向日葵菜籽饼为原料的肥料,在灌溉中施用,使用灵活方便,肥效吸收率高,能够使授粉率提高 20%,作物产量提高 30%,并且对作物无污染,安全性好,可以促进农作物增产增收,降低农户的生产成本,同时还可提高化肥利用率,减少化肥污染^[16]。

2.4 用作工业原料

葵花油除食用外,还可为制造化妆品、印刷油、

塑料、树脂、胶片聚脂、润滑油等提供重要原料^[17-18]。葵花油的保色性优于豆油,并且其颜色比豆油浅,不泛黄,不仅可用于制作印铁罩光漆、清漆,而且可代替豆油生产白色磁漆或其他浅色磁漆^[19]。葵花油经环氧化后制得的环氧葵花油增塑剂,容易与聚氯乙烯树脂混合,加工时塑化效果好,且无异味产生,可以单独或与其他增塑剂协同使用^[20]。

Facino 等研究发现,葵花盘中的绿原酸可以保护胶原蛋白不受活性氧等自由基伤害,并且能有效防止紫外线对人体皮肤产生伤害^[21]。目前已有多项关于添加绿原酸后制作的抗脉酶化妆品、皮肤防晒霜和防止紫外线、染发剂对头发损伤洗发水的欧洲专利。日本同样利用绿原酸及其衍生物的抗氧化特性研制出了抗衰老护肤品^[22]。

葵花籽壳可以作为生产燃料乙醇的纤维质原料,是目前淀粉类、糖类原料的有效补充^[23]。利用向日葵秸秆髓碎料制作的新型生物质缓冲包装材料对被包装物具有优良的保护作用,可以替代石化产品(发泡聚苯乙烯泡沫塑料),环保且节约农业资源,具有广阔的应用前景^[24]。

2.5 用作生物医药原料

向日葵的化学成分复杂多样,药理活性广泛^[25]。向日葵茎芯水煎液可以破坏亚硝胺,抑制小鼠的移植瘤,从而达到防治癌症的目的^[26-27];向日葵盘中的绿原酸提取液对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌均有一定的抑制作用,且具有增高白血球含量、保肝利胆、清除自由基和兴奋中枢神经系统等作用,可用于绿原酸临床新药的开发^[28-30]。研究表明,从矮向日葵中分离得到的倍半萜内酯化合物 desacetyleupaserrin 具有抗白血病的作用^[31]。此外,在艾氏腹水癌细胞 DNA 和 RNA 合成的体内试验中,从向日葵茎叶中分到的化合物 annuithrin 能引起 DNA、RNA 合成量显著减少^[32]。

2.6 用作绿色环保吸附剂

向日葵秸秆含有丰富的纤维成分,自身密度蓬松,可塑性强,具有一定的吸附效能,可用于废水处理、活性炭制备等^[33]。研究发现,向日葵秸秆表皮及内部木髓对纺织印染废水中的 2 种碱性燃料亚甲基蓝、碱性红 9 的吸附性很强^[34],对 Cr^{3+} 、 Cr^{6+} 离子也有很好的吸附效果,用于处理含 Cr^{6+} 的废水有明显效果,是廉价而高效的生物吸附材料^[35-36]。

葵花籽壳可直接作为生物质吸附剂或经炭化、

活化制成活性炭后作为吸附剂从水溶液中除去染料,是一种有效的低成本吸附剂^[37]。

2.7 用于观赏和其他经济价值

观赏向日葵花色鲜艳,花型、株型丰满,头状花序多,舌状花有黄色、橙色、乳白色、红褐色等,管状花有黄色、橙色、褐色、绿色和黑色等,具有较高的观赏价值,可作为城市绿化植物。科研工作者们也开发出了向日葵的其他经济价值,例如郭金梅等以葵花盘、葵花秆、葵花籽壳和葵花籽饼粕为主要原料,制作出了银耳、猴头菇、灵芝、茶树菇等食用菌的栽培料,获得了良好的经济效益^[38-41]。此外,向日葵也是养蜂的极佳蜜源,在产区周围养蜂不仅可收获蜂蜜、蜂王浆、花粉等高价值营养品,还可以提高葵花的结实率^[42]。

3 向日葵的耐盐碱性研究及配套技术

向日葵随着对外贸易传入我国后,科学家们发现其对盐碱地改良具有显著效果,并开展了一系列研究,包括盐碱品种选育、栽培技术、盐碱改良效果等。

目前,国内多个研究机构已经针对向日葵的耐盐性进行了品种鉴定和选育工作,并且已经取得一定进展。秦爱红等在宁夏回族自治区宁南山区清水河流域的油用向日葵适应性试验中发现,M314、新葵杂 7 号和 665 的综合性状表现较好,其中 M314 的折合产量最高^[43];刘文俊等在山西省忻州市定襄县神山乡镇安寨村下等肥力、中度盐碱地对 12 个食用向日葵品种进行了品种栽培试验,结果表明,大黑片、JK601、JK103、S5309、JK809B 等 5 个品种均能很好地适应中度盐碱地条件,并按期成熟,收获密度达 85% 以上,产量达 1 950 kg/hm² 以上;X3939、新启源 5 号、PK363 这 3 个品种基本适应试验地条件,收获密度达 80% 以上,产量达 1 500 kg/hm² 以上^[44];咎亚玲等在山西运城盐碱地开展的不同向日葵品种营养品质比较试验中发现,油用向日葵中矮大头 567DW、食用向日葵中精选美葵地品质较优^[45];张艳等在内蒙古巴彦淖尔市临河区试验种植的油葵品种中发现,S65、NPO3.0 这 2 个品种田间表现较好,群体整齐、个体健壮、花盘较大,但土地和水肥反应敏感^[46]。2018 年,甘肃省民勤县选育的 DL36363 在当地连续 4 年的试种植过程中表现出高产、稳产、适应性好等特点,种植面积已扩大到 133.33 hm² 以上^[47]。黑龙江省农业科学院经济作

物研究所经多年研究,逐步解决了向日葵观赏资源的栽培选育、结实率不高、遗传不稳定、三系转化难等问题,以分枝型材料 02102 为母本、观赏类型高世代自交系 RGX01 为父本,经杂交、回交、多代自交、测交等选育出花色整齐的多分枝无花粉观赏型向日葵新品种龙赏葵 1 号,该品种生育整齐度好、适应性广、生长期短、开花期长、花盘开放时颜色鲜艳,可用于景区观赏及园林绿化种植^[48]。包头市在 2011 年以自选不育系材料 SF018A × SF018B 为母本,与自选恢复系 SF1266 为父本测配出的油用杂交向日葵新品种 ND90 在 2012、2013 年品种比较试验中的表现突出,生长势强,适宜在内蒙古包头市、巴彦淖尔市、呼和浩特市、鄂尔多斯市春播区域春季种植^[49]。

除了选用和培育合适的品种外,栽培技术也是科学家们的研究内容。已有研究发现,盐胁迫影响的养分吸收、株高、生物量和产量等问题可以通过叶片追肥达到缓解,并能起到显著提高株高、鲜生物量、干生物量、种子数和粒质量的作用^[50]。Ahmad 等在与向日葵相关的发芽试验中发现,使用 KNO₃ 溶液(-1.0 MPa)于 30 ℃ 引发向日葵种子(Armawireski、Airfloure、Alestar、Ismaili)24 h 后,与不引发的向日葵种子相比,提高了在 5、10、15、20、25 dS/m 浓度的 NaCl 溶液灌溉下的发芽率,增加了根长、苗高、干质量和叶片数。种子中 K 元素含量高于未用 KNO₃ 引发的种子,而 Na 元素含量低于后者^[51]。辛松提出了一种适用于盐碱地的花生与向日葵间作方法,包括淡化土壤并整地、施肥、间作播种、田间管理、追肥、收获等步骤,将盐碱地进行淡化后以合理的间作比例种植向日葵与花生,两者形成共生系统,优势互补,不仅可以促进共同增产,同时能够有效缓解盐碱地养分匮乏的弊病,可减轻盐害^[52]。刘小京等提出 1 种在滨海重盐碱地种植油葵的方法,通过土地整理、冬季咸水结冰灌溉、春季咸水冰融冲淋、地膜覆盖抑盐保墒等一系列措施,降低了油葵根层土壤的含盐量,保证油葵的正常生长^[53]。

向日葵对盐碱地具有较好的直接改良效果,研究发现,种植过向日葵的土壤表层含盐量降低,土壤肥力提高^[54]。据内蒙古巴彦淖尔盟农业科学研究所测定,667 m² 向日葵理论上可以从田间吸收盐分 285.8 kg,减少了土壤中的盐分含量。同时,向日葵的叶片繁茂宽大,可减少地面蒸发量,抑制盐

分积累^[55]。阎海平在位于山西省的伍姓湖农场盐碱地种植向日葵,发现种植前土壤的平均含盐量为 1.26%,收获后降为 0.338%,同时当季可获净利润 658.5 元/hm²,一举两得。另外,在净向日葵修复后的土地上种植小麦,小麦出苗率可高达 90%^[56]。

4 向日葵耐盐碱的机制

向日葵不是盐生植物,但其耐盐碱能力极强,且不同品种间存在耐盐差异。因此,探索向日葵的耐盐机制,对于向日葵耐盐新品种选育及定向改良非耐盐植物意义重大,引发了科研工作者对其耐盐碱机制的广泛关注。目前,人们发现的向日葵涉及的耐盐碱机制主要有以下几个方面。

4.1 拒 Na⁺ 机制

植物可把吸收的 Na⁺ 贮存于根、茎基部、节、叶鞘等薄壁细胞发达的器官组织中,将 Na⁺ 封闭在这些细胞的中央液泡中;植物吸收的 Na⁺ 在木质部向上运输的过程中被木质部或韧皮部传递细胞吸收,通过脉内再循环把 Na⁺ 再运到体外;在 NaCl 胁迫下,植物根吸收的 Na⁺ 向地上部分的运输选择性降低,而 K⁺ 运输选择性增加^[57]。研究发现,盐胁迫下向日葵体内的 Na⁺、Cl⁻ 主要积累在根、茎部,尤其是茎秆对盐分的截留、积累能力特别显著^[58]。

4.2 离子转运

植物需要把吸收的 Na⁺ 等离子积累在液泡中,否则会干扰细胞质及叶绿体的生理生化代谢。在 NaCl 胁迫下,Na⁺ 通过质膜进入细胞是一个顺电势梯度的被动运输过程,只有 25% 左右为主动转运,但是 Na⁺ 由细胞质进入液泡是一个逆电势梯度的主动转运过程^[59]。Ballesteros 等发现,在盐胁迫下,向日葵幼苗根系液泡膜 H⁺ - ATPase 的水解活性基本保持不变,其 H⁺ 转运活性明显上升,激活根系液泡膜 Na⁺/H⁺ 的逆向运输活性,调节离子 (Na⁺、Cl⁻ 和 K⁺) 跨质膜、液泡膜的流通量,可能是构成向日葵较高耐盐性的原因之一^[60]。

4.3 积累渗透调节物质

细胞内主动积累一些小分子有机化合物、蛋白质类保护剂来维持渗透平衡和体内水分,一般称之为渗透调节。小分子有机化合物包括多元醇、糖类、氨基酸及其衍生物,如脯氨酸、甜菜碱等。刘杰的研究发现,盐碱胁迫使向日葵细胞中可溶糖明显积累,尤其是碱胁迫,因此可溶性糖可能是向日葵参与渗透调节的主要成分^[61]。

4.4 植物对元素的选择性吸收

在盐渍条件下,许多植物具有选择性吸收土壤溶液中某些低浓度必需元素的特性。例如,在以 NaCl、Na₂SO₄ 为主的盐渍化土壤中,作物选择性吸收 K⁺,从而缓解了盐胁迫下细胞内 K⁺ 亏缺而引发的生长抑制。研究发现,K⁺ 的选择性吸收可能与细胞质膜拒 Na⁺ 有关^[62]。因此,耐盐植物在盐渍土壤中叶片中的 Na⁺ 浓度一般较低,而 K⁺ 浓度较高,且根中的 Na⁺ 浓度较高,盐敏感植物则相反。研究发现,向日葵具有较为特殊的钠钾吸收和转运机制。K⁺ 是盐、碱胁迫下向日葵最主要的无机渗透调节物质,大量积累 K⁺ 而不是 Na⁺,既可以降低水势实现渗透调节,又能减少 Na⁺ 的毒害^[63]。在盐碱胁迫条件下,向日葵根吸收 K⁺、Na⁺ 的选择性比率 (SK、Na)、叶片运输比率 (TSK、Na) 均显著上升,说明向日葵向叶柄、叶片选择性运输 K⁺ 的能力较强,将更多的 K⁺ 运输到叶片中,进而维持细胞内的高 K⁺ 浓度,从而维持地上部、叶片中的离子平衡和植株的正常代谢^[64]。

4.5 自由基清除系统活性增强

在盐胁迫下,如果植物体内积累的活性氧得不到及时清除,就会造成氧化胁迫,使细胞受害甚至死亡。细胞膜系统是各种逆境对植物造成伤害的最初部位。活性氧积累引发的膜脂过氧化是植物受到盐害的一个重要生理特征,耐盐植物可以通过维持较高的保护酶活性来减轻活性氧伤害^[65]。丙二醛 (MDA) 是膜脂过氧化作用的主要产物之一,具有很强的细胞毒性^[66]。研究发现,向日葵在土壤含盐量为 0.35% 的轻度盐胁迫下,由于氧自由基的积累,发生了膜脂过氧化反应,从而导致 MDA 积累;在土壤含盐量为 0.50% 的中度盐分胁迫下,由于向日葵保护酶活性的提高,使氧自由基得到有效清除,膜脂过氧化反应减少,MDA 含量降低^[67]。

4.6 激素调节

外源激素参与调节作物对许多胁迫的反应,通常在胁迫条件下,ABA 含量增加,而 IAA、GA₃ 和 CTK 含量降低。植物生长素 (IAA) 可以提高细胞 H⁺ 泵的活性,参与质膜 H⁺ - ATP 酶合成有关基因的活化、表达和转录后修饰,而质膜 H⁺ - ATPase 与植物的抗盐性关系密切^[68]。李海洋等的研究发现,随着盐胁迫的浓度升高,苗期向日葵根、茎、叶中的 IAA、ABA 和 ZR 含量发生了动态变化,说明这 3 种激素在向日葵受到盐胁迫时发挥了重要作用^[69]。

5 展望

据不完全统计,我国的盐碱土壤面积已达 10 万 hm^2 ,全国有 100 多个城市处于盐碱区域,土地盐碱化严重影响了作物的生长发育^[70-71]。目前,我国向日葵生产主要集中在东北、西北和华北地区的半干旱、干旱或轻盐碱地区的 11 个省(市、区),根据向日葵的生长特性,可向西南、中南和华东地区扩种。通过种植向日葵改良北方盐碱地,不仅可以提高地表植被覆盖率、减少地表水分蒸发,同时还可对盐碱土进行修复,包括改善土壤结构、降低土壤含盐量、提高土壤肥力水平、丰富土壤微生物群落等,符合可持续发展的要求^[72-73]。生物改良盐碱土虽然见效相对较慢,但克服了其他改良措施工程量大、二次污染等缺点,是目前最为有效且可从根本上缓解土壤盐碱程度的措施^[74],具有更加广阔的应用前景。

向日葵作为集榨油、食用、观赏等多种功能于一体的经济作物,相比于粮食等大宗作物及观赏性花卉,在生物改良中具有强大的竞争优势。在北方盐碱地种植向日葵,能够做到不与粮争地,又可充分利用沙荒、盐碱地等边际土地,从而改善北方盐碱地区域的生态条件,促进农业的可持续发展。油葵与棉花、绿豆、小麦等多种农作物间作套种,在丰富多熟种植和间作套种内容的同时,可有效利用水、光、热量、土地资源,增加单位面积有效经济收入,促进农业增效、农民增收^[75]。向日葵在外形上具有枝叶茂密、花朵硕大、鲜艳夺目的特点,具有很强的观赏性,在盐碱地种植向日葵既符合盐碱地绿化区的土壤条件和功能要求,又兼具景观性、观赏性和与城市发展的协调性,达到绿化、美化的目的^[76-77]。在盐碱地区发展向日葵种植,不仅可以改良盐碱地、绿化城市,还可以依托资源优势,因地制宜积极开发家庭旅游业和地方旅游业,全方位、多产业发展区域经济,在全力抓好向日葵主体经济的同时,大力发展以旅游业为主的第三产业。

向日葵是盐碱地改良的优势植物,但目前大部分种植地区的发展现状并没有充分发挥其优势。典型的问题是种植结构趋向单一,致使向日葵轮作倒茬难,病虫害逐渐加重,发病重的区域集中在种植面积较大、时间较长的地区。由于农业规模化发展较差,向日葵品种的优良性状表现不明显,存在产量低、品质差等现象。因此,加强向日葵栽培技术研究和新品种选育是目前推广向日葵种植的基础。

在后续的研究中,可积极开发新的栽培模式,实行轮作倒茬,优化种植结构,减少病虫害的发生;结合利用现代分子生物学技术,不断研发抗性强、农艺性状和商品性状优的新品种;将优良品种和优质栽培技术标准推广应用到向日葵主产区,将科学技术转化为生产力;建设向日葵标准化生产基地,进行规模化经营,提高机械效率,实施葵花子产业项目。综上,随着各地农业种植结构调整,规模化、生态化农业迅速发展,在北方盐碱地推广向日葵种植发展的前景良好。

参考文献:

- [1]汪顺义,冯浩杰,王克英,等.盐碱地土壤微生物生态特性研究进展[J].土壤通报,2019,50(1):233-239.
- [2]辛林.向日葵高产栽培技术[J].农村实用技术,2013(10):31-32.
- [3]辛玉敏.向日葵的种植技术浅析[J].吉林农业,2012(5):103.
- [4]王瑞.大处理量粮食清理设备在油葵籽清理分级上的应用[D].郑州:河南工业大学,2012.
- [5]王鹏冬,杨新元,白冬梅,等.油葵杂交种含油率与地理位置的关系研究[J].中国油料作物报,2002,24(4):38-42.
- [6]李伟.以葵花籽油与棕榈油硬脂为原料制备零反式脂肪酸人造奶油的生产参数研究[J].现代食品,2017(11):81-83.
- [7]罗鹏.葵花籽 ACE 抑制肽的分离纯化、结构分析与稳态化研究[D].武汉:华中农业大学,2018.
- [8]何念武,杨超.杜仲叶绿原酸对果蔬保鲜作用的试验研究[J].江西农业学报,2018,30(11):71-75.
- [9]Iglesias M T, Lozano J E. Extraction and characterization of sunflower pectin[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 62(3):215-223.
- [10]曾芸,王思明.向日葵中国的传播及其动因分析[J].农业考古,2006(4):191-201.
- [11]陈永胜,李志光,钟慧敏.葵花脱脂粕膳食纤维提取工艺的研究[J].食品科学,2007,28(12):211-214.
- [12]龚仁.混合发酵葵花盘(粉)生产生物蛋白饲料的研究及应用[D].西安:西北大学,2009.
- [13]何丽芬,郑洪元,刘文俊,等.葵花盘制备颗粒饲料的应用研究[J].安徽农业通报,2013,19(9):145-146.
- [14]张平远.膨化葵花籽饼粕作饲料[J].畜禽业,2000(5):24.
- [15]李晓慧.宁夏向日葵氮磷钾养分吸收特点及合理施肥技术研究[D].银川:宁夏大学,2009.
- [16]张峻海.向日葵肥料:CN106336292A[P].2016-08-19.
- [17]李晓丽,张边江.油用向日葵的研究进展[J].安徽农业科学,2009,37(27):13015-13017.
- [18]崔良基,王德兴,宋殿秀.国内外向日葵遗传改良成就与发展趋势[J].杂粮作物,2006,26(6):402-406.
- [19]张所信,杨育珍.葵花油醇酸树脂漆[J].涂料工业,1988(6):3,14-17.
- [20]张弘,张毅.环氧葵花油增塑剂在聚氯乙烯塑料制品中的应用研究[J].塑料科技,1997(5):39-41.

- [21] 姚新生. 天然药物化学[M]. 3 版. 北京: 人民卫生出版社, 2002: 29–30.
- [22] 王 辉, 田呈瑞, 马守磊, 等. 绿原酸的研究进展[J]. 食品工业科技, 2009(5): 335–339.
- [23] 刘 清, 师建芳, 赵 威, 等. 向日葵副产物资源的综合利用[J]. 农业工程学报, 2011(增刊2): 336–340.
- [24] 王古月, 时君友, 叶升友. 葵花秸秆髓料缓冲包装材料的制备和性能[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(8): 84–86.
- [25] 梁雪钰, 陈其秀, 陈其和, 等. 向日葵化学成分和药理活性研究概况[J]. 内蒙古医学院学报, 2006, 28(增刊1): 139–141.
- [26] 李 梅, 苏树芸, 刘 裕, 等. 向日葵茎芯煎剂对小鼠移植性肿瘤 S180 及 U14 影响的初步观察[J]. 肿瘤临床, 1984(3): 176–178, 193.
- [27] 杨世林, 刘玉琇. 临床抗癌中药彩色图典[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2001: 107.
- [28] 吴卫华, 康 楨, 欧阳冬生, 等. 绿原酸的药理学研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2006(18): 691–694.
- [29] Milio B, Stojanovic S, Vucurevic N, et al. Chlorogenic and quinic acids in sunflower meal[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1968, 19(2): 108–113.
- [30] Pedrosa M M, Muzquiz M, Garcíavallejo C, et al. Determination of caffeic and chlorogenic acids and their derivatives in different sunflower seeds[J]. Journal of the science of Food and Agriculture, 2000, 80(4): 459–464.
- [31] Herz W, Groote R D. Desacetyleupaserin and nevadensin from *Helianthus pumilus*[J]. Phytochemistry, 1977, 16(8): 1307–1308.
- [32] Spring O, Albert K, Gradmann W. Annuithrin, a new biologically active germacranolide from *Helianthus annuus*[J]. Phytochemistry, 1981, 20(8): 1883–1885.
- [33] Marechal V, Rigal L. Characterization of by-products of sunflower culture—Commercial applications for stalks and heads[J]. Industrial Crops and Products, 1999, 10(3): 185–200.
- [34] Sun G, Xu X J. Sunflower stalks as adsorbents for color removal from textile wastewater[J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 1997, 36(3): 808–812.
- [35] Malik U R, Hasany S M, Subhani M S. Sorptive potential of sunflower stem for Cr(Ⅲ) ions from aqueous solutions and its kinetic and thermodynamic profile[J]. Talanta, 2005, 66(1): 166–173.
- [36] 陈丽萍, 段毅文, 陈艺红. 磷酸改性向日葵秸秆对 Cr⁶⁺ 的吸附性能[J]. 化学工程, 2010, 38(10): 113–116.
- [37] Johann F O, Veronica S, Jose L, et al. Sunflower seed shells: a novel and effective low-cost adsorbent for the removal of the diazo dye Reactive Black 5 from aqueous solutions[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 147(3): 900–905.
- [38] 邹金梅, 黄 涛. 一种利用向日葵副产物制作银耳栽培料的方法: CN103626553A[P]. 2014–03–12.
- [39] 邹金梅. 一种利用向日葵副产物制作猴头菇栽培料的方法: CN103641557A[P]. 2013–12–08.
- [40] 邹金梅. 一种利用向日葵副产物制作灵芝栽培料的方法: CN103641615A[P]. 2014–03–19.
- [41] 邹金梅. 一种利用向日葵副产物制作茶树菇栽培料的方法: CN103641564A[P]. 2013–12–08.
- [42] 王彦坤. 蜜蜂为向日葵授粉效果观察[J]. 蜜蜂杂志, 2012(8): 37.
- [43] 秦爱红, 徐玉明, 王晓玲, 等. 油用向日葵在盐碱地的适应性研究[J]. 安徽农学通报, 2010, 16(1): 102, 118.
- [44] 刘文俊, 郑洪元, 王文浩, 等. 不同食用向日葵品种盐碱地栽培比较试验[J]. 农业科技通讯, 2016(6): 184–187.
- [45] 咎亚玲, 王 磊. 盐碱地不同向日葵品种营养品质差异性的研究[J]. 运城学院学报, 2016, 34(3): 59–61.
- [46] 张 艳, 樊秀荣, 闫 礼, 等. 盐碱地油用向日葵不同品种栽培试验[J]. 北方农业学报, 2013(2): 39–39.
- [47] 吴国华. DL36363 向日葵新品种在民勤县的种植表现及高产栽培技术[J]. 农业科技与信息, 2018(23): 25–26.
- [48] 王文军. 观赏向日葵新品种龙赏葵 1 号[C]//中国作物学会油料作物专业委员会第八次会员代表大会暨学术年会综述与摘要集. 北京: 中国作物学会, 2018: 268–270.
- [49] 董美丽. 油用向日葵新品种 ND90 的选育及栽培管理技术[J]. 农业科技通讯, 2018, 562(10): 249–250.
- [50] Jabeen N, Ahmad R. Improving tolerance of sunflower and safflower during growth stages to salinity through foliar spray of nutrient solutions[J]. Pakistan Journal of Botany, 2012, 44(2): 563–572.
- [51] Ahmad A B. The effects of NaCl priming on salt tolerance in sunflower germination and seedling grown under salinity conditions[J]. African Journal of Biotechnology, 2010, 9(12): 1764–1770.
- [52] 辛 松. 一种适用于盐碱地的花生与向日葵间作方法: CN106332646A[P]. 2016–08–30.
- [53] 刘小京, 张秀梅, 郭 凯, 等. 一种滨海重盐碱地种植多年生宿根花卉的方法: CN102326487A[P]. 2012–02–08.
- [54] 妥德宝, 李焕春, 安 昊, 等. 覆膜栽培对盐碱地向向日葵产量及土壤盐分影响的研究[J]. 宁夏农林科技, 2015(7): 63–64.
- [55] 张立华. 内蒙古向日葵生产的现状及发展对策[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.
- [56] 阎海平. 种植向日葵能改良盐碱地[J]. 农业科技信息, 1994(8): 39–39.
- [57] 杨慧军. 盐渍条件下双胚苗水稻同源 3N 和 2N 基因组 DNA 甲基化研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2008.
- [58] 陈全战, 杨文杰, 郑青松. 国内外杂交油葵品种耐盐性鉴定及方法比较[J]. 中国农学通报, 2007, 23(8): 157–160.
- [59] 李孟军. 小麦耐盐相关基因 *HKT* 克隆及多样性与功能研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2006.
- [60] Ballesteros E J, Donaire P, Belver A. Effects of salt stress on H⁺–ATPase and H⁺–PPase activities of tonoplast-enriched vesicles isolated from sunflower roots[J]. Physiologia Plantarum, 1996, 97(2): 259–268.
- [61] 刘 杰. 向日葵对碱胁迫和盐胁迫适应机制比较[D]. 长春: 东北师范大学, 2011.
- [62] Jeschke W D, Stelter W, Reising B. Vacuolar Na⁺/K⁺ exchange, its occurrence in root cells of *Hordeum*, *Atriplex*, and *Zea* and its significance for K⁺/Na⁺ discrimination in roots[J]. Journal of Experimental Botany, 1983, 34(8): 964–979.
- [63] dos Santos C L V, Caldeira G. Comparative responses of *Helianthus*

张 丹, 颜梦秋, 张美彦, 等. 香菇微卫星标记变性聚丙烯酰胺凝胶电泳的应用及正交优化[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(5): 57–61.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.05.010

香菇微卫星标记变性聚丙烯酰胺凝胶电泳的应用及正交优化

张 丹, 颜梦秋, 张美彦, 谭 琦, 宋春艳, 尚晓冬

(上海市农业科学院食用菌研究所/农业农村部南方食用菌资源利用重点实验室/
国家食用菌工程技术研究中心/上海市农业遗传育种重点实验室, 上海 201403)

摘要:变性聚丙烯酰胺凝胶电泳是一种高效鉴定微卫星分子标记的方法, 广泛应用于种质鉴定、遗传连锁图谱构建及分子标记辅助育种等研究中。该方法由于操作繁琐, 目前在食用菌领域的应用尚不广泛。以香菇为研究对象, 建立变性聚丙烯酰胺凝胶电泳的检测流程, 并利用正交试验对检测流程中涉及的加样缓冲液与 PCR 反应液的体积比、95 ℃ 变性时间、置于冰上冷却时间、银染时间、银染后胶板去离子水洗时间等 5 个操作节点进行优化。结果表明, 加样缓冲液与 PCR 反应液体积比为 1:2, 95 ℃ 变性 2~5 min, 置于冰上冷却 15~20 min, 银染 7 min, 银染后胶板用去离子水洗 5~10 s 是正交试验的较优处理组合。试验建立了香菇微卫星标记变性聚丙烯酰胺凝胶电泳检测操作规程, 该操作规程具有成本低、效率高、易批量化操作等优点, 对其他食用菌微卫星标记的应用具有重要的参考价值。

关键词:香菇; 变性聚丙烯酰胺凝胶电泳; 微卫星标记; 正交试验设计; 银染试验

中图分类号:S646.1+20.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)05-0057-05

微卫星标记别称简单重复序列 (simple

sequence repeat, 简称 SSR) 标记是目前普遍使用的分子遗传学标记, 具有多态性高、共显性、检测重复性好、基因组中广泛分布等优点。近年来, 随着全基因组测序技术的不断发展, SSR 标记已广泛应用于动植物遗传图谱的构建、数量性状座位 (quantitative trait locus, 简称 QTL) 定位、分子遗传多样性等研究^[1-3]。SSR 标记扩增产物的检测方法主要有荧光标记引物测序法、同位素标记引物的聚丙烯

收稿日期: 2020-07-18

基金项目: 上海市食用菌产业技术体系建设专项资金 [编号: 沪农科产字 (2019) 第 9-03 号]; 现代农业产业技术体系建设专项资金 (编号: CARS-20)。

作者简介: 张 丹 (1986—), 男, 江苏泗洪人, 硕士, 助理研究员, 从事食用菌育种研究。E-mail: zdfungi@126.com。

通信作者: 尚晓冬, 博士, 研究员, 从事食用菌遗传育种研究。E-mail: xdshang@163.com。

annuus plants and calli exposed to NaCl: I. Growth rate and osmotic regulation in intact plants and calli [J]. Journal of Plant Physiology, 1999, 155(6): 769–777.

[64] 郑青松, 刘兆普, 刘友良, 等. 盐和水胁迫对海蓬子、芦荟、向日葵幼苗生长及其离子吸收分配的效应 [J]. 南京农业大学学报, 2004, 27(2): 16–20.

[65] 杨立飞, 朱月林, 胡春梅, 等. NaCl 胁迫对嫁接黄瓜膜脂过氧化、渗透调节物质含量及光合特性的影响 [J]. 西北植物学报, 2006, 26(6): 1195–1200.

[66] 梁 超. 过量积累甜菜碱改善小麦耐盐性的生理机制研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2007.

[67] 王 伟, 于海峰, 张永虎, 等. 盐胁迫对向日葵幼苗生长和生理特性的影响 [J]. 华北农学报, 2013, 28(1): 176–180.

[68] 曾 华. 植物耐盐碱机制研究进展 [J]. 北方水稻, 2017, 47(2): 58–61.

[69] 李海洋, 李爱学, 王 成, 等. 盐胁迫对苗期向日葵内源激素含量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(6): 98–103.

[70] 邵秋玲. 两种白刺对黄河三角洲滨海盐碱地的适应性及其应用研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2008.

[71] 王启龙, 卢 楠, 魏 样. 不同改良措施对定边盐碱地土壤理化性质、黑麦草生长及产量的影响 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47(11): 282–286.

[72] 林学政, 陈靠山, 何培青, 等. 种植盐地碱蓬改良滨海盐渍土对土壤微生物区系的影响 [J]. 生态学报, 2005, 26(3): 801–807.

[73] 李瑞利. 两种典型盐生植物耐盐机理及应用耐盐植物改良盐渍土研究 [D]. 天津: 南开大学, 2010.

[74] 宋玉民, 张建锋, 邢尚军, 等. 黄河三角洲重盐碱地植被特征与植被恢复技术 [J]. 东北林业大学学报, 2003, 31(6): 87–89.

[75] 赵 娜. 甜瓜、向日葵间作系统的资源利用研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.

[76] 邓 丞. 天津滨海盐碱地沿海防护林配置模式及构建技术的研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2014.

[77] 黄生林. 滨海盐碱地景观绿化植物研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2013.