

学者文库·农业

油蒿群落 生态效应研究

Youhao Qunluo Shengtai Xiaoying Yanjiu

张军红 | 著



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

学者文库·农业

油蒿群落生态效应研究

张军红 著

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

油蒿群落生态效应研究 / 张军红著. —天津: 天津大学出版社, 2018.5

(学者文库. 农业)

ISBN 978-7-5618-6106-6

I. ①油… II. ①张… III. ①蒿属—地植物学—研究
IV. ①Q949.783.508

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第084227号

出版发行 天津大学出版社

地 址 天津市卫津路92号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647

网 址 publish.tju.edu.cn

印 刷 北京虎彩文化传播有限公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 169 mm × 239 mm

印 张 8.625

字 数 178千

版 次 2018年5月第1版

印 次 2018年5月第1次

定 价 80.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前言

地处农牧交错带的毛乌素沙地是我国北方重要的生态屏障。油蒿(*Artemisia ordosica* Krasch)是毛乌素沙地最重要的建群植物之一,其群落面积约占沙区总面积的31.2%,是毛乌素沙地面积最大的群落类型。油蒿具有耐旱、耐沙埋、耐贫瘠、抗风蚀、易繁殖等特性,在维持毛乌素沙地生态系统稳定中起着重要作用。在毛乌素沙地,油蒿群落经历着流动沙地先锋物种阶段—半固定沙地稀疏阶段—固定沙地建成阶段—老固定沙地退化阶段—流动沙地这样一个循环演替的过程。已有的研究认为,土壤水分是驱动油蒿群落演替的重要因素,然而,目前对毛乌素沙地油蒿群落土壤水分的研究多是定时、定点取样,数据量少,且缺少连续性,无法反映土壤水分动态。本研究通过对固定、半固定和流动沙地上分别处于建成阶段、稀疏阶段和先锋物种阶段的油蒿群落土壤水分长期连续监测,分析不同固定程度油蒿群落土壤水分特征、降水对土壤水分的补给状况、生物结皮对降水再分配过程的影响;同时结合油蒿的生理生态特征,深入探讨土壤水分在油蒿群落演替过程中的作用,以期为毛乌素沙地植被的合理保护提供科学依据。

3种样地土壤水分均存在时间和空间上的差异。流动沙地各层土壤含水率均显著高于固定和半固定沙地。土壤含水率受降水影响较大,降水量大小是影响土壤水分补给深度的重要因素:小于10 mm的降水主要被表层土壤吸收;10~20 mm的降水对土壤水分的补给深度超过30 cm,不及60 cm;30~40 mm的降水补给深度大于60 cm,但不及100 cm。30 cm深度及其上层土壤水分波动剧烈;60 cm深度处土壤水分主要受大于20 mm降水事件影响,波动较小;100 cm深度以下土壤水分只受较大降水事件的影响,土壤含水率较稳定。降水补给深度及植被根系需水的层次差异是导致3种样地土壤水分时间和空间上异质性的重要因素。

水分是干旱、半干旱区生态系统中最重要限制因子,而根系是植物吸收水分的重要器官。固定、半固定和流动沙地油蒿根系均以粗根最多,中粗根次之,细根最少,且随着土层深度的增加,3种级别的根量均呈指数递减。固定、半固定和流动沙地0~40 cm深度范围内细根所占比例分别为79.11%、74.71%和53.23%,固定和半固定沙地油蒿植株主要利用0~40 cm深度范围内的土壤水分,而流动沙地油蒿植株能更多地利用40 cm以下深度土层中的水分。3种样地油蒿的叶水势均在日出前5:00最高,中午11:00左右达到最低值,此后随着太阳高度角的降低,叶水势又开始逐渐升高;油蒿叶水势变化主要受大气温度和光合有效辐射强度的影响;中午11:00以前

3 种样地油蒿叶水势的基本情况是流动沙地 > 半固定沙地 > 固定沙地, 而 3:00—5:00 这段时间 3 种油蒿叶水势与中午相反, 这主要是由不同固定程度沙地上油蒿植株的年龄差异及浅层土壤水分的差异导致的。

毛乌素沙地油蒿群落中固定沙地生物结皮平均盖度为 83.74%, 半固定沙地生物结皮平均盖度为 23.54%; 固定沙地中苔藓、地衣和藻类结皮所占比例分别为 28%、21% 和 51%, 半固定沙地中苔藓、地衣和藻类结皮所占比例分别为 6.3%、2.5% 和 91.2%。油蒿群落中半固定沙地生物结皮绝大部分是处于初期发育阶段的藻类结皮, 而固定沙地苔藓和地衣结皮所占比例接近总盖度的一半。无论降水量大小, 相同深度有结皮覆盖处 (BSC) 土壤水分的响应时间均显著大于无结皮覆盖处 (NBSC), 且同一降水事件下, BSC 的初始入渗系数和平均入渗系数均显著低于 NBSC, 说明生物结皮的存在阻碍降水入渗, 在小降水事件时这种阻碍作用表现得更为明显。油蒿的吸收根主要分布在 40 cm 以上深度土层中, 油蒿主要利用这个层次内的土壤水分, 而生物结皮的发育对小于 20 mm 的降水事件具有较强的阻碍作用, 在研究区降水事件以小于 20 mm 降水为主的情况下, 导致 40 cm 以上深度土层水分恶化, 久之将导致固定沙地油蒿群落的衰退; 同时研究区降水格局的改变将对土壤水分及植被演替产生重要影响。

本书由西南大学博士后、重庆市水利电力职业技术学院副教授张军红编写, 在编写过程中, 查阅和引用了大量文献资料, 在此对相关作者表示感谢。本书编写过程中, 得到了第三批重庆市高等学校青年骨干教师资助计划“渝东北生态涵养区典型植被群落生态效应研究”(2016054)、重庆水利电力职业技术学院人才引进基金及高层次人才科研基金项目“重庆市山洪沟灾害防治关键技术研究”(KRC201703)的支持和资助。

限于编者的认识、知识和水平, 书中难免存在缺点和不妥之处, 敬请读者批评指正。

编者

2017 年 11 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 干旱、半干旱区土壤水分研究现状及评述	2
1.3 国内外生物结皮研究现状和发展趋势	9
1.4 研究的主要内容和拟重点解决的问题	19
1.5 研究技术路线图	22
第 2 章 研究区概况	23
2.1 自然概况	23
2.2 社会经济概况	29
第 3 章 研究方法	30
3.1 油蒿群落土壤水分研究方法	30
3.2 不同固定程度油蒿群落土壤水分分布特征及时空动态研究	31
3.3 油蒿群落中生物结皮对土壤水分的影响研究	31
3.4 油蒿根系分布特征研究	31
3.5 油蒿叶水势特征分析	32
3.6 油蒿群落生物结皮分布特征研究	32
第 4 章 油蒿群落特征研究	34
4.1 不同固定程度油蒿群落植被特征	34
4.2 小尺度域油蒿种群空间异质性	34
4.3 中尺度域油蒿种群空间格局	46
4.4 油蒿群落生物结皮分布特征	61
4.5 油蒿群落土壤理化性质	65
4.6 小结	74
第 5 章 油蒿群落土壤水分垂直特征	76
5.1 不同固定程度沙地土壤水分垂直分布特征	76
5.2 不同固定程度油蒿群落油蒿植株根系分布特征	77
5.3 不同固定程度油蒿群落油蒿植株叶水势特征	79
5.4 小结	80

第 6 章 不同固定程度油蒿群落土壤水分季节动态	82
6.1 生长季内降雨状况	83
6.2 土壤水分时间上变化	83
6.3 土壤水分空间上变化	88
6.4 小结	89
第 7 章 不同固定程度油蒿群落土壤水分年际动态	91
7.1 不同固定程度油蒿群落土壤水分时间上变化	91
7.2 不同固定程度油蒿群落土壤水分空间上变化	96
7.3 基于 RBF 模型的浅层土壤水分预测	97
7.4 小结	99
第 8 章 油蒿群落生物结皮对降水入渗过程影响研究	100
8.1 生物结皮覆盖下不同深度土层土壤水分对降水的响应	101
8.2 生物结皮对土壤水分入渗的影响	102
8.3 生物结皮覆盖对不同深度土层土壤水分的影响	103
8.4 小结	106
第 9 章 结论与讨论	108
9.1 结论	108
9.2 讨论	108
参考文献	111

第1章 绪论

1.1 研究背景

干旱、半干旱区土地退化和荒漠化是全球性的重大生态环境问题。据《联合国防治荒漠化公约》秘书处统计,土地荒漠化影响到全球 1/3 的陆地和 1/5 的人口;土地荒漠化对全球生态环境及社会经济发展造成巨大影响,并给许多国家的人民生活带来了严重灾难,土地荒漠化已成为导致贫困和阻碍社会可持续发展的重要因素(卢琦,2000;刘拓等,2006)。我国是世界上受荒漠化危害严重的国家之一。根据第四次全国荒漠化和沙化监测最新数据,截至 2009 年全国荒漠化土地总面积为 262.37 万 km²,占国土总面积的 27.33%,其中全国沙化土地面积为 173.11 万 km²,占国土总面积的 18.03%。我国土地荒漠化多发生在经济欠发达的西北干旱、半干旱区,土地荒漠化加剧了这一地区群众的贫困程度,进一步扩大了地区间的贫富差距。全国 1/4 的农村贫困人口生活在土地荒漠化地区。土地荒漠化地区严酷的自然条件、严重的风沙危害、薄弱的经济基础等,严重影响了区域经济发展、民族团结及我国构建和谐社会的宏伟蓝图(刘拓等,2006)。

毛乌素沙地是我国四大沙地之一,位于 37° 27'~39° 22' N、107° 20'~111° 30' E,面积约 4 万 km²,海拔 1 200~1 500 m,该区地处我国夏季风西陲,年均气温 6.0~8.5 ℃,年均降水量 260~450 mm,年均蒸发量 1 800~2 500 mm,7—9 月降水量占全年降水量的 60%~70%。该地区不仅具有固定—半固定沙丘向黄土丘陵过渡的地貌特征,还兼具风蚀、风积与水土流失的特点;植被分布也发生着相应变化,属于温带干草原向荒漠草原的过渡地带(陈昌笃,2009)。

毛乌素沙地是我国北方重要的生态屏障,同时也是荒漠化发生的重点区域之一。毛乌素沙地虽然位于草原地带,但由于地表广泛覆沙,分布的植被绝大部分是沙生植被、草甸植被和沼泽植被等隐域性植被,隐域性植被构成了毛乌素沙地植被的主体。沙生植被又以油蒿(*Artemisia ordosica* Krasch)群落最为典型,约占沙区总面积的 31.2%,是毛乌素沙地面积最大的群落(白岗栓等,2006;陈昌笃,2009)。油蒿具有耐旱、耐沙埋、耐贫瘠、抗风蚀、易繁殖等特性,在维持毛乌素沙地生态系统稳定中起着重要作用。一些研究认为,毛乌素沙地油蒿群落存在一个不断循环演替的过程:流动沙地先锋物种阶段—半固定沙地稀疏阶段—固定沙地建成阶段—老固定沙地退化阶

段一流动沙地(郭柯, 2000; 郭柯等, 2000; 张军等, 2007)。在以油蒿为优势种的固定沙地, 生物结皮分布广泛。一些研究认为: 在毛乌素沙地, 随着油蒿群落盖度的增加, 生物结皮发育越来越好, 而发育较好的生物结皮对降水入渗的阻碍作用导致油蒿群落土壤水分恶化, 从而引起油蒿群落的衰退(郭柯, 2000; 张军等, 2007; 熊好琴等, 2011)。尽管上述结论尚缺少足够的证据, 但生物结皮在油蒿群落中的重要作用是不可否认的。因此, 深入研究毛乌素沙地不同固定程度油蒿群落土壤水分特征、降水对土壤水分的补给状况、生物结皮对降水再分配过程的影响, 对深入认识油蒿群落演替过程具有重要意义, 并可以为毛乌素沙地植被的合理配置提供科学依据。

1.2 干旱、半干旱区土壤水分研究现状及评述

土壤水是指由土壤表层至地下水潜水面以上土壤层中的水分。土壤水同地表水、地下水一样是水资源的重要组成部分, 是地表水、地下水、大气水相互转化的纽带, 在水资源的形成、转化与消耗过程中, 是不可缺少的组分, 降水或灌溉均要先转化成土壤水才能被植物吸收; 土壤水同时也是土壤最重要的组成部分之一, 它在土壤形成过程中起着极其重要的作用, 不仅影响着土壤的物理性质, 制约着土壤中的养分和溶质的溶解、转移和微生物的活动, 而且是构成土壤肥力和土壤性质的一个重要因素(刘元波和高前兆, 1997; 黄利江等, 2004; 何志斌和赵文智, 2002; 陈有君和刘钟龄, 2000)。鉴于其在生态系统中的重要地位, 国内外学者对干旱、半干旱区土壤水分做了大量的研究, 研究内容主要涉及土壤水分与植物的关系、土壤水分与土壤呼吸、土壤水分时空动态及其运动机理、土壤水分监测技术等方面。

1.2.1 土壤水分与植物生理的关系

植物所需的绝大部分水分是通过根系吸收土壤水分得到的, 土壤水分是影响植物生长和发育的最重要的环境因素之一, 尤其是在干旱、半干旱区, 土壤水分是影响植被恢复与重建的首要因素(Lubchenco, 1998; Simmons et al., 2008)。干旱、半干旱区植物与土壤水分的关系也是研究的重点, 研究的内容主要涉及土壤水分对植物生理生态的影响、土壤水分的承载力、植被对土壤水分的吸收利用状况等。

蒸腾作用是植物的重要生理过程, 在一定程度上反映了其调节水分损失的能力。在干旱、半干旱区, 受干旱胁迫, 不同植物的蒸腾速率有明显的差异, 往往土壤水分含量较高, 其对应的植物具有较高的蒸腾速率(张国芳等, 2005; 廖行等, 2007; 王皓和李子忠, 2009)。本氏针茅不仅表现为较高土壤水分含量对应较高的蒸腾速率, 其净光合速率日变化曲线也随土壤水分的变化表现出不同程度的“午休”现象, 但是随着土壤水分的增加, 其水分利用效率却在降低(周秋平等, 2009)。李林芝等(2009)研

究发现,土壤水分胁迫使呼伦贝尔草原羊草最大净光合速率、光饱和点、表观量子效率以及水分利用效率降低,而光补偿点升高,干旱胁迫降低了呼伦贝尔草甸草原植被的光合生产能力,从而可能导致草地生产力大幅下降。董梅等(2010)研究发现,银水牛果在适度水分亏缺的情况下,其水分利用效率反而提高,在受到较严重的水分胁迫时,银水牛果的水分利用效率仍保持较高。付聪明等(2009)研究发现,沙地种植林木后,土壤表面的蒸发量呈大幅度下降的趋势。桑玉强等(2009)研究发现,毛乌素沙地的新疆杨日蒸腾量主要受地下水影响而与土壤水分相关性不大。葛结林等(2010)研究发现,随着土壤含水率降低,加拿大一枝黄花的生长速率、株高、叶面积等随之下降,总生物量及根、茎、叶各器官生物量呈不同程度降低,根生物量比、叶生物量比和根冠比则表现出逐渐增大趋势,植株叶绿素 a、b 含量和叶绿素总量逐渐下降,叶绿素 a 和 b 的含量之比值升高,同期的净光合速率、最大净光合速率、光饱和点下降,而光补偿点却上升,光适应范围逐渐变小;刘慧霞等(2009)研究证明,硅对紫花苜蓿水分利用效率和生物量的有益作用与其生长环境中的土壤水分条件密切相关;朱雅娟等(2010)研究发现,乌兰布和沙漠不同种植物的土壤水分利用效率具有季节性变化,同时不同类型的植物利用的水分来源也有差异。

1.2.2 土壤水分的承载力

在干旱、半干旱区,农业生产是改善生态环境、发展区域的重要途径,但由于降水稀少、水资源短缺、土壤水分补给量有限,地表蒸发量和植被蒸腾耗水量较大,在林地土壤深层常出现干化现象(胡良军和邵明安,2002;侯庆春等,1999)。如果生物量、植被覆盖率与水资源的承载力不相适应,出现超载情况,则会导致植被的水量平衡失调,而造成植被生长衰退,生态、经济效益降低(Cao, 2008;郭忠升和邵明安,2003a, 2003b;郭忠升,2004;李玉山,2002)。要获得较好的生态效益和经济效益,必须维持土地的生产力,必须遵循环境的气候生产力限制,合理配置植物种类和密度,否则一味追求过高的生产力或植被盖度,短期内可能获得较高的生态、经济效益,长此以往必然导致土壤水分的过度耗损、植被退化(Cao, 2010)。王延平等(2009)根据土壤水分消耗与生物量的关系,提出陕北黄土区台地土壤水分可承载的杏树生物量为 $3\,728\text{ kg/hm}^2$ 、坡地为 $2\,423\text{ kg/hm}^2$,台地杏林地适宜的果实产量为 $4\,714\text{ kg/hm}^2$ 、坡地杏林地适宜的产量为 $3\,064\text{ kg/hm}^2$;董梅等(2010)研究发现,银水牛果在适度水分亏缺的情况下其产量并未显著降低。王俊等(2009)研究发现,在长期连续种植条件下,下层土壤水分状况是决定苜蓿草地生产力的主要因素。魏永林等(2009)研究证明,青海湖地区 5—9 月牧草地上生物量与前期土壤水分关系密切。

1.2.3 植物根系与土壤水分的关系

根系是植物吸收水分的主要器官。在干旱、半干旱区,植物往往具有特殊的根系分布以适应干旱条件。当植物受水分胁迫时,根系在土壤水分供应相对充足的局部区域会提高生物量,土壤含水率对根系生物量变化有较大的影响(Hendrick and Pregitzer, 1996; Dickmann et al., 1996; 刘广全等, 2005)。王迪海等(2010)研究发现,侧柏等植物细根表面积动态与土壤含水率的季节动态不完全一致,细根表面积与土壤含水率的相关性不显著。植物细根对不同土壤水分含量做出的反应不同,可能因为不同植物细根对土壤水分亏缺的响应不同,一些树木细根较耐旱,如火炬松等,某些植物细根甚至可以在凋萎点以下存活和生长,而有些植物细根对土壤干旱却非常敏感(柴成武等, 2009; 英慧等, 2010)。牛海等(2008)研究发现,毛乌素沙地植物根系生物量垂直分布与其对应土壤含水率有明显相反的关系。不同类型的植物根系分布格局不同,对土壤水分的吸收状况不同,会造成植被下土壤水分分布的异质性。科尔沁沙地乔木、灌木和裸地的土壤水分状况是乔木 < 灌木 < 裸地(雷泽勇等, 2009); 毛乌素沙地不同类型植被下土壤含水率不同,而且生长在不同的沙丘部位的同类型植被下土壤水分也有差异(张友炎等, 2010)。

1.2.4 土壤水分的时空动态及运动机理

在干旱、半干旱区,降水是土壤水分的主要来源,土壤含水率与降水时空分布密切相关,降水的季节性分布往往导致土壤水分的季节性变化(冯起和程国栋, 1999)。我国西北干旱、半干旱区降水主要集中在6—9月,受此影响,土壤水分也具有明显的季节性变化,大致可分为三个时期:①土壤水分积累期,即每年的4—6月,这一时期气温不高,植物蒸腾及土壤蒸发量小,少量降水及积雪融化使土壤水分得到补给;②土壤水分消耗期,即每年的7—9月,这是植物的主要生长期,植物蒸发蒸腾及地面蒸发都最强烈,这一时期虽是降水的主要季节,但由于强烈的蒸发和蒸腾作用,土壤水分含量呈下降趋势;③土壤水分稳定期,即10月至次年3月,这一时期气温较低,植物生长停止,土壤冻结,土壤水分含量较稳定(张国盛等, 1999; 张进虎等, 2008; 弓成和温存, 2008; 朱宝文等, 2009; 包志刚等, 2009; 崔利强等, 2010)。

干旱、半干旱区光照充足,太阳辐射强烈,日照时间长,土壤平均含水率低,上层土壤温度在一天中的波动很大,土壤水分蒸散量随土壤温度的变化很大,土壤水分含量的日变化也很明显,李和平等(2008)研究发现,毛乌素沙地沙丘上各层土壤水分含量均有明显的日变化,土壤含水率与温度呈负相关,土壤含水率最大值出现在早上6时,最小值出现在下午4时,最小值的出现滞后于温度最高值出现的时间约2个小时。张静等(2007)研究发现,古尔班通古特沙漠5~60 cm深度各层土壤水分含量均

具有明显的日动态变化,且各层土壤水分含量变化的趋势不一致,尤其 5 cm 和 10 cm 深度处土壤含水率波动较大,同时生物结皮的分布会影响土壤水分的日动态。

干旱、半干旱区,降水的人渗深度与降水量的大小密切相关,植物根系在不同深度土壤中的分布也不相同,如油蒿的吸收根主要分布在 0~40 cm 深度的土层中,也主要利用这一深度范围内的土壤水分(王庆锁和李博,1994;张军红等,2012)。根据土壤水分的垂直变化大致可将土壤分为三层:土壤水分敏感层、土壤水分活跃层和土壤水分稳定层。土壤水分敏感层处于土壤表层,是土壤与大气水分交换的媒介,受大气条件影响该层土壤水分变化剧烈,雨后可迅速达到饱和持水量,旱季又会降到凋萎湿度附近;土壤水分活跃层处于敏感层之下,该层土壤水分受天气、气候因素影响较小,主要受植物根系活动影响,土壤水分变化比较活跃;土壤水分稳定层基本不受气候因素和植物根系影响,一般在严重干旱或特大降水事件中该层土壤水分才会发生明显变化(朱宝文等,2009)。不同地区、不同植被覆盖的土壤,土壤水分敏感层、活跃层和稳定层的深度不同:如青海高寒针茅草原土壤水分敏感层是 0~10 cm 深度,活跃层为 10~50 cm 深度,50 cm 以下深度为稳定层(朱宝文等,2009);内蒙古大青山区的土壤水分活跃层下限是 60 cm,60 cm 以下土壤水分稳定(包志刚等,2009);毛乌素沙地沙柳和柠条林地土壤水分的敏感、活跃层分别为 0~20 cm、20~80 cm(王翔宇等,2008);新疆奇台绿洲植被下土壤水分活跃层为 60~80 cm(李宝富等,2010)。

地形是导致土壤水分空间分布异质性的另外一个重要因素,沙丘的一般土壤水分含量关系是丘顶部 < 丘中部 < 丘底部,背风坡 < 迎风坡(孙建华等,2009;Reid,1973;潘艳霞等,2009;吕晶洁等,2005)。

沙地水分运动机理的研究也一直是学界的热点,20 世纪 60 年代库利克等在顿河沙地测定了沙地水分状况,并建立起顿河沙地土壤水分平衡的简单方程(张军和单松,2010;张超和王会肖,2003)。20 世纪 70 年代后,土壤水分模拟理论研究日益受到人们的重视,许多土壤水分运动模型被提出,应用较多的包括飞利浦(Philip)入渗方程、霍顿(Horton)入渗方程、格林-安普特(Green-Ampt)入渗方程、万古特(Van Genuchten)入渗方程等,万古特入渗方程在干旱、半干旱沙地中的模拟效果最好(雷志栋等,1988;Beven,2006)。土壤水分特征曲线是土壤水分含量与土壤水吸力的关系曲线,利用此关系曲线可以进行土壤水吸力和含水率之间的换算,间接地反映土壤孔隙大小的分布,分析不同质地土壤的持水性和土壤水分的有效性,因此,土壤水分特征曲线是人们研究土壤水分特征的一个重要参数(吕华芳和尚松浩,2009;王俊和黄岁樑,2010)。土壤水势差异是导致土壤中不同位置的水分渗流和扩散的动力,同时土壤水势克服了质地和理化性质不同的土壤间含水量不可比较的缺点,是人们研究土壤水分运动机理的一个重要手段。影响土壤水分运动的因素主要包括土壤质地、土壤结构、土壤矿物质和交换性阳离子数量、有机质含量、土壤裂隙、根孔和动物

穴道等(雷志栋等,1988)。

1.2.5 土壤水分测定方法

土壤水分的测定方法主要分为两大类:点测量法(微观)和面测量法(宏观)。点测量法指测量时用仪器设备直接测量样点上土壤的含水率(质量含水率或体积含水率),包括烘干法、中子水分仪测定法、时域反射仪(Time Domain Reflectometry, TDR)测定法、频域反射仪(Frequency Domain Reflectometry, FDR)测定法、射线法、张力计法、露点仪测定法和电阻法等;面测量法主要借助计算机和遥感技术在大尺度上对土壤水分进行监测。下面对几种最常用的土壤水分测定方法加以介绍。

烘干法是最经典的土壤水分测定方法,也是其他方法的基准。其常规操作为:将土样称重后放入烘箱,在 105~110 ℃ 下烘干至恒质量后,测得烘干土质量,再根据该值计算蒸发损失量,由此得到土壤水分含量,该方法成本低但费时费力,且扰动测定点的土壤,不利于原位、连续测定,同时,取样过程会造成蒸发误差;利用烘干法原理改进的智能水分测定仪——烘干箱底部外侧螺钉固定悬臂式称重传感器,可以排除人为误差与环境影响,提高测量准确度,缩短检测周期(王赛宵等,2010;李炎和王丹,2010)。

时域反射仪(TDR)发射频率为 1 MHz~1 GHz 的电磁脉冲,经过同轴电缆进入波导探针进行传播,遇到障碍物后产生反射并返回到仪器,通过测量电磁脉冲沿波导探针在土壤介质中传播并在其末端反射所需时间,计算出被测物质含水量的大小;电磁脉冲的传播速度取决于与波导探针相接触和包围着波导探针的材料介电常数,而空气、矿物质、有机颗粒以及水分的介电常数有很大差异:20℃时,空气的介电常数为 1,水的介电常数为 80,矿物质、有机颗粒的介电常数为 2~7;一般来说,土壤中包含空气、矿物质和有机颗粒及水分,由于水的介电常数远远大于空气和矿物质、有机颗粒等物质的介电常数,因此土壤的介电常数主要取决于土壤含水率(周凌云等,2003)。TDR 测量土壤含水率的误差有校准误差、探针安装误差、仪器测量时间误差三个来源。校准误差主要由土壤质地、土壤容重、温度以及介电损失造成;安装误差主要由安装过程中探针根部与土壤之间的空隙造成,这些空隙容易被空气或水所包围;测量仪器误差主要由温度及仪器对脉冲往返时间的计算引起;仪器出厂之前,公司已对同轴电缆、探针、探头等装置进行标定,并把标定后的参数写入仪器芯片中,从理论上讲,土壤密度在 1.1~1.7 g/cm³ 时可以直接使用,即当测量精度要求较低时,无须对 TDR 仪器再次标定,但若要求误差更小,或测定土壤质地、密度以及温度等物理因素对 TDR 仪器有影响时,则需要对 TDR 进行进一步标定,用 TDR 法测定土壤含水率方便快捷,比铝盒烘干法要省时、省力,但其价格较贵(程训强等,2010;Skierucha et al., 2008)。

频域反射仪(FDR)测量土壤含水率的原理与TDR类似。FDR采用电磁脉冲的原理,根据电磁波在土壤中的传播频率来测试土壤的介电常数(主要依赖于土壤的含水量),得到土壤含水率。FDR的探头称为介电传感器,主要由1对电极(平行排列的金属棒或圆形金属环)组成1个电容,其间的土壤充当电介质,电容与振荡器组成一个调谐电路,频率信号通过特殊设计的传输线到达介电传感器,而振荡器频率与土壤含水率呈非线性反比关系,FDR使用扫频频率来检测共振频率(此时振幅最大),土壤含水率不同,发生共振的频率不同(王赛宵等,2010;李炎和王丹,2010)。

常规土壤水分测定方法多属样点式测定法,可测土层较多,精度高,不受大气、植被的影响,成为广大科研工作者测定土壤水分的主要手段。但该方法在监测大区域土壤水分时具有局限性,只能获得有限样点的土壤水分,以点代面,宏观性得不到体现;人力、财力消耗大,数据得不到及时更新,动态性难以保证;大面积土壤水分的监测研究是了解区域地表土壤水分分布、估测土壤含水率、研究荒漠绿洲生态系统稳定性的重要方法,随着计算机与遥感技术的发展,利用遥感技术监测土壤水分的技术应运而生(肖武等,2009)。

利用遥感方法进行土壤水分监测的研究始于20世纪60年代末,1965年Bowers等(1965)对土壤光谱特性进行了研究,发现裸地土壤湿度的增加会引起土壤反射率的降低,这成为利用遥感方法进行土壤水分遥感监测研究的理论依据。Watson等(1952)首次提出了利用地表温度日较差来推算热惯量的简单模式,并成功地应用于热惯量模型。Rosema等(1992)进一步发展了他们的工作,提出了计算热惯量、每日蒸散等模型。80年代后,遥感监测土壤水分的研究工作得到了迅速而全面的发展;研究涉及地面遥感、航空遥感和卫星遥感,所使用波段从可见光、近(中、远)红外、热红外到微波遥感。目前利用遥感技术监测土壤水分的方法很多,主要有热惯量模式(热红外方法)、土壤水分光谱法、气象法、植被水分生理法、能量平衡法和微波遥感方法。其中热红外技术在遥感监测土壤水分方面具有巨大的潜力和发展前景(张红卫等,2009)。

土壤水分遥感测定方法主要分为两种类型,一种类型是基于土壤水分的变化会引起土壤光谱反射率的变化;另一类则基于干旱引起植物生理过程的变化(岳彩娟等,2010)。研究证明,在306.5~1 710.9 nm波长范围内,测量土壤含水率为0.5%~26%的土壤,光谱在波长为1 450 nm时有较强的吸收,在1 366~1 670 nm波长范围内采用PLS方法建立的光谱土壤水分的定量模型相关系数为0.982。微波遥感传感器接收的微波来源分为主动遥感、被动遥感,主动微波遥感是指由传感器向目标地物发射微波并接收反射信号来实现对地观察的遥感方式,被动微波遥感是通过传感器接收来自目标地物发射的微波而达到探测目标的遥感方式(Mouazen and Ramon, 2006)。

周会珍等(2008)、霍爱迪等(2010)利用 MODIS 数据对毛乌素沙地大面积沙漠化土壤水分进行了监测;闫峰等(2009)研究认为,基于 Ts-EVI 特征空间构建的 TVDI 可以较好地估算毛乌素沙地土壤表层 10 cm、20 cm 和 50 cm 深度土壤水分状况;姜鹏、刘晓婧等(2010)分别用 MODIS 和 Landsat5/TM 遥感数据对辽西和延河流域土壤水分进行了监测,取得了不错的效果。

除上述几种最常用的方法外,测量土壤水分的方法还有空瓶法、中子仪测法、射线法、张力计法、露点仪测定法、电阻法、计算机断层扫描法(CT)、探地雷达法(GPR)、磁共振法(NMR)、分离示踪剂法等。上述各种方法都有自己的优点和局限性,如中子仪法测量精度较高、可长期监测,但是具有一定的辐射性,长期接触对人体有害(胡新华等,2010;吴文义和尉永平,2001)。近年来关于土壤水分监测的新仪器及传统仪器的改进型不断出现,趋向于自动化和智能化,相关理论也得到不断发展,为土壤水分的深入研究提供了契机(裴正军等,2003;Yang et al., 2010;王聪颖等,2010)。

1.2.6 土壤水分研究中有待深入研究的问题

水是制约干旱、半干旱区社会经济和环境可持续发展的重要因素,国内外学者围绕干旱、半干旱区土壤水分开展了大量的研究工作,研究内容涵盖土壤水分与植物的关系、土壤水分与土壤呼吸、生物土壤结皮对降水的再分配过程的影响、土壤水分时空动态及其运动机理、土壤水分监测技术等领域,取得了一系列成果。在全球气候变化的大背景下,干旱、半干旱区土壤水分日益受到人们的关注。科学技术的进步为土壤水分的研究提供了新的契机,同时土壤水分研究涉及多学科,要发挥多学科的优势,引入新的理论和方法。干旱、半干旱区土壤水分研究在以下几个方面有待深入。

1.2.6.1 土壤水分平衡

干旱、半干旱区土壤水分作为地表水、地下水和大气水分转换的纽带,同时也是植物用水的主要来源,在生态系统稳定中起着关键作用。研究区域尺度上土壤水分收支平衡(涉及降水对土壤水分的补给、地表蒸发和植物需水)对指导干旱、半干旱区农牧业生产、生态系统修复与重建等具有重要意义。

1.2.6.2 土壤水分监测技术的改进

微观上土壤水分监测仪器趋向于自动化、精确化;宏观上遥感技术在大尺度上对土壤水分的监测技术日益成熟,如何将二者有机结合,组建可时时更新的区域土壤水分监测系统,是未来研究的重点。针对干旱、半干旱区荒漠、沙地土壤类型复杂、土壤含水率低的特点,研究在低含水率土壤中具有较高灵敏度的土壤监测仪器,同时配备充足的电源和数据储存功能,这样的土壤水分监测仪器在干旱、半干旱区将具有广泛的应用前景。

1.3 国内外生物结皮研究现状和发展趋势

生物结皮是由土壤微生物、藻类、地衣、苔藓植物类群与表层土壤共同作用形成的十分复杂的聚合体(Eldridge and Greene, 1994; Belnap, 1995)。国内外研究者根据自己的理解,对生物结皮赋予了不同称谓,国外文献中常见的术语有 biological soil crust, cryptogamic soil crust, cryptobiotic soil crust, microbiotic crust, microphytic soil crust, microbial crust, soilcrust, microfloral 等(张元明和王雪芹, 2009)。国内文献中常见的术语包括“生物结皮”(张元明等, 2004; 张军红等, 2010)、“土壤生物结皮”(崔燕等, 2004; 张元明和王雪芹, 2010)、“微小生物结皮”(胡春香等, 2003a)、“微生物结皮”(李新荣等, 2000)、“微生物土壤结皮”(李新荣等, 2001)、“生物土壤结皮”(吴玉环等, 2002)、“藻结皮”(胡春香等, 2002)、“藻壳”(胡春香等, 2000)等,还有一些研究者简单将其称作“结皮”(凌裕泉等, 1993)。大部分术语都强调生物结皮包含个体微小的有机组分和土壤成分,并且是二者相互作用形成的有机复合体。

生物结皮作为支撑干旱、半干旱区生态系统的主要的表层生物特征之一,在许多研究中被作为判断干旱、半干旱区土壤表面状况的指示物和生态系统评价的重要指标(杨晓晖等, 2001)。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋拓殖植物,它们不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠、生境条件恶劣的环境中生长繁殖,而且能通过其新陈代谢方式影响并改变环境;干旱、半干旱区天然、半天然植被(主要指高等植物)的盖度通常低于 40%,而生物结皮在高等植物冠层下及其剩余的空间里分布广泛,其覆盖率有时能占该地区生物覆盖率的 70% 以上(张元明和王雪芹, 2010)。20 世纪 80 年代以前,国内外学者大多致力于维管植物的研究,而对干旱、半干旱区广泛发育的生物结皮研究较少,而生物结皮的分布状况是评估该区域整体植被构成、变化趋势及生态功能的一个重要指标。近年来,干旱、半干旱区广泛分布的生物结皮日益受到学者的关注,国内外学者针对生物结皮开展了大量的研究工作,主要研究内容包括生物结皮的发育过程及其影响因子、组成生物结皮的生物类群及其分布特征、生物结皮对土壤理化性质的影响、生物结皮对土壤水分的影响、生物结皮对土壤种子库及植被演替的影响等。

1.3.1 生物结皮的形成发育过程及其影响因子

张元明和王雪芹(2010)研究认为生物结皮的形成通常可以分为以下几个阶段:生物结皮的早期阶段(土壤酶和土壤微生物)—藻结皮阶段—地衣结皮阶段—苔藓结皮阶段(图 1-1)。随着土壤微生物在土壤表层的生长,出现丝状蓝藻和荒漠藻类植物,形成以藻类植物为主体的藻结皮;当土壤表面得到一定程度的固定后,便开始

出现地衣和苔藓植物,形成以地衣和苔藓植物为优势的生物结皮类型,其中,前一阶段的完成又为后一阶段的开始提供良好的环境条件,而当环境条件适宜时,生物结皮也可以不经历其中某个阶段而直接发育到更高级的阶段(闫德仁等,2004; Issa et al., 2007)。

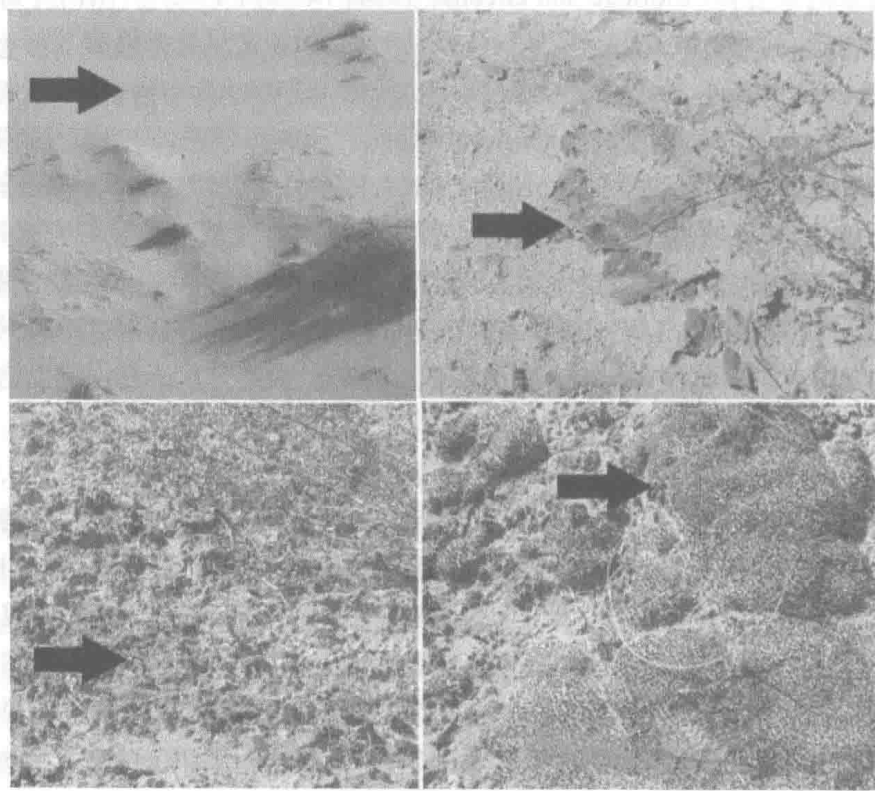


图 1-1 生物结皮的不同发育阶段

Fig1-1 Different stages of biological soil crust

(a)早期阶段 (b)藻结皮 (c)地衣结皮 (d)苔藓结皮

许多研究都发现,土壤中细颗粒(主要包括粉粒和黏粒)含量是影响生物结皮形成的重要因素(凌裕泉等, 1993;段争虎等, 1996;李新荣等, 2000)。生物结皮中的细颗粒主要来自风对流沙的分选,而大气降尘带来的颗粒物是生物结皮中细颗粒的又一重要来源(方海燕等, 2005)。大气降尘不仅使固定地表的黏粉粒含量进一步增加,而且降尘内的盐分具有表层积聚作用,促进和加速了结皮的形成;此外,降尘内的元素含量改变了土壤物理性状,为微生物结皮的发育奠定了基础;地表固定是生物结皮形成的前提,大气降尘和降水加速促进了生物结皮的形成和发展(李新荣等, 2000; Noti et al., 2003;朱远达等, 2004; Chen et al., 2009)。生物结皮中几种生物的固沙机理如图 1-2 所示。