

马登科,何志斌,赵文智,等.干旱区沙生药用植物生态效益综述[J].中国沙漠,2025,45(1):55-62.

干旱区沙生药用植物生态效益综述

马登科¹,何志斌¹,赵文智¹,杜军¹,孙玮皓^{1,2},
王帅^{1,2},李睿¹,刘冰¹

(1.中国科学院西北生态环境资源研究院 临泽内陆河流域研究站,甘肃 兰州 730000; 2.中国科学院大学,北京 100049)

摘要:沙生药用植物是兼具经济效益和生态效益的植物类群,在中国西北干旱区沙地生境中广泛分布。全面认识和综合利用沙生药用植物的生态功能对区域生态建设及药材资源保护有重要意义。以中国干旱区主要沙生药用植物为例,从防风固沙、土壤肥力提升、盐碱地治理和物种多样性提高等方面,浅析了干旱区沙生药用植物的生态效益及其机制,以期为其在干旱区沙地生态治理中的应用提供理论依据和参考。

关键词:药用植物;生态功能;沙地生境;干旱区;生态治理

文章编号: 1000-694X(2025)01-055-08

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2024.00100

中图分类号: Q14

文献标志码: A

0 引言

沙生植物指生活在沙地生境的植物,大多原生于热带及亚热带沙漠地区,在中国北方干旱半干旱区广泛分布,具有极强的耐旱、耐贫瘠及抗风沙能力^[1]。中国分布的沙生植物中甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)、黄芪(*Astragalus membranaceus*)、银柴胡(*Stellaria dichotoma* var. *Lanceolata*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、锁阳(*Cynomorium songaricum*)、草麻黄(*Ephedra sinica*)等均具有重要药用价值,这些沙生植物的药用价值和经济价值目前已得到广泛认可^[2-3]。在一些沙地广布的地区,沙生药用植物已在沙产业中占据重要地位^[4-5]。

沙生药用植物除了具有药用价值和经济价值外,还具有重要的生态功能,在中国北方沙漠化防治中发挥了重要作用,是沙漠生态系统植被群落的重要组成部分^[1,6]。一些沙生药用植物如甘草、苦豆子(*Sophora alopecuroides*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)等本身也是水土保持和风沙防治的先锋植物,在干旱半干旱区沙地生态治理和恢复中有较高的应用价

值^[7]。目前,对沙生药用植物的研究主要集中在药理学方面,而对其生态效益的关注相对较少。研究沙生药用植物的生态功能及其内在机制,明确沙生药用植物对干旱区沙地生态系统的影响,对沙地生态治理、药材资源保护和区域经济发展等至关重要。

干旱区是中国中药材资源丰富的地区,尤其是沙漠和沙地中分布有大量强抗逆性的珍贵沙生药用植物^[8-9]。干旱区沙生药用植物种类较多,涵盖豆科、菊科、十字花科、伞形科、苋科、列当科、紫葳科、萝藦科等,一些药用植物如甘草、苦豆子、银柴胡、锁阳、草麻黄、肉苁蓉(*Cistanche deserticola*)、沙棘等已成为当地重要的经济来源^[10-11]。本文以干旱区主要沙生药用植物为例,从防风固沙、土壤改良、提高物种多样性和盐碱地治理等方面系统梳理了沙生药用植物的主要生态效益,以期为干旱区沙地生态治理及沙生药用植物资源的开发保护提供理论借鉴。

1 干旱区主要沙生药用植物种类及其药用价值

中国干旱区地域辽阔,沙漠沙地广布,行政区

收稿日期:2024-06-20; 改回日期:2024-07-26

资助项目:宁夏回族自治区重点研发计划项目(2022BEG02012); 宁夏沙坡头规模化防沙治沙试点项目(宁沙管合字[2021]08号)

作者简介:马登科(1995—),男,甘肃会宁人,博士,主要从事干旱区土壤生态方面的研究。E-mail: madengke@nieer.ac.cn

通信作者:何志斌(E-mail: hzbmail@lzb.ac.cn)

划上涵盖新疆、宁夏、内蒙古的大部及甘肃、青海、陕西、山西、河北的部分地区,区域内分布的塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠等8大沙漠及浑善达克沙地、科尔沁沙地、毛乌素沙地和呼伦贝尔沙地等4大沙地的总面积分别约为53.9万和11.7万 km^2 。独特的气候条件和地理特征使得干旱区分布有大量重要的药用植物。据统计,内蒙古地区共有药用植物1207种,123科,其中分布于西部戈壁荒漠的药用植物共计66科190属258种,包含了篇蓄(*Polygonum aviculare*)、苍耳(*Xanthium strumarium*)、银柴胡、肉苁蓉、锁阳、红花(*Carthamus tinctorius*)等^[12-13]。在阿拉善荒漠区,药用植物种类多达210种,占荒漠区植物总种数的28.9%,包含草麻黄、甘草、锁阳、沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、肉苁蓉等^[14]。刘铮瑶等^[15]在巴丹吉林沙漠边缘的调查表明研究区共有白刺、蛇麻黄(*Ephedra distachya*)、霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*)、沙拐枣等12种沙生药用植物,占总物种数的37.5%。甘肃省野生药用植物共计3135种,属于192科955属,其中西北部干旱沙地生境分布有甘草、黄芩(*Scutellaria baicalensis*)、红花、枸杞(*Lycium chinense*)等^[16-17]。宁夏药用植物种类超过910种,分属于126科,其中常用的药用植物有147种,沙生药用植物主要分布于宁夏中部的干旱荒漠和荒漠草原带,有甘草、黄芪、苦豆子、红花、麻黄、枸杞、银柴胡、黄芩、小茴香(*Foeniculum vulgare*)等^[10,18]。新疆地区共分布有2014种药用植物,分布在沙漠地区的一年生沙生药用植物共计15科35属55种^[9,19]。表1列举了20种分布于西北干旱区的常用沙生药用植物。除表1中所列举的沙生药用植物外,干旱区沙地生境中还分布有大量的具药用价值的杂草类植物,如猪毛菜(*Salsola collina*)、雾冰藜(*Grubovia dasyphylla*)、鹅绒藤(*Cynanchum chinense*)、阿尔泰狗娃花(*Aster altaicus*)、软毛虫实(*Corispermum puberulum*)等^[20-21],这些植物如猪毛菜、鹅绒藤等含有丰富的药用成分,可用于高血压和肿瘤等疾病的治疗,具有较高的药用价值^[22-23]。

2 沙生药用植物的形态和生理特征

生长于干旱半干旱沙地生境中的药用植物具有干旱区植物的普遍特征,主要体现在形态特征、抗逆能力、繁殖策略等方面。在形态上,大多数沙

生药用植物叶片细小,根系发达,植株整体相对矮小。此外,沙生药用植物的形态通常具有较高的可塑性,如甘草叶片的形状和颜色会随干旱程度的加剧而变化^[24],银柴胡和沙蒿(*Artemisia desertorum*)的根系会随着土壤含水率的变化而变化^[25-26]。在抗逆性能方面,沙生药用植物均表现出极强的抗旱、耐贫瘠和抗风沙特性,部分药材植物如芦苇(*Phragmites australis*)、白刺、苦豆子、甘草、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)等对土壤盐碱也具有极强的适应性^[27-31]。范秀艳等^[28]的研究表明芦苇和篇蓄豆(*Melilotoides ruthenicus*)通过积累可溶性糖和脯氨酸以抵抗干旱和盐碱等胁迫。白草(*Pennisetum centrasiaticum*)和狗尾草(*Setaria viridis*)也可通过调节体内的可溶性糖及脯氨酸含量来应对干旱胁迫^[32]。转录组和代谢组分析表明,干旱胁迫会促进梭梭糖酵解/糖异生途径,并促进氨基酸合成途径的表达,提高植株对干旱环境的适应能力^[33]。白刺通过NISI03G1136和NISI01G1645两种基因的过量表达减轻盐胁迫引起的 H_2O_2 累积^[34]。防风(*Saposhnikovia divaricata*)可通过上调与类胡萝卜素生物合成和 α -亚麻酸代谢等途径相关的基因以应对干旱胁迫^[35]。甘草和黄芪等豆科药用植物还可通过与根瘤菌建立共生体系以获取土壤氮素,提高其适应贫瘠土壤环境的能力^[36]。繁殖策略是植物适应环境和延续种群的关键,沙生药用植物大都兼具有性繁殖和无性繁殖的能力,且种子大都具有物理或生理休眠特性^[37]。持久土壤种子库和植冠种子库是沙生药用植物进行有性繁殖的重要保障,如沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)的植冠种子库能在种子成熟后的翌年3月保留约30%的种子^[38-39]。此外,沙生药用植物大都有丰富的遗传多样性,且进化出的适应策略具有高度的功能多样性和复杂性,主要体现在其形态特征和化学成分等方面,这是沙生药用植物能适应多种生境的重要原因^[2,40-42]。

3 沙生药用植物的防风固沙效益

沙漠化是影响中国北方干旱区生态环境和社会经济的重要因素^[43]。固定沙丘、缓解风蚀等阻止沙漠化发展是沙生植物主要的生态功能^[6,44-46]。作为干旱区沙地生境植被的重要组成部分,一些沙生药用植物如黑沙蒿(*Artemisia ordosica* Krasch.)、白刺、沙拐枣、防风、沙米、甘草、苦豆子、梭梭等在防风固沙中发挥重要作用^[7,47-49]。如梭梭作为固沙树

表 1 干旱区主要沙生药用植物类别及其药用价值

Table 1 The category and medicinal value of major sandy medicinal plants in arid region.					
种名	科名	类别	药用部位	药用成分	药用功效
甘草(<i>Glycyrrhiza uralensis</i>)	豆科(Leguminosae)	多年生草本	根茎	黄酮类、多糖类、三萜类	抗肿瘤、抗炎、抗菌、抗病毒、抗氧化
银柴胡(<i>Stellaria dichotoma</i> var. <i>lanceolata</i>)	石竹科(Caryophyllaceae)	多年生草本	根	甾醇类、环肽类、生物碱类	清虚热、除疳热
黄芪(<i>Astragalus membranaceus</i>)	豆科(Leguminosae)	多年生草本	根	多糖、皂苷、黄酮类	免疫调节、抗肿瘤、抗病毒、抗衰老
黄芩(<i>Scutellaria baicalensis</i>)	唇形科(Labiatae)	多年生草本	根茎	黄酮类、挥发油、甾类	清热燥湿、泻火解毒、止血、安胎
蒺藜(<i>Tribulus terrestris</i>)	蒺藜科(Zygophyllaceae)	一年生草本	果实	皂苷、黄酮、生物碱、多糖、糖肽	抗癌、抗氧化、抗炎、抗菌、降血糖
沙蓬(<i>Agriophyllum squarrosum</i>)	苋科(Amaranthaceae)	一年生草本	地上部分	黄酮类、皂苷类	清热解毒、利尿
草麻黄(<i>Ephedra sinica</i>)	麻黄科(Ephedraceae)	草本状灌木	茎、根	生物碱类、挥发油类、多糖、黄酮类	发汗解表、宣肺平喘、消肿、调节血压
苦豆子(<i>Sophora alopecuroides</i>)	豆科(Leguminosae)	多年生草本	全草、种子	生物碱、黄酮、多糖、有机酸、挥发油	免疫调节、抗菌、抗肿瘤
牻牛儿苗(<i>Erodium stephanianum</i>)	牻牛儿苗科(Geraniaceae)	一年生草本	地上部分	鞣质、黄酮类、有机酸	抗炎、抗肿瘤、抗氧化、抗病毒
锁阳(<i>Cynomorium songaricum</i>)	锁阳科(Cynomoriaceae)	多年生草本	肉质茎	黄酮类、多糖类、三萜类	壮阳补肾、润肠益精
白刺(<i>Nitraria tangutorum</i>)	蒺藜科(Zygophyllaceae)	灌木	果实	生物碱、黄酮、酚酸类	抗氧化、降血糖、免疫调节
枸杞(<i>Lycium chinense</i>)	茄科(Solanaceae)	灌木	果实、种子	多糖类、色素类、黄酮类、生物碱类	滋补肝肾、益精明目
防风(<i>Saposhnikovia divaricata</i>)	伞形科(Apiaceae)	多年生草本	根	多糖、色原酮、香豆素、挥发油	祛风解表、胜湿止痛
苍耳(<i>Xanthium strumarium</i>)	菊科(Asteraceae)	一年生草本	果实	挥发油类、倍半萜内酯类、酚酸类、苯丙素类	散风寒、通鼻窍、祛风湿
沙棘(<i>Hippophae rhamnoides</i>)	胡颓子科(Elaeagnaceae)	灌木	果实	黄酮、三萜、维生素、甾类、挥发油、生物碱	抗炎、抗氧化、抑菌、免疫调节
地肤(<i>Bassia scoparia</i>)	苋科(Amaranthaceae)	一年生草本	果实	三萜类、挥发油、黄酮类	抗炎、抗真菌、抗过敏、抗瘙痒
地锦草(<i>Euphorbia humifusa</i>)	大戟科(Euphorbiaceae)	一年生草本	全草	黄酮类、鞣质类、萜类、生物碱类	清热解毒、抗炎镇痛、免疫调节、抗肿瘤、止血
柠条锦鸡儿(<i>Caragana korshinskii</i>)	豆科(Leguminosae)	灌木	根、花、种子	萜类、酚类、黄酮类	滋阴补血、祛风活血
肉苁蓉(<i>Cistanche deserticola</i>)	列当科(Orobanchaceae)	多年生草本	肉质茎	苯乙醇苷类、环烯醚萜类、木脂素类、多糖类、核苷、氨基酸、单萜类	补肾、保护肝脏、润肠通便、抑制细胞增殖
沙拐枣(<i>Calligonum mongolicum</i>)	蓼科(Polygonaceae)	灌木	根或带果全草	黄酮、酚酸、甾醇类	清热解毒、利尿

种被广泛种植于中国西北沙漠地区,至今已新增超 2 000 万株^[50]。沙生药用植物地上部分和地下部分

均有防治风沙作用,其中地上部分可通过覆盖地表以隔绝风沙流对被覆盖土壤的直接作用,增加地表

粗糙度进而影响风沙流结构,缓解风蚀作用^[51],也能通过分解风力以减弱到达地表的风动量,缓解风力作用。马全林等^[52]在腾格里沙漠南缘的研究表明,在对照 20 cm 高度风速为 $4.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,典型油蒿灌丛 20 cm 高度风速在灌丛后 1H(H 为灌丛高度)处可相对降低 84%。沙生药用植物还可阻挡输沙以促进沙粒沉积,通过对大气降尘的阻挡逐渐改变沙面的机械组成,进而降低土壤可蚀性^[51]。地下部分通过发达的根系直接固定根区沙粒,降低沙粒的可移动性^[25]。沙生药用植物还能通过提高土壤有机质含量进而促进团聚体结构的形成,提高土壤抵御风蚀的能力^[53-54]。王佳庭等^[55]在乌兰布和沙漠的研究表明白刺、梭梭、沙冬青等可显著提高沙漠土壤有机质的含量。此外,沙生药用植物群落通过改善沙地养分和水分状况进而促进土壤结皮发育,从而对沙粒起到保护作用^[55-57]。沙生药用植物可从降低风蚀作用和提高土壤抗风蚀能力两方面发挥其防风固沙的生态功能,在阻止沙漠化发展的同时改善沙地土壤状况,从而为沙地生境中其他物种的生存和演替提供基础条件。

4 沙生药用植物的土壤改良效益

沙生植物具有“肥岛效应”(fertility islands),主要体现在其对沙地养分和水分的保持和提高及对土壤发育的促进^[58-59]。沙生药用植物对沙地生境土壤状况的改善已得到大量研究证实^[55,60-61]。这种改良效应主要体现在以下几个方面:①提高土壤养分含量。干旱区沙地土壤贫瘠,沙生药用植物可通过其凋落物及根系分泌物等提高土壤养分输入,增加土壤有机质含量^[54-55,62]。在宁夏哈巴湖国家级自然保护区,油蒿和锦鸡儿等的生长显著提高了土壤养分含量,5年后土壤有机质、全氮、全磷含量分别显著提高了 52%、154% 和 22%^[62]。②改善沙地土壤的水分状况。在降水稀少的干旱区沙地生境中,水分是限制植被生长的关键因素,沙生药用植物可通过冠层截留使更多降水进入土壤,从而提高土壤含水率及水分利用效率^[63-65]。此外,一些沙生药用植物如万年蒿(*Artemisia sacrorum*)、雾冰藜(*Grubovia dasyphylla*)等本身具有较强的水分提升能力,可吸收深层土壤水分并通过根系将水分渗出到根系区,从而改善浅层土壤的水分环境,为沙地生境中其他植被的生长提供水分条件^[66-67]。③改善土壤团聚体结构和颗粒组成。沙生植物可显著改变沙地土壤

的微团聚体结构,而细颗粒的增加可进一步提高沙地土壤储存养分和水分的能力^[44,57]。④通过改善水分和养分状况提高沙地土壤微生物多样性,如油蒿群落根际土壤微生物总数、细菌数量、微生物量碳均显著高于流沙^[68]。沙生药用植物对微生物施加的选择性影响会改变土壤微生物群落组成,一些微生物种类如蓝细菌和根瘤菌等的增加能促进土壤营养物质的循环,进一步改善沙地土壤状况^[69-70]。此外,沙生药用植物可通过促进形成土壤结皮进而改善沙地土壤物理结构、水分和养分状况,最终促进土壤微生物数量和种类的增加^[71-73]。

5 沙生药用植物的盐碱地治理效益

盐碱化是导致干旱区沙地土壤退化的主要因素,土壤盐碱化防治及盐碱地改良是干旱沙区生态治理中的重要内容^[74-75]。生物治理是改良盐碱地的有效方法,因其简单高效、绿色环保和可持续性而具有极高的应用潜力。植物可通过其生长代谢活动对土壤盐分直接吸收转化,也可通过蒸腾作用等改变土壤盐分运移过程,进而达到降低土壤盐分含量的目的。生长于干旱区的药用植物大都具有较强的耐盐碱性,包括甘草、油蒿、雾冰藜、沙米、黄芪、苦豆子、白刺等都可有一定含盐量的沙地中正常生长^[27,76-77]。因此,沙生药用植物可用作生物改良盐碱地的材料。研究表明种植中药材对盐碱地有明显的改良作用,如甘草和黄芪可有效降低土壤中的 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 及可溶性盐总量^[78]。郭晔红等^[79]研究发现栽植甘草可显著降低盐碱化沙土的 pH 及盐分含量,促进土壤团粒结构的形成,同时有利于甘草酸的合成。在土壤含盐量较高的条件下,沙米茎部表现出显著储存 Na^+ 的能力,从而阻止 Na^+ 向叶片运输,在降低土壤盐分含量的同时可保持自身的正常生长,因而可作为荒漠盐碱地改良的备选植物^[80]。刺沙蓬(*Salsola tragus*)和骆驼蓬(*Peganum harmala*)等可通过根际调节降低根际土壤 pH,并表现出根际聚盐的“盐岛效应”^[81]。沙生药用植物既能通过吸收提取盐分离子直接降低土壤含盐量,也可通过根际聚盐改善根区外围土壤质量,从而为其他植被的生长提供条件。此外,沙生药用植物可提高盐碱地土壤微生物量,如曹国栋等^[82]的研究表明白刺和猪毛菜可显著提高盐碱土 40 cm 剖面内的细菌和放线菌数量。

6 沙生药用植物有促进沙地生物多样性的潜力

干旱区沙地属典型的脆弱生境,土壤贫瘠、降水稀少、风沙侵袭频繁等恶劣的环境条件使得沙地生境中的生物多样性较低。生长于干旱区沙地中的沙生植物通常具有极强的抗逆性和较高的资源利用效率,具有明显先锋植物的特性^[61,83-84]。原生于干旱区沙地的白刺、沙蒿、沙米、甘草、油蒿等都属于典型的先锋物种,可有效促进沙地生境的植被种类增加和群落演替^[47-48,85-86]。综合前文所述,这些药材的生长能显著降低风蚀作用,提高沙地土壤养分和水分含量,改善土壤物理结构,促进地表结皮形成和土壤微生物群落的演化及养分循环,这些效应可显著改善沙地生境的环境,为其他植被的定植和生长提供有利条件,进而提高植物多样性,并进一步促进沙地植被群落的演化和稳定^[87-89]。此外,沙生药用植物可为沙地动物提供食物和避难所,有利于提高沙地生境动物多样性^[64,90-92]。沙生药用植物作为先锋物种具有提高沙地生境中生物多样性的潜力,可促进沙地生态系统内物质循环和能量流通的多元化,进而提高生态系统的稳定性。值得注意的是,沙生药用植物如梭梭、油蒿等对物种多样性及植被群落演化的影响目前仍存在不确定性^[93-94],在气候条件、土壤特征和人为活动等因素的共同影响下,沙生药用植物在沙地生境植被群落演替中的作用有待进一步探究。

7 结论与展望

干旱区沙生药用植物是中国药材资源的重要组成部分,其对沙埋、干旱、贫瘠和盐碱化等逆境有较强的耐性和抗性,具有防风固沙、提升土壤肥力、改良盐碱地、促进物种多样性等多方面的生态效益。本文对沙生药用植物上述主要生态效益进行了梳理,并探讨了其生态效应的关键机制。尽管针对干旱区沙生药用植物生态效益的研究已有所开展,但以下方面仍有待进一步探讨:

加强沙生药用植物在盐碱地治理中的效益研究,揭示不同药用植物改良盐碱的效应和机理,筛选效果优良的物种,为干旱半干旱沙区盐碱地的生物治理提供备选物种,在此基础上进行推广栽植,提高盐碱地土壤质量和生产力。

开展长期定位监测研究,探究长时间序列上沙

生药用植物的种群演化特征及对生态环境的影响,深化对沙生药用植物生态效益的认识,为其应用中的管理策略提供科学参考。

改进沙生药用植物的兼顾生态效益与经济价值的开发利用模式,开展沙生药用植物生态效益的定量评估,结合经济效益分析其综合应用价值。在保障生态稳定的前提下挖掘沙生药用植物的多元用途,在实现区域生态恢复的过程中促进社会经济发展。

参考文献:

- [1] 高翔,黄娉婷,王可.宁夏沙坡头干旱沙漠自然保护区生态系统稳定性评估[J].生态学报,2019,39(17):6381-6392.
- [2] 李文斌,魏胜利,罗琳,等.甘草种质主要形态性状和化学成分遗传多样性分析[J].中草药,2019,50(2):517-525.
- [3] 李振凯.宁夏银柴胡道地性形成相关因子研究[D].银川:宁夏大学,2024.
- [4] 陶明,黄高宝.沙产业实践模式研究[J].安全与环境学报,2009,9(3):100-105.
- [5] 孙姗姗,刘新平,何玉惠,等.我国固沙植物资源化利用研究进展[J].世界林业研究,2020,33(6):74-79.
- [6] 尹仁芳.中药种植治理荒漠化现状[J].中国中医药信息杂志,2010,17:16-17.
- [7] 温淑红,左忠,李明.宁夏中部干旱带药用植物资源现状与保护利用对策[J].宁夏农林科技,2015,56(11):73-76.
- [8] Wang C C, Cai H, Zhao H, et al. Distribution patterns for metabolites in medicinal parts of wild and cultivated licorice[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2018, 161: 464-473.
- [9] 白长财,韩璐,黄敏,等.我国西北干旱地区药用植物资源分布情况及开发现状调研报告[J].亚太传统医药,2011,7(11):3-4.
- [10] 刘美杰.宁夏中药资源分布特点及开发利用[J].青海农林科技,2012(3):29-30.
- [11] 朱强,王俊,梁文裕.宁夏珍稀濒危药用植物资源及其保护[J].中国野生植物资源,2009,28(1):12-16.
- [12] 杨锋,郭建英,刘海龙,等.内蒙古荒漠药用种子植物资源多样性研究[J].生物资源,2023,45(2):153-163.
- [13] 李晓旭,张荣荣,黄婧婧,等.内蒙古地区维管药用植物资源及其多样性研究[J].西南林业大学学报,2015,35(6):72-77.
- [14] 宋兆斌,辛智鸣,朱雅娟.阿拉善高原荒漠植物资源及其特征[J].水土保持通报,2022,42(5):49-56.
- [15] 刘铮瑶,董治宝,罗万银,等.巴丹吉林沙漠边缘地带植物区系及其资源利用[J].水土保持通报,2016,36(5):255-260.
- [16] 郭延秀,马晓辉,刘立,等.甘肃省第四次与第三次全国中药资源普查药用植物资源物种变化及成因分析[J].中国现代中药,2023,25(4):777-783.
- [17] 郭延秀,曹后康,席少阳,等.甘肃省药用植物资源空间分布格局及其驱动因子[J].中国实验方剂学杂志,2022,28(17):

- 140–149.
- [18] 王建宇, 王建新. 宁夏药用植物资源分布及区系特点[J]. 宁夏农学院学报, 2003(2): 37–40.
- [19] 杜佳倩, 刘彤, 王寒月, 等. 新疆荒漠一年生植物区系组成、分布及资源类型[J]. 干旱区研究, 2022, 39(1): 185–209.
- [20] 王兴东. 宁夏灵武白芨滩国家级自然保护区综合科学考察报告[M]. 北京: 中国林业出版社, 2018.
- [21] 姜生秀, 赵鹏, 徐高兴, 等. 巴丹吉林沙漠东南缘沙米群落分布与土壤因子的关系[J]. 西北植物学报, 2024, 43(6): 1026–1034.
- [22] 江林, 颜明, 王国才. 猪毛菜的化学成分研究[J]. 中药材, 2023, 46(6): 1418–1422.
- [23] 黄平, 周争道, 张莉, 等. 鹅绒藤属植物化学成分与药理活性研究进展[J]. 中药材, 2018, 41(9): 2248–2252.
- [24] 项雯慧, 刘艳. 甘草形态及解剖结构对干旱胁迫响应的研究进展[J]. 北方农业学报, 2016, 44(5): 117–122.
- [25] 牛瑞雪, 李锋瑞, 刘继亮, 等. 典型沙生植物差不同研究进展与展望[J]. 中国沙漠, 2011, 31(1): 63–67.
- [26] 郎多勇, 崔佳佳, 周达, 等. 干旱胁迫对银柴胡生长及生理生化特性的影响[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(11): 1995–1999.
- [27] Zhao J D, Shi C Y, Wang D Y, et al. Sand burial, rather than salinity or drought, is the main stress that limits the germination ability of *Sophora alopecuroides* L. seed in the desert steppe of Yanchi, Ningxia, China[J]. Plants-Basel, 2023, 12(15): 2766.
- [28] 范秀艳, 张玉霞, 王艳树, 等. 沙生牧草和盐生牧草抗逆性和渗透调节特性比较[J]. 内蒙古草业, 2010, 22(1): 60–63.
- [29] 周瑞莲, 赵哈林, 王海鸥. 科尔沁沙地植被演替的抗逆性特征[J]. 中国沙漠, 1999, 19(增刊1): 2–7.
- [30] 杨秀红. 甘草抗逆性研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2018(12): 160–162.
- [31] 雷春英, 彭钊植, 刘畅, 等. 盐生药用植物黑果枸杞研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2021, 40(7): 55–60.
- [32] 周瑞莲, 孙国钧, 王海鸥. 沙生植物渗透调节物对干旱、高温的响应及其在抗逆性中的作用[J]. 中国沙漠, 1999, 19(增刊1): 19–23.
- [33] Yang F, Lv G H. Combined analysis of transcriptome and metabolome reveals the molecular mechanism and candidate genes of *Haloxylon* drought tolerance[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 1020367.
- [34] Wu X R, Zhu J J, Zhu L M, et al. Genome-wide analyses of calmodulin and calmodulin-like proteins in the halophyte *Nitraria sibirica* reveal their involvement in response to salinity, drought and cold stress[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 253(7): 127442.
- [35] 焦苗苗. 干旱胁迫下药用植物防风的生理响应及转录组分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2021.
- [36] 谭雪艳, 李成义, 刘书斌, 等. 豆科药用植物与根瘤菌共生体系研究进展[J]. 中药材, 2024(3): 767–773.
- [37] 郭荣荣. 干旱区野生旱生植物种子萌发特性及引发技术研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2023.
- [38] Liu Z M, Yan Q L, Baskin C C, et al. Burial of canopy-stored seeds in the annual psammophyte *Agriophyllum squarrosum* (Chenopodiaceae) and its ecological significance[J]. Plant and Soil, 2006, 288: 71–80.
- [39] 刘志民. 半干旱区沙生植物繁殖对策[J]. 生态学杂志, 2024, 43(7): 1–5.
- [40] Ciccarelli D. Mediterranean coastal dune vegetation: are disturbance and stress the key selective forces that drive the psammophilous succession? [J]. Estuarine Coastal & Shelf Science, 2015, 165: 247–253.
- [41] Yan H, Ji Z J, Jiao Y S, et al. Genetic diversity and distribution of rhizobia associated with the medicinal legumes *Astragalus* spp. and *Hedysarum polybotrys* in agricultural soils[J]. Systematic and Applied Microbiology, 2016, 39(2): 141–149.
- [42] 聂峰杰, 甘晓燕, 张丽, 等. 沙米生长特性调查及遗传多样性分析[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(6): 1–6.
- [43] 王涛. 荒漠化治理中生态系统、社会经济系统协调发展问题探析: 以中国北方半干旱荒漠区沙漠化防治为例[J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7045–7048.
- [44] 张昌胜, 刘国彬, 薛楚, 等. 不同沙生植被土壤微团聚体分形特征及抗蚀性[J]. 水土保持通报, 2012, 32(2): 1–6.
- [45] Thomas K, Redsteer M. Vegetation of semi-stable rangeland dunes of the Navajo Nation, Southwestern USA[J]. Arid Land Research & Management, 2016, 30: 400–411.
- [46] Lee J T, Shih C Y, Hsu Y S. Root biomechanical features and wind erosion resistance of three native leguminous psammophytes for coastal dune restoration[J]. Ecological Engineering: The Journal of Ecotechnology, 2023, 191: 106966.
- [47] 尹成亮, 赵杰才, 胡进玲, 等. 环境异质性对潜在粮食作物沙米表型变异的影响[J]. 中国科学: 生命科学, 2016, 46(11): 1324–1335.
- [48] 侍新萍, 马彦军, 马瑞, 等. 白刺、沙蒿幼苗膜透性和膜保护系统对不同历时风沙流吹袭的响应[J]. 草业科学, 2021, 38(1): 44–51.
- [49] 孙红, 段霁芸, 刘雨洁, 等. 气候变化背景下沙蓬属 (*Agriophyllum*) 物种潜在地理分布[J]. 中国沙漠, 2023, 43(2): 255–263.
- [50] Zhao P, Xu X Y, Qu J J, et al. Relationships between artificial *Haloxylon ammodendron* communities and soil-water factors in Minqin oasis-desert ecotone[J]. Arid Zone Research, 2017, 37: 1496–1505.
- [51] 吴汪洋, 张登山, 田丽慧, 等. 青海湖克土沙地沙棘林的防风固沙机制与效益[J]. 干旱区地理, 2014, 37(4): 777–785.
- [52] 马全林, 卢琦, 张德魁, 等. 沙蒿与油蒿灌丛的防风阻沙作用[J]. 生态学杂志, 2012, 31(7): 1639–1645.
- [53] 董智今, 张呈春, 展秀丽, 等. 宁夏河东沙地生物土壤结皮及其下伏土壤养分的空间分布特征[J]. 生态环境学报, 2023, 32(5): 910–919.
- [54] 孙彩丽, 刘国彬, 马海龙, 等. 不同沙生植被土壤易氧化有机碳组分及其含量的差异[J]. 草地学报, 2012, 20(5): 863–869.
- [55] 王佳庭, 于明含, 杨海龙, 等. 乌兰布和沙漠典型植物群落土壤风蚀可蚀性研究[J]. 干旱区地理, 2020, 43(6): 1543–1550.

- [56] 屈志强,刘连友,吕艳丽.沙生植物构型及其与抗风蚀能力关系研究综述[J].生态学报,2011,30(2):357-362.
- [57] 董智今,张呈春,展秀丽.宁夏河东沙地生物土壤结皮对土壤性质及入渗过程的影响[J].生态学报,2022,42(17):7128-7136.
- [58] 苏永中,赵哈林,张铜会.几种灌木、半灌木对沙地土壤肥力影响机制的研究[J].应用生态学报,2002,13(7):802-806.
- [59] 阿拉萨,王陇,高广磊,等.乌兰布和沙漠沿黄段风沙土有机质和碳酸钙含量特征[J].中国水土保持科学,2022,20(1):41-47.
- [60] 苗静,张克斌,刘小丹,等.宁夏盐池封育草地植被群落多样性及其与环境关系的典范对应分析[J].生态环境学报,2015,24(5):762-766.
- [61] 杨洪晓,张金屯,吴波,等.油蒿(*Artemisia ordosica*)对半干旱区沙地生境的适应及其生态作用[J].北京师范大学学报(自然科学版),2004(5):684-690.
- [62] 张维军,聂庆华,何兴东.宁夏哈巴湖国家级自然保护区土壤养分5年变化[J].中国沙漠,2020,40(3):27-32.
- [63] Levia D F, Frost E E. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems [J]. Journal of Hydrology, 2003, 274(1/4):1-29.
- [64] Li X R, Xiao H L, Zhang J G, et al. Long-term ecosystem effects of sand-binding vegetation in the Tengger Desert, northern China [J]. Restoration Ecology, 2004, 12(3):376-390.
- [65] 岳祥飞,崔建垣,张铜会,等.科尔沁沙地黄柳灌丛降雨截留与再分配特征[J].草业学报,2013,22(6):46-52.
- [66] 阿拉木萨,周丽芳.科尔沁沙地21种植物水分提升作用的实证检验[J].北京林业大学学报(社会科学版),2011,33(1):70-77.
- [67] Musa A, Zong Q, Niu C Y. Hydraulic lift empirical test among native plant species in the Horqin Sandy Land, northern China [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2013, 18:439-445.
- [68] 戴雅婷,侯向阳,闫志坚,等.库布齐沙地两种植被恢复类型根际土壤微生物和土壤化学性质比较研究[J].生态学报,2016,36(20):6353-6364.
- [69] Andrew D R, Fitak R R, Munguia-Vega A, et al. Abiotic factors shape microbial diversity in Sonoran desert soils [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2012, 78(21):7527-7537.
- [70] 李靖宇,张琇,孙敏,等.腾格里沙漠沙坡头地区土壤微生物多样性分析[J].生态与农村环境学报,2016,32(5):780-787.
- [71] 李凯凯,张丙昌,赵康,等.毛乌素沙地固碳功能菌群落随生物结皮发育阶段的演变特征[J].生态学报,2024,44(3):1177-1190.
- [72] Shi W, Pan Y X, Zhang Y F, et al. The effect of different biocrusts on soil hydraulic properties in the Tengger Desert, China [J]. Geoderma, 2023, 430:116304.
- [73] Duan Y L, Li Y Q, Zhao J H, et al. Changes in microbial composition during the succession of biological soil crusts in Alpine Hulun Buir Sandy Land, China [J]. Microbial Ecology, 2024, 87(1):43.
- [74] 郭坚,王涛,薛嫻,等.毛乌素沙地荒漠化现状及分布特征[J].水土保持研究,2006(3):198-199.
- [75] Huang J Y, Hartemink A E. Soil and environmental issues in sandy soils [J]. Earth-Science Reviews, 2020, 208:103295.
- [76] 张萍,康经理,袁琪,等.两类植物型沙丘上植物群落的异同及其对沙丘形态的响应[J].生态学报,2017,37(23):7920-7927.
- [77] 史超逸,王丹雨,赵京东,等.沙埋、干旱及盐碱胁迫对苦豆子种子萌发的影响[J].陆地生态系统与保护学报,2023,3(3):68-76.
- [78] 郭晔红,蔺海明,贾恢先,等.种植中药材对盐碱地的改良效果研究[J].甘肃农业大学学报,2005(6):757-762.
- [79] 郭晔红,田聪慧,黄翔,等.栽培甘草对荒漠盐渍土改良效应及药材产量品质分析[J].农业科技与信息,2019,562(5):5-10.
- [80] 张继伟,赵昕,石勇,等.盐胁迫下沙米(*Agriophyllum squarrosum*)矿质离子吸收与分配特征[J].中国沙漠,2016,36(3):702-707.
- [81] 李从娟,马健,李彦.五种沙生植物根际土壤的盐分状况[J].生态学报,2009,29(9):4649-4655.
- [82] 曹国栋,陈接华,王绍明,等.不同盐生植被类型下土壤微生物特性研究[J].新疆农业科学,2012,49(3):523-530.
- [83] 闫守刚,许清涛,曹凤伟.半干旱沙区流动沙丘与丘间低地过渡带的植被空间变化过程[J].东北林业大学学报,2014,42(10):60-64.
- [84] Ning Z Y, Zhao X Y, Li Y L, et al. Plant community C:N:P stoichiometry is mediated by soil nutrients and plant functional groups during grassland desertification [J]. Ecological Engineering: The Journal of Ecotechnology, 2021, 162:106179.
- [85] 颜长珍,王一谋,冯毓荪,等.宁夏沙地遥感宏观动态研究[J].中国沙漠,2003,23(2):34-37.
- [86] 王海涛,何兴东,高玉葆,等.油蒿演替群落密度对土壤湿度和有机质空间异质性的响应[J].植物生态学报,2007,31(6):1145-1153.
- [87] Azizi M, Chenchouni H, Belarouci M E, et al. Diversity of psammophyte communities on sand dunes and sandy soils of the northern Sahara Desert [J]. Journal of King Saud University Science, 2021, 33:101656.
- [88] 陶海璇,郭春秀,马俊梅,等.干旱沙区土壤结皮发育对草本植物土壤种子库的影响[J].中国沙漠,2023,43(4):89-97.
- [89] 宋光.沙地生物土壤结皮对荒漠草原植物侵入与定居的影响[D].北京:中国科学院大学,2018.
- [90] 马鸣,欧咏,段刚.97中日塔克拉玛干沙漠徒步科学探险报告(生物部分)[J].干旱区研究,1997(3):55-58.
- [91] 邓徐,刘志民.可获得种子量和种子出苗对草地裸沙斑植被恢复的相对制约[J].生态学报,2011,30(12):2679-2684.
- [92] 张娇,李岳诚,张大治.宁夏白芨滩不同生境土壤动物多样性及其与环境因子的相关性[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2015,41(4):428-438.
- [93] 黄雅茹,辛智鸣,葛根巴图,等.乌兰布和沙漠东北缘典型灌木群落多样性与土壤养分相关性研究[J].中国农业科技导

- 报, 2018, 20(9): 95–105.
- [94] 何芳兰, 金红喜, 郭春秀, 等. 民勤绿洲边缘人工梭梭(*Haloxylon ammodendron*)林衰败过程中植被组成动态及群落相似性[J]. 中国沙漠, 2017, 37(6): 1135–1141.

Review on the ecological benefits of sandy medicinal plants in arid areas

Ma Dengke¹, He Zhibin¹, Zhao Wenzhi¹, Du Jun¹, Sun Weihao^{1,2}, Wang Shuai^{1,2}, Li Rui¹, Liu Bing¹

(1. Linze Inland River Basin Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Sandy medicinal plants are plant groups with both economic and ecological benefits, and they are widely distributed in the sandy habitats of the arid regions of northwestern China. Comprehensive understanding and utilization of the ecological functions of sandy medicinal plants are of great significance to regional ecological construction and conservation of medicinal resources. Taking the main sandy medicinal plants in arid region as an example, this paper analysed the ecological benefits and mechanisms of sandy medicinal plants in arid areas from the aspects of windbreak and sand fixation, soil fertility enhancement, saline and alkaline land management and species diversity improvement, with a view to providing theoretical basis and reference for their application in the ecological management in arid sandy areas.

Key words: medicinal plants; ecological function; sandy habitats; arid region; ecological management