

油蒿生态学研究综述

靳虎甲^{1,2}, 王继和^{1*}, 李 毅², 马全林¹, 张德魁¹, 刘有军¹

(1. 甘肃省荒漠化防治重点实验室, 甘肃 武威 733000; 2. 甘肃省农业大学 林学院, 甘肃 兰州, 730070)

摘 要:油蒿(*Artemisia ordosica*)是我国特有的优良固沙半灌木植物,对其生态学的研究对于促进我国干旱、半干旱区植被宏观研究领域具有特殊的意义,因此对油蒿生态学的研究中关于其形态特征和生境分布、个体生态学、种群生态学、群落生态学进行了综述,重点介绍了油蒿个体水分生理生态、种群空间分布格局、群落的物种多样性、产量生态学以及生态学效益,并对油蒿生态学未来的研究方向进行了展望。

关键词:油蒿; 种群; 群落; 生态学效益; 进展;

中图分类号:S718.45

文献标识码:A

文章编号:1001-7461(2009)04-0062-05

Summary of *Artemisia ordosica* Ecology Studies

JIN Hu-jia¹, WANG Ji-he^{1*}, LI Yi², MA Quan-lin¹, ZHANG De-kui¹, LIU You-jun¹

(1. Gansu Key Laboratory of Desertification Combating, Wuwei, Gansu, 733000, China;

2. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu, 730070, China)

Abstract: *Artemisia ordosica* is a fine sand fixation semi-shrub in desert areas in China. Its ecology research has a special significance in the promotion of macro-research of vegetations in arid, semi-arid area in China. Advances in the researches of *A. ordosica* ecology were reviewed from the aspects of morphological characteristics, habitat distribution, autecology, population ecology, and community ecology with the emphasis on water physiological ecology, population spatial distribution patterns, community species diversity, production ecology and ecological benefit. Research trends of *A. ordosica* ecology were analyzed.

Key words: *Artemisia ordosica*; population; community; ecological benefit; progress

油蒿(*Artemisia ordosica*)是我国特有的优良固沙半灌木植物具有耐沙埋,抗风蚀的特性,在农牧过渡带是固沙的先锋植物^[1]。在沙区人工植被中可天然更新,在荒漠生态系统恢复与重建中起着非常重要的作用,是我国干旱沙区优良的固沙树种。围绕近年相关文献并结合作者的研究,对油蒿生态学研究进行详细的综述,旨在丰富油蒿生态学理论研究的框架,并为干旱、半干旱区植被宏观研究领域积累必要的基础资料。

1 形态特征、生境条件与分布

油蒿又名黑沙蒿,蒙语称西巴嘎。隶属菊科蒿属龙蒿亚属,半灌木植物,无明显主茎,多分枝,老枝条外皮黑灰色或暗灰黑色,当年生枝外皮褐色、黄褐

色、紫红色甚至黑紫色,枝条分生殖枝和营养枝2类,茎枝与营养枝常组成大的密丛。

关于油蒿的地理分布现在基本上认同的是东起浑善达克西部沙地,西至河西走廊东部,南至干武铁路以及宁夏灵武—陕西横山线以北,北至中蒙边界,向西可深入到腾格里沙漠的西部边缘(但不进入巴丹吉林沙漠的中心腹地),南面基本上与毛乌素沙区的边界吻合,主要分布区就地带性分布范围而言,东起典型草原的西部,西至半荒漠的东部,跨越了半荒漠,荒漠草原和典型草原3个不同的植被类型^[2]。油蒿喜生于半固定沙丘、沙地和覆沙土壤上,在疏松的沙丘上生长发育良好,而在固定沙丘上生长势明显变差,有学者研究了生长在不同类型沙丘上油蒿营养器官的解剖结构^[3],更加详细的揭示了

收稿日期:2008-09-09 修回日期:2009-01-21

基金项目:甘肃省自然基金项目(3ZS041-A25-015,0711RJYH004);中科院西部之光项目;国家科技支撑计划项目(2007BAD46B03);甘肃省院地合作项目。

作者简介:靳虎甲,男,满族,硕士生,从事水土保持与荒漠化防治研究。

* 通讯作者:王继和,研究员,主要从事植物生理生态及荒漠化治理技术研究工作。

不同立地条件下油蒿生长的差异。

2 个体生态学

油蒿个体生态学研究的是油蒿个体与环境之间的关系。从油蒿分布来看,生境在干旱和半干旱区,其共同的特征就是环境因子的变化幅度较大^[4],环境条件恶劣,各种环境因子之间作用十分复杂,而尤为重要的生态因子是“水”,它起着极为关键的作用,因此油蒿个体生态学的研究基本是围绕水的问题进行了研究。

环境的水分供应状况及植物本身对水分的需求在很大程度上决定着植物对环境的适应性。随着土壤水分的增加,油蒿幼苗的生物量、株高、总枝数和长度、总叶片数、总叶面积、比叶面积和细根长逐渐增大,而生物量根冠比、硬叶特性和叶肉质化程度逐渐减小^[5]。油蒿的生长主要依赖于大气降水,其根系分布的规律反映植物有效利用土壤中大气降水的对策。油蒿的水分生态特征体现了对干旱环境的适应,具体表现形式包括蒸腾强度的“午休”现象和水势与蒸腾强度变化的负相关性^[6]。不同程度的土壤干旱胁迫使油蒿生长与生物量下降,随着干旱程度的加重而增加负面影响,大气中 CO₂ 浓度升高对油蒿的生长发育起到“施肥作用”;“施肥效应”的生理机理是由于 CO₂ 浓度升高从而提高了光合作用速率^[7]。油蒿的水分生态位适宜度在7月处于最低值,而此时正好是油蒿的生殖生长期,耗水量最大。油蒿的地下水分适宜度变化与地上部分的生长正好一致^[8]。油蒿不同部位具有相似的水分生理特点。随着木质化程度的增加,枝条(除生殖枝)饱和时最大渗透势、初始质壁分离时的渗透势、相对水分亏缺、相对渗透水分亏缺均逐渐增大,而自由水含量则逐渐减小^[9]。油蒿植株在湿润年平均蒸散速率比干旱年高,表现为较强的适应干旱胁迫的能力^[10]。油蒿冠幅投影盖度较高,地表郁闭,有效减少植株内部沙层水分的地表蒸发损失,使其总体上维持水平蒸散速率^[11]。油蒿在半固定沙丘地生长较固定沙丘旺盛,油蒿地下须根数量半固定沙丘不如固定沙丘大,这与固定沙丘油蒿株龄大及其土壤导水率低有关^[12]。杨劭等^[13]还对油蒿蒸腾速率和有关气象因子进行了多元线性回归分析,更加直观的表述了油蒿生长与环境因子之间的关系。

部分学者^[14-16]研究了油蒿根系分布特征以及油蒿根际土壤微生物,指出细根生物量最大值在地表0~15 cm。随土壤深度的增加细根生物量在减少。50%的细根分布在地表至地下18.0~22.2 cm的范围内,年平均细根最大根长密度和根面积指数都出现在表层0~15 cm,并随土层的加深而锐减。在油

蒿根际,土壤各类群微生物生物量根际高于根基外,存在明显的根际效应。油蒿分布区各类微生物的生长发育,为油蒿的生长创造了有利条件,油蒿的生长又给微生物的繁殖活动提供了特殊的生态环境,它们的相互作用,为沙地油蒿分布区土壤发育和沙丘的固定起着很重要的作用。有学者研究表明在油蒿生长前期接种土著 AM 真菌可以增强在中后期的环境抗旱能力^[16],这一研究成果为荒漠地区筛选抗旱菌种和利用根菌技术进行生态修复提供了依据。

2 种群生态学

2.1 种群结构与空间分布格局

马风云等^[17]在沙坡头地区的研究发现,油蒿是该区惟一能天然更新的灌木。油蒿幼树个体的数量多,中等大小的个体少,老龄个体极少,属于典型的增长型种群。幼苗在4、5月新苗较多,但死亡率也高,6~8月出苗较少,而9、10月又有较多幼苗出现。各阶段出现的油蒿幼苗均有较高的越冬保存率。在较小的空间尺度上,油蒿种群倾向于非随机分布,个体间有较强的空间关联;当空间尺度大于临界值后,油蒿种群倾向于服从随机分布,同时种群的空间关联性减弱。幼小油蒿植株具有明显的集群分布趋势,高大的植株则表现出聚集强度的降低趋势;形体大小的差异越大,植株间的正关联关系越弱,或者负关联关系越强。应用 Greig-Smith 区组面积方差分析法、负二项分布法、和方差/均值比率法检验油蒿苗的种群分布格局,表现为集群分布,但是进一步评价集群程度时各项指标产生矛盾^[18]。在流动沙丘向半固定沙丘的演替过程中,油蒿种群空间格局受更大尺度的过程控制,并在自身为建群种的群落里呈现随机分布^[19]。张德魁等绘制油蒿种群在流动沙地、半固定沙地到固定沙地上的点分布图,应用偏离指数、Lloyd 平均拥挤度、Morisita 指数等方法研究腾格里沙漠南缘油蒿种群的分布格局,结果显示在这些立地条件下油蒿种群分布格局均符合集群分布^[20]。与固定沙地相比,半固定沙地油蒿种群的集群分布现象更加明显,同时种群的空间正关联性更强^[21]。杨洪晓等^[22]应用空间自相关分析、半方差分析和九项轨迹方差分析的方法对半固定沙地和固定沙地油蒿种群的空间格局进行了对比研究,并且指出把油蒿人工移植到流动沙丘时,如将其配置为斑块与斑块间隙交替排列的格局,将有助于提高流沙的固定和植被恢复重建的效率,研究结果对其它灌木治理流沙的做法也有借鉴的意义,对流沙治理具有重要的指导意义。

2.2 种群的遗传与繁殖

油蒿有丰富的遗传多态性,多态位点百分率达

96%,各种群多态位点百分比在84.6%~90.9%之间,油蒿的种群间分化较小,86.36%的遗传变异存在于种群内,各种群的遗传一致度都在96%以上,聚类分析显示,地理分布近的种群被聚到了一起,反映了油蒿种群的遗传分化和地理距离有着一定的相关性^[23]。油蒿是进行种子繁殖的,而不同的水分条件和沙埋深度会影响种子的萌发和出苗^[24],进而会对种群的扩散的种群年龄结构产生显著的影响。油蒿在相同的供水量、不同沙埋深度条件下出苗时间之间差异显著,埋藏越深,出苗越慢,0.5 cm为适深度,当深度大于1.5 cm时,不再有幼苗长出。而最适宜的供水量是123 ml^[25]。油蒿种子成熟后脱落速度很慢,到第二年5月仍有约20%的种子滞留在植株上。油蒿这种分批形成种子雨的特性,实质上是它适应于沙漠极端干旱的环境,是在进化中形成的生态对策。沙漠地区降水极不规则,生长季中较大的降水会使种子大量萌发,种群规模扩大,但随后而来的干旱又会造成大多数新生幼苗死亡。油蒿中期分批脱落的生态对策可以“将萌发危险分散到多年中”^[26]。冯丽等^[27]对油蒿营养枝和繁殖枝的数量关系进行了研究,结果表明只有地径在0.5 cm以上的油蒿个体才能开始繁殖,繁殖分配在一定范围内随个体增大而上升,然后又随个体继续增大而下降的趋势,这也填补了对油蒿繁殖分配研究的空白。

2.3 种内关系及与环境之间的关系

对于油蒿种群,个体的平均大小几乎不受密度作用的影响,说明油蒿种群内并没有明显的光竞争作用。油蒿种群由于缺乏光竞争,因此没有自疏现象的产生,故其也没有与光竞争相对应的异速生长特性的变化^[28]。原生油蒿种群的密度的空间异质性和土壤湿度的空间异质性有关,但是随着土壤湿度增加,油蒿密度不呈单调变化,说明土壤湿度与油蒿密度空间异质性的相关性逐渐减弱。土壤有机质的空间异质性与油蒿种群密度的空间异质性有关,油蒿种群的长期定居增加了土壤有机质含量^[29]。对油蒿群落土壤含水量和碳酸钙沉淀关系的研究表明,土壤含水量与碳酸钙含量之间存在显著的线性正相关关系,说明土壤含水量状况的碳酸钙沉淀的基础^[30],这也为沙漠化土壤的生态恢复研究提供了理论支持。

3 群落生态学

3.1 物种多样性和层片结构

据初步统计,有70多个种类。以禾本科、豆科、菊科为主,藜科、藜科次之东起草原区的西部,西至荒漠区的东部,横跨荒漠、半荒漠(草原化荒漠)和

草原3个带。因此,这3个带的不同植物在油蒿群落中都以不同数量由西向东渐增。如腾格里沙漠中有10多种,乌兰布和沙漠中有20多种,河东沙地有30多种,毛乌素沙地还增加了几种草原植物,但有几种荒漠、半荒漠植物种已消失了^[1]。

另外金自学^[31]在对河西走廊主要植被群落分布特点的研究中指出,油蒿广泛分布于河西走廊荒漠系统,是腾格里沙漠、民勤县境内及整个河西荒漠区良好的固沙植物,一般盖度在30%,伴生植物主要有沙生针茅、木蓼、猫头刺、木霸王、沙冬青、无芒隐子草和黄花列当等。

在油蒿群落自然演替系列中,向地带性植被本氏针茅群落过渡的油蒿+本氏针茅群落的植物多样性指数最大,但是此阶段油蒿已经处于衰退阶段,生长势变弱,繁殖力下降,易受病虫害侵袭,油蒿乃至整个群落的饲草产量下降。保持和保护油蒿+杂类草群落,此阶段的油蒿虽然生长势比固定沙地的油蒿弱,但是群落的植物种类较多,产草量高^[32]。油蒿发育是在气候干旱环境的植物群落,当局部地段水源得到改善时,植被将摆脱降水的制约,群落结构和种类组成发生改组。总的来看,油蒿群落的主要群丛约有20个:1.油蒿群丛,2.油蒿、甘草群丛,3.油蒿、苦豆子群丛,4.油蒿、柠条群丛,5.油蒿、茵陈蒿群丛,6.油蒿沙生针茅群丛,7.油蒿、棉蓬、钾叉明裸群丛,8.油蒿、蒙古岩黄芪群丛,9.油蒿、籽蒿群丛,10.油蒿、沙竹群丛,11.油蒿、牛心朴子群丛,12.油蒿、沙拐枣群丛,13.油蒿、沙冬青、霸王群丛,14.油蒿、优若藜群丛,15.油蒿、蒙古扁桃群丛,16.油蒿、猫头刺群丛,17.油蒿、白刺群丛,18.油蒿、发发草群丛,19.油蒿、芦苇群丛,20.油蒿、沙柳、毛柳群丛^[33]。

油蒿群落的层片随分布地而异,在西部群落中一般只有灌、半灌木层片,草本层片缺乏或不明显,半灌木层片则为油蒿层片。中部除灌、半灌木层片外,草本层片渐趋明显。如遇多雨年份,一年生草本植物沙米等生长茂盛,也构成优势层片。东部灌、半灌木层片更丰富,如甘草、冷蒿也构成自己的层片,草本层片发育良好,与油蒿组成各类草群。

3.2 群落生物量及生产力

油蒿群落地上部分的生物量,流动沙地最少,半流动沙地较高,固定沙地上接近流沙地段的油蒿群落生物量最多,而结皮地带生物量又开始下降。油蒿地上部分生物量在9月达到最大,油蒿群落地下部分生物量以粗根为主,根量集中于表层,且随着深度的增加按指数形式递减^[34]。油蒿的冠幅,当年枝长度、基部直径与地上生物量具有相关性,可由此建立综合指标来估测生物量^[35]。油蒿种群在油蒿群

落生产力构成种群分布中占较大优势,因此油蒿种群结构和动态基本上决定油蒿群落结构和动态。就种群初级生产力分布的相对重量来说,油蒿种群动态呈抛物线形^[36]。油蒿群落地上生物量与能量现存量变化趋势相一致,均在9月初达到全年最大值,植物光合作用积累能量的动态变化与群落生产力变化机制是密不可分的^[37]。在群落演替额度过程中,油蒿逐渐过渡为短花针茅,群落发生恢复演替的结果使群落生产力得到大幅度提高。荒漠群落维持较高生产力的关键在于保持较高的植被盖度^[38]。制约油蒿群落初级生产力的主要因子是水分和热量条件,群落年度初级生产力的高低主要取决于降水量分布,利用单因子回归模型,可以预测群落初级生产力年度动态^[39]。油蒿是荒漠区重要的饲草资源,研究油蒿群落生产力对于维持荒漠区生态平衡,科学的控制该地区载畜量有重要的意义。

3.3 种间竞争

由于油蒿和一年生草本植物的生态相似性,它们为争夺有限的生存资源而产生种间竞争,这种竞争作用虽然对油蒿的生长存在一定的影响,但并不能对其生存构成威胁,因为油蒿所受的竞争压力远远小于它产生的竞争压力,说明恢复演变过程中草本植物的入侵、物种多样性的增加并不能从根本上影响油蒿种群在固沙植物群落中的长期续存。同样,由于一年生草本植物机会性的生存对策和恢复过程中生态环境的改善,油蒿种群也不能竞争排除草本植物,而油蒿对它的竞争力逐渐减小,致使草本植物在群落中逐渐占据优势地位^[40]。此外也有学者研究了油蒿和其伴生的灌木的种间竞争,以柠条为例,油蒿是浅根系植物,利用土壤上层水分,而柠条是深根系植物,利用土壤下层水分^[41],油蒿与柠条之间存在着既竞争又稳定的共存机制^[42]。另外,油蒿之所以能在群落的演替过程中长期占据优势地位,也与它自身存在对其它物种生长限制的化感作用有关^[43-44]。

4 生态学效益及资源利用

4.1 饲用、药用价值

油蒿在沙地草场饲料平衡中占有举足轻重的地位,对维持草地生态平衡也有重要意义,油蒿营养成分丰富,粗蛋白、粗脂肪、氨基酸、磷含量高^[45-46]。在荒漠边缘牧区,冬春枯草期,油蒿地上部分的枝叶是牧畜重要的饲料补充源,在特别干旱的年份中,其他牧草由于干旱而缺乏时,由于油蒿耐旱性强,地上部分的枝叶生长好,这时它在饲用价值方面的重要性会更加明显突出^[47]。

油蒿的全草、根、嫩枝叶、花蕾和种子均可入药。

全草用于医尿闭,根可止血,茎叶、花蕾祛风湿可医风湿性关节炎和疮疖痢肿^[48]。油蒿油富含VE,它具有抗氧化防老化的作用,能防止生成过氧化脂质,可以预防动脉硬化等血管性病变,促进T细胞的成熟,加速伤口愈合。油蒿籽是生产功能性保健食品、化妆品、以及制药原料的理想植物资源^[49-50]。

4.2 促进土壤发育

油蒿根对土壤的固定、根系与土壤的物质交换和根系附近土壤微生物的数量与分布特征使油蒿能促进土壤发育。细粒沙尘、枯落物和土壤有机物在油蒿群落形成后不断地积累,逐渐形成土壤结皮,另外土壤动物、微生物也会不断地定居与繁殖,经历从无到有,从简单到复杂的演变过程。土壤剖面也有明显分化,有机质层、沉积层初步形成,有向地带性土壤方向演变的趋势^[51]。土壤结皮的形成、肥力的提高、微生物种群的复杂化,促进了土壤发育过程。土壤微生物是生态系统中重要的组成部分,它们参与各种有机质的分解和转化活动,土壤微生物是监测流动沙丘固定程度和分析土壤发育动态的一种重要标志。油蒿根际是土壤微生物活跃的部位,这与油蒿根系在土壤中形成、微生物的生长发育、繁殖的特殊生态环境有密切的关系。油蒿、土壤和微生物具有相互促进作用。沙丘上油蒿的生长,减缓了沙土的流动,也活跃了沙土中的微生物,土壤微生物繁殖活动加速了土壤中物质的分解和转化,从而促进了土壤发育^[52]。

4.3 防风固沙效益

油蒿枝条的分枝角度大,空间扩展能力强,具有适宜近地面固沙的空间构型^[53],在固定流沙上有显著效果,这在陕西、宁夏、内蒙古等地区就有栽植油蒿进行固沙的成功例子^[54-55]。在宁夏沙坡头铁路固沙区经过多年的试验研究,对多种固沙植物的抗旱生理指标、栽植多年后的生长情况、保存率、生长势等进行过综合评定研究,认为油蒿是腾格里沙漠东南缘和毛乌素最优良的固沙植物种。生长在半固定沙丘上的油蒿表现除了很强的固沙能力外,在油蒿根际附近也能产生明显的积沙现象。经王继和等人测定半固定沙丘上生长的油蒿个体防风作用,以油蒿个体的侧面50 cm高度处的风速作对照,测得油蒿群落后0~300 cm内20 cm与50 cm高度处风速均出现明显降低,在植株后50 cm处风速降到最低,之后又缓慢增加,300 cm处风速较同高度对照风速降低了50%多^[56]。而对不同分布格局低覆盖度(约20%)油蒿群丛的防风效果研究表明行带式的配置结构具有显著的防止风蚀、固定流沙的作用^[57]。这些研究为人工干预下更加有效的控制沙漠化,恢复沙漠化土地植被提供了理论依据。

5 油蒿生态学研究展望

在荒漠化日益严峻的今天,对于生长在脆弱的生态条件下的荒漠植被生态学的研究是一个热点,我国生态学者长期以来一直坚持不懈地进行研究工作,而油蒿作为我国干旱、半干旱地区广泛生长的优良固沙种,其生态学的研究更受到重视。

目前对油蒿生态学的研究已经取得了一定的进展,但是主要集中在油蒿的个体水分生理生态、小范围内油蒿种群空间分布格局、种群的遗传、种内关系、种间竞争、油蒿群落特征、群落演替、物种多样性、产量生态学以及生态效益几个方面的内容。其中仍存在许多问题:(1)研究的内容缺乏深度,且理论研究对生产实践的指导作用没有体现出来。(2)沿用传统的研究方法较多,缺乏对新技术、新理论的积极应用,(3)研究的重复现象比较严重,方向也很分散,存在明显的“博而不精”。

就研究地域而言,相关的研究多集中在鄂尔多斯、毛乌素等半干旱地区,而对于油蒿大面积分布的干旱地区如腾格里沙漠东南缘—腾格里沙漠南缘—河西走廊东段一线,关于油蒿生态学的研究相对较少,对干旱区油蒿生态学的理论和研究方法作出的贡献少,研究手段和实验方法落后,研究空白点多,缺乏对干旱区油蒿种群定量和长期的观察研究。油蒿分布的荒漠区东部其生态条件较草原区西部更加恶劣,对该区生态环境的治理和沙漠化的控制更是迫在眉睫。因此今后的工作重点是对生长在干旱区的油蒿生态学各项具体的内容,并对以往的研究结合新理论、新方法进行更为细致的探讨。

回顾多年来油蒿生态学的研究,最突出的特点是传统生态学研究不断与数量生态学和恢复生态学交叉融合,利用相邻学科的成熟理论和方法解释生态学问题。可以预示在不远的将来,干旱区油蒿生态学的发展会在一定程度上推动整个干旱区植物生态学的发展。

参考文献:

- [1] 王庆锁.我国油蒿研究的一些进展[J].中国草地,1992(2),74-78.
- [2] 王立群,陈世瑛,郝利忠.黑沙蒿生态生物学特性及群落地理分布规律相关性研究[J].干旱区资源与环境,2002,16(4),95-98.
- [3] 乌仁格日乐,格爾木布和,赵金花,等.不同类型的沙丘对油蒿解剖构造的影响[J].内蒙古草业,2008,20(1),35-37.
- [4] Tongway D J. Small-scale patch heterogeneity in semi arid landscape[J]. Pacific Conservation Biology, 1994, 1(2), 201-208.
- [5] 肖春旺,周广胜,赵景柱.不同水分条件对毛乌素沙地油蒿幼苗生长和形态的影响[J].生态学报,2001,21(12),2136-2140.
- [6] 廖汝棠,宋炳煌,孙维.毛乌素沙地沙生植物的水分关系及生态适应性[J].干旱区资源与环境,1993,7(2),83-91.
- [7] 高素华,郭建平,王连敏,等.油蒿在高浓度 CO₂ 条件下对干旱胁迫的反应[J].气象,2002,28(11),7-10.
- [8] 唐海萍,史培军,李自珍.沙坡头地区不同配置格局油蒿和柠条水分生态位适宜度研究[J].植物生态学报,2001,25(1),6-10.
- [9] 李小军,谭会娟,张志山,等.油蒿不同部位水分关系研究[J].中国沙漠,2007,27(3),448-453.
- [10] 张利平,王新平,刘立超,等.沙坡头主要建群植物油蒿和柠条的气体交换[J].生态学报,1998,18(2),133-137.
- [11] 王新平,李新荣,康尔酒,等.沙坡头地区固沙植物油蒿柠条蒸散状况的研究[J].中国沙漠,2002,22(4),363-367.
- [12] 杨宝珍,董学军,高琼.油蒿的蒸腾作用及其群落的水分状况[J].植物生态学报,1994,18(2),161-170.
- [13] 杨勋,高清竹,乌力吉.库布齐沙地油蒿(*Artemisia ordosica*)蒸腾作用特征及其与环境因子的关系[J].内蒙古大学学报:自然科学版,1999,30(3),372-376.
- [14] 吴国玺,毛乌素沙地臭柏、油蒿根系分布特征与细根动态[D].内蒙古农业大学硕士学位论文,2006.
- [15] 邵玉琴,赵吉,廖仰南.内蒙古库布齐沙地油蒿(*Artemisia ordosica*)根际土壤微生物生物量的研究[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,1996,27(2),299-233.
- [16] 贺学礼,张焕仕,赵丽莉.不同土壤中水分胁迫和 AM 真菌对油蒿抗旱性的影响[J].植物生态学报,2008,32(5),994-1001.
- [17] 马风云,李新荣,龙利群,等.沙坡头地区人工植被油蒿种群结构与更新的研究[J].中国沙漠,2002,22(6),571-575.
- [18] 李青丰,王建光,徐军.沙坡头铁路北侧人工植被区油蒿苗和小画眉草的分布格局[J].中国沙漠,2002,22(6),628-631.
- [19] 刘凤红,刘建,董鸣.鄂尔多斯高原沙地植被和两种优势克隆半灌木的空间格局[J].生态学报,2004,24(11),2374-2380.
- [20] 张德魁,王继和,马全林,等.腾格里沙漠南缘油蒿与沙蒿种群分布格局[J].甘肃科技,2008,24(3),127-130.
- [21] 杨洪晓,张金屯,吴波.毛乌素沙地油蒿种群点格局分析[J].植物生态学报,2006,30(4),563-570.
- [22] 杨洪晓,张金屯,李振东,等.毛乌素沙地油蒿种群空间格局对比[J].生态学报,2008,28(5),1901-1910.
- [23] 王铁娟,杨特,马静,等.油蒿种群遗传分化的 RAPD 分析[J].内蒙古大学学报:自然科学版,2004,35(4),399-403.
- [24] 黄正英, Yitzhak GUTTERMAN. 油蒿与中国和以色列沙漠中的两种蒿属植物种子萌发策略的比较[J].植物学报,2000,42(1),71-80.
- [25] 聂春雷,郑元润.鄂尔多斯高原 4 种主要沙生植物种子萌发与出苗对水分和沙埋的响应[J].植物生态学报,2005,29(1),32-41.
- [26] 王刚,梁学功.沙坡头人工固沙区的种子库动态[J].植物学报,1995,37(3),231-237.
- [27] 冯丽,张景光,张志山,等.沙坡头人工固沙区油蒿繁殖分配的研究[J].中国沙漠,2008,28(3),473-476.
- [28] 肖洒,王刚,李良.毛乌素沙地油蒿与杨柴异速生长模式及个体大小的种内竞争调节[J].中国沙漠,2003,23(1),67-72.
- [29] 王海涛,何兴东,高玉褒.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.
- [30] 谭丽鹏,何兴东,王海涛,等.腾格里沙漠油蒿群落土壤水分与碳酸钙沉积关系分析[J].中国沙漠,2008,28(4),701-705.

(下转第 72 页)

- [2] 云南森林编写委员会. 云南森林[M]. 昆明: 云南科学技术出版社/中国林业出版社, 1986, 125-153.
- [3] 蔡年辉, 李根前, 束传林, 等. 云南松天然林区植物群落结构的时空动态研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2119-2124.
- [4] 马常耕. 世界林木遗传改良研究水平与趋势[J]. 世界林业研究, 1991, 4(1): 85-87.
- [5] 马常耕. 世界加速林木育种轮回研究的现状[J]. 世界林业研究, 1996, 9(6): 15-23.
- [6] 马常耕. 世界松类无性系林业发展策略和现状研究[J]. 世界林业研究, 1994, 7(2): 12-18.
- [7] 朱之梯. 树木的无性繁殖与无性系育种[J]. 林业科学, 1986, 22(3): 280-289.
- [8] 黄菊生, 王豁然. 世界林木遗传、育种和改良的研究进展和动向[J]. 世界林业研究, 1991, 4(1): 7-11.
- [9] 郑毓, 舒筱武. 云南松优良种源生长量早期选择的研究[J]. 云南林业科技, 1998, 84(3): 12-17.
- [10] 王章荣, 陈天华, 周志春, 等. 福建华安马尾松生长早晚期相关及早期选择[J]. 南京林业大学学报, 1987, 11(3): 41-47.
- [11] 卢国美, 李国峰, 侯振中, 等. 油松生长力早期选择[J]. 河南林业科技, 1994, (2): 12-14.
- [12] 丁振芳, 王景章, 王海峰, 等. 日本落叶松家系早期选择技术[J]. 东北林业大学学报, 1997, 25(3): 65-67.
- [13] 王军辉, 顾万春, 李斌, 等. 桉木优良种源和家系的选择研究-生长的适应性和遗传稳定性分析[J]. 林业科学, 2000, 36(3): 59-66.
- [14] 皮文林, 罗方书, 万国华, 等. 云南松生长的早晚期相关初探[J]. 云南植物研究, 1994, 16(1): 90-92.
- [15] Zarger TG. Performance of loblolly short leaf, and eastern white pine super seedlings [J]. Silvae genetica, 1965, (14): 182-186.
- [16] Hatchel GE. Performance of loblolly and slash pine nursery selections [J]. Forest Science, 1972, 18: 308-313.
- [17] 郑仁华, 杨宗武, 施季森, 等. 福建柏优树子代苗期性状遗传变异和生长节律研究[J]. 林业科学, 2003, 39(1): 179-183.
- [18] 王明麻, 黄敏仁. 黑杨派新无性系研究 I. 苗期测定[J]. 南京林业大学学报, 1987, 11(2): 1-12.
- [19] 张敦论. 刺槐优良无性系遗传稳定性及长适应性分析及综合评定. 阔叶树遗传改良[J]. 北京: 科学技术文献出版社, 1991.
- [20] 陈益泰. 林木早期选择研究新进展[J]. 林业科学研究, 1994, 7(7): 13-22.
- [21] 茹广欣, 张国栓, 冯胜, 等. 黑杨无性系的苗期选择分析[J]. 河南农业大学学报, 2002, 36(2): 143-146.
- [22] 舒筱武, 郑毓, 李思广, 等. 云南松壮苗培育与幼林生长相关性的研究[J]. 云南林业科技, 2000(4): 1-9.

(上接第 66 页)

- [31] 金自学. 河西走廊灌丛植被的生态学研究[J]. 农村生态环境, 2001, 17(2): 17-21.
- [32] 王庆锁, 梁艳英. 油蒿群落植物多样性动态[J]. 中国沙漠, 1997, 17(2): 159-163.
- [33] 丘明新, 刘家琼. 试论油蒿植物群落的利用[J]. 资源科学, 1982, (2): 17-30.
- [34] 王庆锁, 李博. 鄂尔多斯沙地油蒿群落生物量初步研究[J]. 植物生态学报, 1994, 18(4): 347-353.
- [35] 王庆锁. 油蒿、中间锦鸡儿生物量估测模式[J]. 中国草地, 1994(1): 49-51.
- [36] 刘金祥. 油蒿群落种群分布及其初级生产力动态研究[J]. 草业学报, 1996, 5(4): 23-29.
- [37] 李晓兵. 沙地油蒿群落生产力动态的能量生态学研究[J]. 生态学报, 1998, 18(3): 315-319.
- [38] 周志宇, 付华, 陈亚明, 等. 阿拉善荒漠草地恢复演替过程中物种多样性与生产力的变化[J]. 草业学报, 2003, 12(1): 34-40.
- [39] 刘金祥, 仇保铭, 张志谦, 等. 油蒿群落初级生产力动态规律研究[J]. 西北植物学报, 1998, 18(1): 116-123.
- [40] 徐彩琳, 李自珍. 沙区生态系统恢复演替过程中固沙植物种间生态位关系变化的研究[J]. 生态学报, 2004, 23(4): 7-12.
- [41] 李文龙, 施维林, 王刚, 等. 沙坡头地区人工林植物的水分生态位适宜度与种间共存机制分析[J]. 西北植物学报, 2004, 24(3): 384-391.
- [42] 陆凡. 油蒿和柠条水分限制的种间竞争模型[J]. 兰州医学院学报, 1999, 25(2): 17-18.
- [43] 于凤兰, 马茂华, 孔令韶. 油蒿挥发油的化感作用研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(4): 345-350.
- [44] 马茂华, 于凤兰, 孔令韶. 油蒿的化感作用研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 670-676.
- [45] 王宏杰. 宁夏盐池植物资源其合理利用[J]. 自然资源, 1983, 83(2): 56-64.
- [46] 王承斌. 内蒙古的木本饲用植物资源[J]. 中国草地, 1985, (1): 1-5.
- [47] 张德魁, 王继和, 马全林, 刘虎俊. 油蒿研究综述[J]. 草业科学, 2007, 24(8): 30-35.
- [48] 黄兆花, 刘媛心. 我国沙区重要蒿属植物的特性及应用[J]. 干旱区资源与环境, 1991, 5(1): 12-21.
- [49] 自寿宁, 石秀芳. 沙蒿油开发利用探讨[J]. 粮食与油脂, 2000, (3): 31-33.
- [50] 自寿宁, 雍彤五, 云秀芳. 沙蒿籽提取沙蒿油及沙蒿胶研究概况与前景[J]. 包装与食品机械, 2000, 18(3): 17-23.
- [51] 于云江, 林庆功, 石庆辉, 等. 包兰铁路沙坡头段人工植被区生境与植被变化研究[J]. 生态学报, 2002, 22(3): 433-439.
- [52] 邵玉琴, 赵吉. 内蒙古库布齐油蒿固定沙丘土壤微生物数量的季节动态分布研究[J]. 中国草地, 2000(2): 42-45.
- [53] 詹科杰, 王继和, 马全林, 等. 沙蒿、油蒿空间构件及固沙机制研究[J]. 甘肃林业科技, 2005, 30(4): 1-4.
- [54] 刘永和, 黄仲达, 杜庆堂, 等. 陕西省榆林地区沙蒿资源情况调查[J]. 中草药, 1999, 30(8): 623-625.
- [55] 沈渭寿. 毛乌素沙地飞播植被现状与评价[J]. 中国沙漠, 1998, 18(2): 143-148.
- [56] 王继和, 马全林, 刘虎俊, 等. 干旱区沙漠化土地逆转植被的防风固沙效益研究[J]. 中国沙漠, 2006, 26(6): 903-909.
- [57] 杨红艳, 戴展慧, 乐林, 等. 不同分布格局低覆盖度油蒿群丛防风效果[J]. 林业科学, 2008, 44(5): 11-16.