

内蒙古草原土壤斥水性的季节变化

李子忠, 吴延磊, 龚元石, 王忠彦

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要: 土壤斥水性是指水分不能或很难湿润土壤颗粒表面的物理现象, 具有斥水性的土壤称为斥水土壤。本文以内蒙古锡林浩特市白音锡勒牧场中国科学院内蒙古草原生态系统定位站的羊草样地为例, 运用滴水穿透时间法分析了1979年禁牧、1999年禁牧、冬季放牧和连续放牧等条件下内蒙草原土壤斥水性的季节变化。结果表明: 草原土壤总体上表现为轻度斥水性或无斥水性, 且斥水性具有显著的季节变化特点, 一般在雨季或多雨年土壤具有较强的斥水性; 不同的利用方式对草原土壤斥水性的季节变化规律具有一定的影响, 存在时间上的滞后性, 持续放牧处理在雨季较多的样点最先表现斥水性, 其次为冬季放牧处理, 然后为1999年禁牧处理, 最后为1979年禁牧处理。

关键词: 草地利用方式; 草原土壤; 土壤斥水性

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)02-0208-06

土壤斥水性是指水分不能或很难湿润土壤颗粒表面的物理现象, 具有斥水性的土壤称为斥水土壤^[1]。土壤斥水性使降水或灌溉水沿优先流路径进入土壤, 导致土壤水分的不均匀分布, 严重影响种子出苗率, 造成作物减产^[2]; 它使水中携带的溶质沿优先流路径更快地进入地下水, 增加了地下水污染的风险, 产生了一系列环境问题^[3]; 它降低水分入渗率, 产生不均匀的土壤湿润模式, 造成部分土壤总是干土, 是导致土壤侵蚀和水土流失的原因之一^[4]。水分是半干旱地区草原生产力的主要限制因子, 开展放牧强度对草原土壤斥水特性的研究, 将有助于理解放牧强度对草原土壤水分循环和利用过程的影响, 从而为制定合理的草原管理措施提供科学依据。

有关草原或草地土壤斥水性的研究主要包括, 草原土壤斥水性的基本特征及影响因素分析和实际应用研究。Dekker等^[5,6]研究了位于荷兰西南部靠近Ouddorp至少几十年没有被人耕种过的沙丘沙地草场的土壤斥水性的特征, 提出了“临界土壤含水量”的理论, 解释土壤斥水性与土壤含水量的关系, 并认为有机质与土壤斥水性无相关性。Newton等^[7]研究了位于新西兰北岛西部的牧场, 根据随着土壤有机质的增加土壤斥水性逐渐增强的研究结果, 发现了田间状况下大气中的CO₂含量增加时土壤斥水性有显著的减弱。

草原是我国北部的和欧亚大陆的半干旱地区的

主要土地利用方式, 由于管理不当、过度放牧等造成草场退化, 致使草原生产力下降和生态系统恶化^[8]。虽然有许多研究者研究了不同的利用方式对我国草原土壤物理、化学和生物特性的影响, 但是目前在利用方式对与草原土壤持水特性和水分入渗、再分布等土壤水分运动过程密切相关的土壤斥水特性的影响规律方面, 则鲜有研究。本研究的主要目的是通过田间的实际测定, 评估内蒙古草原土壤的斥水性, 并初步研究不同草原利用方式对土壤斥水性的影响。

1 研究方法

1.1 研究区自然概况

研究区位于内蒙古锡林浩特市白音锡勒牧场中国科学院内蒙古草原生态系统定位站的羊草样地, 其地理坐标43°32′45″~43°33′10″N, 116°40′30″~116°40′50″E(图1), 地处锡林河南岸的低丘宽谷地带, 这一带是在玄武岩台地基础上形成的平缓的丘陵宽谷, 海拔1200~1250 m, 丘陵相对高度20~30 m, 丘陵顶部混圆, 谷坡漫长, 坡度小于5°, 坡麓下接平坦宽谷。其气候类型属于大陆性气候中的温带半干旱草原气候, 年平均温度0.57℃, 最冷月1月平均温度-21.41℃, 最热月7月平均温度18.54℃, 极端最低温-30.62℃。年平均降雨量350 mm左右, 降水主要集中在7~9月, 降雨量年际变化较大, 变化幅

收稿日期: 2009-04-28

基金项目: 教育部科学技术研究重点项目(03169); 中德合作项目“放牧强度影响下的内蒙古草地中的物质流”

作者简介: 李子忠(1972-), 男, 山东人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事农业水土资源利用和土壤物理学的研究。E-mail: zizhong@cau.edu.cn.

度常在30%以上,最高年份达到645 mm,而最低年份不过182 mm。蒸发量1 600~1 800 mm。每年5~9月为植物生长期,9月以后气温骤降,草类植物迅速枯死,生长期较短。

植被为温带典型草原,羊草群落和大针茅群落是该区分布最广的植物群落,在欧亚大陆温带草原具有广泛的代表性。羊草草原的建群种是旱生根茎型禾草羊草(*Leymus chinensis*),其次分别为大针茅(*Stipa grandis*)、落草(*Agropyron cristatum*)和冰草(*Cleistogenes squarrosa*)等旱生密丛禾草,禾草是构成群落的主体,其重量可达群落总生物量的80%。大针茅群落是以大针茅(*Stipa grandis*)、小禾草(*Koeleria cristata*, *Agropyron cristatum*, *Cleistogenes squarrosa*)等旱生密丛禾草占显著优势,约占其生物量的85%。草群高度50~60 cm,盖度30%~40%,多雨年份可达60%~70%,地表有薄层凋落物覆盖。

栗钙土是本区的主要土类,其特征是具有明显的有机质和碳酸钙积累,土壤上部为栗色腐殖质层、中部灰色钙积层和下部风化母质层。腐殖层厚度一般在30~45 cm之间,有机质含量2.0%~4.0%之间;质地较轻,多为沙土和粉壤土;粘土矿物以蒙脱石、水云母为主。年度内草原群落土壤水分的动态变化可以划分为四个时期:3月下旬至4月初,随冰雪融化和冻土层的消解,土壤出现一个短暂的湿润期;4月初至6月中下旬,降水概率小,加之气温回升较快,而且大风频繁,土壤进入干旱期;从6月中下旬开始,进入雨季,土壤湿润,但是由于此时蒸发也非常强烈,土壤含水量波动较大;9月初到结冻前,由于温度较低,蒸发缓慢,土壤含水量变化不大^[9]。

1.2 研究样地

1979年前,整个试验区进行轻度放牧利用,放牧牲畜70%~90%为绵羊,10%~30%为山羊。本次试验共四个围栏样地(图1),样地a自1979年开始围栏禁牧,面积为24 hm²,草原原生植被,草群高,生长茂盛,立枯多,盖度大,地被物厚约3~5 cm;样地b自1999年围栏禁牧,面积为35 hm²,基本为原生植被,草群较高,立枯减少,盖度亦大,地被物有连续性;样地c自2000年以来只在冬季放牧,面积为40 hm²,放牧强度为0.5羊单位/(hm²·a),冷蒿为建群种,群落叶层低矮,地被物仅少许;样地d全年持续放牧,面积为250 hm²,放牧强度为2.0羊单位/(hm²·a),植被中冷蒿和冰草较多,草群变矮,盖度小,地被物呈不连续分布。四个样地的有机质碳含量分别为31.0, 25.5, 25.9和23.0 mg/g。如图1所

示,79年禁牧样地(a)与99年禁牧样地(b)位于丘陵谷坡中下部,一小部分延伸到宽谷地带,冬季放牧样地(c)位于丘陵的谷坡中上部,持续放牧样地(d)位于丘陵坡麓下接的平坦宽谷地带。

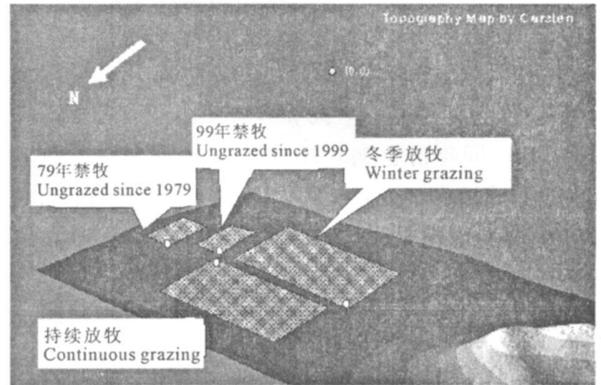


图1 羊草样地地形

Fig. 1 Topography of *Leymus chinensis* Steppe plot

从样地各选取105 m×135 m的地块,将其划分成15 m×15 m的网格,设置了80个样点,并根据各样地的地形条件,在部分样点之间以5 m的间距设置2个加密样点,各设置了20个加密样点,每个样地共设置了100个样点(持续放牧样地坐标原点在东南角,其余样地均在西北角)。

1.3 测定项目和和方法

为了初步了解草原土壤的斥水特性,利用滴水穿透时间法(water drop penetration time, WDPT)分别于2004年7月20日、8月20日和9月21日测定了各样地100个样点的WDPT值,所有处理都为3次;为了进一步详细调查土壤的斥水性,分别在2005年6月7日、6月26日、6月30日、7月23日、8月5日、8月14日、8月26日、9月4日和9月15日测定各样地100个样点的田间原位WDPT值,受自然条件及人力因素的限制,每次测定持续2~4 d,1979年禁牧样地与1999年禁牧样地测定了9次,冬季放牧样地测定了8次,持续放牧样地测定了6次。

滴水穿透时间法测定土壤斥水特性的过程是用一个不锈钢注射器将3滴蒸馏水(每滴约0.05 ml)滴到田间土壤表面,用秒表测定水滴完全渗入土壤所需要的时间,取其算术平均值作为最终的结果,在测定过程中,液滴放置在不高于土壤表面5 mm的位置上,以避免过大的动能影响土壤和液滴的相互作用^[10]。采用Dekker和Jungerius^[5]提出的斥水性分类标准,将斥水性分为5个等级:0级,无斥水性(滴水穿透时间不超过5 s);1级,轻微斥水性(5~60 s);2级,强烈斥水性(60~600 s);3级,严重斥水性

(600~3 600 s); 4 级, 极度斥水性(>3 600 s)。

2 结果与分析

2.1 滴水穿透时间的统计特征

WDPT 的数值一定程度反映土壤斥水强度。从两年测定的 WDPT 结果可知, 即使同一时间的同一处理小区, WDPT 具有非常大的标准偏差(图 2), 具有很大的变异系数, 为 30%~350%, 属于强变异。并且, 在不同年份也初步反映出土壤斥水特性的季节变化。例如 2004 年 8 月下旬的 WDPT 是最大的, 反映土壤斥水性最强。7~9 月份表现得趋势为“低—高一低”, 而 2005 年 6~9 月份表现的趋势则为

“高一低—高一低—高”, 分别在 6 月初、7 月底至 8 月初和 9 月中旬表现出高值, 即使同样在 8 月下旬, 2004 年为最高值, 而 2005 年则处于低值。初步反映的土壤斥水性呈现的季节变化规律可能和降雨有关, 例如 2004 年 7~9 月份的降雨也表现为“少—多—少”的规律(图 3a), 2005 年 6~9 月的降雨表现为“少—多—少—多”的规律(图 3b), 和 WDPT 反映的土壤斥水性总体变化趋势也是一致的。根据 Jaramillo 等人的研究成果, 可能是降雨较多, 产生的生物量较大, 进入土壤的有机物质较多, 相应的斥水物质也较多, 因而土壤表现的斥水性较强^[11]。

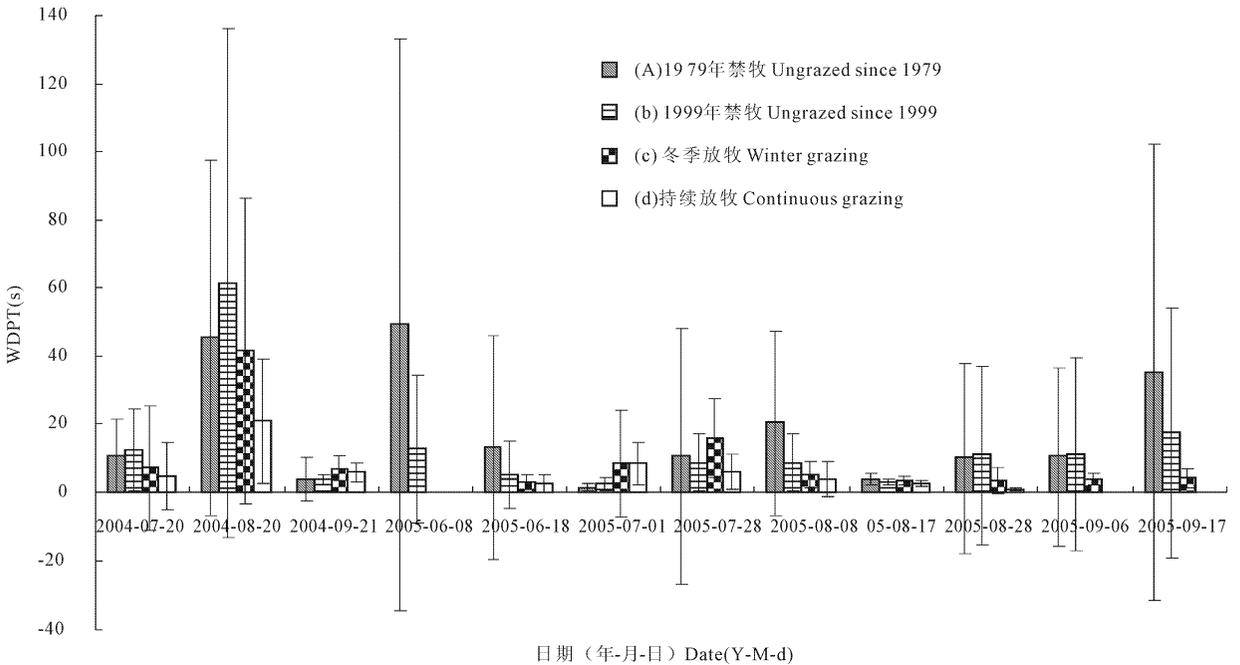


图 2 各处理的滴水穿透时间
Fig.2 WDPTs in different treatments

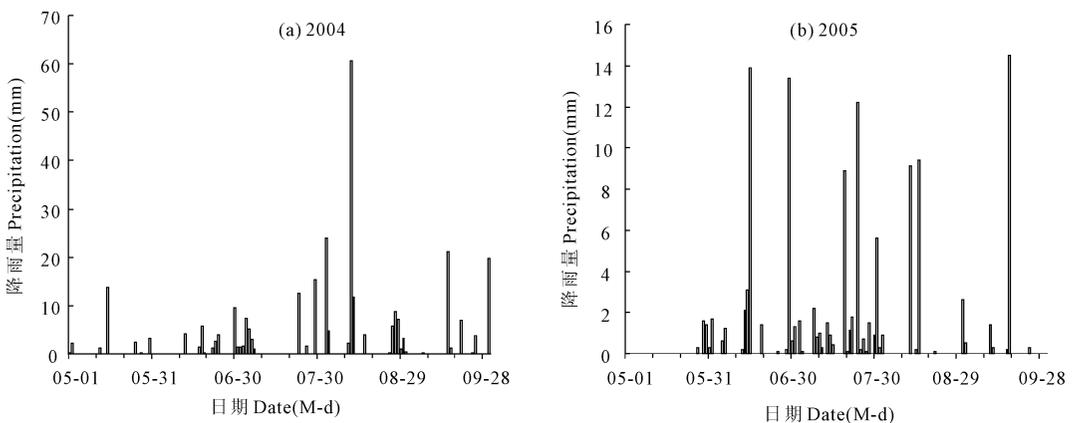


图 3 2004 年和 2005 年试验期间的降雨分布
Fig.3 Precipitation distribution during experimental period in 2004 and in 2005

2.2 不同利用方式下草原土壤斥水强度的季节变化

虽然 WDPT 可在一定程度上反映土壤的斥水性,但是由于其具有很大的变异性,因此对获得的样

点数据采用 Dekker 和 Jungerius^[5]提出的斥水性分类标准进行了斥水性强度的划分,并对不同斥水强度的样点数所占比例进行了统计(图 4 和图 5)。

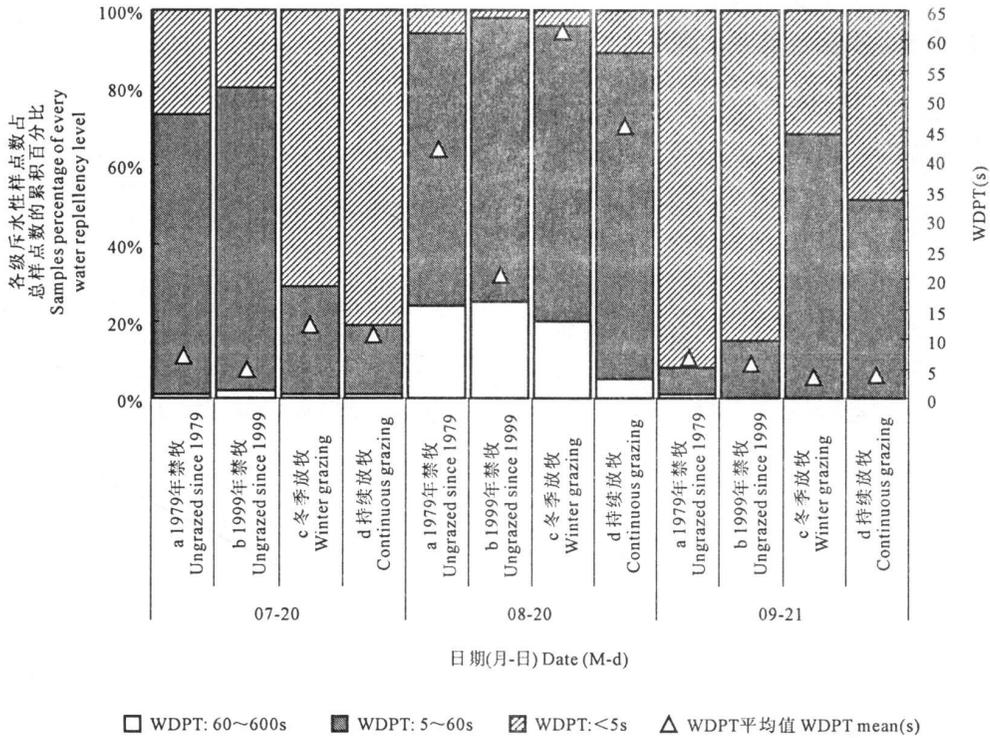


图 4 2004 年不同草原利用方式土壤斥水性的相对频率

Fig. 4 Relative frequency of water repellency of measured sites ($n=100$) in different treatments in 2004

2004 年 7 月到 9 月,所有 4 种利用方式下草原土壤斥水性强度都表现了“弱—强—弱”的趋势,都在 8 月份表现出斥水性的样点最多,甚至还有许多样点表现出强烈斥水性,但是不同利用方式在同一时间所表现的土壤斥水强度不同(图 4)。7 月份,79 年禁牧和 99 年禁牧样区内有 70% 以上的样点都表现出了轻度斥水性,而冬季放牧和持续放牧样区内有 70% 以上的样点都表现出了无斥水性。8 月份,79 年禁牧和 99 年禁牧样区内有 90% 以上的样点都表现出了轻度以上的斥水性,其中有 20% 以上的样点都表现出了强烈斥水性,而冬季放牧和持续放牧样区内有 80% 以上的样点都表现出无斥水性。9 月份,79 年禁牧和 99 年禁牧样区内有 90% 以上的样点都表现出了无斥水性,而冬季放牧和持续放牧样区内有 50% 以上的样点都表现出轻度斥水性。因此,7 月和 8 月份表现出斥水性的土壤样点数是 99 年禁牧 > 79 年禁牧 > 冬季放牧 > 持续放牧;而 9 月份则有很大不同,表现出斥水性的土壤样点数是冬季放牧 > 持续放牧 > 99 年禁牧 > 79 年禁牧。

2005 年 6 月到 9 月,所有 4 种利用方式下土壤斥水性的表现趋势是不同的(图 5)。79 年禁牧和 99

年禁牧处理下土壤斥水强度表现为“强(6 月初)—弱—强(7 月下旬到 8 月上旬)—弱—强(9 月中旬)”的三顶点趋势,而冬季放牧和持续放牧处理下则分别表现为“弱—强(7 月下旬)—弱—强(9 月中旬)”的双顶点趋势和“弱—强(7 月上旬)—弱”的单顶点趋势,只不过 79 年禁牧和 99 年禁牧处理土壤斥水性的季节变化比放牧处理的滞后半个月左右。另外,79 年禁牧和 99 年禁牧处理下土壤都在 6 月份、8 月份和 9 月份在部分样点表现了强烈的斥水性,而冬季和持续放牧处理下则极个别样点表现了强烈斥水性。总体上,2005 年不同处理之间土壤的斥水性由于存在时间上的滞后性而较难进行同时期的对比,一般表现的滞后顺序是持续放牧利用最先出现较多的样点表现斥水性,其次为冬季放牧处理,然后为 99 年禁牧处理,最后为 79 年禁牧处理。

对比 2004 年和 2005 年的草原土壤的斥水性,发现存在较大的差异,其中 2004 年表现为“弱—强—弱”的单顶点趋势,而 2005 年则具有至少 2 种趋势,并且整体上 2004 年表现出斥水性的土壤样点多于 2005 年,可能和 2004 年降雨较多有关,2004 年 5~9 月份的降雨为 288.3 mm,而 2005 年的同期降雨

为 125.1 mm, 可见降雨较多的年份, 土壤表现出斥水性的可能性会大大增加。另外, 从 2 年的土壤斥水强度(图 4 和图 5)和同期(图 3a 和图 3b)的降雨分布可初步判断, 土壤表现较强斥水性的时间常常是降雨较多的季节。根据当前对土壤斥水性的研

究^[12]可知, 总体上土壤斥水性是由土壤斥水物质诱导产生的, 降雨可能是间接影响土壤斥水性的因素, 可能降雨增加了草地的地上和地上部生物量^[13, 14], 从而产生了更多的斥水物质, 导致雨季土壤斥水性增强。

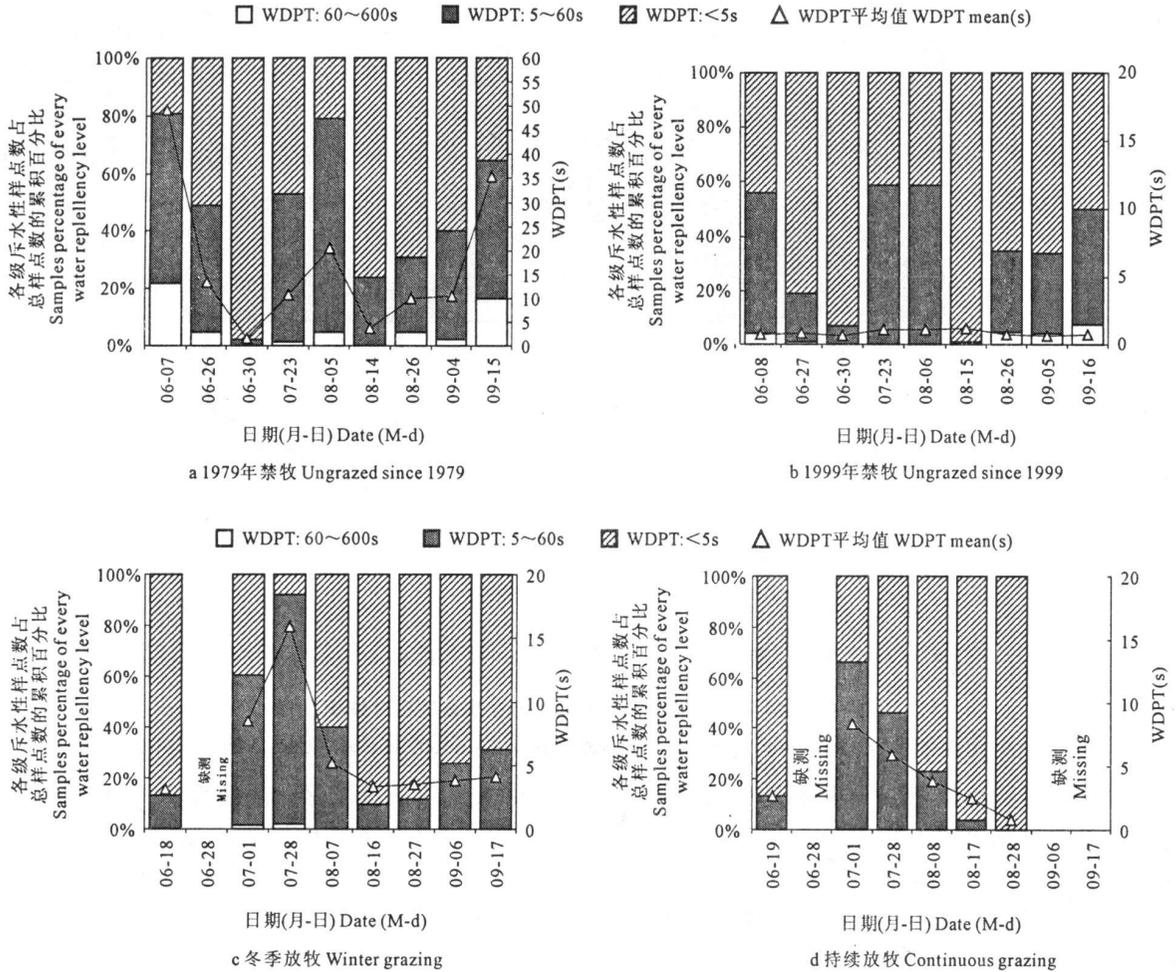


图 5 2005 年不同利用方式下土壤斥水性的相对频率

Fig. 5 Relative frequency of water repellency of measured sites ($n=100$) in different treatments in 2005

虽然国外对土壤斥水性的研究最早可以追溯到 100 多年前, 专门的研究也有近 50 年的历史, 但是仍然存在“难以分离斥水物质、难以建立土壤斥水特性和周围土壤特性及环境之间的固定联系或机制”等问题^[14]。因此, 本研究仅仅通过试验, 初步研究了内蒙古草原土壤的土壤斥水状况及不同放牧强度对其的影响, 对于试验现象的解释还需要进行深入的研究。

3 结 论

1) 草原土壤总体上表现为轻度斥水性或无斥水性, 少数样点可以表现为强烈斥水性, 且草原土壤的斥水性在不同季节和不同年际间所表现的变化趋

势也不同, 一般雨季的土壤斥水性较强。

2) 不同的利用方式对草原土壤的斥水性的季节变化规律具有一定的影响, 存在时间上的滞后性, 一般持续放牧处理最先在雨季出现较多的样点表现斥水性, 其次为冬季放牧处理, 然后为 1999 年禁牧处理, 最后为 1979 年禁牧处理。

参 考 文 献:

[1] 杨邦杰, Blackwell P S, Nicholson D F. 土壤斥水性引起的土壤退化、调查方法与改良措施研究[J]. 环境科学, 1993, 15(4): 88-90.
 [2] Dekker L W, Ritsema C J. How water moves in a water repellent sandy soil. 1. Potential and actual water repellency[J]. Water Resources Research, 1994, 30: 2507-2517.

- [3] Carrillo M L K, Lety J, Yates SR. Unstable water flow in a layered soil; 1. Effects of a stable water-repellent [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2000, 64: 450—455.
- [4] Witter J V, Jungerius P D, Van Harkel M J. Modeling water erosion and the impact of water repellency [J]. *Catena*, 1991, 18: 115—124.
- [5] Dekker L W, Jungerius P D. Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands in Dunes of the European Coasts [J]. *Catena Suppl*, 1990, 18: 173—183.
- [6] Dekker L W, Ritsema C J, Oostindie K. Extent and significance of water repellency in dunes along the Dutch coast [J]. *Journal of Hydrology*, 2000, 231—232: 112—125.
- [7] Newton P C D, Carran R A, Lawrence E J. Reduced water repellency of a grassland soil under elevated atmospheric CO₂ [J]. *Global Change Biology*, 2003, 10: 1—4.
- [8] Tong C, Wu J, Yong S, et al. A landscape-scale assessment of steppe degradation in the Xilin River Basin, Inner Mongolia, China [J]. *Journal of Arid Environment*, 2004, 59: 133—149.
- [9] 陈佐忠, 汪诗平. 中国典型草原生态系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 380—391.
- [10] 吴延磊, 李子忠, 龚元石. 两种常用方法测定土壤斥水性结果的相关性研究 [J]. *农业工程学报*, 2007, 23(7): 8—13.
- [11] Jaramillo D F, Dekker L W, Ritsema C J, et al. Occurrence of soil water repellency in arid and humid climates [J]. *Journal of Hydrology*, 2000, 231—232: 105—111.
- [12] Doerr S H, Shakesby R A, Walsh R P D. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance [J]. *Earth-Science Reviews*, 2000, 51: 33—65.
- [13] Bai Y F, Han X G, Wu J G, et al. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland [J]. *Nature*, 2004, 431: 181—184.
- [14] Wu L, He N, Wang Y, et al. Storage and dynamics of carbon and nitrogen in soil after grazing exclusion in *Leymus chinensis* grasslands of northern China [J]. *J Environ Qual*, 2008, 37: 663—668.

Seasonal change of soil water repellency in Inner Mongolia grassland

LI Zi-zhong, WU Yan-lei, GONG Yuan-shi, WANG Zhong-yan

(*Department of Soil and Water Sciences, College of Resources and Environment Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China*)

Abstract: Soil water repellency is a physical phenomenon in which water can not or be very difficult to wet the soil surface, and the soil is called water repellent soil. The study area was the *Leymus chinensis* steppe plot of Inner Mongolia grassland ecosystem research station of the Chinese Academy of Sciences, located in the Baiyinxile pasture in Xilinhaote of the Inner Mongolia. The objective of this study was to find out soil water repellency in grasslands of Inner Mongolia as influenced by different grassland utilization patterns (including ungrazed since 1979 and 1999, winter grazing and continuous grazing) using water drop penetration time (WDPT). The results showed that the slightly hydrophobic or hydrophilic soil samples were often observed, and soil water repellency showed stronger during rainy season or rainy year than during no rainy season or dry year. And its seasonal change was affected by grazing intensity, which is that many hydrophobic soil samples are found earlier in continuous grazing plot, later in winter grazing plot and ungrazing plot since 1999, then in ungrazing plot since 1979.

Keywords: grassland utilization patterns; grassland soil; soil water repellency