

# 浑善达克沙地土壤水分深层渗漏的动态特征

特日格勒<sup>1</sup>, 冯伟<sup>2</sup>, 杨文斌<sup>3</sup>, 李钢铁<sup>1</sup>, 李卫<sup>3</sup>

(1.内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;

2.锡林郭勒职业学院, 内蒙古 锡林浩特 026000; 3.中国林业科学研究院 荒漠化研究所, 北京 100091)

**摘要:** [目的] 分析浑善达克沙地土壤水分深层渗漏的时空分布特征及饱和条件下的土壤水分入渗, 为沙地水分循环、水量平衡、水资源评估提供理论依据。[方法] 运用土壤深层渗漏水量记录仪对浑善达克流动沙地、小叶锦鸡儿(植被覆盖度 20%~30%)半固定沙地和小叶锦鸡儿(植被覆盖度 40%~50%)固定沙地 200 cm 以下深层渗漏情况进行连续监测。[结果] 以小降雨事件为主的半干旱区浑善达克沙地流动、半固定、固定不同类型沙地的土壤水分深层渗漏特征与降雨特征均有一致性, 但渗漏量存在时空分布差异。流动沙地渗漏量最大, 饱和条件下的入渗率最快, 持续时间最长, 半固定沙地为次, 固定沙地为后。流动沙地深层渗漏与月降雨量呈显著相关( $p < 0.05$ ), 而固定沙地深层渗漏与降雨量在时间上没有一致性, 无明显集中渗漏补给期。[结论] 半固定、固定沙地的植被影响了深层渗漏, 植被覆盖度越高影响力度越大, 流动沙地更能有效储存水分, 并对地下水有补给作用。

**关键词:** 浑善达克沙地; 深层渗漏; 降雨; 时空分布; 入渗速率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)01-0077-06

中图分类号: S152.7

**文献参数:** 特日格勒, 冯伟, 杨文斌, 等. 浑善达克沙地土壤水分深层渗漏的动态特征[J]. 水土保持通报, 2022, 42(1): 77-82. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.01.011; Terigele, Feng Wei, Yang Wenbin, et al. Dynamic characteristics of deep soil water leakage in Otindag sandy land [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(1): 77-82.

## Dynamic Characteristics of Deep Soil Water Leakage in Otindag Sandy Land

Terigele<sup>1</sup>, Feng Wei<sup>2</sup>, Yang Wenbin<sup>3</sup>, Li Gangtie<sup>1</sup>, Li Wei<sup>3</sup>

(1.College of Desert Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University,

Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 2.Xilingol Vocational College, Xilinhot, Inner Mongolia

026000, China; 3.Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** [Objective] The temporal and spatial distribution characteristics of deep soil water leakage and infiltration under saturated conditions in Otindag sandy land were analyzed in order to provide a theoretical basis for the evaluation of the sandy land water cycle, water balance, and water resources. [Methods] Deep soil leakage in Otindag sandy land semi-fixed caragana microphylla (vegetation coverage 20%~30%) and fixed deep seep of *Caragana microphylla* (vegetation coverage 40%~50%) below 200 cm was continuously monitored by a recording apparatus. [Results] In the semi-arid, low-rainfall area of Otindag sandy land, the characteristics of deep soil water leakage in different types of sandy land were consistent with the characteristics of rainfall, but the spatiotemporal distribution of leakage was different. The leakage was largest and the infiltration rate was fastest under saturated conditions, while the duration was longest in the mobile sandy land. There was a significant correlation between deep leakage and monthly rainfall in the mobile sandy land ( $p < 0.05$ ), and the fixed sand had no correlation in time and there was no obvious concentrated recharge period of seepage. [Conclusion] The vegetation in the semi-fixed and fixed sandy land affected deep leakage, and the higher the vegetation coverage, the greater the impact. The mobile sandy land can store more water

收稿日期: 2021-06-25

修回日期: 2021-08-31

资助项目: 国家自然科学基金项目“半干旱区沙地水分深层渗漏及动态模拟课题”(41771306); 内蒙古科技重大专项“沙地生态系统近自然修复技术研究及产业化示范”(2019ZD003)

第一作者: 特日格勒(1992—), 女(蒙古族), 内蒙古自治区锡林郭勒盟人, 硕士研究生, 研究方向为荒漠化防治。Email: 15048971706@163.com。

通信作者: 冯伟(1983—), 男(汉族), 内蒙古自治区呼伦贝尔市人, 博士, 副研究员, 主要从事生态学及荒漠化防治等研究工作。Email: fw350@163.com。

and replenish underground water.

**Keywords:** Otindag sandy land; deep leakage; rainfall; spatiotemporal distribution; infiltration rate

水分是影响固沙植被生长发育的最重要限制因素,同时也是沙地生态环境中最容易受到影响的生态因子,多数生态环境问题都与水分有关<sup>[1]</sup>。沙丘水分状况直接决定了沙地生态系统发展的方向<sup>[2]</sup>,降雨入渗是沙区地下水的主要补给来源,也是沙地水分循环的重要环节<sup>[3-4]</sup>。降雨入渗过程随着降雨的停止而结束,但是水分在土壤中的转移并没有因此而停止,而是发生着相当复杂的再分配过程,一方面是土壤水分由于地表蒸发而减少,另一方面一部分水分由于土壤层水势的差异而继续补给到下层土壤<sup>[5]</sup>。降水进入土体后从某一深度的土层渗漏出去的过程叫土壤水分深层渗漏<sup>[6]</sup>。土壤水分深层渗漏是沙区水循环及水量平衡中的重要因子,深层土壤水分的补给能够缓解极端干旱年份固沙植被对水分的需求,减轻水分亏缺,维持生命活动,渡过极端干旱年份,因此,可为固沙植被稳定性评价提供参考<sup>[7]</sup>。

目前,在土壤水分深层渗漏研究方法和监测手段上,主要有经验方程、物理方法(蒸渗仪法、土壤水分通量法、水量平衡方法、达西方法、地下水位动态监测法)、示踪方法和数值模拟方法等<sup>[8]</sup>。近年来,在土壤水分深层渗漏监测上一种新型仪器 YWB-01 土壤深层水量渗漏测试记录仪深受广大学者们的欢迎。土壤深层水量渗漏测试记录仪为直接监测土壤渗漏量的仪器,具有定点、实时、连续记录渗漏量的优点,它适应于沙漠、森林、农田、河道等多种土壤类型深层渗漏水量监测,并在沙漠水分深层渗漏监测方面取得了较为准确的渗漏量数据及渗漏过程动态特征<sup>[3-4,6-11]</sup>。本文利用 YWB-01 土壤深层水量渗漏测试记录仪对浑善达克沙地流动、半固定、固定沙地 200 cm 以下的土壤渗漏量进行监测,分析沙地土壤水分深层渗漏的时空分布特征及饱和条件下的土壤水分深层渗漏,为浑善达克沙地水分循环、水量平衡、水资源评估以及沙地合理开发利用和生态环境建设提供理论依据。

## 1 研究区概况

研究区位于半干旱区浑善达克沙地南缘,行政区划隶属于内蒙古自治区正镶白旗伊和淖尔苏木(42°44'N,115°09'E,海拔高度 1 250 m),年均气温 1.9℃,最冷月(1月)平均气温 -19.1℃,最热月(7月)平均气温 17.6℃,年均降雨量 268 mm;年均蒸发量 2 300 mm;无霜期 135 d;日照时数 3 200 h;年平均风速 4 m/s,属中温带干旱大陆性气候。

## 2 试验方法

### 2.1 样地设置

在研究区内选择流动沙地、小叶锦鸡儿半固定沙地[植被覆盖度 20%~30%,冠幅 60 cm×65 cm,沙地上零星分布有羊草(*Leymus chinensis*)、沙鞭(*Psammochloa villosa*)等草本植物]、小叶锦鸡儿固定沙地[植被覆盖度 40%~50%,冠幅 60 cm×65 cm,沙地上零星分布有羊草(*Leymus chinensis*)、沙鞭(*Psammochloa villosa*)、沙蓝刺头(*Leontopodium leontopodioides*)、扁蓿豆(*Melissitus ruthenicus*)等草本植物]3 种类型沙地试验样地作为研究对象。

### 2.2 渗漏量的测定

本文采用 YWB-01 土壤深层水量渗漏测试记录仪<sup>[12]</sup>(自主研发,专利号 CN 102331282 B,分辨率 0.2 mm,精度±2%)实时监测 200 cm 深层的渗漏水量。首先在选定的监测区挖取 320 cm 深土壤剖面,从下到上依次将土壤深层水量渗漏测试记录仪(YWB-01)排水部(15 cm)、计量部(35 cm)、集流部(5 cm,砾石、陶粒填充)、毛管持水部(65 cm,原状土填充)紧靠完整剖面一侧装入,此时毛管持水部上沿在土壤 200 cm 深度,计量部将记录渗漏到 200 cm 以下的水量,踏实回填的沙土。定期对仪器进行维护。该仪器原理在于调整目标测量土层对应的仪器毛管持水部高度高于该土壤结层的毛管持水高度。这样便保证了仪器内部的土壤水分不会因毛管作用攀爬外泄,能够确保渗漏水量记录仪上口内侧的土壤含水率与其外围周边的土壤含水率保持一致。进而保证了测量前仪器上口处内外土壤没有含水量的差异。因此就可以保证目标土壤层进入仪器的渗漏水分均会下渗并被记录<sup>[11]</sup>。

监测数据选用流动沙地为 2018 年 1 月 1 日至 2020 年 7 月 31 日的连续数据,小叶锦鸡儿半固定沙地(植被覆盖度 20%~30%)为 2018 年 5 月 1 日至 2018 年 8 月 9 日的连续数据(由于仪器故障部分数据丢失),小叶锦鸡儿固定沙地(植被覆盖度 40%~50%)为 2019 年 1 月 1 日至 2020 年 7 月 31 日的连续数据,监测数据 1 h 记录 1 次。

### 2.3 土壤体积含水率的测定

在土壤深层水量渗漏记录仪右侧按 10,30,60,90,150,200 cm 深度分别插入 6 个土壤水分传感器 EC-5 的探头,连续监测土壤的体积含水率,监测数据 1 h 记录 1 次。

## 2.4 降雨量的测定

采用 AVALON 公司 AV-3665 R 型雨量传感器;流动沙地采用 RR-1008 数据采集器、半固定和固定沙地分别采用美国产 CR300 和 CR1000 数据采集器记录降雨量,降雨量 1 h 记录 1 次。

## 2.5 土壤水分饱和条件下的入渗

采用灌水的方式进行流动、半固定、固定 3 种类型沙地土壤水分饱和条件下的入渗试验,通过监测数据得出入渗速率、持续时长以及入渗量等。试验时间为 2020 年 8 月 4 日和 5 日。在 3 种类型沙地土壤水分传感器附近挖深约 50 cm 坑,便于水分迅速入渗,进行灌水时观察 10,30,60,90,150,200 cm 层土壤水分含水率的变化,从上到下依次上升均到达最大值时停止灌水,3 个样地灌水时间为 35~40 min。

## 2.6 数据处理

本研究用 Excel 及 SPSS 软件进行统计分析。

# 3 结果与分析

## 3.1 降雨特征

2018 年开始至 2020 年 7 月,研究区降雨 180 d (2018 年 66 d,2019 年 59 d,2020 年 1—7 月 55 d), 占总天数的 19%,累计降雨量 672 mm(2018 年 294 mm, 2019 年 203.4 mm,2020 年 1—7 月 174.6 mm),各年降雨天数均超过 50 d,年降雨量均超过 200 mm,降雨月份主要集中在 5—9 月。单日最大降雨量为 34.6 mm(2018 年 9 月 1 日),最大一场降雨累计量 43.2 mm(2018 年 8 月 26—29 日)。研究区 2018 年降雨量、降雨天数及日最大降雨量最多,对总降雨贡献最大,为丰水年(见图 1)。

日降雨量 $\leq 10$  mm 的降雨 161 d,占总降雨天数的 89.5%,累积量为 352.2 mm,占总降雨量的 52.4%;10~20 mm 的降雨 14 d,占总降雨天数的 7.8%,累积量为 194 mm,占总降雨量的 28.9%; $\geq 20$  mm 的降雨 5 d,占总降雨天数的 2.7%,累积量为 126.6 mm,占总降雨量的 18.7%。各年日降雨量超过 20 mm 的降雨天数极少,2018 年 3 d(大于 30 mm

的 1 d),2019 年和 2020 年(1—7 月)都仅 1 d。日降雨量小于 10 mm 的降雨天数最多,各年占比均超过 89%以上。表明研究区以小降雨事件为主,大降雨事件发生频次低。

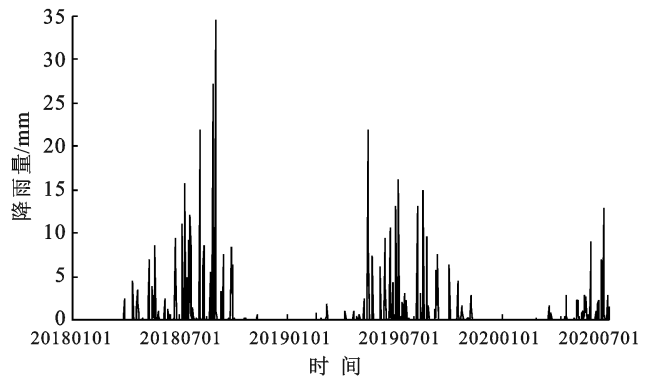


图 1 2018—2020 年研究区降雨分布特征

## 3.2 深层渗漏时空分布特征

3.2.1 空间分布特征 从表 1 不同类型沙地在监测期间降雨量与深层渗漏量特征和表 2 不同类型沙地渗漏量天数分布特征可看出,研究区流动沙地在 2018 年 1 月至 2020 年 7 月 200 cm 以下深层渗漏量 25 mm,各年深层渗漏量分别为 2018 年 18.5 mm, 2019 年 4.3 mm,2020 年 1—7 月 2.2 mm,占同期降雨量的 3.7%,各年占同期降雨量的比例分别为 2018 年 6.3%,2019 年 2.1%,2020 年 1—7 月 1.3%。单日最大渗漏量为 0.6 mm/d (2018 年 9 月 6 日和 8 日),日均渗漏量为 0.12 mm/d。日渗漏量 $\leq 0.1$  mm 的 182 d,占总渗漏天数的 86.3%,累积量为 16.4 mm,占总渗漏量的 65.6%;2018 年渗漏量 18.5 mm,占总渗漏量的 74%;2018 年出现单日最大渗漏量,该年渗漏量对观测期总渗漏的贡献最大,且研究区流动沙地日渗漏以 $\leq 0.1$  mm 的小渗漏为主,与降雨特征一致。

半固定沙地在 2018 年 5 月 1 日至 8 月 9 日,200 cm 以下深层渗漏量 2.8 mm,占同期降雨量的 2%。日均渗漏量为 0.09 mm/d,以 $\leq 0.1$  mm 的小渗漏为主,与该期间小降雨特征一致。

表 1 2018—2020 年浑善达克不同类型沙地在监测期间降雨量与深层渗漏量特征

沙地类型	观测期	降雨		深层渗漏			
		降雨量/mm	降雨天数/d	渗漏量/mm	占同期降雨量/%	渗漏天数/d	占同期降雨天数比例/%
流动	201801—202007	672	180	25	3.7	211	117
半固定	20180501—20180809	146	35	2.8	2	31	88.6
固定	201901—202007	378	114	3.4	0.9	33	29.8

表 2 2018—2020 年浑善达克不同类型沙地渗漏量日数分布特征

沙地类型	观测天数/d	渗漏天数/d	累计渗漏量/mm	日最大渗漏/mm	日最小渗漏/mm	渗漏天数/累积渗漏量/(d·mm <sup>-1</sup> )			
						≤0.1	0.1~0.3	0.3~0.5	≥0.5
流动	943	211/22.4%	25	0.6	0.1	182/16.4	19/3.9	4/1.6	6/3.2
半固定	101	31/30.7%	2.8	0.1	0.1	31/2.8	0	0	0
固定	578	33/5.7%	3.4	0.3	0.1	29/2.5	4/0.9	0	0

固定沙地在 2019 年 1 月至 2020 年 7 月 200 cm 以下深层渗漏量仅 3.4 mm, 占同期降雨量的 0.9%。单日最大渗漏量为 0.3 mm/d (2019 年 4 月 26 日), 日均渗漏量为 0.1 mm/d。日渗漏量 ≤0.1 mm 的 29 d, 占总渗漏天数的 87.9%, 累积量为 2.5 mm, 占总渗漏量的 73.6%; 2019 年渗漏量 2.3 mm, 占总渗漏量的 67.6%; 2020 年渗漏量 2.2 mm, 占总渗漏量的 43.4%。日渗漏量以 ≤0.1 mm 的小渗漏为主, 与研究区小降雨特征一致。

研究区流动、半固定、固定不同类型沙地的土壤水分深层渗漏均以 ≤0.1 mm 的小渗漏为主, 与降雨特征一致, 各年渗漏量对总渗漏量的贡献与各年降雨量对总降雨量的贡献一致, 表明深层渗漏特征与降雨特征均有一致性。但不同类型沙地的土壤水分深层渗漏量存在明显的空间分布差异, 200 cm 以下深层渗漏量为: 流动 > 固定 > 半固定, 同期降雨量的比例为: 流动 > 半固定 > 固定, 由于固定沙地的观测期远大于半固定沙地, 因此渗漏量大于半固定沙地, 而从同期降雨量的占比看出半固定沙地的深层渗漏高于固定沙地。流动沙地的单日最大渗漏量及日均渗漏量分别 0.6 mm/d 和 0.12 mm/d, 为最高; 半固定沙地单日最大渗漏量和日均渗漏量均为 0.09 mm/d; 固定沙地单日最大渗漏量及日均渗漏量分别为 0.3 mm/d 和 0.1 mm/d; 由于半固定沙地的观测期较短, 未出现单日最大渗漏量, 以稳定渗漏为主; 固定沙地单日最大渗漏量出现在 4 月份, 且该月的深层渗漏量占全年总渗漏量的 44%, 这可能是由春季冻融交替, 积雪融化增加了入渗量。

**3.2.2 时间分布特征** 图 2 为流动沙地在监测期间降雨量与土壤水分深层渗漏量的月变化。流动沙地 2018—2020 年各年 200 cm 以下深层渗漏峰值均出现在雨季(2018 年 9 月, 2019 年 8 月, 2020 年 7 月), 这说明流动沙地的深层渗漏与降雨月变化具有相对一致性, 主要集中在雨季。流动沙地深层渗漏天数为 211 d(表 1), 为降雨总天数的 1.17 倍, 2018 年(丰水年)深层渗漏峰值比降雨峰值出现月份延迟一个月, 表明降雨入渗具有滞后性和延时性。

半固定沙地 2018 年 5 月 1 日至 2018 年 8 月 9 日期间, 降雨 35 d, 累积量为 146 mm, 200 cm 以下深层

渗漏 31 d, 占同期降雨天数的 88.6%(表 1)。由于仪器故障未获得较长时间的连续数据, 故未能观察到半固定沙地的集中渗漏补给期。

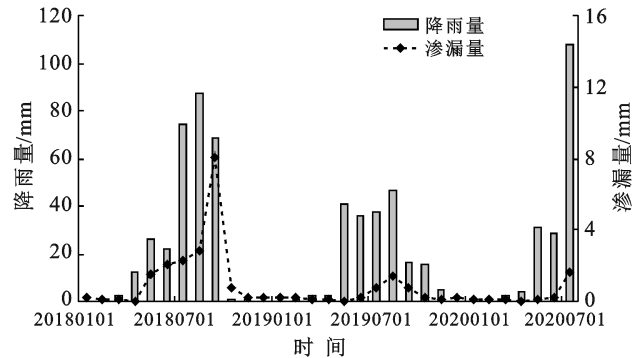


图 2 2018—2020 年浑善达克流动沙地降雨量与深层渗漏量的月变化

固定沙地 2019 年 1 月至 2020 年 7 月, 200 cm 以下深层渗漏天数仅 33 d, 占同期降雨总天数的 29.8%(表 1), 2019 年 5—9 月和 2020 年 5—7 月雨季的深层渗漏量分别占同年总渗漏量 12%, 15.4%。深层渗漏与降雨在时间上没有相对一致性, 无明显集中渗漏补给期, 由于降雨被生长季的植被所利用, 导致固定沙地的深层渗漏量极少。

研究区流动、半固定、固定不同类型沙地土壤水分深层渗漏存在明显的时间分布差异, 同期降雨天数的比例: 流动 > 半固定 > 固定, 且流动沙地渗漏天数为降雨天数的 1.17 倍, 这是由降雨入渗的滞后性和延时性导致的。流动沙地深层渗漏与降雨月变化具有相对一致性, 主要集中在雨季, 对流动沙地的日、月、季降雨量分别与日、月、季深层渗漏量之间进行 Pearson 相关分析, 结果显示, 月降雨量、季降雨量 and 对应深层渗漏量之间具有显著相关性 ( $p < 0.05$ ), 而日降雨量 and 对应深层渗漏量之间相关性不显著 ( $p > 0.05$ )。固定沙地深层渗漏与降雨在时间上没有相对一致性, 无明显集中渗漏补给期。半固定沙地需要完整连续至少 1 a 的数据来分析是否有集中渗漏补给期, 故该观测期内未监测出。

### 3.3 饱和条件下的入渗

2020 年 8 月 4 日和 5 日分别对研究区流动、半固定、固定沙地进行灌水监测了饱和条件下的入渗。在



此期间伴有 <0.6 mm 小降雨,均对深层渗漏未有影响,故忽略不计。图 3 为流动、半固定、固定沙地饱和条件下的土壤水分前 48 h 的深层渗漏特征。2020 年 8 月 4 日 17:00 开始对流动沙地进行灌水,开始灌水 1 h 后出现渗漏,入渗速率迅速增加,第 2 h 达到渗漏

峰值,最大入渗速率为 20.88 mm/h,前 2 h 累计渗漏量为 32.94 mm,平均入渗速率为 16.47 mm/h,第 2 h 后入渗速率迅速下降,达 9 h 后入渗速率稳定下降,渗漏持续时长 571 h 后回到灌水前的渗漏状态,渗漏量为 90.36 mm。

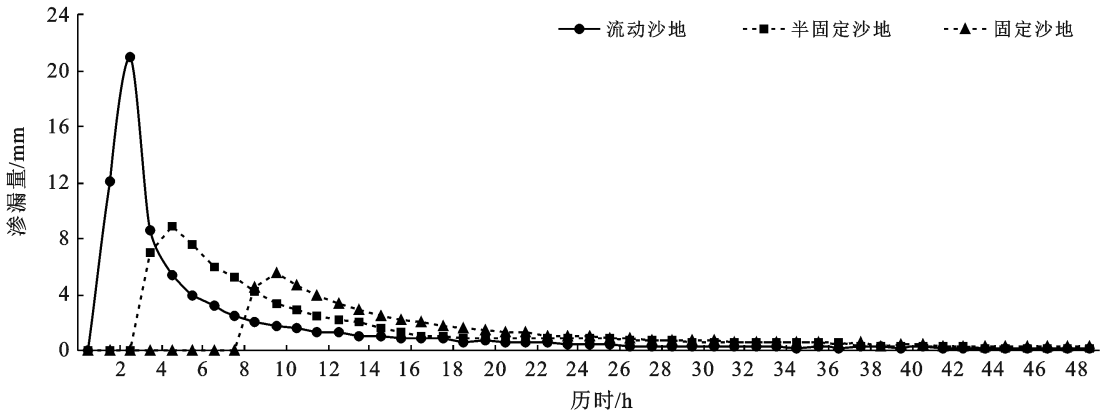


图 3 浑善达克流动、半固定、固定沙地饱和条件下的土壤水分前 48 h 的深层渗漏特征

2020 年 8 月 5 日 12:00 开始对半固定沙地进行灌水,开始灌水 3 h 后出现渗漏,入渗速率缓慢增加,第 4 h 达到渗漏峰值,最大入渗速率为 8.91 mm/h,前 4 h 累计渗漏量为 15.93 mm,平均入渗速率为 4.0 mm/h,第 4 h 后入渗速率缓慢下降,渗漏持续时长 300 h 后回到灌水前的渗漏状态,渗漏量为 81.05 mm。

冻作用易导致土壤体积含水率测定数据不准确,因此选用 2019 年生长季(4 月 1 日至 10 月 31 日)数据。从测量深层土壤水分渗漏量出发,利用实际测量的深层土壤水分渗漏量、土壤蓄水量、降雨补给量,根据水量平衡公式直接推算蒸散发量<sup>[11]</sup>。故水量平衡公式简化为如下:

$$E_t = P - D - \Delta S \quad (1)$$

式中: $E_t$  为蒸散发量(mm);  $P$  为降雨补给量(mm);  $D$  为 200 cm 深层土壤水分渗漏量(mm);  $\Delta S$  为 0—200 cm 土壤蓄水量变化(mm)。

2020 年 8 月 4 日 15:00 开始对固定沙地进行灌水,开始灌水 8 h 后出现渗漏,入渗速率缓慢增加,第 9 h 达到渗漏峰值,最大入渗速率为 5.49 mm/h,前 9 h 累计渗漏量为 9.99 mm,平均入渗速率为 1.11 mm/h,第 9 h 后入渗速率稳定下降,渗漏持续时长 210 h 后渗漏回到灌水前的渗漏状态,渗漏量为 67.14 mm。

从表 3 可看出,2019 年 195 mm 降雨量对小叶锦鸡儿固定沙地未出现水分亏缺现象,0—200 cm 土层生长季结束时(10 月 31 日)蓄水量高于生长季初始(4 月 1 日)蓄水量,蓄水量变化为 4.25 mm;降雨对流动沙地和小叶锦鸡儿固定沙地的补给量分别为 53.53 mm 和 5.51 mm,流动沙地高于固定沙地;而固定沙地的蒸散量是流动沙地的 1.34 倍,与流动沙地对比,固定沙地消耗了 48.02 mm 水分。以上结果表明,流动沙地比固定沙地更能储存水分,且 2019 年 195 mm 降雨能够满足小叶锦鸡儿(植被覆盖度 40%~50%)固定沙地水分蒸散量,并对土壤水分具有少量补给作用,能够维持水量平衡。

研究区流动、半固定、固定不同类型沙地饱和条件下的土壤水分深层渗漏存在明显的差异,通过灌水试验对 3 种不同类型的饱和条件下入渗进行监测发现,达到渗漏峰值流动沙地 2 h 为最快,半固定 4 h 为次,固定 9 h 为最慢,最大入渗速率为:流动 20.88 mm/h > 半固定 8.91 mm/h > 固定 5.49 mm/h,平均入渗速率为:流动 16.47 mm/h > 半固定 4.0 mm/h > 固定 1.11 mm/h,渗漏持续时长为:流动 571 h > 半固定 300 h > 固定 210 h,渗漏量为:流动 90.36 mm > 半固定 81.05 mm > 固定 67.14 mm。这些结果表明,饱和条件下的流动沙地入渗速率为最快、渗漏持续时间最长、渗漏量最大,半固定沙地为次,固定沙地为后。

### 3.4 水量平衡初步估算

表 3 浑善达克沙地水量平衡估算 mm

沙地类型	降雨量	200 cm 土层渗漏量	0—200 cm 土层蓄水量变化	蒸散发量
流动	195	3.6	49.93	141.47
固定	195	1.26	4.25	189.49

因本研究未监测降雪,且 0—90 cm 深土壤受结

## 4 讨论与结论

以小降雨事件为主的半干旱区浑善达克沙地流动、小叶锦鸡儿(植被覆盖度 20%~30%)半固定、小叶锦鸡儿(植被覆盖度 40%~50%)固定不同类型沙地的土壤水分深层渗漏特征与降雨特征均有一致性,均以 $\leq 0.1$  mm 的小渗漏为主,各年渗漏量对总渗漏量的贡献与各年降雨量对总降雨量的贡献一致。降雨是中国沙漠、沙地水分的主要来源,而降雨入渗到沙漠(沙地)风沙土中的水分基本上是深层渗漏水量的唯一水源,渗漏到 150 cm 以下深层土壤水分与降水量及频度关系紧密<sup>[3]</sup>。

流动、半固定、固定不同类型沙地的土壤水分深层渗漏量存在明显的时空分布差异。200 cm 以下深层渗漏量为:流动>半固定>固定,单日最大渗漏量及日均渗漏量均流动沙地为最高。同期降雨天数的比例为:流动>半固定>固定,且流动沙地渗漏天数为降雨天数的 1.17 倍,说明流动沙地具有降雨入渗的滞后性和延时性。这与冯伟等<sup>[13]</sup>的研究结果均一致。流动沙地深层渗漏与降雨月变化具有相对一致性,主要集中在雨季,月降雨量、季节降雨量 and 对应深层渗漏量之间具有显著相关性( $p < 0.05$ ),而日降雨量 and 对应深层渗漏量之间相关性不显著( $p > 0.05$ )。季节尺度下降雨量和深层渗漏量的相关性最好,这主要是渗漏的滞后性和延时性所造成<sup>[9]</sup>。固定沙地降雨量与深层渗漏量在时间上没有相对一致性,无明显集中渗漏补给期,固定沙地在观测期间渗漏极少,这是由于研究区大部分降雨被蒸发和植被所利用导致的。

饱和条件下的流动沙地的土壤水分深层入渗速率为最快、渗漏持续时间最长、渗漏量最大,半固定沙地为次,固定沙地为后。降水的入渗速率主要受到入渗前土壤含水量的影响,相对于固定沙丘和半固定沙丘,流动沙丘的含水量较高,而且稳定<sup>[4]</sup>。半固定和固定沙地的植被影响了土壤水分的深层渗漏,植被覆盖度越高影响力度越大,从而流动沙地比半固定和固定沙地更能储存水分,并能对地下水有补给作用。固沙植被要维持水量平衡,才能可持续发展,因此也必须考虑到土壤水植被承载能力,土壤水分承载力是指在有限的土壤水分条件下所能承载的最大植被盖

度<sup>[10]</sup>。195 mm 降雨能够满足小叶锦鸡儿(植被覆盖度 40%~50%)固定沙地水分蒸散量,并对土壤水分具有少量(5.51 mm)补给作用,如该地区遇到极端干旱或连续欠水年,小叶锦鸡儿固定沙地必然出现水分亏缺现象,然而要得出小叶锦鸡儿(植被覆盖度 40%~50%)固定沙地维持水量平衡的临界值及适宜覆盖度还需要进一步研究。

本文研究了半干旱区流动、半固定、固定沙地 200 cm 以下深层土壤水分渗漏量动态特征,而深层入渗是一个十分复杂的过程,土壤体积含水率及降雨格局对深层渗漏影响的研究将是下一步研究的重点。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 闫德仁,黄海广,胡小龙,等.固沙植被土壤水分动态及其对降雨的响应[J].干旱区资源与环境,2016,30(4):85-89.
- [2] 张圆浩,阿拉木萨,印家旺,等.沙丘土壤含水量与地下水埋深时空变化特征[J].干旱区研究,2020,37(6):1427-1436.
- [3] Yang Wenbin, Tang Jinnian, Liang Hairong, et al. Deep soil water infiltration and its dynamic variation in the shifting sandy land of typical deserts in China [J]. Science China: Earth Sciences, 2014,44(9):2052-2061.
- [4] 李卫,冯伟,杨文斌,等.流动沙丘水分深层入渗量与降雨的关系[J].水科学进展,2016,26(6):779-786.
- [5] 崔利强.油蒿群落土壤水分动态及降水入渗特征分析[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.
- [6] 吴丽丽,程一本,杨文斌,等.毛乌素沙地流动沙丘不同深度土壤渗漏特征[J].生态学报,2018,38(22):7960-7967.
- [7] 冯伟,杨文斌,唐进年,等.中国沙漠(地)深层渗漏量及动态特征[J].中国沙漠,2015,35(5):1362-1370.
- [8] 段良霞,黄明斌.干旱—半干旱地区深层渗漏研究方法综述[J].中国水土保持科学,2016,14(2):155-162.
- [9] 姚冬梅,冯金超,冯伟,等.毛乌素沙地典型流动沙丘水分深层渗漏量及动态特征[J].中国沙漠,2018,37(2):222-227.
- [10] 冯伟.毛乌素沙地东北缘土壤水分动态及深层渗漏特征[D].北京:中国林业科学研究院,2015.
- [11] 程一本.干旱半干旱地区典型沙地深层土壤水分渗漏过程研究[D].北京:中国林业科学研究院,2018.
- [12] 杨文斌,党宏忠.土壤深层水量渗漏测试记录仪:中国,CN102331282 A[P].2012-01-25.
- [13] 冯伟,杨文斌,党宏忠,等.毛乌素沙地流动沙丘土壤水分对降雨的响应[J].中国沙漠,2015,35(2):400-406.