

李 柳,李小雁,马育军,等. 油蒿灌木的生态水文过程研究综述[J]. 干旱气象, 2013, 31(4): 814–819, doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-04-0814

油蒿灌木的生态水文过程研究综述

李 柳^{1,2}, 李小雁^{1,2}, 马育军², 赵国琴², 吴华武²

(1. 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

摘 要:生态水文过程是生态水文学的重要研究内容,是生态系统中水文过程和生态过程通量变化间的互馈关系。油蒿(*Artemisia ordosica*)作为我国特有的优良固沙物种,在荒漠生态系统重建与恢复中起着非常重要的作用。本文以生态水文学为指导思想,综述研究了降水、冠层降雨再分配、根系水分再分配、土壤水分变化、蒸散发以及油蒿群落演替等生态、水文过程中油蒿与水文环境间的相互作用关系,提出现存的问题和未来研究应关注的方向,为后续研究提供理论依据。

关键词:油蒿;生态水文过程;水分再分配;土壤水分;蒸散发;群落演替

文章编号:1006-7639(2013)-04-0814-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-04-0814

中图分类号:S715

文献标识码:A

引 言

油蒿(*Artemisia ordosica*)为菊科蒿属半灌木,在我国主要分布于内蒙古、宁夏、陕西等地的荒漠和草原沙漠化地区,是我国特有的优良固沙物种,具有耐沙埋、抗风蚀、耐贫瘠、分枝和结实性能良好等特性,在荒漠生态系统重建与恢复中,起着非常重要的作用。杨洪晓^[1]、张德奎^[2]、靳虎甲^[3]等人曾从油蒿的个体、种群和群落角度对油蒿的生理生态学进行过综述性研究。本文从生态水文学角度出发,对油蒿生态水文过程研究进行总结,以影响油蒿生长发育的关键因素“水分”为切入点,进一步加深对油蒿灌木生态过程与水文过程相互作用内在机制的认知,为其保护恢复和后续研究提供依据。

1 生态水文过程概述

生态水文学概念兴起于20世纪90年代,用以阐述水文过程如何影响生物群落的分布、结构、功能和动态以及生物群落的反馈如何影响水循环过程^[4],不同时空尺度上和变化环境条件下的生态水文过程是其主要研究内容之一^[4-5]。

生态水文过程是指水文过程与生物动力过程之间的功能关系^[6],它是揭示生态格局与生态过程变化水文机理的关键。对于陆生生态系统而言,生态

水文过程构建起一个开放的耗散系统^[7],主要关注包括降水、植物冠层降水再分配、蒸散发、入渗、土壤水分动态变化、地表径流、地下水补给等水文过程的垂直及水平通量变化,以及由这些通量变化引起的生态过程变化^[8]。在这个系统中,存在着各要素间非线性反馈相互作用的突变模式,任何一个微小的改变都有可能引起一系列不能仅通过单一要素行为来预测的关联变化^[7]。因此,要想认识某个系统的完整运行机制,需对其中各个要素及各个要素间的相互作用关系进行网络状的系统研究。与传统水文过程研究相比,生态水文过程研究更加重视对不同生物(特别是植被)与水文过程之间相互影响、耦合关系的探讨,同时也更加关注研究过程中的尺度性,其空间尺度可以分为小尺度(如个体、群落)、中尺度(如集水区、小流域)和大尺度(如区域、全球),时间尺度则跨越了以秒为单位到月、年以至百万年甚至更长^[9-10]。

2 油蒿生态水文过程研究综述

2.1 降水与油蒿的关系

降水作为干旱半干旱区最主要的水分来源,从根本上影响着油蒿灌丛的格局。李秋爽等^[11]研究表明,鄂尔多斯高原油蒿种群空间分布格局随着降水量的减少,“在小尺度上由均匀分布向随机分布

收稿日期:2013-04-17;改回日期:2013-07-30

基金项目:国家杰出青年科学基金(41025001)资助

作者简介:李柳(1988-),女,汉族,新疆克拉玛依人,在读博士,主要从事半干旱区生态水文研究。E-mail: Leona-Li@mail.bnu.edu.cn

转变,在大尺度上则由随机分布向聚集分布转变”。这是由于在降水相对充足时,种内竞争大于种内协作,油蒿种群呈随机分布格局;而当降水相对缺乏时,种内关系以协作为主,种群呈现明显的聚集分布格局。刘俊杉等^[12]依靠机理模型进行的研究表明,降雨的长期波动及干旱的影响增加了油蒿灌木的竞争力,增强了灌木作为群落优势种的格局稳定性。

作为生长在荒漠及草原沙漠化地区的耐旱物种,油蒿具有众多适应缺水环境的生理生态学特征,它可以利用有限的降水和沙地水分存活,且随年龄增长抗旱性相应增强^[13-14]。由于油蒿的细根主要集中分布在地表以下0~20 cm土层中^[15],因此它可以充分利用浅层土壤中的大气降水、地表水以及凝结水^[16]。肖春旺等^[17-18]对油蒿幼苗进行的施水量变化对油蒿植株形态的影响实验研究表明,根冠比随施水量的增加而减小,却不随施水量的减少而相应增加,表现出对干旱胁迫的不敏感性。油蒿以种子繁殖为主,通过分批形成种子雨脱离母体的方式减小某次极端干旱事件导致大批幼苗死亡的萌发危机^[19],这种生态对策保证了群落良好的自然维持和更新能力。

2.2 油蒿冠层降雨再分配过程

植物的冠层降雨再分配过程是指通过林冠层的降雨总量被分割,其中一部分直接被植物冠层吸附或蒸发消耗,称为林冠截留;其余降雨以2种方式到达地面,即直接通过冠层间隙或从枝叶滴落的穿透雨以及沿着枝干汇流至土壤的树干茎流^[20]。不管对单个植株还是整个流域而言,冠层降雨再分配过程对植物水分利用以及群落生态系统水循环均具有重要影响,对其进行量化研究有助于分析植物对局部水量平衡的影响^[21]。

目前对油蒿冠层降雨再分配的研究主要集中于林冠截留方面。王新平^[22]、张志山^[23]等通过对沙坡头人工种植油蒿灌木的降雨再分配过程的研究,发现穿透雨量与降雨量之间具有良好的线性正相关性($P < 0.0001$),穿透雨量占降雨量比例平均为54.9% ($\pm 16.2\%$);而冠层截留量与降雨量之间则呈现线性正相关性^[22]或指数正相关性^[23],冠层截留容量为0.7^[22]或1.0 mm^[23],生长季内油蒿群落冠层截留率约为降水的26.8%^[22]。

冠层蓄水能力是影响植物林冠截留量的关键因素之一。Wang等^[24]采用模拟降雨实验测得油蒿的单位叶面积蓄水量为0.61 mm (0.29~0.89 mm),这个结果较其2005年^[25]在自然降雨条件下通过测量穿透雨间接得到的0.75 mm小,这是因为间接方

法未考虑冠层静态蓄水和降雨中蒸发作用对截留损失的影响;此外,油蒿枝条蓄水能力随模拟雨强的增加而增加;较之冠幅投影面积和灌丛体积,叶面积、植物干重生物量及湿重生物量能够更好地模拟冠层蓄水量。

2.3 油蒿根系水分再分配过程

植物根系水分再分配过程是植物根系对土壤水分分布的调控作用^[26],分为“水力提升”和“逆水力提升”2个过程。水力提升作用是指在低蒸腾条件下(主要在夜间),因植物根系不同部位土壤水势的分布差异,根系可从深层较湿润土壤吸取水分,通过侧根运输到表层较干燥土壤后释放,供自身或邻近植物在高蒸腾条件下重新吸收利用的过程^[27]。此现象的发现打破了以往对于植物根系“只吸收水分,不释放水分”的局限性认识,对研究干旱区植物水分胁迫适应机制具有重要意义。

何维明等^[28]对毛乌素沙地天然生长的油蒿植株根系进行了酸性品红染色实验,发现同一油蒿植株的深层主根和浅层细根之间存在水分共享现象,因此推断油蒿根系可能具有水力提升作用。2007年,Xu等^[29]借助TDR对人工分根种植油蒿植株的沙土含水量进行了持续观测,发现未进行浇灌的上层沙土在夜间出现含水量上升现象,证明了油蒿根系水力提升作用的存在,且水力提升作用强弱与细根长度、密度呈现显著的线性正相关性($P < 0.0001$)。

2.4 油蒿对土壤水分的影响

油蒿对土壤水分的影响除前文提到的根系水分再分配作用外,还表现在影响土壤质地、结皮发育以及钙积层形成等进而影响土壤水力特性和水分运移活动。

油蒿群落对土壤的影响最直观地表现在土壤质地变化方面。小林达明等^[30]在毛乌素沙地的研究表明,流动沙地土壤质地较粗,而被油蒿群落固定的沙地上,土壤质地很细。油蒿群落生长初期的半固定沙地地表易受风蚀,土层质地和结构较为均匀疏松,水分渗透性好;而油蒿群落发展后期的固定沙地地表较稳定,地表积累的细土粉粒和黏粒含量较高,结构较为密实,水分渗透性减弱^[31]。

稳定的油蒿群落冠幅投影盖度较高,地表郁闭,利于生物结皮的发育。生物结皮具有很高的持水能力,沙地上1 cm生物结皮的饱和持水量相当于5~10 mm含水量^[32],这意味着在生物结皮发育较好的固定沙丘,<5~10 mm的净降雨只能保留在地表结皮层中,难以下渗到土壤中。除高持水能力外,生物

结皮质地紧实,在很大程度上减小了降雨入渗速率,具有一定的阻水能力^[32-33]。此外,油蒿灌丛促进形成的生物结皮具有较强的吸湿性,有利于凝结水的形成^[34]。Wang 等^[35]研究发现,小降雨事件下生物结皮覆盖土层的湿润锋深度小于裸地和无结皮覆盖植被区;而当降雨量较大时($P > 60 \text{ mm}$),植被区无论地表是否有结皮覆盖,其土壤水分入渗能力均强于裸地。在小降雨事件及降雨结束后初期,油蒿群落下的生物结皮层能够减少土壤水分的蒸发,具有良好的保水作用;而当降雨量较大时,生物结皮的存在保证了地表含水量维持在一定程度,因此较裸地具有更高的蒸发量;此外,在持续干旱之后,流沙地表形成可阻断毛细作用的干沙层,地表蒸发量小于结皮层覆盖区域^[33]。油蒿灌丛还影响到其生境的小气候及陆面特征,这些参数对土壤水分含量也具有一定影响^[36]。

钙积层的形成对土壤水分入渗也具有一定影响。王海涛等^[37]在沙坡头地区的研究发现,油蒿群落的发展促进了土壤中碳酸钙的淋溶和淀积,各土壤层中碳酸钙含量均呈逐渐上升趋势;谭丽鹏等^[38]在腾格里沙漠的研究发现,土壤含水量与土壤碳酸钙含量呈显著的线性正相关,是油蒿群落土壤中碳酸钙淀积的基础;而形成的紧实钙积层反过来又对降水起到截留作用,影响了土壤水分含量和分布。此外,油蒿根系发育对土壤优势流^[39]会产生一定影响,但目前未有研究涉及到此。

2.5 油蒿群落的蒸散发研究

油蒿作为一种变水植物,蒸腾速率的变化特征较为复杂。杨宝珍等^[40]对毛乌素沙地天然油蒿的研究认为,其蒸腾作用的日变化为双峰曲线模式,具有明显的午休现象;张吨明等^[41]对腾格里沙漠南缘天然油蒿的研究却显示,其蒸腾作用日变化呈现明显的单峰曲线模式;而张志山等^[42-43]对沙坡头地区人工种植油蒿的系列研究发现,多数测定日油蒿蒸腾速率日变化曲线呈单峰模式,但少数测定日出现双峰模式。对于不同演替阶段的油蒿,半固定沙地因水分供应相对充足,日均蒸腾速率大于固定沙地^[32,44]。此外,油蒿灌丛蒸散速率在干旱年(0.68 mm/d)比湿润年(0.86 mm/d)大幅降低,表现出较强的干旱胁迫适应能力^[45]。以上研究表明,油蒿灌木蒸腾速率变化规律不尽相同,应结合降水特征、演替阶段、植株形态等进行具体分析。

在研究方法上,很多研究均使用 Licon 系列的光合分析仪进行叶片蒸腾速率的测定^[41,46];也有实验使用自动称重式蒸渗仪对植株整体蒸散发量进行

测定^[45]。热平衡法测定蒸散发也得到了一定的应用;Hang 等^[47]使用热平衡法测得树干液流率与参考蒸散发在日时间尺度上具有一定的线性相关性($R^2 = 0.6368$)。为了对不同尺度研究结果进行转换,张志山等^[48]借助热平衡法和气孔计 2 种方法,证实可用叶面积作为纯量,对叶片尺度和单株尺度的油蒿蒸腾作用进行尺度转换;此外,张志山等^[42]利用表面覆盖油毡的大型非称重式蒸渗池和气孔计两种方法研究了油蒿的蒸腾作用,认为 2 种方法得出的结论差异不显著,以叶面积指数和植物冠层盖度为基础进行叶片与种群间的尺度转换具有可行性。

2.6 油蒿群落演替与生态水文过程

油蒿作为一种优良的固沙植物,在沙生演替系列的流动、半固定以及固定沙地上均能稳定发展。油蒿在流动沙地定居以后,随着沙地流动性减小,群落植丛密度、总盖度及生物量呈明显上升趋势,在无生物结皮发育的固定沙地阶段达到最优生长,而在生物结皮显著发育的固定沙地后期阶段,油蒿长势微弱,油蒿群落逐渐衰退,最终被相应气候条件下的顶级植被类型替代^[49]。在整个演替过程中,油蒿群落的存在对其生活环境尤其是土壤水文条件产生了重要影响,这些影响的结果又反作用于油蒿群落的发展,形成典型的群落演替与水文环境间的相互作用关系。

荒漠及沙漠化地区降水较少,其中 $< 10 \text{ mm}$ 的小降水事件发生频率高,对年降水总量的贡献也较为稳定。油蒿因浅层根系发达,可充分利用土壤浅层水,水分竞争能力较强,在沙生演替系列前期群落中占据优势地位。流动、半流动沙地的油蒿群落稀疏但生长旺盛,其叶片含水量、水势及水分利用效率均最高,并随着群落的发展逐渐降低,在结皮固定沙地达到最低^[31]。这种低水分利用效率使油蒿在群落发展后期会被其他具有更高水分利用效率的物种所取代。油蒿群落的蒸腾强度在群落建成初期较高。随着群落的发展,盖度增加,群落蒸腾耗水量相应增加;但植被条件改善影响到微气候环境,造成地表温度降低,相对湿度增加,蒸腾速率下降。当油蒿群落发展至衰退阶段,植株个体的蒸腾速率因衰老、气孔、渗透调节失衡等原因表现不同,但群落蒸腾耗水量巨大^[44]。油蒿群落的这种耗水特征,影响到土壤水分变化:随着群落的发展,蒸腾耗水量增加,土壤水分大量消耗,反过来土壤水分的降低又限制了油蒿的气孔行为,从而使其光合作用和生长发育受到影响,表现出衰老的现象^[44]。

除油蒿本身的水分利用特征外,油蒿群落的发展也影响着周围水文环境。当油蒿群落发展到一定阶段,流沙地表面开始形成结皮,最初是细土经由雨滴溅蚀作用形成物理结皮,然后伴随着枯落物和有机质不断累积逐渐转化成含有孢子植物等的生物结皮。生物结皮的高持水力、低渗透速率等特性使得发育较厚生物结皮的固定沙地土壤(尤其是深层土壤)水分匮乏,影响油蒿种群的生存发展。虽然目前关于生物结皮对降雨入渗以及土壤水分条件的影响还存在很多争议,但普遍认为结皮的存在促使干旱区土壤有效水分含量浅层化,影响沙地植被的组成和格局^[50],这也可以解释为什么油蒿在流沙地或半固定沙地表现出深根性,而在固定沙地根系埋藏较浅,一般集中在0~40 cm沙层中^[2]。与此同时,油蒿群落的发展还促进了钙积层的发育,通常认为干旱区的钙积层起到减少水分下渗,使土壤有效水分含量浅层化的作用,这与生物结皮发育对土壤水分和油蒿群落发展起到的作用相似。

3 油蒿生态水文过程研究存在问题及展望

油蒿作为我国干旱、半干旱地区广泛生长的优良固沙物种和饲用、药用植物,长期以来备受学者的重视,并开展了一系列研究,但仍存在一些亟待解决的问题。

(1)已有研究大多集中在生态学领域,对油蒿灌木不同尺度上的生态—水文过程研究及其与水文过程的耦合研究较为缺乏。例如,自然生境下油蒿群落与水分间的关系,油蒿灌丛及其根系对水分的再分配作用以及油蒿生态水文过程的模拟研究等。

(2)已有研究在研究方法的改进和现代化实验设备的应用上仍有不足,应当引入可持续性、可模拟化的研究方法,并且尝试使用高新技术。

基于以上存在的问题,未来对油蒿的研究可以在以下几个方面进行深入探讨。

(1)油蒿个体及群落对降水变化的响应。已有研究表明,降水变化对油蒿幼苗形态特征以及油蒿种群空间分布格局均有着重要的影响,但着眼于自然降雨条件下成熟油蒿个体以及大尺度下油蒿群落的研究仍较为缺乏。根据IPCC报告,全球气候变化背景下的降水格局会发生显著变化,研究自然生境下油蒿及其群落对降水变化的响应,对预测未来降水格局变化下油蒿资源变更具有深远意义。此外,干旱半旱地区降水事件通常以脉动的形式发生,

其发生、持续时间以及降水强度均具有较大变异性^[51],研究油蒿对降水脉动的响应,可以更好地认识油蒿对水分的自我调控机理和利用策略。

(2)油蒿灌木地上与地下降雨再分配过程集成研究。林冠—根土界面的降雨再分配作用是荒漠灌木影响生态系统水文过程的重要因素,对理解植被的水文作用具有重要意义。目前有关油蒿降雨再分配的研究均未考虑树干茎流过程,对油蒿冠层蓄水量的估算普遍偏高。已有研究表明,干旱半干旱区灌木的树干茎流量占降雨总量比例为0.76%~45.00%^[52],可显著增加直接到达植物根部土壤的水分,对半干旱区植物的水分利用具有重要影响^[53-54]。因此,对未知的油蒿树干茎流特征及其对土壤水分的影响不可简单忽略不计,而应展开实验研究进行补充。目前对油蒿根系水分再分配的已有研究还局限于现象解释阶段,今后的研究可考虑在根系水力提升能力定量化,解决不确定因素影响(如凝结水)以及油蒿根系水力提升作用是否对群落内其他物种产生影响等方面展开更进一步的研究。此外,油蒿形态特征和生长过程对降雨再分配具有重要影响,开展这部分的研究,能够更好地理解油蒿自身的集雨利用机制。

(3)油蒿生态水文过程模拟研究。目前已有研究大多将油蒿群落生态系统水循环中的各个部分割裂开来分别研究,系统性稍欠,对一些复杂作用下的现象解释难免趋于片面。未来可将油蒿生态—水文过程中的各个部分,尤其是地上过程和地下过程,整合起来进行系统化研究,旨在更好地理解油蒿对干旱环境的适应机理以及油蒿群落发展对荒漠生态系统的作用和意义。

参考文献:

- [1] 杨洪晓,张金屯,吴波,等.油蒿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),2004,40(5): 684-690.
- [2] 张德魁,王继和,马全林,等.油蒿研究综述[J].草业科学,2007,24(8):30-35.
- [3] 靳虎甲,王继和,李毅,等.油蒿生态学研究综述[J].西北林学院学报,2009,24(4):62-66.
- [4] Newman B D, Wilcox B P, Archer S R, et al. Ecohydrology of water-limited environments: A scientific vision[J]. Water Resources Research, 2006, 42(6): W06302, doi: 10.1029/2005WR004141.
- [5] Janauer G A. Ecohydrology: fusing concepts and scales[J]. Ecological Engineering, 2000,16(1):9-16.
- [6] IHP(unesco-ihp). Workshop on Ecohydrology[M]. Lodz Poland, 1998.

- [7] Ruddell B L, Kumar P. Ecohydrologic process networks: 1. Identification[J]. Water Resources Research, 2009, (45): W03419, doi: 10.1029/2008WR007279.
- [8] 赵文智,程国栋. 生态水文研究前沿问题及生态水文观测试验[J]. 地球科学进展, 2008, 23(7): 671-674.
- [9] Dooge J C. Hydrology in perspective[J]. Hydrological Sciences Journal, 1995, 33(1-2): 61-85.
- [10] 陈喜,陈永勤. 水文过程中的尺度问题[A]. 见:刘昌明主编. 21世纪中国水文科学研究的新问题、新技术和新方法[C]. 北京: 科学出版社, 2000. 28-40.
- [11] 李秋爽,张超,王飞,等. 鄂尔多斯高原油蒿种群分布格局对降水梯度的反应[J]. 应用生态学报, 2009, 20(9): 2105-2110.
- [12] 刘俊杉,徐霞,张勇,等. 长期降雨波动对半干旱灌木群落生物量和土壤水分动态的效应[J]. 中国科学(生命科学), 2010, 40(2): 166-174.
- [13] 鲁作民. 不同年龄油蒿抗旱性的研究[J]. 植物学通报, 1993, 10(1): 58-59.
- [14] 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): 448-454.
- [15] 包海龙,贺晓,赵宏宇,等. 毛乌素沙地油蒿群落毛根分布特点及与土壤水分的关系[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(4): 175-178.
- [16] Ohte N, Koba K, Yoshikawa, et al. Water utilization of natural and planted trees in the semiarid desert of Inner Mongolia, China[J]. Ecological Applications, 2003, 13(2): 337-351.
- [17] 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.
- [18] Xiao C W, Zhou G S, Zhang X S, et al. Responses of dominant desert species *Artemisia ordosica* and *Salix psammophila* to water stress[J]. Photosynthetica, 2005, 43(3): 467-471.
- [19] 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.
- [20] 杨志鹏,李小雁,孙永亮,等. 毛乌素沙地沙柳灌丛降雨截留与树干茎流特征[J]. 水科学进展, 2008, 19(5): 693-698.
- [21] Owens M K, Lyons R K, Alejandro C L. Rainfall partitioning within semiarid juniper communities: effects of event size and canopy cover[J]. Hydrological Process, 2006(20): 3179-3189.
- [22] 王新平,康尔泗,张景光,等. 荒漠地区主要固沙灌木的降水截留特征[J]. 冰川冻土, 2004, 26(1): 89-94.
- [23] 张志山,张景光,刘立超,等. 沙漠人工植被降水截留特征研究[J]. 冰川冻土, 2005, 27(5): 761-766.
- [24] Wang X P, Zhang Y F, Hua R, et al. Canopy storage capacity of xerophytic shrubs in Northwestern China[J]. Journal of Hydrology, 2012, 454-455: 152-159.
- [25] Wang X P, Li X R, Zhang J G, et al. Measurement of rainfall interception by xerophytic shrubs in re-vegetated sand dunes[J]. Hydrological Sciences Journal, 2005, 50(5): 897-910.
- [26] Burgess SS O, Adams M A, Turner N C, et al. The redistribution of soil water by tree root systems[J]. Oecologia, 1998, 115: 306-311.
- [27] Richards J H, Caldwell M M. Hydraulic lift: substantial nocturnal water transport between soil layers by *Artemisia tridentata* roots[J]. Oecologia, 1987, 73: 486-489.
- [28] 何维明,张新时. 水分共享在毛乌素沙地4种灌木根系中的存在状况[J]. 植物生态学报, 2001, 25(5): 630-633.
- [29] Xu D H, Li J H, Fang X W, et al. Changes in soil water content in the rhizosphere of *Artemisia ordosica*: Evidence for hydraulic lift[J]. Journal of Arid Environments, 2007, 69: 545-553.
- [30] 小林达明,李树青,金常元,等. 油蒿群落的结构和生境[A]. 毛乌素沙地开发整治研究中心文集[C]. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 1992. 80-83.
- [31] 夏静芳,王玉杰,张友焱,等. 半固定与固定沙地油蒿枝条水势及气体交换特征[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1): 239-242.
- [32] 崔燕,吕貽忠,李保国. 鄂尔多斯沙地土壤生物结皮的理化性质[J]. 土壤, 2004, 36(2): 197-202.
- [33] 薛英英,闰德仁,李钢铁. 鄂尔多斯地区沙漠生物结皮特征研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2007, 28(2): 102-105.
- [34] 张晓影,李小雁,王卫,等. 毛乌素沙地南缘凝结水观测实验分析[J]. 干旱气象, 2008, 26(3): 8-13.
- [35] Wang X P, Li X R, Xiao H L, et al. Effects of surface characteristics on infiltration patterns in an arid shrub desert[J]. Hydrological Process, 2007, 21: 72-79.
- [36] 张强,王胜. 西北干旱区荒漠水分循环特征及其模拟[J]. 干旱气象, 2007, 25(4): 1-4.
- [37] 王海涛,薛苹苹,何兴东,等. 油蒿演替系列土壤基质的演变[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2007, 40(1): 87-91.
- [38] 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淀积关系分析[J]. 中国沙漠, 2008, 28(4): 701-705.
- [39] 彭海英,李小雁,崔步礼,等. 土壤优势流研究方法综述[J]. 干旱气象, 2011, 29(2): 137-143.
- [40] 杨宝珍,董学军,高琼,等. 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.
- [41] 张昞明,唐进年,徐先英,等. 两种蒿属植物的光合特性研究[J]. 西北农林学报, 2009, 18(2): 163-168.
- [42] 张志山,李新荣,王新平,等. 沙漠人工植被区蒸腾测定[J]. 中国沙漠, 2005, 25(3): 374-379.
- [43] 张志山,谭会娟,周海燕,等. 用气孔计测定沙漠人工植物的蒸腾[J]. 草业学报, 2006, 15(4): 129-135.
- [44] 张军,黄永梅,焦会景,等. 毛乌素沙地油蒿群落演替的生理生态学机制[J]. 中国沙漠, 2007, 27(6): 977-983.
- [45] 王新平,李新荣,康尔泗,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.
- [46] 高清竹,杨劼,乌力吉,等. 库布齐沙地油蒿光合作用特性与环境因子的关系[J]. 中国沙漠, 1999, 19(3): 276-279.
- [47] Huang L, Zhang Z S, Li X R. Sap flow of *Artemisia ordosica* and the influence of environmental factors in a revegetated desert area: Tengger Desert, China[J]. Hydrology Process, 2010, 24: 1248-1253.
- [48] 张志山,张小由,谭会娟,等. 热平衡技术与气孔计测定沙生植物蒸腾[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(1): 60-66.
- [49] 郭柯. 毛乌素沙地油蒿群落的循环演替[J]. 植物生态学报, 2000, 24(2): 243-247.
- [50] 李新荣,张元明,赵允格. 生物土壤结皮研究: 进展、前沿与展望[J]. 地球科学进展, 2009, 24(1): 11-24.
- [51] 赵文智,刘鹄. 干旱、半干旱环境降水脉动对生态系统的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 243-249.

- [52] 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 – 29.
- [53] Li X Y, Liu L Y, Gao S Y. Stemflow in three shrubs and its effect on soil water enhancement in semiarid loess region of China[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2008, 148: 1501 – 1507.
- [54] Li X Y, Yang Z P, Li Y T, et al. . Connecting ecohydrology and hydrogeology in desert shrubs: stemflow as a source of preferential flow in soils[J]. Hydrology Earth System Science, 2009, 13: 1133 – 1144.

Summary on Eco – hydrological Process of *Artemisia Ordosica*

LI Liu^{1,2}, LI Xiaoyan^{1,2}, MA Yujun², ZHAO Guoqin², WU Huawu²

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing 100875, China;
2. College of Resources Sciences and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Eco – hydrological process is always an important part of the study of eco – hydrology, and it is feedback relationship in flux changes between hydrological process and ecological process in the ecosystem. *Artemisia ordosica* plays a very important role in recovery and reconstruction of desert ecosystem as a special fine species of fixation sand in China. Taking eco – hydrology as thinking guidance, the aim of this paper is focused on reviewing the interaction relationship between *artemisia ordosica* and hydrological environment in the ecological and hydrological process from precipitation, canopy rainfall redistribution, root hydraulic redistribution, soil water changes, evapotranspiration and *artemisia ordosica* community succession. Furthermore, the existing problems and the directions to be concerned in future were proposed, which will provide the theoretical basis for the follow – up studies.

Key words: *artemisia ordosica*; eco – hydrological process; hydraulic redistribution; soil moisture; evapotranspiration; community succession

2014 年《干旱气象》刊期及页码变更

2014 年《干旱气象》由季刊变更为双月刊,页码由原来的 96 页变更为 136 页,双月末发行。

2013 年《干旱气象》核心影响因子等指标变化

2013 年版《中国科技期刊引证报告(核心版)》显示:《干旱气象》核心影响因子为 1.054,在全部 1994 种核心期刊中排名第 113 位,在大气科学类 15 种期刊中列第 6 位;核心总被引频次 686,核心即年指标 0.107。根据中国气象局人事司关于 2013 年气象正研级专业技术职务任职资格评审工作的通知中关于核心期刊的说明,《干旱气象》视为二级核心刊物。