

宁夏盐池不同草地类型的土壤水分平衡研究

刘娜娜¹, 陈惠娟¹, 孔德杰^{2,3,4}

(1. 宁夏农业勘查设计院, 银川 750002; 2. 宁夏农林科学院 农业生物技术研究中心, 银川 750002;
3. 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100; 4. 陕西省循环农业工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:以位于农牧交错地带盐池县的 6 种不同草地类型土壤含水量为研究对象,通过监测各种类型草地 0—100 cm 土层质量含水量的动态变化情况,运用 Surfer 制图软件分析牧草生育期土壤水分的空间分布特征;利用土壤水分平衡方程和土壤分层贮水量公式计算不同草地 0—100 cm 土层总贮水量变化情况,结合试验地生长季降水量变化,分析了不同草地类型土壤贮水量动态变化与蒸散量的变化规律,结果表明:降雨和植被类型是不同类型草地土壤水分动态变化的主要原因,沙丘土壤水分随降雨量变化较为明显;移栽柠条地土层剖面生育期水分变异系数最大,表明干旱时土壤失水较多,降雨充足时蓄水最多。因此应增加沙丘植被覆盖,对柠条、苜蓿、草地应适度进行放牧和刈割,控制植被生长,减少植被蒸腾蒸发,提高土壤水分固持能力,维持土壤水分的可持续发展。

关键词:土壤水分; 草地类型; 贮水量; Surfer

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)01-0023-06

Soil Moisture Budget in Different Types of Grasslands in Yanchi County of Ningxia Arid Zone

LIU Nana¹, CHEN Huijuan¹, KONG Dejie^{2,3,4}

(1. Ningxia Agricultural Institute of Survey Design, Yinchuan 750002, China; 2. Agricultural
Biotechnology Center of Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China;
3. College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. Research Center
of Recycle Agriculture Engineering and Technology of Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Six types of grasslands in Yanchi County of Ningxia arid zone were chosen as the research sites. Soil moisture monitoring in the depths ranging from 0 cm to 100 cm in 6 types grasslands was carried out, and spatial characteristics of soil moisture was analyzed by Surfer software. The total soil moisture storage of different depth was calculated by soil water balance equation, moreover, the change of soil moisture storage and evapotranspiration were analyzed based on the precipitation in the test plots of different grasslands in growing season. The results showed that rainfall and vegetation types were the main reason for soil moisture dynamic variation in different types in Ningxia farming pastoral zone, soil moisture variation of sand dune is more intense, and the coefficient of variation changed a lot in the field of transplanting *Caragana korshinskii*, indicating that soil water loss was the highest in the drought condition, and most moisture was maintained under the rainfall. So we should increase vegetation coverage of sand dune, and perform moderate mowing and grazing of eugenic vegetation in order to reduce vegetation evapotranspiration, and to keep the soil water resources to be long-term stable and sustainable.

Keywords: soil moisture; grassland types; moisture storage; Surfer

在宁夏中部干旱地区,由于降水少、蒸发强烈,环境总体处于水分亏缺状态,降雨量的多少是影响该地区土壤水分和植物生长的主要因素^[1]。土壤水分是

该地区决定生态系统结构与功能的关键因子^[2-4],不同植物群落土壤含水量的季节动态不同^[5]。本地区土壤水分的丰亏变化直接影响着植物的生存与生长

状况^[6],王新平等^[6]对盐池草原化荒漠带人工固沙植丛区土壤水分动态开展了相关的研究。李学斌等^[7]通过调查荒漠草原 5 种典型植物群落枯落物蓄积量、持水性能、对降雨的截留和对土壤水分蒸发的抑制作用,分析了荒漠草原不同植被类型枯落物的生态水文功能;方楷等^[8]研究表明地形对植物的生长动态规律影响很大,生长初期的土壤水分是植物生长的关键影响因子,并且植物生长耗水主要来自 60—100 cm 土层。何秀珍等^[9]开展的荒漠草原区不同类型草地土壤水分特征研究。以上虽然对盐池主要类型草地土壤水分动态、植被对土壤水分的利用层次、土壤水分的消耗状况进行了相关的研究报道。盐池县封山禁牧政策实施后植被状况有了明显改善,但是生长逐渐茂盛的草地消耗了大量的土壤储存水,可能会造成土壤水分的逐渐干化,进而影响植被生长^[10]。但是盐池草地类型多样,采用一刀切的封育禁牧措施也是不合适的,目前对多种典型草地类型牧草生育期土壤水分变化的综合比较及土壤水分平衡的研究报道还比较少。因此,对宁夏中部干旱地区典型草地土壤水分时空格局及其动态规律进行系统研究,无疑会对研究地区荒漠化防治、退化生态系统的恢复与重建具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

盐池县位于宁夏回族自治区东部,北与毛乌素沙漠相连,南靠黄土高原,是典型的农牧交错过渡地带,气候干燥,生态脆弱,常年风沙活动频繁,属于中温带大陆性气候,年平均气温 7.7℃,7 月平均气温 22.5℃,≥10℃积温为 2 949℃;年日照时数 2 867.9 h,日照率 65%;年平均降水量 250~350 mm,大部分集中在 6—9 月,且多暴雨,降水年变率较大,年蒸发量 2 136 mm,是降雨量的 6~8 倍,年无霜期 162 d。土壤多为灰钙土,还有大面积的风沙土、黄绵土等土壤类型,土壤质地以砂壤、粉砂壤和砂土为主。主要植被类型主要有灌丛、干草原、荒漠草原、沙地植被等,植物种类包括旱生、强旱生的天然草本和人工种植的甘草、柠条,属于半自然植被景观。

1.2 试验设计

在盐池县杨柳堡(37°50′45″N,107°24′04″E)选择移栽柠条地、直播甘草地、天然牧草地,在杨石塘(37°43′53″N,107°15′42″E)选择沙丘上(零星有草)、沙丘下(较少的草)、沙丘旁草地,共 6 种草地类型,2011 年 4 月 15 日草地萌发前和 2011 年 11 月 15 日,用烘干法在每月的 15 号测量不同草地类型 100 m 深的土壤含水量,每 10 cm 测量 1 次。生育期土壤贮存水量

变化、土壤水分样本变异系数计算公式如下:

$$\text{土壤贮水量(mm)} = \text{土壤质量含水率(\%)} \times \text{土壤容重(g/cm}^3\text{)} \times \text{土层厚度(cm)} \times 10 \quad (1)$$

$$\text{土壤水分样本变异系数} = \text{土样含水量样本的均方差} / \text{土样含水量平均值} \quad (2)$$

1.3 数据处理

试验数据处理采用 SPSS 19.0,作图用 Excel 2003, Surfer 7.0 软件。

2 结果与分析

2.1 不同类型草地土壤水分动态变化情况

宁夏盐池干旱风沙区有限的大气降水是荒漠草原水分的直接补给来源,也是无灌溉条件下天然植被得以生存的主要水源之一。由图 1 可以看出,不同草地类型生育期 0—100 cm 土壤平均含水量秋季>春季>夏季,分析其原因:2011 年 4 月 15 日开始测量时,移栽、播种、天然和沙丘上样地的土壤含水量较低,沙丘下和沙丘旁的土壤贮水量比较高,由于 5 月 16 日—6 月 15 日的降雨量只有 11.8 mm,此刻宁夏中部干旱带处于春末夏初,牧草刚刚萌发,风速较大,空气相对湿度低,土壤水分蒸发较强;7 月 16 日—8 月 15 日的降雨量只有 24.1 mm,加之该阶段是牧草生长旺盛时期,对水分的需求非常敏感,加之气温升高,导致的蒸腾蒸发量升高,并且该时期的降雨量较少,只能消耗土壤贮存的水分,8 月 15 日播种甘草处理的土壤贮存水分最低,仅为 33.2 mm。从 8 月 16 日—10 月 15 日月降雨量较大,土壤开始补充水分,并且土壤含水量逐渐增加,11 月 15 日测得土壤含水量达到最大。草地生育期内移栽柠条地、直播甘草地、天然牧草地对降雨的蓄积能力好于沙丘,不同类型土壤水分含量增加量不同。

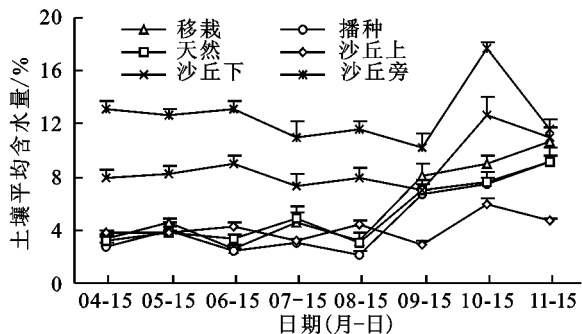


图 1 不同草地类型生育期 0—100 cm 土壤平均含水量

由图 2 可以看出,6 种草地类型土壤水分含量都是春季较低,秋季最高,移栽柠条地、直播甘草地、天然牧草地牧草生育期土壤水分动态变化较为平缓,沙丘上、沙丘下及沙丘旁草地土壤水分含量随降雨量的变化而变化较为剧烈。分析其原因牧草生育前期由

于移栽柠条地、直播甘草地、天然牧草地牧草植被长势较好,干旱地区生长植被根系较发达,消耗了土壤贮存的水分,少量的降雨仅仅湿润土壤表面,并且很容易蒸发,进而导致土壤水分含量较低。而降水进入沙丘后,一部分入渗转化为沙丘水储存在深层沙层中,另一部分以物理蒸发的方式重返大气中,降雨后

沙土含水量迅速增加,天晴后又蒸发较快,因此沙丘上水分变化随降雨变化表现较为剧烈。沙丘上、沙丘外和沙丘下因植被蒸腾较小,土壤表面较大的沙粒、孔隙也抑制了深层土壤水分的蒸发,进而在牧草生育前期深层土壤含水量高于移栽、直播和天然草地土壤含水量。

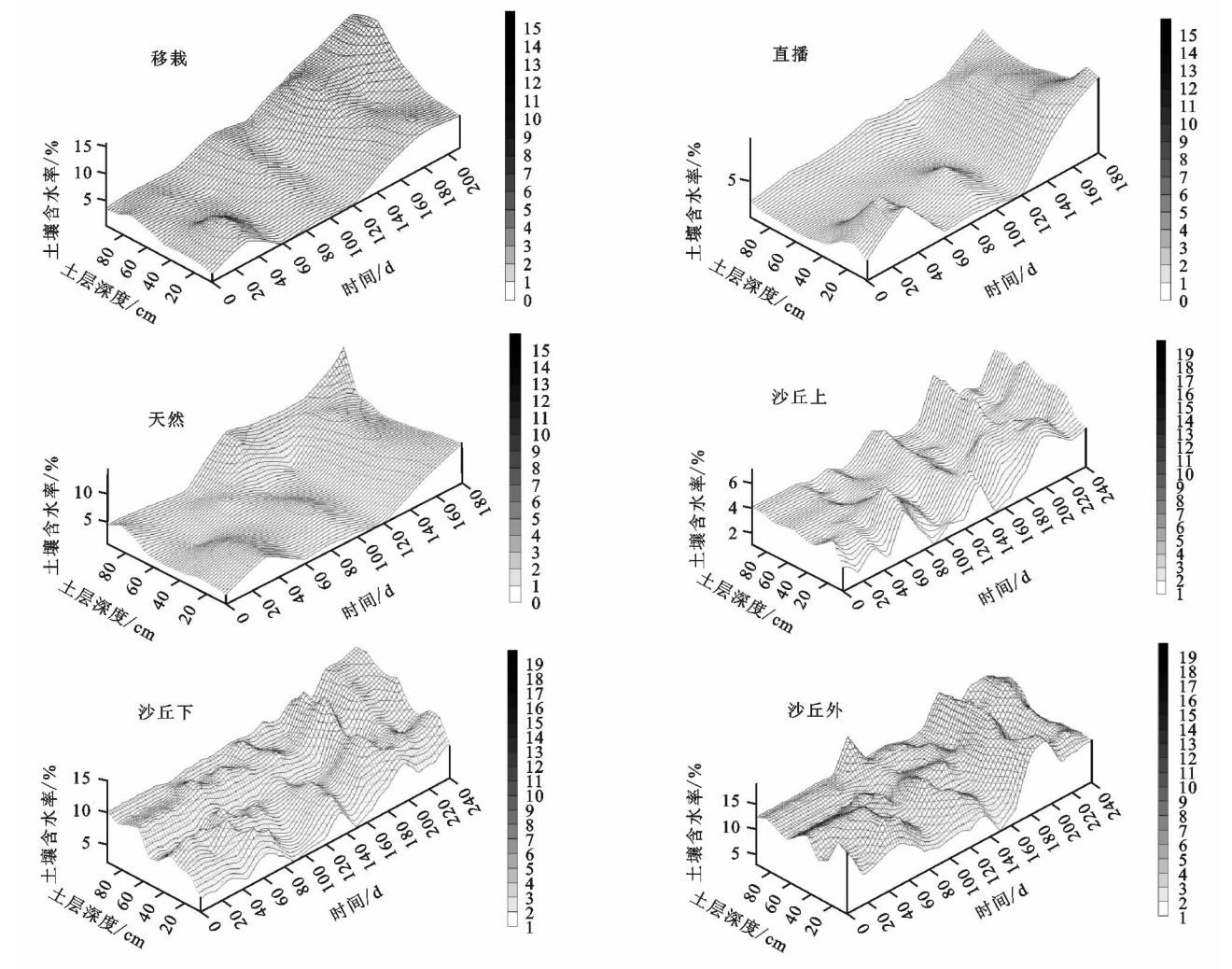


图 2 不同草地类型生育期土壤水分动态变化情况

由表 1 可以看出,在不同生育时期 6 种草地类型 0—100 cm 土壤贮水量有很大的差异,移栽柠条、播种甘草、天然草地、沙丘上、沙丘下、沙丘旁草地生育期平均贮水量依次为 90.5,74.6,82.5,70.9,150.6,200.4 mm,也说明了植被类型和生长状况对土壤贮水量的影响很大。4 月份、5 月份土壤的贮水量是去年夏秋土壤中雨水储备,由于上一年冬季及本年春季降雨较少,空气相对湿度低,气候干燥,随着温度升高,土壤、牧草生长的蒸腾蒸散量增加,蒸散量大于降雨量,土壤处于失水状态。6 月份土壤水分含量最低,7 月之后降雨量开始增加,土壤贮水量也随之增加。从 8 月 16 日—10 月 15 日月降雨量较大,短期内降雨量大于蒸散量,土壤开始补充水分,并且土壤贮水逐渐增加,11 月 15 日测

得土壤贮水量达到最大。草地生育期内移栽柠条地、直播甘草地、天然牧草地对降雨的蓄积能力好于沙丘,牧草生育期内不同类型土壤水分增加量不同,移栽>播种>天然>沙丘下>沙丘上>沙丘旁,其数值依次为 113.9,74.4,69.0,62.0,36.9,—6.0 mm。

2.2 不同类型样地土壤水分剖面分布特征

土壤水分含量变化主要受降雨、植被状况、气候条件、蒸腾蒸发等因素的影响,除了播种甘草处理外,其他 5 种土壤类型牧草生育期内土壤含水量都随着土壤深度的增加有不同的增加。移栽、播种、天然、沙丘上、沙丘下、沙丘旁等土壤类型 0—50 cm 土壤含水量平均依次为 4.35%,4.93%,4.47%,3.89%,7.45%,11.83%;50—100 cm 土壤含水量平均依次为 7.15%,

4.53%,6.06%,4.40%,10.34%,13.42%。沙丘旁草地土壤水分含量最高,比其他类型草地有显著提高,沙丘上土壤水分含量最低。土壤含水量变异系数是反映土壤水分变化的重要指标,样本值的均方差越大,变异系数就越大,说明土壤含水量变化就越剧烈,反之土壤含水量变化就越小,6 种类型土壤含水量变化系数都是 0—10 cm 土层最大,也说明了降雨量和土壤植被的蒸腾蒸发对 0—10 cm 表层土的影响最大,随着土层深度的增加变异系数逐渐减少。移栽、播种、天然、沙丘上、沙丘下、沙丘旁土壤类型 0—50 cm 土壤含水量变异系数平均依次为 0.54,0.54,0.48,0.29,0.26,0.26;50—100 cm 土壤含水量变异系数平均依次为 0.52,0.61,0.51,

0.26,0.18,0.19;从表 1 可以看出,移栽柠条、播种甘草、天然草地的土壤水分变异系数较大,并且移栽柠条、播种甘草的变异系数大于天然草地的,分析其原因是移栽柠条、播种甘草的植被覆盖度好于天然草地,根系分布也较天然草地深很多,因此干旱时消耗的土壤水分比天然草地多,降雨量多时一部分雨水被截留,土壤表面有枯枝落叶覆盖,增加了水分的入渗,因较大植被覆盖,减少了土壤水分的蒸发,一定程度上抑制了土壤水分的损耗,这也就导致了移栽柠条、播种甘草的土壤水分变异较大,而沙丘上、沙丘下、沙丘旁植被差、沙土颗粒大,对水分的固持力有限,降雨进入土壤后又被很快蒸发,这也是土壤水分变异系数较小的原因。

表 1 不同类型样地生育期 0—100 cm 土壤贮水量动态变化情况 mm

草地类型	生育期(月-日)						
	04-15	05-15	06-15	07-15	08-15	09-15	10-15
移栽柠条	53.3	71.8	40.0	73.0	50.3	127.5	140.8
播种甘草	44.0	61.7	39.3	48.8	33.2	105.5	118.5
天然草地	50.9	60.4	53.0	76.2	47.4	110.4	119.9
沙丘上	61.7	68.7	50.6	71.1	46.7	94.8	75.2
沙丘下	131.1	145.2	118.1	126.1	111.9	202.7	176.3
沙丘旁草地	202.2	211.2	176.5	185.0	163.8	283.0	184.9

表 2 不同类型样地生育期土层剖面含水量动态变化情况 %

深度/cm	移栽柠条	播种甘草	天然草地	沙丘上	沙丘下	沙丘旁草地
0—10	3.50±0.91bB(0.69)	4.97±1.21bB(0.65)	4.10±1.00bB(0.65)	2.89±0.52bB(0.48)	4.37±0.52bB(0.32)	9.66±1.49aA(0.41)
10—20	4.18±0.91cC(0.57)	5.43±1.11bcBC(0.54)	4.33±0.77cC(0.47)	4.07±0.45cC(0.29)	7.20±0.75bB(0.28)	12.63±1.25aA(0.26)
20—30	4.49±0.86cC(0.51)	5.06±0.88cC(0.46)	4.64±0.68cC(0.39)	4.24±0.47cC(0.29)	8.94±1.92bA(0.27)	11.76±0.90aA(0.20)
30—40	4.76±0.80cC(0.44)	4.77±0.83cC(0.46)	4.66±0.70cC(0.40)	4.21±0.30cC(0.19)	8.67±0.66bB(0.20)	11.72±0.89aA(0.20)
40—50	4.84±0.91cC(0.50)	4.43±1.04cC(0.62)	4.62±0.84cC(0.48)	4.07±0.32cC(0.21)	8.09±0.67bB(0.22)	13.40±1.06aA(0.21)
50—60	5.67±1.10cBC(0.51)	4.25±1.05cC(0.65)	4.46±0.94cC(0.56)	4.38±0.41cC(0.25)	8.15±0.80bB(0.26)	13.30±1.06aA(0.21)
60—70	6.83±1.39bB(0.54)	4.16±1.04cC(0.66)	4.61±0.93cC(0.53)	4.30±0.38cC(0.24)	10.95±0.78aA(0.19)	12.15±1.17aA(0.26)
70—80	7.98±1.57cB(0.52)	4.40±1.14dC(0.69)	5.66±1.09dBC(0.51)	4.25±0.44dC(0.27)	10.85±0.59bA(0.14)	13.20±0.89aA(0.18)
80—90	7.88±1.54cC(0.52)	4.64±1.02dD(0.58)	6.83±1.02cCD(0.40)	4.53±0.51dD(0.30)	10.74±0.78bB(0.19)	14.07±0.76aA(0.14)
90—100	7.38±1.45cCD(0.52)	5.22±0.91dDE(0.46)	8.76±1.77cBC(0.53)	4.54±0.46dE(0.27)	11.02±0.52bB(0.13)	14.39±1.00aA(0.18)

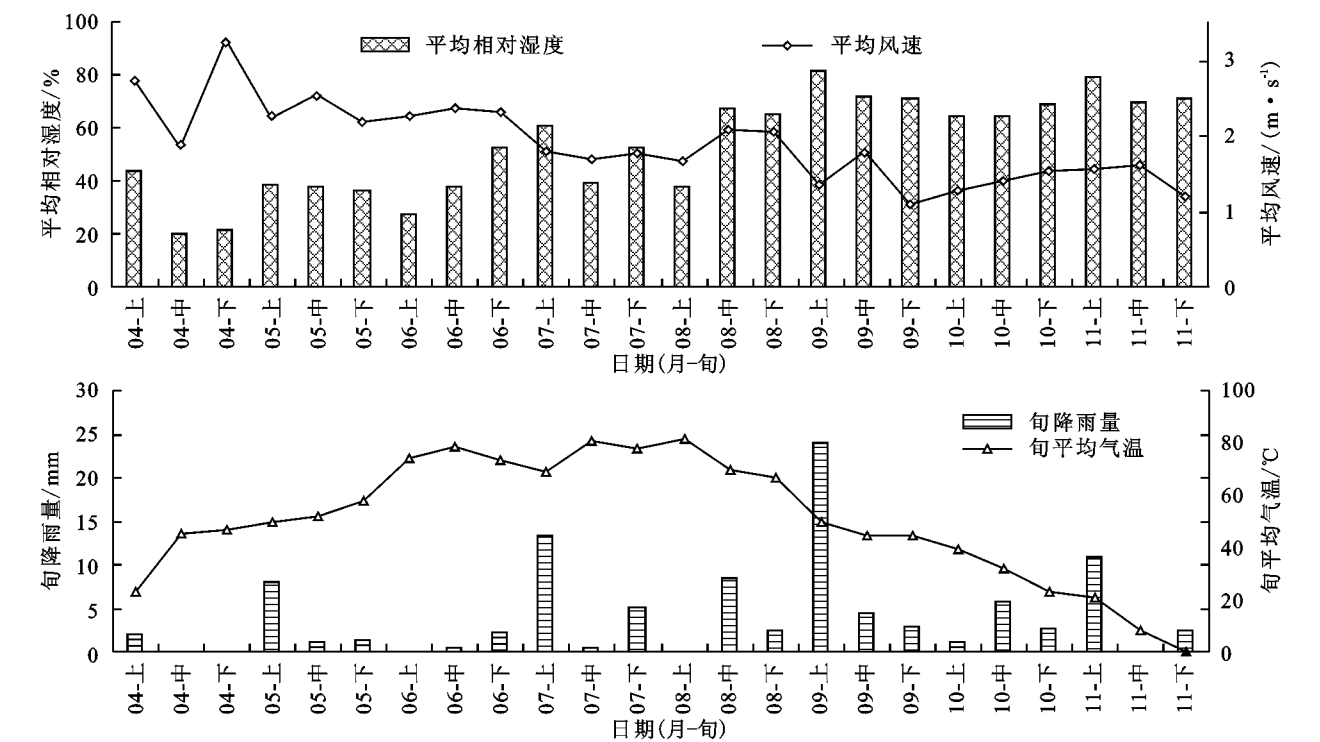
注:表中字母表示不同类型草地牧草生育期该土层深度土壤含水量的多重比较(大小写字母分别代表 0.01 极显著和 0.05 显著水平),括号内为该土层深度在牧草生育期内土壤含水量的变异系数。

2.3 不同类型草地对生育期蒸散量的影响

如图 3 所示,宁夏盐池春季习惯上为 3—5 月,夏季为 6—8 月,秋季为 9—11 月。从春到秋相对湿度逐渐增加,而风速逐渐减少,平均空气相对湿度和平均风速数值依次为 31.45%,49.17%,71.40%和 2.28,1.99,1.42 m/s;气候上给人的感觉是冬季漫长,春季很短,雨热同季,从春到秋降雨量逐渐增加,2011 年降雨量较平常年份多,是很少见的丰雨年,从春到秋的平均气温和季度降雨量依次为 8.93,22.35,8.69℃和 50.4,130.7,217.7 mm。

不同类型草地类型土壤、植被蒸散量等于当月降雨量减去土壤贮水增加量,气温高低、风速大小以及

土壤颗粒大小、水分含量高低、降雨和植被蒸腾对宁夏中部干旱带不同时期、不同植被类型土壤蒸散量的影响较大。由表 3 可以看出,各类型 4 月 16 日—11 月 15 日期间的实际蒸散量,呈先增高后降低的趋势,生育期总蒸散量平均为 314.9 mm,不同类型牧草生育期期间实际总蒸散量也不相同,大小关系依次是沙丘旁>沙丘下>沙丘上>天然>播种>移栽。其中移栽、播种和天然 3 种类型生育期总蒸散量平均为 279.4 mm,沙丘上、沙丘下、沙丘旁生育期总蒸散量平均为 350.4 mm,因此增加沙丘植被覆盖,减少植被、土壤水分蒸腾蒸发,提高土壤水分固持能力,是维持土壤水分健康发展的重要举措。



注:表中数据来源于中国气象科学数据共享服务网。

图 3 2011 年盐池县主要气象数据资料

表 3 牧草生育期不同草地类型蒸散量

草地类型	生育期(月-日)							蒸散量
	04-16—05-15	05-16—06-15	06-16—07-15	07-16—08-15	08-16—09-15	09-16—10-15	10-16—11-15	
移栽	13.9	43.6	28.9	46.8	63.7	43.1	27.4	267.5
播种	14.8	34.1	52.5	39.7	68.6	43.5	26.8	279.9
天然	22.9	19.2	38.8	52.8	77.9	46.9	32.3	290.9
沙丘上	25.5	29.9	41.4	48.5	92.8	76.0	30.4	344.5
沙丘下	18.3	38.9	54.0	38.2	50.2	82.7	37.0	319.4
沙丘旁	23.4	46.5	53.5	45.3	21.7	154.5	42.5	387.4
当月降雨量	32.4	11.8	62.0	24.1	140.9	56.4	53.8	381.4

4 月 16 日—5 月 15 日,各种类型草地平均蒸散量为 19.8 mm,各处理大小依次是沙丘上>沙丘旁>天然>沙丘下>播种>移栽,本时期是牧草的萌发期,土壤气温低、贮水量少、植被覆盖度低、需水量少是蒸散量较少的主要原因。6 月 15 日—7 月 15 日气温适宜,是牧草生长旺盛时期,该时期对水分的需求非常敏感,但是降雨量仅为 11.8 mm,各种类型草地平均蒸散量为 35.4 mm,本时期是土壤失墒期;7 月 15 日—8 月 15 日温度逐渐升高,植被需水量增加,降雨量仅为 24.1 mm,土壤平均蒸散量为 44.9 mm,此期间只能消耗土壤贮存的水分。8 月 15 日—9 月 15 日降雨量最大,达到了 140 mm,牧草生长全年最为茂盛的时期,平均蒸散量达到了 62.5 mm,由于降雨对土壤蒸发及植被生长影响有一定滞后性,也导致了 9 月 16 日—10 月 15 日蒸散量达到最大值 74.5 mm。

随后随着温度降低和牧草生长发育停止对水分需求减少及土壤水分含量降低,10 月 16 日—11 月 15 日时期蒸散量为 32.7 mm。

3 结论与讨论

土壤水分含量因受降雨量大小、地形坡度、径流运动、土层渗透性、地下水位、气温高低和牧草生长阶段、太阳辐射强度、气流与风力风速等多因素影响制约,导致不同草地类型土壤水分运移与蒸散结果不同。降雨是宁夏中部干旱带农牧交错带土壤水分补给源,不同草地类型土壤水分动态变化随着生育期的延后和降雨量的变化,土壤水分含量也出现波动,胡江波等^[10]的研究观点与此相同,但是本研究表明土壤含水量变化相对降雨量变化有一定的滞后性,本试验测得的各种草地类型土壤含水量都是在 11 月 15

日最高,主要原因可能是9月份降雨量比往年较大,此时空气相对湿度较大、风速降低、平均温度较低因而导致的蒸腾蒸散量降低而导致土壤含水量增加。

植被类型对荒漠化草原土壤水分含量影响很大,弓成等^[5]研究表明不同植物群落不同时期的土壤含水量各不相同。何秀珍等^[9]研究表明:草地表层土壤含水量都在5%~6%,0—40 cm土层变化幅度较大,随着土壤深度增加,含水量增加,在80—100 cm土层水分值最大。本研究表明土壤水分变化特征在时间、空间分布上不同,移栽、播种、天然土壤水分变化较为平缓,但是生育期变异系数较大,说明降雨较少时土壤失水较多,降雨多时对水分的固持力较强;沙丘上、沙丘下、沙丘旁因植被覆盖较少土壤水分变化随着降雨量的变化较为剧烈,降雨入渗深度随降雨量的增加而增大,因此应增加沙丘植被覆盖减少土壤水分蒸发。

围栏封育对盐池草原植被恢复起到了重要的促进作用^[11]。2011年盐池牧草生育期降雨量为381.4 mm,是很少有的丰雨年,在此降雨量的前提下,研究表明:合理的草地植被增加土壤对雨水的蓄积、贮存能力,生育期土壤贮水量增加,但是在干旱的春季、夏初,移栽柠条、直播甘草土壤失墒也是比较厉害的。沙丘地区土壤含水量基本维持平衡,但也是要增加沙丘植被覆盖,减少土壤蒸发。但是在宁夏盐池地区,降雨十分有限,十年九旱,常年都是地表蒸发量大于降雨量,因此植被恢复时应考虑移栽、播种时密度不宜过大,以防止太过茂盛的植被因蒸散消耗了大量的土壤贮存水,造成土壤干化,大片植物因缺水而枯死,土地重新沙化,不利于该地区的生态环境建设^[12]。国内一些学者也表示并不是封育年限越长,植被恢复生长效果就越好^[13-14],不同草地类型不应该一刀切地都封育禁牧,沙丘地区应该禁牧,增加植被覆盖,而在天然草场和人工草场,在植被生长茂盛的7月、8月、9月适当刈割和放牧,既能减少牧民养殖成本,增加牧民收入,又能减少植被蒸腾,降低土壤水分的消耗,

合理调控牧草植被群落体系,提高草原的利用价值,维持草原的健康可持续发展。

参考文献:

- [1] 程中秋,张克斌,刘建,等.宁夏盐池荒漠草原区天然草地植物生态位研究[J].水土保持研究,2011,18(3):36-40,47.
- [2] 李亚,何彤慧,璩向宁.盐池县气候要素对农牧业的影响评价及产业调适研究[J].干旱区资源与环境,2009,23(12):82-86.
- [3] 韦丽军,卞莹莹,宋乃平.宁夏盐池县草场退化因素分析[J].水土保持通报,2007,27(1):122-125,154.
- [4] 孙跃强.宁夏盐池县生态用水研究[D].北京:北京林业大学,2007.
- [5] 弓成,温存.宁夏盐池平沙地主要植物群落土壤水分季节动态[J].水土保持通报,2008,28(3):39-43.
- [6] 王新平,康尔泗,张景光,等.草原化荒漠带人工固沙植丛区土壤水分动态[J].水科学进展,2004,15(2):216-222.
- [7] 李学斌,马琳,杨新国,等.荒漠草原典型植物群落枯落物生态水文功能[J].生态环境学报,2011,20(5):834-838.
- [8] 方楷,宋乃平,魏乐,等.荒漠草原不同地形条件下土壤水分和地上生物量的时空分异[J].干旱区研究,2012,29(4):641-647.
- [9] 何秀珍,宋乃平,刘孝勇,等.荒漠草原区不同类型草地土壤水分特征研究[J].干旱区资源与环境,2012,26(4):117-122.
- [10] 胡江波,杨改河,贺桂芹,等.不同植被恢复模式土壤水分生态效应研究[J].中国水土保持,2007(10):29-31.
- [11] 边振,张克斌,李瑞,等.封育措施对宁夏盐池半干旱沙地草场植被恢复的影响研究[J].水土保持研究,2008,15(5):68-70.
- [12] 舒维花,蒋齐,王占军,等.宁夏盐池沙地不同密度人工柠条林土壤水分时空变化分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(12):172-176.
- [13] 刘建,张克斌,孟力猛,等.盐池不同保护及恢复措施对植物多样性的影响[J].水土保持研究,2010,17(6):181-185.
- [14] 王黎黎,张克斌,程中秋,等.盐池柳杨堡人工封育区植被特征研究[J].生态环境学报,2010,19(10):2339-2343.