

四川丘陵旱区不同人工草地土壤水分 动态变化规律研究

王学春¹,王萌冉¹,杨国涛¹,王红妮²

(1.西南科技大学生命科学与工程学院,四川 绵阳 621010;
2.西南科技大学成人网络教育学院,四川 绵阳 621010)

摘 要:研究丘陵旱区人工草地土壤水分变化规律,能够明确饲草种植对坡耕地土壤水分的影响,对指导人工草地水分管理具有重要的现实意义。本研究采用长期定位试验的方法,分析了四川丘陵旱区不同人工草地土壤有效含水量、土壤水分剖面分布和水分利用效率等,明确了饲草种植对丘陵坡耕地土壤水分的影响,为该地区人工草地水分管理提供了理论依据。研究表明,(1)四川丘陵旱区人工黑麦草地、菊苣地和苜蓿地 0~100 cm 土层月均土壤有效含水量分别为 88.8、189.3 mm 和 181.7 mm,其中,1—4 月土壤有效含水量较低,6—9 月土壤有效含水量较高,9—12 月土壤有效含水量逐渐下降;(2)从第一季度(1—3 月)到第三季度(7—9 月)土壤重量含水率呈增加趋势,从第三季度到翌年第一季度土壤重量含水率呈降低趋势;人工草地在第一季度消耗的深层土壤水分在第三季度能得到较好恢复;(3)人工黑麦草地、菊苣地和苜蓿地的土壤蓄水率均在 6—8 月最小(71%、64%和 68%),11 月到翌年 3 月最大(93%、94%和 94%);土壤耗水率在 8—10 月最大(66%、70%和 72%),在 11 月至翌年 3 月最小(41%、42%和 44%);(4)在绵阳丘陵坡耕地,从鲜草产量角度考虑,菊苣和苜蓿较为理想;从干草产量角度考虑,苜蓿和菊苣较为理想;从粗蛋白供应度考虑,苜蓿和黑麦草较为理想;从消化能产量角度考虑,苜蓿和菊苣较为理想。四川丘陵旱区黑麦草、菊苣和苜蓿的种植不会引起深层土壤干燥化现象,0~100 cm 土层土壤水分在第三季度可以得到较好的恢复;从提高饲草产量角度考虑,可以根据饲草生长需要在 11 月至翌年 4 月对人工草地进行适当灌溉,尤其是在刈割后,适当灌溉有利于饲草的快速萌发。

关键词: 土壤水分;人工草地;旱地;四川;坡耕地
中图分类号: S152.7 **文献标志码:** A

Dynamic of soil moisture in different artificial grass land in the arid hilly regions at Sichuan Province

WANG Xue-chun¹, WANG Meng-ran¹, YANG Guo-tao¹, WANG Hong-ni²

(1. School of Life Science and Technology, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China;
2. College of Adult and Online Education, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China)

Abstract: It is vital to explore dynamic of soil moisture in artificial grass land. Clarifying the impacts of forage grass planting on soil moisture changing may provide efficient ways for the water management of rain fed grass land. Based on long term experiment, impacts of forage grass planted on soil moisture dynamic were analyzed. The results showed following. (1) Average available soil moisture in artificial grass land of ryegrass, chicory and alfalfa in depth of 0~100 cm soil was 88.8, 189.3 mm and 181.7 mm respectively. Monthly mean available soil moisture was relative lower from January to April and that was relative higher from June to September, and that gradually decreased from September to December. (2) Soil weight moisture increased from the first quarter to the third quarter in the same year and that decreased from the third quarter in the last year to the first quarter in the next year. The depleted soil moisture in deep soil by artificial grass in the quarter was recovered in the third quarter. (3) Rate of rainfall storage was the lowest (71%, 64% and 68%) from June to August and was the highest (93%, 94% and 94%) from November to March next year in artificial grass land of ryegrass, chicory and alfalfa respectively. Soil moisture consumption rate was the highest (66%, 70% and 72%) from August to October and was the lowest (41%, 42% and 44%) from November to March next year in above

收稿日期:2016-11-22 修回日期:2017-02-20
基金项目:粮食丰产增效科技创新重点专项(2016YFD0300210);大学生创新创业训练项目(201610619045)
作者简介:王学春(1979—),男,山东威海人,博士,副研究员,主要从事作物高产栽培及作物生产系统模拟与决策研究。
通信作者:王萌冉(1993—),女,四川成都人,学士,主要从事高效农作制度研究。

mentioned artificial grass land. (4) Chicory and alfalfa were better in fresh yield, alfalfa and chicory were better in hay yield, alfalfa and ryegrass were better in crude protein production, and alfalfa and chicory were better in digestible energy in the process of forage grass using at Mianyang. Soil moisture in the depth 0 ~ 100 cm could be recovered well during the third quarter and no permanent dry soil layer occurred in artificial ryegrass, chicory and alfalfa land at hilly region, Mianyang, Sichuan. Reasonable irrigation would be benefit to improve forage yield from November to April next year and irrigation after grass harvest could promote sprout of grass especially.

Keywords: soil moisture; artificial grass land; arid land; Sichuan; slope farm land

四川西北部丘陵区以坡耕地为主,土质疏松,水土流失严重,区域内年均降雨量 800 ~ 1 000 mm,春季和冬季降雨较少,70% 以上的降水集中在夏秋两季,降水集中且强度大,极易发生泥石流,水土流失严重^[1-2]。统计数据表明,四川丘陵区年均土壤侵蚀模数为 3 798 ~ 9 831 t·km⁻²·a⁻¹,是我国土壤侵蚀严重的地区之一^[3]。传统种植模式(麦-玉/苕和麦-玉/豆)在夏季地表覆盖度较高,一定程度缓解了四川丘陵区的水土流失问题^[4-6];然而,随着农村劳动力的下降,坡耕地麦-玉/苕(豆)种植模式逐渐被小麦-玉米种植模式取代,甚至被直接弃种撂荒^[3]。坡耕地种植模式的改变,一方面不利于该地区粮食生产,另一方面也加剧了该地区的水土流失。黑麦草、苜蓿和菊苣等饲草作物可以全年覆盖地表,尤其在多雨的夏秋季,地表覆盖度较高,可以有效缓解丘陵坡耕地水土流失问题^[7-10],显著提高饲草生产能力,促进本地区畜牧业发展。

四川西北部丘陵区属于亚热带山地季风气候,降水相对较丰沛,但日照时数严重不足。统计数据表明,四川盆地年均日照时数 1 000 ~ 1 400 h,比同纬度的长江下游地区少 600 ~ 800 h,这种阴雨寡照气候,非常有利于饲草作物的营养生长,而不利于粮食作物的生殖生长^[2-3]。从气候条件角度考虑,在四川丘陵区发展饲草产业具有一定优势。然而,在一个地区引入新物种构建新种植模式,仅仅考虑气候条件是不够的。例如,苜蓿相对耐旱,能够适应黄土高原干旱的气候条件,理论上有利于提高本地区饲草生产能力,然而相关研究表明,在黄土高原连续种植苜蓿 6 ~ 7 年后,深层土壤水分被大量消耗,会形成永久土壤干层^[11-14],不利于本地区农业可持续发展。因此,有必要系统研究黑麦草、菊苣、苜蓿等人工草地的土壤水分变化规律,明确饲草作物在四川丘陵坡耕地种植后对土壤水分的影响。

本研究采用长期定位观测的方法,系统分析了四川丘陵旱区不同人工草地土壤水分动态变化规律,明确了人工草地对坡耕地土壤水分的影响,为本地区坡耕地人工草地水分管理及粮食-饲草种植模式构建提供必要理论依据和实践基础。

1 材料与方法

1.1 试验区域概况

绵阳位于四川盆地西北部,境内山地占 61.0%,丘陵占 20.4%,平坝占 18.6%。年均气温 14.7℃ ~ 17.3℃,年日照时数 1 100 ~ 1 328 h,日照百分率不足 30%,无霜期较长(252 ~ 300 d),降水丰沛(826 ~ 1 417 mm·a⁻¹),季节性干旱频发,属于典型的高温寡照天气。山地和丘陵区主要种植小麦、玉米、黄豆和红苕等作物,平坝区主要种植油菜、小麦和水稻等作物。

本实验于 2013—2015 年在绵阳丘陵坡耕地展开(坡度为 10°),试验地土壤为绵阳丘陵区典型土壤—黄泥土,土壤容重为 1.1 g·cm⁻³,常年含水量为 9.2% ~ 20.1%,萎蔫系数为 7.5%,有机质含量为 23.0 g·kg⁻¹,土壤全氮、全磷和全钾含量分别为 1.1、0.22 g·kg⁻¹ 和 15.6 g·kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验设计 3 种人工草地,人工黑麦草地、人工菊苣地和人工苜蓿地。黑麦草品种为卡特;菊苣品种为晶玉;苜蓿品种为普拉托。每种人工草地设计 3 次重复,共计 9 个小区,每个小区面积 20 m²(4 m × 5 m),采用随机区组设计。黑麦草、菊苣和苜蓿的播种量分别为 15、5 kg·hm⁻² 和 20 kg·hm⁻²;其前茬均为玉米,三种人工牧草分别于每年 9 月以条播方式建植。所有处理的人工草地建植后均不灌水。

1.3 取样分析

2013—2015 年,每月观测 0 ~ 100 cm 土层(0 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80、80 ~ 100 cm)土壤水分 1 次。采用土钻法获得土样,烘干法测定土壤重量含水率。黑麦草、菊苣和苜蓿按照当地饲草生产管理措施,适期刈割并测定其饲草产量,其中黑麦草每年收获 4 茬,菊苣每年收获 5 茬,苜蓿每年收获 5 茬。有降雨发生时,记录降水量、径流量和径流产生时间等信息,径流量采用量筒法测定。

1.4 计算方法

土壤有效含水量(ASW)的计算方法如式(1)和式(2)所示。

$$ASW = \sum_{i=1}^n (ASW_i)$$

(1)

$$ASW_i = (SW_i - WP_i) \times P_i \times H_i \times 10$$

(2)

式中, ASW 为 0 ~ 1.0 m 土层土壤有效含水量(mm), ASW_i 为第 i 土层土壤有效含水量(mm), n 为所测定的最大土层数, SW_i 为第 i 土层土壤湿度(%), WP_i 为第 i 土层土壤萎蔫系数(%), P_i 为第 i 土层土壤容重($g \cdot cm^{-3}$), H_i 为第 i 土层厚度(cm)。

土壤蓄水率(E_r)和土壤耗水率(E_h)分别依据式(3)和式(4)进行计算。

$$E_r = \frac{R_a - R_u}{R_a} \times 100\%$$

(3)

$$E_h = \frac{W_{s1} + (R_a - R_u) - W_{s2}}{W_{s1} + (R_a - R_u)} \times 100\%$$

(4)

式中, E_r 为土壤蓄水率(%), R_a 为降水量(mm), R_u 为地表径流量(mm); E_h 为土壤耗水率(%), W_{s1} 为月初土壤蓄水量(mm), W_{s2} 为月末土壤蓄水量(mm)。

水分利用效率的计算方法如式(5)所示。

$$WUE = \frac{Y}{(R_a - R_u) + \sum_1^n (SW1 - SW0)}$$

(5)

式中, WUE 为不同人工草地的水分利用效率($kg \cdot mm^{-1} \cdot hm^{-2}$), Y 为鲜草产量($t \cdot hm^{-2}$), R_a 为降水量(mm), R_u 为地表径流量(mm), $SW1$ 为第 n 次饲草刈割后土壤贮水量(mm), $SW0$ 为第 $n - 1$ 次刈割后土壤贮水量(mm)。

2 结果与分析

2.1 不同人工草地逐月土壤有效含水量变化

图 1 表明,1—12 月黑麦草地、菊苣地、苜蓿地 0 ~ 100 cm 土层月均土壤有效含水量分别为 177.2、189.3 mm 和 188.8 mm;统计结果表明,苜蓿地和菊苣地月均土壤有效含水量差异不显著($P < 0.05$),二者均显著高于黑麦草地;1—4 月受降水和作物消耗等影响,土壤有效含水量较低,人工黑麦草地、菊苣地和苜蓿地 0 ~ 100 cm 土层月均土壤有效含水量分别为 150.0、126.2 mm 和 131.2 mm,显著低于全年平均值;6—9 月黑麦草地、菊苣地和苜蓿地 0 ~ 100 cm 土层土壤有效含水量较高,月均土壤有效含水量分别为 228.5、263.1 mm 和 273.1 mm,均显著高于全年平均值。

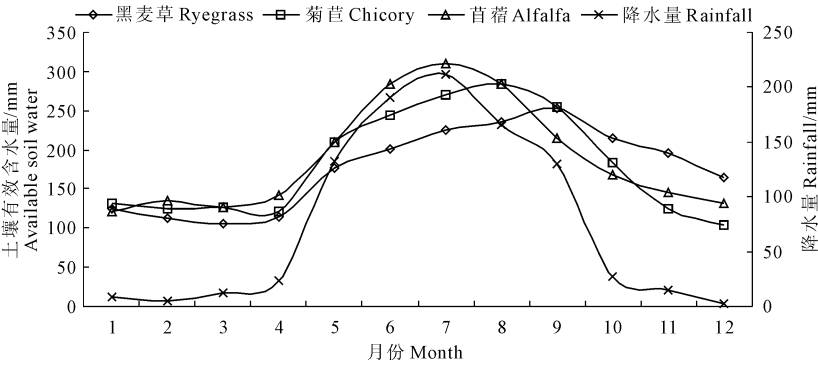


图 1 2013—2015 年四川丘陵旱区不同人工草地 0 ~ 100 cm 土层逐月平均土壤有效含水量
Fig.1 Monthly available soil water in 0 ~ 100 cm soil for different artificial grass land in slope field at the hilly regions of Sichuan Province during 2013 to 2015

随着降水量的增加,从 5 月开始,黑麦草地、菊苣地和苜蓿地的土壤有效含水量逐月增加;受作物消耗的影响,从 6 月开始,不同人工草地 0 ~ 100 cm 土层土壤有效含水量变化规律开始有差异,其中黑麦草地在 9 月达到最大值(253 mm),菊苣地在 8 月达到最大值(284 mm),苜蓿地在 7 月达到最大值(309 mm)。总体而言,9 月之后,随着降水的减少,人工草地 0 ~ 100 cm 土层土壤有效含水量呈下降趋势。12 月黑麦草地、菊苣地和苜蓿地 0 ~ 100 cm 土层土壤有效含水量分别为 165.0、104.8 mm 和 131.9 mm;与 9 月相比,分别降低了 35%、59%和 38%。表

明在降水较少的 10—12 月,三种牧草在一定程度上消耗了 6—9 月蓄积的土壤水分。

2.2 不同人工草地土壤重量含水率剖面分布与变化

人工草地 0 ~ 40 cm 土层土壤重量含水率变化幅度显著高于 60 ~ 100 cm 土层。从 1 月到 12 月,黑麦草地、菊苣地和苜蓿地 0 ~ 40 cm 土层土壤重量含水率分别为 6.3% ~ 20.3%、6.53% ~ 19.9% 和 6.02% ~ 24.1%, 60 ~ 100 cm 土层分别为 7.1% ~ 14.0%、7.5% ~ 13.6% 和 7.3% ~ 18.6%。随着降水的变化,0 ~ 100 cm 土层土壤重量含水率表现为先

增加后减少的趋势。从第一季度(1—3 月)到第三季度(7—9 月)土壤重量含水率呈增加趋势,从第四季度(10—12 月)到翌年第一季度土壤重量含水率呈降低趋势(图 2)。

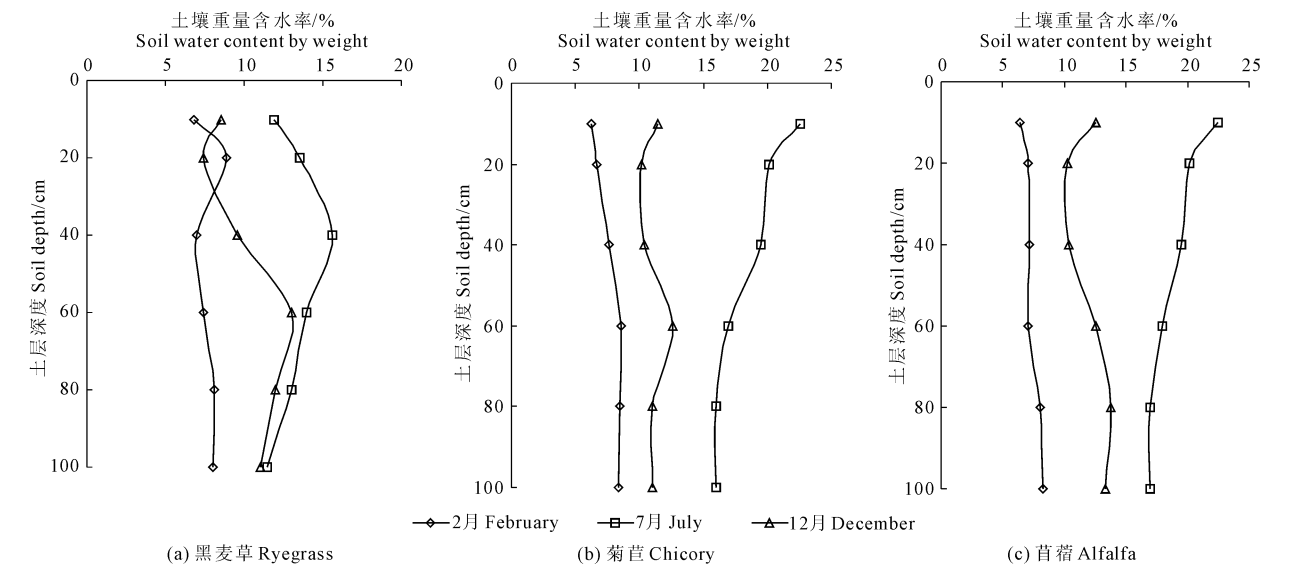


图 2 2013—2015 年四川丘陵旱区不同人工草地土壤水分重量含水率剖面分布
Fig.2 Soil water of different soil profiles in different artificial grass land in slope field at the hilly regions of Sichuan Province during 2013 to 2015

在干旱季节(第一季度和第四季度),受作物消耗的影响,人工草地土壤水分从表层到深层呈逐渐降低的趋势,不同草地降低程度和速率有所不同。7—12 月,黑麦草地、菊苣地、苜蓿地 0~40 cm 土层土壤重量含水率分别降低 37.8%、46.7%、46%, 60~100 cm 土层分别降低 35.1%、26.1%、23%。与 0~40 cm 土层相比,40~60 cm 土层土壤水分降低幅度显著缩小。

在降水较多的第三季度,黑麦草地、菊苣地、苜蓿地 0~100 cm 土层土壤水分均得到了较好的恢复。第一季度黑麦草地、菊苣地和苜蓿地 0~40 cm 土层土壤重量含水率平均值分别为 8.1%、9.2%和 8.6%,到第三季度增加到 12.7%、15.6%和 14.5%,增加率分别为 56.7%、69.6%和 68.6%。第一季度黑麦草地、菊苣地和苜蓿地 60~100 cm 土层土壤重量含水率平均值分别为 7.9%、7.8%和 7.8%,到第三季度增加到 12.5%、17.2%和 18.4%,增加率分别为 58%,130%和 135%。表明,四川丘陵区人工草地在第一季度消耗的深层土壤水分在第三季度可以得到较好恢复。

2.3 不同人工草地逐月地表径流量

在较干旱的第一季度和第四季度,四川丘陵旱区人工草地几乎不产生径流。在降水较多的第二季度和第三季度,人工草地的径流量随着降水的变化而变化。其中 4—8 月人工草地的径流量随着降水的增加而显著增加,9—12 月随着降水的减少而显

著降低(图 3)。统计数据表明,黑麦草地、菊苣地和苜蓿地降水量和径流量间的相关系数分别为 0.95 ($P < 0.01$)、0.82 ($P < 0.01$)和 0.92 ($P < 0.01$)。

受人工草地生长及降水强度等的影响,四川丘陵旱区不同人工草地产生径流的时间和径流量均有显著差异(图 3)。2013—2015 年观测结果表明,黑麦草地、菊苣地和苜蓿地分别在 4—10 月、5—9 月和 4—11 月容易产生径流,其产生径流期间的月均径流量分别为 $19\,174\,17\,868\,16\,494\text{ m}^3\cdot\text{km}^{-2}$ 。在降水较多的 6—9 月,黑麦草地、菊苣地和苜蓿地月均径流量分别为 $21\,133\,13\,401\,19\,071\text{ m}^3\cdot\text{km}^{-2}$;在降水相对较少的 5 月及 10 月,其月均径流量分别为 $5\,670\,0\,11\,339\text{ m}^3\cdot\text{km}^{-2}$ 。

2.4 不同人工草地的土壤蓄水率与耗水率

人工黑麦草地、菊苣地和苜蓿地的土壤蓄水率均在 6—9 月最小,分别为 71%、64%和 68%;11 月到翌年 3 月最大(图 4A),分别为 93%、94%和 94%,表明,人工草地在干旱季节(11 月至翌年 3 月)土壤蓄水率较高,在多雨季节(6—9 月)土壤蓄水率较低。三种人工草地的土壤耗水率均表现为先增加后降低的趋势(图 4B),其中 8—10 月三种人工草地的土壤耗水率最大,平均值分别为 66%、70%和 72%;11 月至翌年 3 月的土壤耗水率最小,平均值分别为 41%、42%和 44%。

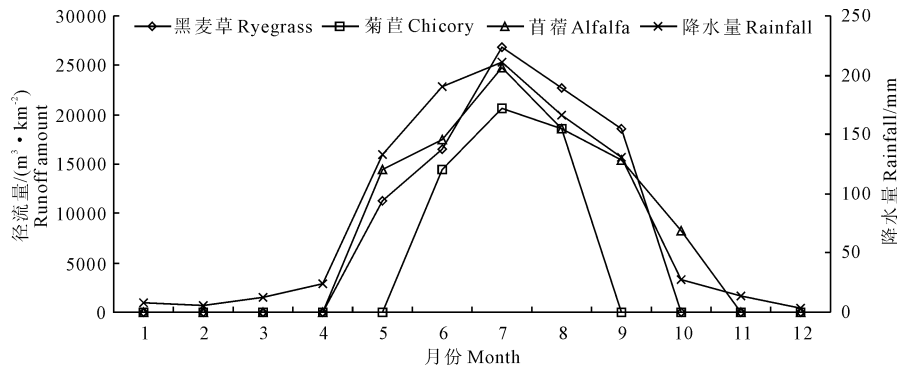


图 3 四川丘陵旱区不同人工草地 2013—2015 年 1—12 月月均地表径流量

Fig.3 Monthly runoff of different artificial grass land from January to December in the slope field of the hilly regions at Sichuan Province during 2013 to 2015

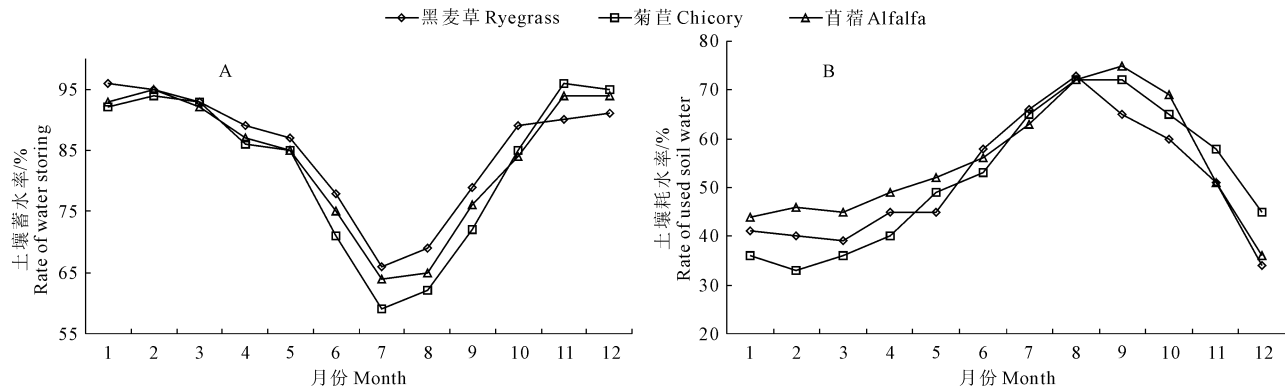


图 4 四川丘陵旱区不同人工草地 2013—2015 年 1—12 月土壤蓄水率(A)与耗水率(B)

Fig.4 Rate of monthly rainfall storing (A) and rate of monthly used water (B) of different artificial grass land from January to December in slope field at the hilly regions of Sichuan Province during 2013 to 2015

2.5 不同人工草地水分利用效率

表 1 表明,2013—2015 年,在四川丘陵旱区,从鲜草产量角度考虑,三种人工草地的水分利用效率分别为 189、316 和 209 $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,菊苣水分利用效率最高,其次为苜蓿,黑麦草的最低。从干草产量角度考虑,三种人工草地的水分利用效率分别为 29、45 $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 46 $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,苜蓿水

分利用效率最高,其次为菊苣,黑麦草的最低;从粗蛋白产量角度考虑,其水分利用效率分别为 9.3、7.3 $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 11.3 $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,苜蓿最高,菊苣最低,黑麦草居中;从消化能产量角度考虑,三种人工牧草的水分利用效率分别为 333、542 $\text{kJ}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 593 $\text{kJ}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,苜蓿最高,黑麦草最低,菊苣居中。

表 1 四川丘陵旱区不同人工草地 2013—2015 年饲草产量及耗水量

Table 1 Forage yield and water consumption in slope artificial grass land at the hilly regions of Sichuan Province during 2013 to 2015					
项目 Item	鲜草产量 Fresh weight of grass /($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	烘干饲草产量 Dry weight of grass /($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	粗蛋白产量 Yield of crud protein /($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	消化能产量 Digestive energy /($\text{kJ}\cdot\text{hm}^{-2}$)	耗水量 Water consumption /mm
黑麦草 Ryegrass	93.0a	14.3a	4.6b	163427a	490.8b
菊苣 Chicory	118.6a	16.8ab	2.7a	203451a	375.4a
苜蓿 Alfalfa	96.7a	21.1b	5.1b	275123b	463.3b

3 讨论

降水是影响丘陵坡耕地土壤有效含水量的关键因素之一^[15-17]。1—4 月和 10—12 月丘陵旱区月

均降水量分别为 12.6 mm 和 15.0 mm,显著低于全年平均值 77.2 mm。受降水减少及作物消耗等影响,四川丘陵旱地 1—4 月和 10—12 月土壤有效含水量为 114~131 mm 和 138~185 mm,显著低于全年

平均值(177~189 mm),期间可根据土壤墒情和饲草生长需水规律适当灌水,以提高鲜草产量。统计数据表明,四川丘陵旱区6—9月降水总量为650~750 mm,占全年总降水量的75%左右^[3]。本研究表明,受降水补充效应的影响,人工黑麦草地、菊苣地和苜蓿地0~100 cm土层土壤有效含水量在6—9月分别为228.5~273.1 mm,显著高于全年平均值(177~189 mm)。

丘陵坡耕旱地影响土壤水分的主要因素包括降水、径流和作物消耗等^[18-19]。在降水量和降水强度相同的条件下,径流和作物消耗是影响土壤水分的关键因素。在四川丘陵旱区,1—4月降水量较少,降水强度较低,人工草地发生径流的概率较低(图3),除黑麦草生长较快外,苜蓿和菊苣生长缓慢,因此,在降水较少、牧草生长比较缓慢的1—4月,菊苣地和苜蓿地的土壤有效含水量差异不显著,苜蓿地和菊苣地土壤有效含水量均显著高于黑麦草(图1)。6—9月,黑麦草地地表覆盖度显著低于菊苣地和苜蓿地,其地表径流量显著增加(图3),因此,黑麦草地土壤有效含水量在6—9月显著低于苜蓿地和菊苣地(图1)。

在干旱季节,深层土壤水分是作物维持正常生长的关键。相关研究表明,黑麦草地、菊苣地和苜蓿地对土壤水分的利用深度可以达到2.5、3.0 m和4.0 m^[20-22]。人工黑麦草地、菊苣地和苜蓿地的土壤重量含水率在0~100 cm土层范围内均有显著变化(图2),表明,在四川丘陵旱区三种人工草地对土壤水分的利用深度能够达到100 cm。在黄土高原地区连续种植6~7年苜蓿后,深层土壤水分由于过量消耗形成了永久土壤干层,严重影响了后续作物的生长及本地区土壤水分的可持续利用^[11-14]。本研究表明,在干旱季节(10—12月和1—4月)黑麦草、菊苣和苜蓿对深层(60~100 cm)土壤水分消耗较大(图2),但在降水较丰沛的季节(6—9月)深层土壤水分可以得到较好恢复(图2),土壤有效含水量显著增加(图1),没有形成永久土壤干层。表明,在四川丘陵旱区种植黑麦草、菊苣和苜蓿等饲草作物不会影响当地土壤水分的可持续利用。

从水分利用效率、鲜草产量和减少地表径流量的角度考虑,菊苣是最适宜的饲草作物;但菊苣的粗蛋白产量显著低于黑麦草和苜蓿。苜蓿提供的消化能最高,粗蛋白含量也较高,但其鲜草产量偏低。黑麦草粗蛋白总供应量较高,但其消化能偏低。考虑到三种饲草种植均不会影响当地土壤水分的可持续利用,养殖企业或农户可根据饲料需求特点选择种

植适宜的牧草。选择时需注意以下几个方面:(1)黑麦草是冷型牧草,20℃~28℃为适宜温度,低于5℃生长缓慢,高于35℃生长不良^[23-24],在四川丘陵区夏季温度一般为30℃左右,高温可能会影响多年生黑麦草的生长及利用年限;(2)苜蓿和菊苣在7月和8月容易因高温高湿发生病害,饲草品质下降;(3)1—4月降水较少时,可适当对人工草地进行灌水,以确保高产,降雨较多的6—9月要注意苜蓿地和菊苣地的排水。

4 结 论

四川丘陵旱地人工黑麦草地、菊苣地和苜蓿地0~100 cm土层1—4月及10—12月土壤有效含水量较低,从提高饲草产量角度考虑,可根据饲草生长需要在11月至翌年4月适当灌溉。6—9月土壤有效含水量较高,需注意人工草地的排水排涝。

人工黑麦草地、菊苣地和苜蓿地的土壤蓄水率均在6—8月最小,11月到翌年3月最大;土壤耗水率在8—10月最大,在11月至翌年3月最小。人工草地在第一季度消耗的深层土壤水分在第三季度可以得到较好的恢复,黑麦草、菊苣和苜蓿在四川丘陵区的种植不会引起深层土壤干燥化现象。

在四川丘陵坡耕地,从鲜草产量角度考虑,菊苣和苜蓿较为理想;从干草产量角度考虑,苜蓿和菊苣较为理想;从粗蛋白供应度考虑,苜蓿和黑麦草较为理想;从消化能产量角度考虑,苜蓿和菊苣较为理想。农民可以根据饲养的需要选择适当的牧草进行栽培。

参 考 文 献:

- [1] 庞良玉,张 鸿,罗春燕,等.四川紫色丘陵农区坡耕地饲草种植模式及效益[J].草业学报,2010,19(3):110-116.
- [2] 付登伟,林超文,庞良玉,等.四川丘陵区饲草种植的重要意义与模式[J].中国农学通报,2010,26(7):273-278.
- [3] 四川省统计局.四川统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2014.
- [4] 孙浩峰,张丽萍,高雅玉,等.半干旱黄土丘陵区坡地紫花苜蓿种植模式与径流的关系[J].草业科学,2014,31(5):922-926.
- [5] 郭 伟,邓 虹.“麦/玉/苕+大豆”种植模式经济效益及养地效果初探[J].西南大学学报(自然科学版),2010,32(5):6-9.
- [6] 何国亚,曾祖俊,周天锐,等.麦玉苕旱三熟培肥土壤及保墒效应的灰色分析[J].西南农业学报,1993,6(3):62-68.
- [7] Wang Qi, Song Xingyang, Li Fuchun, et al. Optimum ridge-furrow ratio and suitable ridge-mulching material for Alfalfa production in rainwater harvesting in semi-arid regions of China[J]. Field Crops Research, 2015, 180: 186-196.

灌溉下土壤全磷、速磷、速钾、盛果前期土壤全氮、速氮及钙离子含量均较高相呼应。微咸水:淡水 = 1:1 的混合水灌溉还可以显著提高番茄三个生育期根区土壤中铁、锰、锌、铜 4 种微量元素的含量,其影响机理有待进一步探索。微咸水、淡水按生育期轮灌下三个生育期番茄根区土壤中全量养分、速效养分含量居中,盐分离子含量与混合水灌溉及微咸水、淡水按次轮灌差异不显著,但整体以按次轮灌处理土壤中盐分离子积累最少。综上,微咸水灌溉方式对番茄不同生育期根区土壤中矿质元素和离子含量影响较大,根据植株生长情况合理利用微咸水不但可以有效避免微咸水中高浓度盐分离子对土壤及植株生长的不良影响,而且可以提高土壤养分含量,进而促进植株生长发育。该试验表明,相比淡水灌溉而言,微咸水、淡水按次轮灌可以一定程度提高土壤中全量养分和速效养分含量,相比微咸水参与下的其它 3 种灌溉方式而言,该处理番茄根区土壤中盐分积累较少。因此,微咸水、淡水按次轮灌为微咸水较为合理、安全的利用方式。

致谢:本文是在导师高艳明教授的课题支撑下完成的,所以首先要感谢我的导师为我提供的宝贵机会,其次要感谢我的合作指导教师李建设教授,最后感谢在试验过程和论文写作过程中为我提供帮助

的师姐师妹们,谢谢大家!

参 考 文 献:

[1] 郭永杰,崔云玲,吕晓东,等.国内外微咸水利用现状及利用途径[J].甘肃农业科技,2003,(8):3-5.

[2] 李志杰,马卫萍,刑文刚,等.微咸水灌溉利用的综合调控技术研究[J].土壤通报,2001,32(S):106-108.

[3] 王艳芳,曹玲,陈宝悦,等.咸淡水交替灌溉对芹菜生长及品质的影响[J].北方园艺,2014,(10):5-8.

[4] 汪洋.非耕地温室微咸水灌溉番茄、西瓜试验研究[D].宁夏大学,2014.

[5] 叶海燕,王全九,刘小京.冬小麦微咸水灌溉制度的研究[J].农业工程学报,2006,21(9):27-32.

[6] Mahmut C, Cevat K. Spatial and temporal changes of soil salinity in a cotton field irrigated with low - quality water[J]. Journal of Hydrology, 2003,272:238-249.

[7] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,2005:265-274.

[8] 张行峰.实用农化分析[M].北京:化学工业出版社,2005:91-94.

[9] 袁文昊.土壤微生物活动下的氮、磷变化及对地下水水质的影响研究[D].西南大学,2009.

[10] 王丹,康跃虎,万书勤.微咸水滴灌条件下不同盐分离子在土壤中的分布特征[J].农业工程学报,2007,23(2):83-85.

[11] 郭永昌.连续多年地下微咸水灌溉对食葵土壤养分和微生物的影响[J].中国农村水利水电,2012,(9):27-29.

(上接第 76 页)

[8] Fan Jun, Gao Yu, Wang Quanjiu, et al. Mulching effects on water storage in soil and its depletion by alfalfa in the Loess Plateau of northwestern China[J]. Agricultural Water Management, 2014,138:10-16.

[9] 赵旭,王汉宁,李玲玲,等.保护性耕作对坡耕地粮豆草等高带状种植作物生长与水土保持效果的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):7-12,30.

[10] 金凤霞,麻冬梅,刘昊焱,等.不同种植年限苜蓿地土壤环境效应的研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(2):73-77.

[11] 方新宇,李军,王学春,等.黄土高原半湿润区苜蓿草地土壤干燥化与草粮轮作水分恢复效应[J].中国农业科学,2010,43(16):3348-3356.

[12] 罗珠珠,李玲玲,牛伊宁,等.陇中黄土高原半干旱区苜蓿地土壤干燥化特征及适宜种植年限[J].应用生态学报,2015,26(10):3059-3065.

[13] 孙剑,李军,王美艳,等.黄土高原半干旱偏旱区苜蓿-粮食轮作土壤水分恢复效应[J].农业工程学报,2009,25(6):33-39.

[14] 王俊,刘文兆,钟良平,等.长期连续种植苜蓿草地上部分生物量与土壤水分的空间差异性[J].草业学报,2009,18(4):41-46.

[15] 李瀚之,余新晓,樊登星,等.模拟降雨条件下黑麦草覆盖度对褐土坡面径流流速的影响[J].北京林业大学学报,2014,36(5):94-98.

[16] 王学春,李军,方新宇,等.半干旱区草粮轮作田土壤水分恢

复效应[J].农业工程学报,2011,27(1):81-88.

[17] 侯沛轩,孙佳美,余新晓,等.模拟降雨条件下植被调控坡面水沙输出过程研究[J].土壤,2016,48(4):819-823.

[18] 王龙涛,赵建伟,华玉妹,等.植草沟净化地表径流运行条件优化[J].环境工程学报,2016,10(9):4855-4860.

[19] 孙佳美,余新晓,樊登星,等.模拟降雨下植被盖度对坡面流体力学特性的影响[J].生态学报,2015,36(8):2574-2580.

[20] Zhou Z C, Shanguan Z P. The effects of ryegrass roots and shoots on loess erosion under simulated rainfall[J]. Catena, 2007,70(3):350-355.

[21] Marc F, Markus L, Boy F, et al. Root growth of maize in an Italian ryegrass living mulch studied with a non-destructive method[J]. European Journal of Agronomy, 2012,36(1):1-8.

[22] Matthew E, Joseph A G, Ian R, et al. Williams. Determination of the degree of polymerisation of fructans from ryegrass and chicory using MALDI - TOF Mass Spectrometry and Gel Permeation Chromatography coupled to multiangle laser light scattering[J]. Food Hydrocolloids, 2016,53:155-162.

[23] 何峰,李向林,万里强,等.四川低山丘陵地区多年生冷季型优良牧草引种试验[J].中国草地学报,2006,14(6):106-109.

[24] Lindsey H, Michelle D, Scott E J, et al. Effects of drought preconditioning on freezing tolerance of perennial ryegrass[J]. Environmental and Experimental Botany, 2012,79:11-20.