

刘静果,张宝山,张玉红,等. 中草药菥蓂的研究现状及展望[J]. 江苏农业科学,2020,48(22):15-21.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.22.003

中草药菥蓂的研究现状及展望

刘静果¹,张宝山¹,张玉红²,郑宝江¹

(1.东北林业大学生命科学学院,黑龙江哈尔滨 150040; 2.东北林业大学化学化工与资源利用学院,黑龙江哈尔滨 150040)

摘要:菥蓂(*Thlaspi arvense* L.)为十字花科菥蓂属一年生草本植物,基生叶,总状花序顶生,种子倒卵形。种子油供制肥皂,也作润滑油,还可食用。全草、嫩苗和种子均入药,全草清热解毒、消肿排脓,种子利肝明目,嫩苗和中益气、利肝明目。嫩苗用水焯后,浸去酸辣味,加油盐调食。菥蓂在我国广泛分布,亚洲、欧洲、非洲北部都有分布,主要生长在道路边、田边、山间。研究表明,菥蓂具有抗炎、抗氧化、抗肿瘤、抗抑郁和抗痛风等作用。菥蓂种子也属于蒙药材和藏药材。目前国内外对菥蓂的研究比较分散,未进行归纳总结。笔者对菥蓂的化学成分、药理作用、重金属富集作用以及生物质能源特性进行简要概述,并对菥蓂的研究趋势进行了展望,为菥蓂资源合理开发和可持续利用提供参考。

关键词:菥蓂;化学成分;药理作用;超富集植物;生物质能源

中图分类号:S567.21⁺9.01;R282.71 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)22-0015-07

菥蓂(*Thlaspi arvense* L.)为十字花科(Cruciferae)菥蓂属(*Thlaspi* L.)一年生草本植物,又名遏盖菜、苦盖菜、苦芥子、瓜子草、洋辣罐、寨卡等。菥蓂属约60种,我国有6种,分别是西藏菥蓂[*T. andersonii* (Hook. f. et Thoms.) O. E. Schulz]、菥蓂(*T. arvense* L.)、新疆菥蓂(*T. ferganense* N. Busch)、四川菥蓂(*T. flagelliferum* O. E. Schulz)、山菥蓂[*T. thlaspidioides* (Pall.) Kitag.]、云南菥蓂(*T. yunnanense* Franch.)。菥蓂分布几乎遍布全国,主要生长在山地路旁、沟边或村落附近。亚洲、欧洲、非洲北部都有分布^[1]。菥蓂是一味传统的中药材,收集于《本草经》《别论》《药性论》等中医药典籍。菥蓂子味辛,微温,归肝、脾、肾经;明目、祛风湿,主治目赤肿痛、障翳胬肉、迎风流泪、风湿痹痛等^[2];同时也作为一种绿色健康的野菜受到人们的喜爱。

近年来,对菥蓂的研究越来越多,目前国内外对于菥蓂的研究主要为探究菥蓂的化学成分及其药理作用、吸收重金属的机理^[3]、生物质能源的开发利用。其中,国内研究最多的为菥蓂的化学成分

及药理作用。研究表明,菥蓂全草的化学成分主要为芥子油苷类、黄酮类化合物、挥发油、吲哚、有机酸、芥子酶、糖类、微量元素等,菥蓂籽中黑芥子苷含量较高,脂肪油的含量大于34%^[4]。菥蓂药理作用为抗炎作用、抗氧化作用、抗痛风作用,相关研究表明,菥蓂具有抗抑郁和抗肿瘤作用^[2]。本研究对菥蓂的化学成分及结构分析、药理作用、重金属富集机制、生物质能源等方面进行综述,为菥蓂进一步开发利用及推广提供参考。

1 菥蓂药材的鉴别

菥蓂始载于《神农本草经》,列为上品^[5]。菥蓂作为传统的中药材,临床使用广泛,为了避免各种中药材使用混淆,对菥蓂进行鉴别显得尤为重要。众多学者已经对菥蓂的形态、组织结构进行了研究,为菥蓂药材的鉴别提供了重要的理论依据。

1.1 理化鉴别

取菥蓂粉末,加入石油醚,冷浸24 h,滤过,滤渣挥尽石油醚,加甲醇,于70℃水浴回流提取1 h,趁热过滤,取滤液1~2滴于表面皿中,然后滴加3%碘-重氮化钠试液1~2滴,混匀,有细小的气泡产生^[6]。此种方法能检测出菥蓂中芥子苷成分。

1.2 薄层鉴别

菥蓂供试品和对照品分别点于同一以羧甲基纤维素钠为黏合剂的硅胶G薄层板上,以乙酸乙酯-甲醇-水(100:17:13)为展开剂,在室温下进行展开,取出、晾干,喷以3%三氯化铝-乙醇溶

收稿日期:2020-01-15

基金项目:全国第四次中药资源普查黑龙江专项课题基金(编号:2018hljzyzypc-16)。

作者简介:刘静果(1995—),女,河南人,硕士研究生,研究方向为植物营养学。E-mail:1745984675@qq.com。

通信作者:郑宝江,博士,副教授,主要从事植物分类学和植物资源学研究。E-mail:zhbjnefu@126.com。

液,105 ℃加热至斑点清晰,置紫外灯(365 nm)下检视。在与对照品色谱相应的位置上,供试品色谱图上显示相同颜色的荧光斑点^[7]。这与菘蓂中含有异牡荆苷有关。

2 化学成分的研究

目前,国内对菘蓂的化学成分研究最多的是挥发性成分、黄酮类化合物、黑芥子苷等。潘正等用

95% 菘蓂乙醇提取物分别经过石油醚和乙酸乙酯萃取再经柱层析进行分离,并根据光谱数据鉴定化合物的结构,从菘蓂全草中分离得到 11 种化合物,分别鉴定为木樨草素、芹菜素、香叶木素、新橙皮苷、异牡荆苷、蒙花苷、黑芥子苷、3 - thiocyanato - 1 - propene、2,5 - 二羟基吲哚、棕榈酸、十三酸^[8]。菘蓂主要成分的化学结构见图 1。

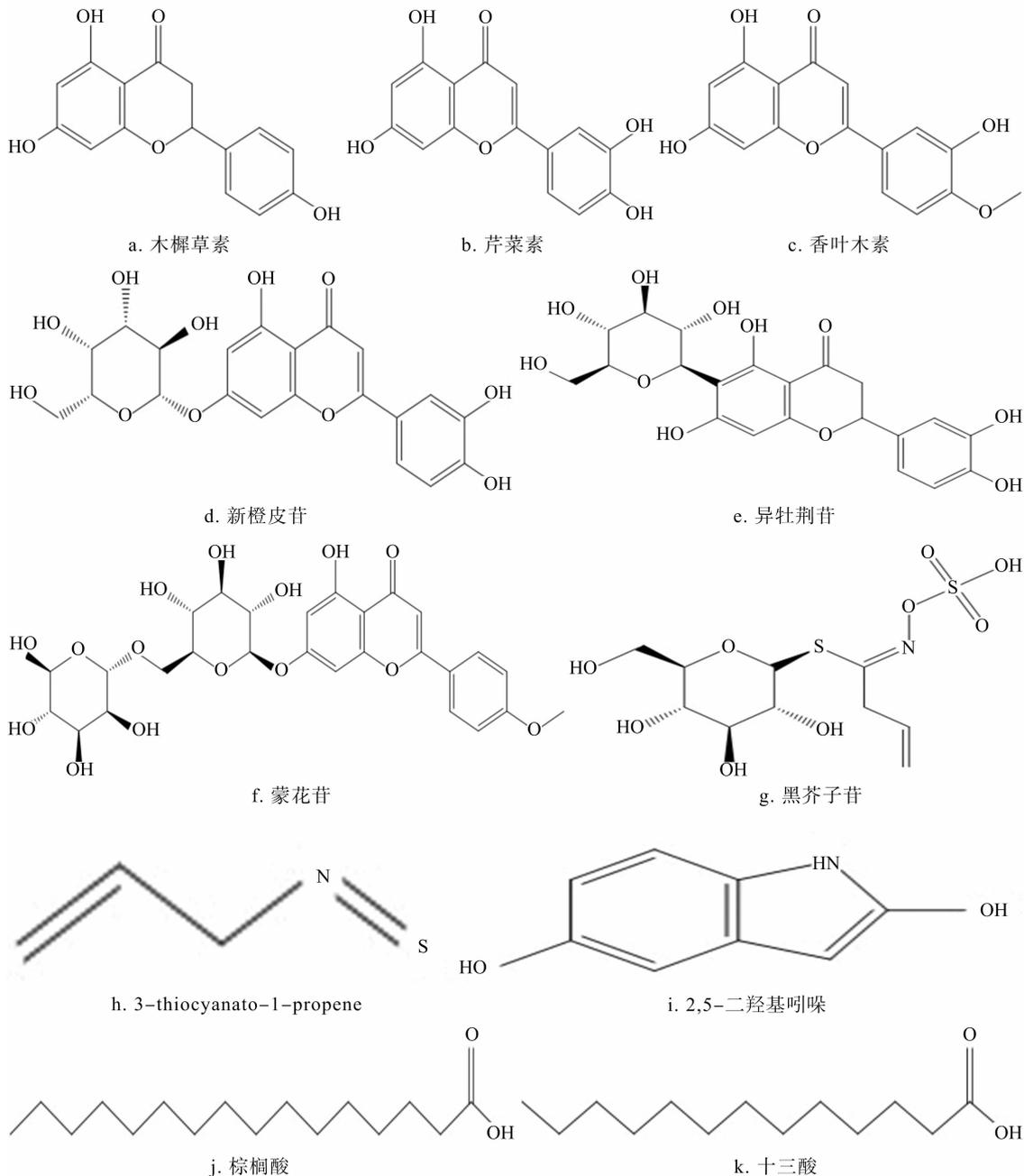


图1 菘蓂中的化合物结构式

2.1 挥发性成分分析

刘信平的研究表明,菘蓂全草挥发性活性成分

主要为甲基丁酸,其次是 3 - 甲基戊酸、5 - 溴 - 2 - 甲酰胺噻吩、3,5 - 二氨基 - 1,2,4 三氮唑、甲酸甲

酯、甲酰肼等。蒜薹作为一种高富集硒的药食两用植物,其全草挥发油中硒含量为 16.94 $\mu\text{g/g}$, 占总硒的 0.035%^[9]。涂杰等的研究表明,蒜薹籽挥发油成分主要是烯丙基异硫氰酸酯和 4-异硫氰酸基-1-丁烯,占总含量的 69.7%;其次是 2 种丁烯腈占 15.64%,也含有长链脂肪酸和脂肪酸酯等^[10]。其中,烯丙基异硫氰酸酯又称为烯丙基芥子油,有较强抗菌、杀虫作用。脂肪酸中亚油酸含量

高达 3.67%,可起到调节血脂、预防肿瘤、改善记忆等作用。

涂杰等研究表明,蒜薹籽炒香前后挥发油的含量和化学成分的组成发生了变化;同时蒜薹籽经炒香工艺处理,有利于减少烯丙基异硫氰酸酯类有效成分,保持其药效^[11]。蒜薹籽炒香前、后挥发油的相同化学成分含量的比较见表 1^[11]。

表 1 蒜薹籽生药 A 和清炒 B 中挥发油化学成分分析

编号	保留时间 (min)	化学名称	分子式	相对分子质量 M_R	相对含量 (%)	
					A	B
1	2.44	2-丁烯腈	$\text{C}_4\text{H}_5\text{N}$	67.04	0.15	7.00
2	3.25	3-丁烯腈	$\text{C}_4\text{H}_5\text{N}$	67.04	15.49	69.72
3	3.74	1-柠檬烯	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	136.13	0.30	3.37
4	4.26	戊-4-烯腈	$\text{C}_5\text{H}_7\text{N}$	81.06	0.25	1.26
5	5.45	烯丙基异硫氰酸酯	$\text{C}_4\text{H}_5\text{NS}$	99.01	44.72	4.39
6	6.67	4-异硫氰酸基-1-丁烯	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	113.03	24.98	0.49
7	10.36	香芹酮	$\text{C}_8\text{H}_7\text{N}$	150.10	0.90	2.88
8	12.68	苯乙腈	$\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{O}_3$	117.06	0.40	0.36
9	17.53	顺-细辛醚	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$	208.11	0.10	0.16
10	19.90	十四烷酸	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}$	228.21	0.16	0.19
11	20.42	十五烷酸	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	242.22	0.67	0.17
12	20.99	棕榈酸	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	256.24	1.91	1.53
13	22.36	硬脂酸	$\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$	284.27	0.15	0.24
14	22.59	9-顺-油酸	$\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$	282.26	1.90	1.33
15	23.06	亚油酸	$\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$	280.24	3.67	1.94
16	23.63	2-甲基-7,10,13-十六烷三烯酸	$\text{C}_{17}\text{H}_{28}\text{O}_2$	264.24	0.11	0.19

2.2 黄酮类化合物

黄酮类化合物(flavonoids compounds)是植物次生代谢产物,能防治心脑血管系统的疾病和呼吸系统的疾病,具有抗炎抑菌、降血糖、抗氧化、抗辐射、抗癌、抗肿瘤以及增强免疫能力等药理作用^[12]。

于金英等鉴定出蒜薹全草中 15 个黄酮类化合物,分别为异牡荆素草酸酯、异牡荆素-7-O-葡萄糖苷、异牡荆素 7,2-二-O- β -吡喃葡萄糖苷、异荜草素、异牡荆素碳酸酯、异牡荆苷、当药黄素、木樨草素-7-O- β -D-葡萄糖苷、当药黄素碳酸酯、新橙皮苷、木樨草素、木樨草素 7-硫酸酯、芹菜素 7-硫酸酯、芹菜素、香叶木素^[9]。程丽媛等采用 RP-HPLC 法进一步测定蒜薹全草中 7 种黄酮类化合物的含量^[13]。结果表明,5,7-二羟基-4'-O-(6"-O- β -D-葡萄糖)- β -D-葡萄糖黄酮平均含量为 0.65 mg/g,异肥皂草苷平均含量为 1.34 mg/g,异荜草苷平均含量为 0.34 mg/g,牡荆

苷平均含量为 0.25 mg/g,异牡荆苷平均含量为 1.57 mg/g,木樨草苷平均含量为 0.46 mg/g,大波斯菊苷平均含量为 0.35 mg/g。成日青等测定蒜薹籽中总黄酮含量为 5.26 mg/g,蒜薹子属于蒙药材,具有清热、滋补、开胃、利尿、消肿之功效^[14],用于治疗肺热、肝热、肾脉损伤、睾丸肿坠、遗精、阳痿、腰痛、恶心等症^[15]。

2.3 芥子油苷类

于金英等鉴定出蒜薹中 10 种芥子油苷类成分和 11 种有机酸类成分^[16]。芥子油苷类化合物中含有黑芥子苷。

黑芥子苷在生物化学试验中可作为测定硫葡萄糖苷酶(thioglycosidase)的活力试剂^[17]。陈玉等研究表明,蒜薹籽中黑芥子苷平均含量为 3.26%^[18]。

2.4 脂肪酸类

王超等使用索氏提取法提取遏蓝菜种子油,并用 GS-MS 法分析其脂肪酸组成^[3]。结果表明,遏

蓝菜种子油中主要含有 9 种脂肪酸,芥酸质量分数最高,为 31.06%,其次亚油酸为 24.83%,油酸为 14.55%,亚麻酸为 11.33%,11-二十碳烯酸为 4.87%,棕榈酸为 5.18%,15-十四碳烯酸为 3.23%,10,13-十碳烯酸为 2.12%,硬脂酸为 0.57%。其中,亚油酸和油酸是适合用于生产生物柴油的油脂^[19]。

2.5 其他类成分

钱宇等研究表明,蒜薹籽中还原糖含量为 1.69%,蔗糖含量为 1.14%,多糖含量为 3.08%^[20]。涂杰等研究得知,原料中元素的含量特征为 $K > Ca > P > Mg > Fe > Na > Zn > Mn > Cu > As > Cd > Pb > Co$,蒜薹籽中 Fe 含量较丰富,达 356 $\mu\text{g/g}$,可溶态中 Zn、Cu 的有机态相对含量较高^[21]。李春晓研究表明,蒜薹籽中含有多酚类化合物^[22]。蒜薹是一种硒超富集植物,叶云霞等研究得出,蒜薹根、茎、叶的总硒含量分别为 (0.0393 ± 0.001) 、 (0.1042 ± 0.002) 、 (0.0789 ± 0.001) $\mu\text{g/g}$ 。蒜薹中的硒元素以无机硒和有机硒的形态存在^[23]。

3 蒜薹的药理活性

3.1 抗炎作用

蒜薹是一种传统的中草药,抗炎效果显著。林珊如等通过临床试验发现,单方蒜薹鲜全草 50~100 g,以水煎服可治肾炎;蒜薹干全草 25 g,水煎,调红糖服可治产后子宫内膜炎^[24]。蒜薹中含有黄酮类化合物,俸婷婷等采用小鼠扭体法和热板法镇痛试验,观察桑白皮总黄酮对小鼠毛细血管通透性和二甲苯致小鼠耳廓肿胀的影响,研究表明,黄酮能显著抑制二甲苯所致的小鼠耳廓肿胀和醋酸所致的毛细血管通透性增加,验证了黄酮类化合物具有抗炎、镇痛、抗病毒、利胆和强心等作用^[25]。蒜薹中草药也作为复方中成药用于临床治疗,抗炎效果很好,其中用途最广的为十三味蒜薹丸,由蒜薹子、芒果核、蒲桃、大托叶云实、紫草茸、茜草、山矾叶、圆柏枝、诃子、豆蔻、刀豆、波棱瓜子、巴夏嘎 13 味药材组成^[26]。拉玛阿拉通过临床试验,研究前列腺炎患者应用十三味蒜薹丸的临床效果与特征,结果表明,藏药十三味蒜薹丸对前列腺炎的治疗效率大大提高,改善了患者的泌尿功能,及时缓解了患者的病情^[27]。

3.2 抗氧化作用

目前,老年人患心血管病、帕金森症等疾病的

概率增大了。据研究所知,这些疾病主要是人体内各种外源性和内源性自由基在一定外界环境下与生物内的许多物质如脂肪酸、蛋白质等作用,夺取它们的氢原子,造成相关细胞的结构与功能破坏、自由基过氧化物积累所致^[28]。抗氧化物质能预防此类疾病的发生,但很多抗氧化物质是化学合成的,有一定的副作用,因此寻找天然抗氧化剂具有重大的意义。

彭妹等测定了红花片中各药材的还原能力、对二苯基苦基苯肼自由基和羟基自由基的清除能力及抑制油脂的氧化能力,研究表明,蒜薹还原能力较高,对二苯基苦基苯肼自由基的清除率较高,说明蒜薹具有较强的抗氧化能力^[29]。段曼等进一步研究蒜薹的提取物的抗氧化作用,考察蒜薹 8 个部位样品还原 Fe^{3+} 的能力、清除二苯基苦基苯肼自由基和羟基自由基的能力,结果表明蒜薹各部位均具有一定的抗氧化能力^[30]。许晓燕等用 H_2O_2 作用 PC12 细胞建立氧化应激损伤模型,采用 MTT 法测定细胞活力,活性氧检测试剂盒 (DCFH-DA) 检测细胞内活性氧,线粒体膜电位检测试剂盒 (JC-1) 检测细胞线粒体膜电位, TUNEL 法检测细胞凋亡^[2],研究表明,蒜薹籽乙醇提取物能够通过多个途径,抑制 H_2O_2 诱导 PC12 细胞氧化损伤,因此蒜薹籽在神经细胞氧化损伤保护方面具有较好的应用前景。

3.3 抗肿瘤作用

藏药赛卡是蒜薹的干燥成熟种子。李艳等采用甲醇萃取、酸性氧化铝层析柱层析和谱图分析对赛卡有效部位进行分离提取和鉴定,赛卡有效部位提取物分别对 S180 荷瘤小鼠和 CT-26 荷瘤小鼠腹腔注射给药,研究表明,赛卡中含有的硫代葡萄糖苷能明显抑制 S180 荷瘤小鼠和 CT-26 荷瘤小鼠的肿瘤增殖,具有一定的抗肿瘤活性^[31]。清源等进一步研究赛卡中抗肿瘤提取物对人结肠癌 LoVo 细胞的作用,用赛卡有效部位提取物不同浓度、不同时间分别处理 LoVo 细胞,以 MTT 法和荧光显微镜观察其对细胞生长增殖的抑制作用,利用分光光度法检测 Caspase-3 和 Caspase-9 的活化程度,得出赛卡提取物能够抑制人结肠癌细胞的生长,并呈剂量和时间依赖关系,同时提出可能激活 Caspase-3 和 Caspase-9 诱导细胞凋亡^[32]。江南等以赛卡提取物作用于人结肠癌 LoVo 细胞,采用 MTT 法分析赛卡提取物对 LoVo 肿瘤细胞的抑制生长作用;

采用 AnnexinV - FITC 荧光染色试验,考察细胞在药物作用下的质膜变化,对提取物诱导 LoVo 细胞凋亡进行检测;采用比色法测定寨卡提取物对人大肠癌 LoVo 肿瘤细胞内还原型谷胱甘肽(GSH)的耗竭作用和对谷胱甘肽 - S 转移酶(GST)的诱导作用;同时利用 DCFH - DA 探针,检测 LoVo 肿瘤细胞给药后的活性氧水平;应用 Western 蛋白印迹法检测 Caspase - 3 和 Caspase - 9 蛋白的表达。研究表明,寨卡提取物可诱导 LoVo 细胞凋亡,寨卡有效部位提取物为硫代葡萄糖苷类物质,水解后生成异硫氰酸酯类化合物,可与 GSH 结合形成氨基二硫代甲酸酯物质,引起细胞内 ROS 蓄积,诱导人肿瘤细胞的凋亡^[33]。

3.4 其他作用

痛风(gout)是嘌呤类物质代谢紊乱,血尿酸浓度持续增高导致尿酸盐结晶沉积软组织所致的一组代谢性疾病。其临床表现为高尿酸血症、特征性急性痛风性关节炎反复发作、痛风石沉积、痛风石慢性关节炎等,并常累及肾脏引起慢性间质性肾炎和肾结石等^[34]。于金英研究得出,薜萸水提液部位对黄嘌呤致小鼠高尿酸模型有显著降低作用,且有效剂量为 2.5 g/kg,说明薜萸具有抗痛风作用,并且复方薜萸胶囊是由薜萸和秦皮组成^[35]。乔青青等研究表明,遏蓝菜种子平均含油率为 19.11%^[36],可以作为开发神经酸产品的植物资源,表明遏蓝菜对老年痴呆、脑瘫等脑疾病有一定的疗效。刘利等通过临床试验发现,复方薜萸对治疗甲胎蛋白(AFP)阳性肝病患者具有较好的疗效^[37]。

4 薜萸的重金属富集作用

随着工业化步伐的加快,重金属的污染越来越严重,已经成为全球性的环境问题。土壤重金属的治理方法主要包括物理治理、化学治理和生物治理^[38-39]。由于物理治理和化学治理造价高,有一定的副作用,应选择生物治理,因此重金属超量累积植物的发现和应用具有十分重要的意义。遏蓝菜是 Zn 和 Cd 超累积植物,在被 Zn 和 Cd 污染的土壤中,遏蓝菜中的 Zn 和 Cd 含量可以分别高达 51 600 mg/kg 和 1 800 mg/kg,是普通草本植物中相应元素含量的 100 倍以上。韩文轩等采用 ICP - AES 技术得出在应用遏蓝菜修复 Zn 污染的土壤时,不会造成 K、P、Mg、Ca、Fe、Mn、Cu 元素从土壤中被植物过量带走而出现养分失衡,因此遏蓝菜为 Zn 污染土壤修

复的最佳重金属富集植物。郑瑞伦等研究表明,根毛是超累积植物遏蓝菜吸收镉的主要通道^[40]。遏蓝菜对重金属离子的积累大致经过螯合剂解毒、地上部长距离运输以及在液泡中的储存等生理过程,相关金属螯合剂为有机酸、氨基酸、植物络合素(PCs)、金属硫蛋白(MT)和尼克酰胺 NA 等,区室化以及长距离运输相关的转运蛋白为 ZIP、CDF、Nramp 和 HMA 等家族。但是由于遏蓝菜生物量小,不宜直接用于重金属污染的土壤植物修复,而被广泛作为一种模式植物来进行重金属富集机制研究^[41]。Vogel - Miku 等对 *Thlaspi praecox* Wulf. 关于重金属 Zn、Cd、Pb 的积累进行了研究,表明其地上部能够积累 Zn、Cd、Pb 的最大值分别为 14 590、5 960、3 500 mg/kg,并且对于重金属 Zn 和 Cd 而言,植株地上部与根部重金属含量之比大于 1,而对于重金属 Pb 来说,其比值小于 1,说明 Zn 和 Cd 能够从根部运输到地上部,而 Pb 则滞留在根部^[42]。

5 薜萸的生物物质能源特性

目前,随着全球工业化进程加快,所需消耗的能源数目十分巨大。2009 年,美国消耗了 99.8 EJ 的能源,其中近 40% 的能源来自石油,石油也是运输部门的主要能源,约占总能源需求的 30%。由于生物燃料的战略、经济、社会和环境效益,美国政府一直在促进更多的关于生物燃料的研究。2007 年“能源独立和安全法”(EISA)规定,至 2022 年,使用 $1.36 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的可再生运输燃料^[43]。油料作物目前已被欧美各国广泛用作生产生物柴油的原料,如菜籽油、大豆油等^[44]。我国人多地少,可用于传统油料作物种植的耕地极为有限,食用油脂生产远不能满足社会需求,效仿欧美等发达国家大力种植油菜、大豆等油料作物的方式发展生物柴油工业并不符合我国国情^[3]。薜萸作为一种新型的生物柴油植物受到了国内外人们的广泛关注,因此研究薜萸的生物物质能源特性具有十分重要的意义。

5.1 薜萸种子产量和含油量

薜萸种子中含有约 36% 的油,其中 94% 是不饱和脂肪酸,具有特殊的理化性质。最丰富的不饱和脂肪酸是芥酸[13(Z) - 二十二碳烯酸],这是一种单不饱和脂肪酸,有 22 个碳,因其具有高十六烷值(59.8%)和优良的低温性能而被证明适合生产生物柴油^[45]。薜萸种子的 1 hm^2 潜在平均产量为 1 500 kg,相当于 600 ~ 1 200 kg 油菜籽,或大豆

450 kg,或油菜籽 420 ~ 640 kg^[46]。Fan 等的研究表明, 苜蓿可以在玉米和大豆之间轮作, $1.62 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 玉米和大豆轮作的年生物燃料生产潜力为 $1.5 \times 10^8 \text{ m}^3$, 而且苜蓿不会降低大豆的产量。可以推断, 苜蓿不会引起对粮食安全或间接土地利用变化(ILUC)负面影响的任何关注^[43]。通过加氢、除氧、异构化和加氢裂化反应, 能将苜蓿油催化转化为可再生燃料。

5.2 苜蓿油作为润滑剂的特性

Cermak 等通过一系列研究表明苜蓿油作为润滑剂的特性, 如将苜蓿油与常用植物油进行脂肪酸谱、低温、润滑(黏度和磨损)和氧化稳定性的比较; 对苜蓿植物油进行原油、精制、漂白和除臭 - RBD 和纯化(去除脂肪酸, FAs)的比较。此外, 将苜蓿油的物理性质与商业植物油、石油和合成机油比较得出, 苜蓿植物油在 $-21 \text{ }^\circ\text{C}$ 有最佳的倒品脱(PP, ASTM D 97 - 96), 而商业侧的蓖麻油的 PP 值为 $-30 \text{ }^\circ\text{C}$; 苜蓿油的黏度系数比商业植物油好; 添加抗氧化剂(1% ~ 3%)的苜蓿油与目前的工业石油产品一样具有氧化稳定性, 氧化时间大于 200 min; 4 球抗磨试验所得苜蓿植物油的磨痕直径(WSD, ASTM D 4172 - 94)对水杨酸含量为 0.594 mm 的磨损效果最好。总的来说, 与商品植物油相比, 苜蓿油具有独特的优势^[47]。

5.3 苜蓿胚的研究

Tsogtbaatar 等研究了苜蓿胚, 首先用气相色谱 - 质谱(GC - MS)分析了细胞内代谢产物的三大类化合物: 有机酸、氨基酸和糖/糖醇; 其次, 采用液相色谱 - 串联质谱(LC - MS/MS)的多重反应监测方式, 对这些中间产物进行了定量研究; 最后, 分区聚类分析将细胞内代谢物分成 8 个聚类, 这些代谢物在时间上具有相似的积累模式。研究得出, 在授粉后 21 d, 苜蓿胚的主要碳汇为蛋白质、脂肪酸和细胞壁, 分别占总生物量的 38.5%、33.2% 和 27.0%。芥酸含量最高可达总脂肪酸的 36%^[46]。蔗糖可能被储存, 而不是被切割成己糖; 葡萄糖和谷氨酰胺分别是碳和氮的主要来源; 糖酵解、磷酸戊糖氧化途径、三羧酸循环和卡尔文循环在发育中的苜蓿胚中都很活跃。

5.4 苜蓿种子中芥酸积累的靶基因

芥酸是不饱和脂肪酸的主要成分。Claver 等研究了苜蓿种子发育过程中芥酸积累的靶基因, 苜蓿籽油的生化特性表明, TAG 是芥酸($22 : 1^{13}$)的主

要储集层。*TaFAE1* 基因编码脂肪酸拉长酶, 在种子发育的早期表现为高表达, 处于转录水平。相反, 编码 $\Delta 12$ 脂肪酸去饱和酶的 *TaFAD2* 基因或催化标记生物合成的 *TaDGAT1* 基因是转录后控制的。*TaWR11* 是种子油生物合成的主调节因子, 在种子发育的早期也表现出较高的表达^[45]。

6 结语

苜蓿在我国分布广泛, 欧洲、亚洲、非洲北部都有分布。苜蓿化学成分复杂, 具有广泛的生物活性。我国对于苜蓿的研究主要集中于化学成分的分析、药用活性的研究, 也有一些研究表明, 苜蓿具有重金属富集作用, 但还未应用于重金属土壤的修复。国外对于苜蓿的研究集中在苜蓿作为生物质能源特性方面, 用于开发可再生能源作物, 但还未应用于工业生产。苜蓿的部分药用活性已应用于临床治疗, 市场需求量高。但目前对于苜蓿的重金属富集作用、生物质能源特性还未应用于实践, 在栽培驯化方面的研究也非常薄弱。未来对于苜蓿的研究应集中于以下几个方面: (1) 将苜蓿作为动物饲料进行商业应用, 这一假设需要未来市场的验证; (2) 开发更好的技术用以生物柴油的净化, 同时提高最终产品的质量; (3) 通过直接燃烧或快速热解来研究苜蓿种子的能量利用, 以了解生物能源对环境的影响; (4) 应集中于苜蓿的田间栽培, 提高苜蓿的产量和种子含油量, 更大地发挥苜蓿的生物学功能; (5) 对苜蓿的基因序列进行分析, 将苜蓿作为重金属富集植物的模式作物, 用以开发更多的重金属富集植物; (6) 利用基因组新技术对苜蓿的快速驯化进行研究, 研究主要集中在苜蓿种子休眠性、油质、硫代葡萄糖苷含量、开花期和成熟期、果实破裂、种子大小和含油量、苜蓿基因的同源序列等方面。因此, 对苜蓿的快速驯化、栽培技术、基因序列的分析等技术的发展显得尤为重要, 对改善人们的生活质量和建立环境友好型社会具有广泛的意义。

参考文献:

- [1] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [2] 许晓燕, 余梦瑶, 魏巍, 等. 苜蓿子乙醇提取物对 H_2O_2 诱导 PC12 细胞损伤的保护作用[J]. 四川中医, 2016, 34(7): 58 - 61.
- [3] 王超, 冯国英, 于友民. 遏蓝菜种子理化性质及脂肪酸组成的 GC - MS 分析[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(9): 67 - 70.
- [4] 于金英, 王云红, 刘国强, 等. HPLC - ESI - MS/MS 分析鉴定苜蓿

- 藜蒿黄酮类成分[J]. 中成药,2015,37(3):556-561.
- [5]孙星衍. 神农本草经[M]. 呼和浩特:内蒙古人民出版社,2006.
- [6]庞赛. 花红片中蒽萸特征成分分离及蒽萸药材质量控制研究[D]. 广西:广西中医药大学,2012.
- [7]周坤,付永莉,江汉美,等. 蒽萸质量评价研究[J]. 中国医院药学杂志,2017,37(17):1709-1712.
- [8]潘正,高运玲,刘毅,等. 蒽萸的化学成分研究[J]. 中成药,2013,35(5):995-997.
- [9]刘信平. 天然产遇蓝菜挥发性物质及硒赋存形态分析[J]. 食品科学,2009,30(18):252-254.
- [10]涂杰,张新申,罗霞,等. 蒽萸籽挥发油的GC/MS分析[J]. 化学研究与应用,2006,18(11):1340-1342.
- [11]涂杰,张新申,李翔,等. GC-MS分析蒽萸籽炒香前后挥发油的化学成分及其变化[J]. 华西药理学杂志,2007,22(1):1-4.
- [12]曹纬国,刘志勤,邵云,等. 黄酮类化合物药理作用的研究进展[J]. 西北植物学报,2003,23(12):2241-2247.
- [13]程丽媛,梁勇,罗轩,等. RP-HPLC法同时测定蒽萸药材中7种黄酮苷的含量[J]. 广西大学学报(自然科学版),2016,41(6):2053-2059.
- [14]成日青,钱宇,郭慧卿,等. 蒽萸子总黄酮含量的测定[J]. 中国中医药科技,2012,19(5):430-431.
- [15]成日青,钱宇,陈建平,等. 蒽萸子总黄酮提取工艺的研究[J]. 中国中医药科技,2013,20(3):273-274,244.
- [16]于金英,王云红,刘国强,等. LC-ESI-MS/MS鉴定蒽萸中芥子油苷及有机酸类成分[J]. 天然产物研究与开发,2015,27(1):67-72.
- [17]王磊磊,陈聪,周旻,等. 近红外漫反射光谱法测定川藏道地药材蒽萸子中黑芥子苷含量[J]. 光谱学与光谱分析,2009,29(10):2673-2676.
- [18]陈玉,周旻,伍丽萍,等. HPLC测定蒽萸子中的黑芥子苷[J]. 华西药理学杂志,2012,27(1):94-95.
- [19]谢志军,周斌. 开发生物柴油的影响因素[J]. 中国油脂,2007,32(9):49-50.
- [20]钱宇,郭慧卿,王来兵,等. 蒽萸子中还原糖、蔗糖及多糖含量的测定[J]. 中国中医药科技,2014,21(3):274-275.
- [21]涂杰,张新申,罗霞,等. 蒽萸籽微量元素化学形态研究[J]. 分析仪器,2006(4):28-33.
- [22]李春晓. 多酚类化合物蒽萸子提取物抗抑郁及记忆障碍研究[J]. 医学信息(上旬刊),2011,24(7):4634.
- [23]叶云霞,陈新,柳国生. 氯化物发生原子荧光光谱法测定蒽萸中的有机硒和无机硒[J]. 化工时刊,2012,26(2):21-24.
- [24]林珊如,伊岱旭. 扶正祛邪治疗慢性子宫内膜炎40例疗效观察[J]. 福建中医药,1998,29(5):3-5.
- [25]俸婷婷,谢体波,林冰,等. 桑白皮总黄酮的镇痛抗炎药理学作用研究[J]. 时珍国医国药,2013,24(11):2580-2582.
- [26]张宁,杨晓宏,马晓帆. HPLC法测定十三味蒽萸胶囊中大叶茜草素的含量[J]. 药物分析杂志,2007(9):1475-1477.
- [27]拉玛阿拉. 分析十三味蒽萸丸治疗前列腺炎的临床疗效[J]. 世界最新医学信息文摘,2017,17(85):184.
- [28]金善花,全光石. 100种中药材抗氧化活性的筛选[J]. 中国中医药现代远程教育,2011,9(20):148-150.
- [29]彭妹,庞丽,张艳华,等. 花红片中七种中草药抗氧化活性研究[J]. 广西大学学报:自然科学版,2013,38(3):554-558.
- [30]段曼,王立升,庞赛,等. 蒽萸提取物体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业,2012,33(5):80-83.
- [31]李艳,江南,罗霞,等. 藏药赛卡有效部位的分离鉴定及其抗肿瘤活性研究[J]. 时珍国医国药,2008,19(5):1118-1120.
- [32]清源,江南,罗霞,等. 赛卡有效部位提取物对人结肠癌LoVo细胞体外抑制作用的研究[J]. 时珍国医国药,2008,19(5):1115-1116.
- [33]江南,曾瑾,清源,等. 赛卡提取物体外对人结肠癌细胞凋亡的诱导作用及其作用机制研究[J]. 时珍国医国药,2009,20(10):2605-2608.
- [34]徐娜,陈海生. 治疗痛风药物研究进展[J]. 药学实践杂志,2013,31(1):14-18.
- [35]于金英. 复方蒽萸胶囊治疗痛风的药学研究[D]. 成都:成都中医药大学,2015.
- [36]乔青青,顾晖,于有伟,等. 遇蓝菜神经酸的提取与微乳化作用研究[J]. 农产品加工,2011(2):28-31.
- [37]刘利,黄安安,郭锐兴. 复方蒽萸治疗甲胎蛋白阳性肝病54例初步观察[J]. 中西医结合肝病杂志,1993,3(1):5-7.
- [38]夏星辉,陈静生. 土壤重金属污染治理方法研究进展[J]. 环境科学,1997(3):72-76.
- [39]倪幸,黄其颖,叶正钱. 竹炭施用对土壤镉形态转化和小麦镉积累的影响[J]. 江苏农业学报,2019,35(4):818-824.
- [40]郑瑞伦,江荣风. 超累积植物遇蓝菜根毛对镉吸收的作用[C]//中国植物生理学会第十次会员代表大会暨全国学术年会论文摘要汇编. 上海:中国植物生理与植物分子生物学学会,2009.
- [41]刘戈宇,柴团耀,孙涛. 超富集植物遇蓝菜对重金属吸收、运输和累积的机制[J]. 生物工程学报,2010,26(5):561-568.
- [42]Vogel-Miku K, Drobne D, Regvar M. Zn, Cd and Pb accumulation and arbuscular mycorrhizal colonisation of pennycress *Thlaspi praecox* Wulf. (Brassicaceae) from the vicinity of a lead mine and smelter in Slovenia[J]. Environmental Pollution, 2005, 133(2):233-242.
- [43]Fan J, Shonnard D R, Kalnes T N, et al. A life cycle assessment of pennycress (*Thlaspi arvense* L.) - derived jet fuel and diesel[J]. Biomass & Bioenergy, 2013, 55:87-100.
- [44]罗艳,刘梅. 开发木本油料植物作为生物柴油原料的研究[J]. 中国生物工程杂志,2007,27(7):68-74.
- [45]Claver A, Rey R, López M V, et al. Identification of target genes and processes involved in erucic acid accumulation during seed development in the biodiesel feedstock pennycress (*Thlaspi arvense* L.)[J]. Journal of Plant Physiology, 2017, 208:7-16.
- [46]Tsogtbaatar E, Cocuron J C, Sonera M C, et al. Metabolite fingerprinting of pennycress (*Thlaspi arvense* L.) embryos to assess active pathways during oil synthesis[J]. Journal of Experimental Botany, 2015, 66(14):4267-4277.
- [47]Cermak S C, Biresaw G, Isbell T A, et al. New crop oils—Properties as potential lubricants[J]. Industrial Crops and Products, 2013, 44(2):232-239.