

封育对黄河源头玛多高寒草原水源涵养的影响

李红琴^{1,4}, 乔小龙², 张镜铨³, 张法伟^{1,4}, 李英年^{1,4}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001; 2. 果洛州玛多气象局, 青海 果洛 814000;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4. 中国科学院高原生物适应与进化重点实验室, 西宁 810001)

摘要: 为探讨封育对高寒草地水源涵养能力的影响, 以黄河源头玛多高寒草原封育和未封育的样地为研究对象, 通过对降水、土壤湿度、渗漏量的观测, 利用水平衡法计算草地的实际蒸散量, 得到以下结果: 植物生长期内的 5 月 1 日—9 月 28 日, 0—40 cm 土壤实际贮水量在 16.89~98.16 mm 之间, 封育与未封育条件下差异极小; 5 月 1 日—9 月 28 日 40 cm 深层处封育与未封育渗漏量分别为 6.70 mm 和 8.55 mm, 占同期降水量的 3% 和 4%, 依此推算年内约 11 mm 的降水渗入地下。5 月 11 日至 9 月下旬, 封育与未封育植被蒸散量分别为 272.95 mm 和 299.36 mm, 自然放牧的植被蒸散量比围栏封育地高, 考虑到冷季降水全部用于蒸发, 可推算玛多高寒草原实际蒸散量约为 334.86 mm, 稍大于降水量(318.5 mm)。围栏封育后, 0—40 cm 整层平均容重降低 6%, 土壤毛管持水量和饱和持水量分别增大了 16% 和 14%; 近 10 a 的封育不仅降低了土壤容重, 而且使土壤毛管持水量和饱和持水量分别按每年 1.95 mm 和 1.77 mm 的速率增加, 表明封育在一定程度上提高了土壤的水源涵养能力, 对草场恢复有利。

关键词: 三江源; 封育; 土壤含水量; 蒸散

中图分类号: S152.7⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2015)01-0195-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2015.01.038

Effects of Fencing on the Soil Water Conversation in Maduo Alpine Grassland—source of Yellow River

LI Hongqin^{1,4}, QIAO Xiaolong², ZHANG Yili³, ZHANG Fawei^{1,4}, LI Yingnian^{1,4}

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001; 2. Maduo Meteorological Bureau, Guoluo, Qinghai 814000; 3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101; 4. Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001)

Abstract: Two types of grassland including grazing and fencing for 11 years belonging to Maduo meteorological administration were used to study the effects of fencing on the soil water conversation. Precipitation, soil water content and water percolation were observed and then evapotranspiration was calculated by water equilibrium analysis method. The results showed that soil water content in the layer of 0—40 cm was between 16.89 mm and 98.16 mm from May to October. There was little difference between grazing and fencing grassland. In the same time, water percolation in the 40 cm was 6.70 mm and 8.55 mm accounting for 3% and 4% of the rainfall in fencing and grazing grassland respectively, evapotranspiration in grazing grassland was a little higher than fencing grassland and was 272.95 mm and 299.36 mm respectively. Actual evapotranspiration was 334.86 mm and a little higher than rainfall which was 318.5 mm in Maduo alpine grassland. Soil bulk density decreased by 6% and capillary and maximum water holding capacity increased by 16% and 14% after fencing. Results above indicated that fencing could increase the soil water holding capacity in some extent and it was favorable to grassland restoration.

Key words: three-rivers sources region; fencing; water content; evapotranspiration

土壤水分是土壤的重要组成部分, 积极参与土壤中物质的转化过程。三江源高寒生态系统受气候变化和人类干扰的影响, 草场急剧退化, 严重影响着当地牧民的生活状况和我国大部分地区的生态安全。为保护日益

收稿日期: 2014-06-23

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDB03030502); 国家自然科学基金项目(31300385, 31270523, 31070437); 青海省自然科学基金项目(2014-Z-901)

第一作者: 李红琴(1981—), 女, 博士, 助理研究员, 主要从事草地生态学研究。E-mail: lihongqin_00@126.com

通信作者: 李英年(1962—), 男, 学士, 研究员, 主要从事全球变化生态学研究。E-mail: ynli@nwipb.cas.cn

退化的三江源生态系统,国家于 2005 年在该地区实施了全面的生态保护战略,其中围栏封育是推广的措施之一。有关封育对草地影响的研究报道较多,但多集中于高寒草甸群落特征^[1]、生物量^[2]、土壤理化性质^[3]等方面。而有关封育对土壤水分变化以及水源涵养能力影响的报道较少^[4],特别是对高寒草原持水能力方面的报道更为稀少。

降水是高寒草原土壤水分的主要来源,并通过地下渗漏、地表径流和蒸散而损失。土壤蓄水能力是评价陆地生态系统水源涵养,调节水循环的主要指标之一^[5]。青藏高原高寒草地植被发生退化后,草地土壤的水文过程、土壤结构及其理化性质发生了严重改变^[6]。围栏封育对高寒草地植被、土壤等相关生态特征影响的同时,能否引起土壤水分贮量及持水能力的变化?基于此,本文选择黄河源头玛多县气象局草地生态观测站封育和自然放牧样地的高寒草原,开展土壤水分监测方面试验研究,以期得到相关结果,为保护寒区生态环境提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究在青海省果洛州玛多县气象局草地生态观测站试验地(34°55′N,98°10′E,海拔 4 270 m)进行。区域属高原大陆性气候,年内无四季之分,仅有冷(冬季)暖(夏季)之别。据玛多气象局资料分析,年平均气温-4.1℃,最冷的 1 月份为-16.8℃,最热的 7 月份为 7.5℃,玛多县地区因海拔高辐射强,气温日较差较大。年降水量 318.5 mm,降水的年际变化大,最多年份(488.3 mm,2000 年)是最少年份(184.0 mm,1962 年)的 2.7 倍多,降水的季节分配很不均匀,暖季的 5—9 月降水量(269.8 mm)占年总降水量的 85%。全年无绝对无霜期,相对无霜期仅几天而已。该地区处在西风急流带的边界层,故多大风且维持时间长,形成了冬季漫长、严寒、干燥、多大风,夏季短促、温凉、多降水的气候条件^[7]。

研究区是以紫花针茅(*Stipa purpurea* Griseb.)为主的典型高寒草原,伴生种有草地早熟禾(*Poa pratensis* Linn.)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca* Linn.)、多裂委陵菜(*Potentilla multifida* Linn.)、黑褐苔草(*Carex atrofusca* Schkuhr subsp.)、棱子芹(*Pleurospermum* Hoffm.)、黄花棘豆(*Oxytropis ochrocephala* Bunge.)、矮火绒草(*Leontopodium nanum* Hand.)、粗壮嵩草(*Kobresia robusta* Maxim.)等,特别是在退化的草地矮火绒草占据很大的比例。植被稀疏,覆盖度 40%~65%,地上植被生物量很低。土壤为高山草原土,土壤中沙粒明显,有机物质含量低^[8]。

所选择的封育试验地于 2003 年封育,因管理不完善,部分冬季偶有短暂时间的放牧活动;围栏试验地外为当地牧民的天然放牧区,放牧强度约 1.3 只羊单位/hm²。

1.2 研究资料与方法

1.2.1 降水量、气温及土壤湿度(贮水量)监测 试验样地距玛多县气象局约 6 km,海拔高度约 4 280 m,故降水、气温等相关气象资料采用玛多气象局观测值。封育与未封育(自然放牧地)土壤湿度测定时从每个试验样地取 5 个重复,且于 2013 年植物生长季的 5—9 月每月 8,18,28 日用土钻烘干法测定。考虑到土层浅薄,40 cm 以下为砾石层,土壤分 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm 和 30—40 cm 层次取样,并依次通过取样称重,在 85℃烘箱烘至恒重称重,最后计算出土壤质量含水量(占干土重百分率,%)。

1.2.2 土壤容重及持水能力测定 2013 年在植物生长末期的 8 月底,用内径 5 cm 的环刀自地表至深层按 0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm 分层收集封育与未封育的土壤样品,每个样地 3 个重复,取样后迅速密封,带回实验室进行土壤容重、持水特征等分析。

1.2.3 土壤水渗漏量测定 2013 年 5 月在封育与未封育样地,分别架设自行设置的土壤水分渗漏量观测系统,以准确观测土壤水分依深度梯度变化的渗漏量。土壤水渗漏量观测在每个试验区 2 个重复。因玛多草原土壤层较薄,40 cm 已经达到石质接触面,因此按土层 0—10 cm,0—20 cm,0—30 cm 和 0—40 cm 4 个层次梯度观测。每个重复设计时,先截取 15,25,35,45 cm 长,内径为 20 cm(与气象站蒸发和降水观测器皿内径相同),管壁厚 4 mm 的 4 根钢管,每个试验区 2 个重复。架设时考虑到保持土壤原状结构不受破坏,刚性垂直砸入土壤中(为便于砸入,底部提前设计为刀刃状)。地表预留 5 cm 高度以防止钢管内外水相互流动而影响精度,即砸入土壤的钢管深度分别为 10,20,30,40 cm。为避免管壁截面受降水流动而产生误差,上沿也设计为刀刃状。待钢管垂直砸入土壤后,再在并排的中央开挖 220 cm(长)×80 cm(宽)×100 cm(深)的坑道,在坑道内侧不同深度用小铲或改锥平行掏空至钢管底部,置稍大于钢管直径的尼龙网(防止渗漏时泥沙掉落而影响漏斗水的正常流动),然后套上提前准备好的接水漏斗,并密封漏斗与钢管接触处。每个漏斗底部连接有内径

0.6 cm 的软塑管,并连接到坑道内底部储水瓶。整个安装完毕后,在不影响软管正常导流的情况下用土填充钢管底漏斗周围所掏空的部分,最后用 3 cm 厚的防潮隔热材料将坑道四侧加固,顶部做 230 cm(长)×90 cm(宽)的隔热防潮盖板。

考虑到气象站为内径 20 cm 的降水观测皿,并配有专用量杯测定,故渗漏观测直接可用专用量杯测定,观测与土壤湿度测定同步进行,遇较大降水过程时,适时增加观测次数,避免储水瓶渗漏水外溢。2013 年 5—9 月试验期间共观测到 15 次渗漏量。

1.2.4 土壤贮水量、持水能力等参数计算 土壤贮水量:土壤贮水量是指自然状况下一定土层厚度的土壤能够容纳的实际含水量,以土层深度表示。由每次观测的土壤湿度计算公式为:

$$W = F \times H \times S_D \times 10 \quad (1)$$

式中: W 为土壤贮水量(mm); F 为土壤容重(g/cm^3); H 为土壤厚度(cm); S_D 为实测的土壤质量含水率(占干土重百分比,%);10 代表把水层定为毫米的转换系数。

土壤饱和持水量^[9]:系土壤孔隙全部充满水时的含水量。将装有湿土的环刀(环刀质量为 m)揭去上、下底盖,仅留垫有滤纸带孔底盖,放入平底盆内,注入并保持盆中水层高度至环刀上沿为止,使其吸水达 12 h,此时环刀土壤中所有孔隙都充满了水,盖上上、下底盖,水平取出,用干毛巾擦掉环刀外沾的水,立即称量质量(m_1)即可算出土壤饱和持水量(mm)。

土壤毛管持水量:系土壤能保持的毛管支持水(上升水)的最大量。将上述称量质量(m_1)后的环刀,仅留垫滤纸的带网眼的底盖,放置在铺有干砂的平底盘中 2 h,此时环刀中土壤的非毛管水分已全部流出,但毛细管中仍充满水分。盖上底盖后立即称量质量(m_2),即可计算出毛管持水量(mm)。

植被实际蒸散量:植被实际蒸散量用地表水分平衡公式计算得到,对于无灌溉的草地来讲,有^[10]:

$$ET = P - f - \Delta W - \Delta Q \quad (2)$$

式中:ET 为实际蒸散量(mm); P 为时段降水量(mm); f 为地表径流(mm); ΔW 为时段土壤贮水量的变化量(mm); ΔQ 为某一土壤深层水分渗漏或地下水补充量(mm)。研究区地下水位较深,对土壤水补给较少,故仅考虑渗漏量。由于试验地地形平坦,地表径流弱,可忽略地表径流($f=0$)。故公式(2)可简化为:

$$ET = P - \Delta W - \Delta Q \quad (3)$$

2 结果与分析

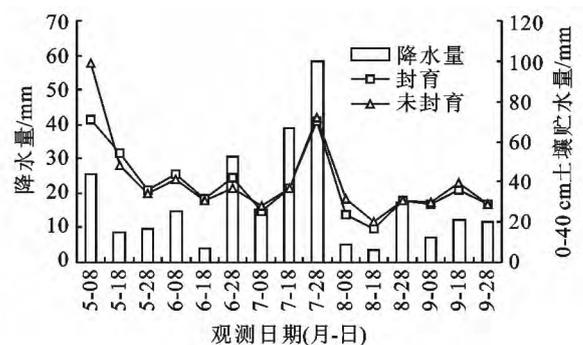
2.1 土壤贮水量季节动态变化及对降水的响应

图 1 显示了 2013 年植物生长季(5—9 月)降水量及 0—40 cm 土壤层次贮水量的旬动态变化。其中土壤贮水量按土壤湿度计算公式计算得到。图 1 表明,2013 年玛多旬降水量(指每月 8—18 日,18—28 日及 28 日至下月 8 日的降水量)在 5—7 月呈递增趋势,7 月处于降水高峰期,8 月和 9 月降水减少,5—9 月降水量为 263.20 mm。降水的这种时间分配影响下,导致土壤贮水量在生长季随时间变化波动明显。

从图 1 看到,封育与放牧的自然样地土壤贮水量随旬序列上变化一致,二者间差异极小,均在整个生长季的 5—9 月

呈现出“高一低—高一低”的变化特点,0—40 cm 土壤贮水量的变化范围在 16.89 mm 和 98.16 mm 之间。5 月初,土壤贮水量高,是由于温度升高,积雪融化,冻结层的土壤消融水依温度垂直梯度的作用补给土壤上层,导致较高的土壤贮水量。6 月到 8 月初植物强度生长,叶面积增大,植被为维持生长,光合作用强,植被在植物生长过程蒸腾耗水加大,土壤也因期间温度高而蒸发明显,植被耗水量(蒸散)明显,虽有降水补给,但入不敷出,导致土壤贮水在波动中下降,遇到较大降水时,土壤贮水量急剧升高,当遇连续降水量较少时下降迅速。8 月底以后,温度下降,降水量减少,植被逐渐停止生长,较低的温度和较厚的地表覆盖物减缓了土壤水的散失,植物蒸腾明显减弱,相反日消夜冻过程使土壤水集聚地表,土壤贮水量逐渐蓄积。

由于高寒草原地区土层浅薄,40 cm 层次以下为砾石结构,地下水补给很少,这就形成了土壤贮水以降水补给为主,不论是封育还是未封育的放牧样地均表现出土壤贮水量(W)对降水量(P)反应敏感,二者间存在显著的正相关关系,如封育状况下有: $W = 0.6899P + 26.353 (r^2 = 0.4333, P < 0.001)$ 。由于封育与未封育样地



注:5月8日降水量代表了前10 d的降水量之和,依次类推;土壤贮水量为当日实际贮水量。

图 1 玛多高寒草原降水及土壤贮水量季节动态

土壤贮水量变化趋势一致,且差异极小,表明封育对土壤贮水量的影响较小。可能是由于尽管封育对草地的植被恢复起到了一定作用,但对土壤的物理性状作用具有滞后效应,对土壤实际贮水量的影响需要更长的时间才能显现出来。

2.2 土壤渗漏量、植被实际蒸散量的季节动态及影响

2.2.1 土壤渗漏量 本研究自行架设的渗漏观测装置安装深度为 40 cm。发现围栏封育与未封育的自然放牧地土壤渗漏量差异也不显著(图 2),如 7 月 19—28 日期间,降水量达 58.50 mm,40 cm 处的土壤水渗漏量封育与未封育分别为 0.90 mm 和 1.20 mm,而在 8 月 9—18 日期间降水量为 3.70 mm,封育与未封育地渗漏量均为 0。

尽管高山草原土壤硬实,但仍可形成一定的土壤水渗漏。观测发现,考虑到 5 月中旬前底层土壤仍然冻结而不产生渗漏现象,但从 5 月 19 日到 9 月 28 日每月 8,18,28 日观测的结果(实际上代表了进入春季以后到 9 月 28 日期间的渗漏量)来看,其 40 cm 封育与未封育试验地渗漏量分别达到 6.70 mm 和 8.55 mm,分别占有渗漏量的 5 月 8 日—9 月 28 日期间降水量(237.80 mm)的 3% 和 4%。也就是说,在玛多高寒草原将有降水量的 3%~4% 水量渗漏到 40 cm 土壤层下面。若按多年平均降水量 318.5 mm 粗略计算,每年约有 10~12 mm 的降水量渗入地下,平均为 11 mm。

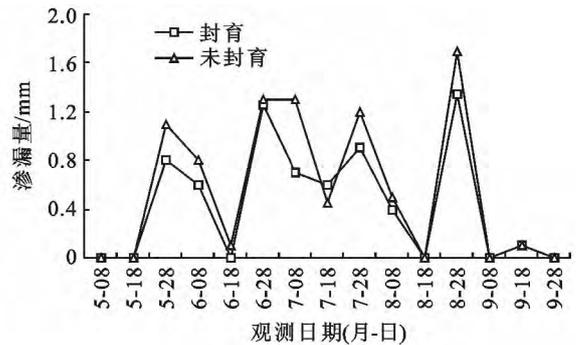
从封育与未封育的自然放牧地渗漏量的差异性看到,封育地渗漏量比未封育地少 1 个百分点,恰恰也证明封育后土壤容重下降,质地变得比未封育地松散而可贮存相对高的土壤水。而在未封育地虽然质地相对硬实,但土壤根系的滞水作用减弱,土壤水更以重力水的作用较多地渗漏到深层。

2.2.2 植被实际蒸散量 依水量平衡方程(3)计算得到玛多高寒草原封育与未封育的自然放牧地植物生长季实际蒸散量的动态变化如图 3。图 3 显示,在植物生长初期 5 月中旬,未封育的自然放牧地蒸散明显大于封育样地,这是由于自然放牧地枯落物覆盖较少,地表裸露,加之整个冬春季多大风,气候干旱季节,太阳辐射强烈,日间土壤易获得短波辐射能量,地表加热快,夜间因地表裸露冷却也很迅速,冻融交替显著;同时,土壤冻融交替季节,冻结层土壤因土壤存在较大的温度梯度其冻结层土壤水因热力传导的作用源源不断地补给上层,导致土壤蒸发明显。进入 6 月以后,封育及自然放牧地植被实际蒸散量基本相同,差异不明显。所表现的

旬变化规律与降水量变化和土壤贮水量的变化(图 1)一致,均在 6 月中上旬植物进入强度生长初期较低,随 7 月降水增多温度升高,植物生长加速植被实际蒸散量增加,8 月上旬年内旬蒸散量最高,封育和自然放牧地分别为 51.79 mm 和 44.97 mm。进入 8 月中下旬,随降水量急剧减少,可供蒸散的水分非常少,温度下降明显使植物蒸腾减少,地表因植物处在生长末期植被覆盖明显加大,可使土壤蒸发减少,减缓了生长季后期的蒸散过程,达一个低值期。

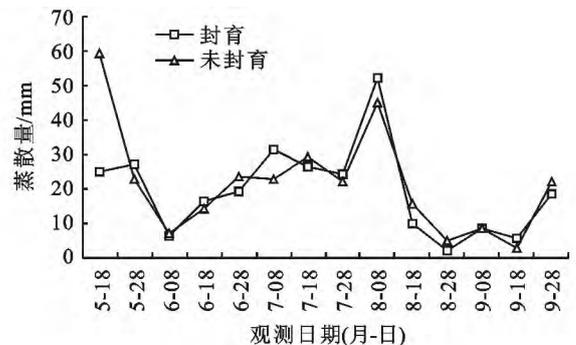
由于高寒草原植被稀疏,地上生物量很低,即使在进行围栏封育的状况下,8 月底的地上生物量也很低(为 61.26 g/m²),仅比未封育的自然放牧地的 52.22 g/m² 高 17%,二者差异不显著。这些说明了除植物生长初期 5 月中旬因植被覆盖物的影响导致封育地植被蒸散量明显小于自然放牧地外,植物生长期的其他时期,植被蒸散量二者差异极小。在整个植物生长季的 5 月中旬到 9 月下旬,围栏封育和自然放牧样地植被蒸散量分别为 272.95 mm 和 299.36 mm,表明 5 月中旬到 9 月下旬期间,围栏封育 11 a 后,围栏封育地植被水分的蒸散比自然放牧地减少 26.41 mm,对保持水分有利。同时可以粗略估算,在暖季围栏封育和自然放牧样地植被蒸散量与同步降水量(263.2 mm)基本相当。

从水量平衡关系来看,玛多高寒草原年降水量 318.5 mm,假设冷季(11 月到次年 4 月)降水量较少,而且土壤冻结后不能入渗至土壤深层,基本全部蒸发到大气中,多年平均约 48.7 mm,依此估算玛多高寒草原年实



注:5月8日代表了整个前期渗漏量,5月18日代表了前10 d的渗漏量,依次类推。

图 2 玛多高寒草原土壤水渗漏量动态变化



注:5月18日代表了前10 d的蒸散量。

图 3 玛多高寒草原蒸散量的季节动态

际蒸散量约为 334.86 mm。这里对暖季蒸散量取了封育与未封育的平均,这样做意义并非严格,但至少可以说明玛多的实际蒸散量的多少。

2.3 土壤容重及水源涵养能力

2.3.1 容重 受土壤表层植物生长及风雨侵蚀淋溶等综合作用的影响,土壤在 0—40 cm 层次内的容重自上而下依次升高,封育与未封育的自然放牧地 0—10 cm 土壤容重分别比 20—40 cm 层次低 0.12 g/cm³ 和 0.11 g/cm³(表 1),随土壤深度增加升高幅度基本一致。但受外界地表活动影响下,封育后的高寒草原土壤容重低于未封育的放牧草地。由表 1 看到,0—40 cm 各层次土壤容重表现为封育比未封育的低 0.03~0.23 g/cm³,0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm 3 个土层土壤平均容重封

表 1 土壤容重及持水量

土层深度/cm	样地	容重/(g·cm ⁻³)	毛管持水量/mm	饱和持水量/mm
0—10	封育	1.57±0.04	40.11±1.15	41.60±0.75
	放牧	1.61±0.12	37.00±3.39	39.11±3.83
10—20	封育	1.69±0.10	36.43±3.79	37.25±3.69
	放牧	1.92±0.07	27.52±1.81	27.96±1.77
20—40	封育	1.69±0.12	76.32±5.37	77.46±5.41
	放牧	1.72±0.03	66.96±1.32	69.80±0.82
0—40	封育	1.65	152.86	156.31
	放牧	1.75	131.48	136.87

育分别比未封育样地降低 2%,12%和 2%,0—40 cm 整层容重平均降低 6%。这些容重随土壤深度增加或封育比未封育地低的差异并未达到显著性检验的水平,但至少可以说明,围栏封育措施对容重的降低有利,而容重是直接影响土壤有机碳、土壤水分的重要参数。表明封育措施下的容重降低对提高土壤固碳持水能力有利。

2.3.2 土壤最大持水量及毛管持水量 一般来讲,土壤最大持水量越大表明土壤的贮水能力越强。由表 1 看到,与未封育的放牧地相比,围栏封育后土壤毛管持水量和饱和持水量增加显著,0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm 3 个土层毛管持水量分别增加 3.10,8.90,9.40 mm;饱和持水量分别增加 2.50,9.30,7.70 mm。0—40 cm 整层土壤,封育样地的毛管持水量和饱和持水量比放牧样地分别高出 21.40 mm 和 19.50 mm,表明封育能在一定程度上提高草地土壤的持水性能。考虑到封育是 2003 年开始的,依此计算得到,近 11 a 封育后土壤毛管持水量和饱和持水量分别按每年 1.95 mm 和 1.77 mm 的速率在增加。

统计分析(表 1)表明,围栏封育的状况下,0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm 3 个土层土壤毛管持水量比未封育样地分别提高了 8%,32%和 14%,饱和持水量分别提高了 6%,33%和 11%。0—40 cm 整层土壤毛管持水量和饱和分别增加了 16%和 14%。这些不仅表明了毛管水和饱和水与容重之间存在极显著的反相关关系($P<0.01$),而且说明植被禁牧封育后地表免遭践踏使土壤表面硬实度降低,土壤孔隙度增加,同时禁牧后地表植被生物量增加,并长期覆盖在地表将减缓土壤水分的蒸发。这些综合作用引起土壤持水能力升高。

从表 1 的毛管持水量和饱和持水量非常接近这个特点表明,玛多高寒草原土壤的毛管孔隙度占的比重较大,这与在三江源区已有的“土壤水源涵养量主要由土壤毛管孔隙度决定”的结论^[11]是一致的。

3 讨论

本研究涉及的玛多高寒草原封育与未封育的放牧样地 2013 年的土壤水分含量均在生长季初期的 5 月初较高,这与刘安花等^[12]对海北高寒矮嵩草草甸土壤水分的研究结果相似。之后土壤水分含量主要随降水量的波动而变化,这是因为降水是试验地内土壤水分的主要来源,因此大气降水是土壤水分变化的主导因素。封育能够改善草地的覆盖度^[13],而覆盖可以增加浅层土壤水分含量^[14],但本研究中,封育与未封育的放牧样地之间的水分差异很小,可能是因为试验地植被稀疏,围栏封育对植被的影响覆盖有限,从而未引起土壤水分的变化。

土壤容重与孔隙度是土壤物理性质的重要参数,直接影响着土壤水源涵养量的高低^[15]。封育能改变土壤的容重和孔隙度,这主要是通过改变地表覆盖物增加碳储存和免遭动物践踏等作用有关。而有研究表明封育能使土壤中的碳量提高^[16],但也有研究表明封育并不能使土壤中的碳量显著提高^[17],这种不同主要是由放牧强度是否超越了草地的承载力决定的。由于本试验样地的碳含量没有测定,因而不能确定封育对土壤碳影响的大小,但本研究表明,封育使土壤容重降低,毛管持水量和最大持水量小幅度提高,与诸多研究结果相似。因本试验涉及的玛多高寒草原样地处在河滩岸阶面上,土壤属河床沉积物,其毛管持水量和饱和持水量提高的幅度不大,但可以预测的是,在那些堆积物、坡积物、冲积物的高寒草原植被区其毛管持水量和饱和持水量的提高将更为显著。

在相同植被类型下,覆盖度越高,蒸腾作用消耗的水分越多,但研究区内风力侵蚀严重,紫外线强,土壤水分蒸发剧烈,植被覆盖对地表具有保护作用,能有效降低土壤水分的蒸发。本研究中,围栏封育样地的蒸散量比自然放牧地低 28.26 mm,当然影响蒸散的因素很多,包括气温、净辐射、相对湿度^[18]等,由于本试验进行时,未监测这些指标,因而还不能确定导致封育样地蒸散量变小的具体原因,需要在以后试验中进一步研究。

4 结论

(1)土壤实际含水量在生长季初期的 5 月较高,之后受降水影响波动较大,与降水分配关系密切。同时,封育与未封育放牧样地之间差异极小,植物生长期 0—40 cm 土壤贮水量的变化保持在 16.89~98.16 mm 之间。

(2)5 月 1 日—9 月 28 日期间 40 cm 层次处封育与未封育渗漏量分别达到 6.70 mm 和 8.55 mm,分别占同期间降水量的 3%和 4%。若按多年平均降水量 318.50 mm 粗略推算,将约有 11 mm 的水量渗入地下。

(3)5 月中旬到 9 月下旬,围栏封育和自然放牧样地植被蒸散量分别为 272.95 mm 和 299.36 mm,自然放牧地的植被蒸散量比围栏封育地高 28.26 mm,说明封育有利于保持土壤水分。同时可以粗略估算,在暖季围栏封育和自然放牧样地植被蒸散量与同期降水量基本相当。假设冷季土壤冻结后的降水不能入渗至土壤而全部蒸发到大气中,那么玛多高寒草原年实际蒸散量约为 334.86 mm,实际蒸散量较降水稍大。

(4)围栏封育后,0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm 3 个土层土壤平均容重分别比未封育样地降低 2%,12%和 2%,0—40 cm 整层容重平均降低 6%,说明围栏封育降低了土壤容重,而容重降低对提高土壤固碳持水能力有利。

(5)围栏封育的状况下,0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm 3 个土层土壤毛管持水量比未封育样地分别提高了 8%,32%和 14%,饱和持水量分别提高了 6%,33%和 11%。0—40 cm 整层土壤毛管持水量和饱和持水量分别增大了 16%和 14.2%。近 11 a 的封育土壤毛管持水量和饱和持水量分别按每年 1.95 mm 和 1.77 mm 的速率在增加。

参考文献:

- [1] 闫玉春,唐海萍. 围栏禁牧对内蒙古典型草原群落特征的影响[J]. 西北植物学报,2007,27(6):1225-1232.
- [2] Cheng J,Wu G L,Zhao L P, et al. Cumulative effects of 20-year exclusion of livestock grazing on above- and belowground biomass of typical steppe communities in arid areas of the Loess Plateau,China[J]. Plant Soil Environment,2011,57(1):40-44.
- [3] Li Y,Zhou X,Brandle J R, et al. Temporal progress in improving carbon and nitrogen storage by grazing enclosure practice in a degraded land area of China's Horqin sandy grassland[J]. Agriculture,Ecosystems & Environment,2012,159:55-61.
- [4] Zhang Y,Liu S, Ma J. Water-holding capacity of ground covers and soils in alpine and sub-alpine shrubs in western Sichuan, China[J]. Acta Ecologica Sinica,2006,26(9):2775-2882.
- [5] 赵世伟,周印东,吴金水. 子午岭北部不同植被类型土壤水分特征研究[J]. 水土保持学报,2002,16(4):119-122.
- [6] 王军德,王根绪,陈玲. 高寒草甸土壤水分的影响因子及其空间变异研究[J]. 冰川冻土,2006,28(3):428-433.
- [7] 张国胜,伏洋,杨琼,等. 青海省天然草地类型空间分布特征及气候分区[J]. 草业科学,2009,26(1):23-29.
- [8] 宋立生,赵之重,徐剑波,等. 基于 TM 遥感影像的玛多县草地土壤有机质的时空格局反演[J]. 草业科学,2011,28(12):2069-2073.
- [9] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1977:522-524.
- [10] 刘昌明,王会肖. 土壤—植物—大气界面水分过程与节水调控[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [11] 徐翠,张林波,杜加强,等. 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响[J]. 生态学报,2013,33(8):2388-2399.
- [12] 刘安花,李英年,张法伟,等. 高寒矮高草甸植物生长季土壤水分动态变化规律[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(10):125-130.
- [13] Zhao L P,Su J S,Wu G L, et al. Long-term effects of grazing exclusion on aboveground and belowground plant species diversity in a steppe of the Loess Plateau,China[J]. Plant Ecology and Evolution,2011,144(3):313-320.
- [14] 谢慧慧,樊军,郝明德,等. 地表覆盖对黄土高原水蚀风蚀交错区人工草地水分利用的影响[J]. 草地学报,2010,18(2):172-176,182.
- [15] 孙艳红,张洪江,程金花,等. 缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2006,20(2):106-109.
- [16] Reeder J D,Schuman G E. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands[J]. Environmental Pollution,2002,116(3):457-463.
- [17] Noretto M D,Jobbagy E G,Paruelo J M. Carbon sequestration in semi-arid rangelands:Comparison of *Pinus ponderosa* plantations and grazing exclusion in NW Patagonia[J]. Journal of Arid Environments,2006,67(1):142-156.
- [18] 范晓梅,刘光生,王一博,等. 长江源区高寒草甸植被覆盖变化对蒸散过程的影响[J]. 水土保持通报,2010,30(6):17-21,26.