

# 渭北黄土高原果园生草地旱季土壤水分特征研究

李同川<sup>1</sup>, 李会科<sup>1,2</sup>, 郭 宏<sup>1</sup>, 杜毅飞<sup>1</sup>, 王海涛<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 农业部 西北植物与肥料及农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**在黄土高原渭北苹果园, 分析多年生鸡脚草(*Dactylis glomerata* L.)、百脉根(*Lotus corniculatu* L.)、小冠花(*Coronilla varia* L.)三种牧草对 0—200 cm 土层含水量的影响。结果表明:冬春季草地表现出明显的保墒性, 而进入春季以后, 随着牧草的萌发又表现出强烈的耗水性, 4 月 10 日—5 月 31 日鸡脚草、百脉根、小冠花地块土壤总耗水量分别为 99.57, 104.81, 82.13 mm, 远高于行间裸地同期在该土层的耗水量(24.19 mm), 三种牧草的耗水能力大小依次为:百脉根>鸡脚草>小冠花。生草地土壤稳定层对活跃层水分补偿作用明显, 活跃层贮水量每减少 1 mm, 鸡脚草、百脉根、小冠花的相对稳定层贮水量分别减少 0.60, 0.60, 0.73 mm。

**关键词:**黄土高原; 果园生草; 土壤水分

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)01-0029-05

## Soil Moisture Characteristics of Different Herbages on Soil Water in Apple Orchard in the Area of Weibei Plateau in Dry Season

LI Tong-chuan<sup>1</sup>, LI Hui-ke<sup>1,2</sup>, GUO Hong<sup>1</sup>, DU Yi-fei<sup>1</sup>, WANG Hai-tao<sup>1</sup>

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-

environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The effects of three kinds of perennial herbage (*Dactylis glomerata* L., *Lotus corniculatu* L., *Coronilla varia* L.) on soil moisture (0—200 cm) in the apple orchards of Weibei Plateau were analyzed. Results showed that sod culture improved the water-retention capacity in the period from winter to early spring, but consumed more water in late spring and early summer because of the herbage's germination. The water consumptions of *Dactylis glomerata* L., *Lotus corniculatu* L., and *Coronilla varia* L. from April 10 to May 31 were 99.57, 104.81, 82.13 mm, respectively, which were much higher than the bare land consumption (24.19 mm). The soil water consumption ability order was as *Lotus corniculatu* L. > *Dactylis glomerata* L. > *Coronilla varia* L. The water compensation effect from stable layer to active layer was obvious. When the water in active layer decreased 1 mm, the water storage in the stable layer decreased by 0.60 mm, 0.60 mm and 0.73 mm for *Dactylis glomerata* L., *Lotus corniculatu* L., and *Coronilla varia* L., respectively.

**Key words:** Loess Plateau; interplanting herbage in orchards; soil moisture

生草制是一种较为先进的果园土壤管理方法, 果园生草栽培是欧美等果树生产发达国家普遍采用的果园可持续发展的土壤管理模式<sup>[1]</sup>。近些年, 果园生草已成为陕西省渭北旱塬地区苹果产业优化升级重点推广的技术措施之一<sup>[2]</sup>。土壤水分是土壤的重要

组成物质, 也是影响土地生产力的基本因素之一。在黄土高原干旱半干旱区, 土壤水分是生态农业建设的重要基础物质, 也是决定该区生态系统结构和功能的关键因子。果园生草在多个方面对土壤含水量造成影响, 而土壤含水量是果树生长的重要影响因素, 所

收稿日期: 2013-11-05

修回日期: 2013-11-30

资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201103005G9);国家科技支撑计划(2014BAD16B06, 2014BAD16B02);国家现代农业产业技术体系(CARS-28);陕西省科技攻关(2010K01-04-2);陕西省科技统筹创新工程计划(2011KTZB02-02-05);西北农林科技大学推广专项(Z222021211)

作者简介:李同川(1988—),男,河南新乡人,硕士研究生,研究方向为水土保持生态环境。E-mail:litongchuan\_xinong@163.com

通信作者:李会科(1965—),男,陕西省武功人,副教授,主要从事果草复合经营方面的研究。E-mail:lihuike@nwsuaf.edu.cn

以对于实施生草覆盖的果园来说,应当增加土壤水分变化方面的研究。很多学者就植被覆盖对土壤水分的调控作用做了探索<sup>[3-8]</sup>,但研究结果并不一致。如李国怀和伊华林<sup>[9]</sup>研究认为,果园生草可提高土壤含水量,同时葡萄园生草可改善土壤物理性状,促进土壤水分向深层入渗,提高土壤水分的利用率<sup>[10-11]</sup>。但是李会科<sup>[12-13]</sup>对渭北果园生草的研究表明,果园生草与果树存在水分竞争,降低了土壤含水量,在干旱季节竞争更强烈,在欠水年尤为突出。学者们就生草对土壤水分的影响做了很多工作,但是由于春季植物耗水严重,降水稀少,所以应该侧重于春季的相关研究。本文在干旱的春季,研究果树行间种植不同牧草(鸡脚草、百脉根、小冠花)条件下土壤水分的时空变异规律,以期为合理选择果园生草品种和改善地面管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

本试验在陕西省白水縣西北农林科技大学苹果试验站内进行。试验站地处东经 109°16′—109°45′,北纬 35°04′—35°27′,平均海拔 850 m 左右,常年年均降雨量 570 mm 左右,降水年际变化较大,冬春易干旱少雨,年均气温 11.4℃,年极端最高、最低气温为 39.4℃、-16.7℃,无霜期 207 d 左右。

### 1.2 试验设计

供试树种为 13 a 生乔化红富士,株行距 4 m×8 m。以果树行间裸地作为对照,在苹果树行间种植鸡脚草、小冠花、百脉根三种不同牧草。2005 年 3 月行间生草播种,已生草 8 a,每年定期刈割 3~5 次。各处理的生态条件及牧草、苹果的田间管理措施一致。

### 1.3 测量方法与数据处理

本试验共设 4 设个处理(行间种植鸡脚草、小冠花、百脉根与行间裸地),行间草地每个处理地块宽 4 m,长 20 m。每个处理地块均匀埋设有 2~3 个水分测量管(和 TDR 仪配套),管长 2 m。在降水稀少、相对干旱的 2013 年 3—6 月份,分别于每月上旬和下旬用 TDR 仪(德国 imko 公司的 TRIME-IPH)定点测量 0—200 cm 土壤含水量,每 20 cm 为一个土层,每个土层重复测量 3 次,取 3 次测量的平均值得到各个土层的平均体积含水量。通过土壤容重计算质量含水量,各处理地块不同土层容重如表 1 所示。降雨资料由设在附近的白水县气象站提供。运用 Excel 等统计软件处理分析不同地块土壤含水量的变化特征。

表 1 不同试验小区各土层土壤容重 g/cm<sup>3</sup>

土层/cm	鸡脚草	百脉根	小冠花	裸地
0—20	1.15	1.13	1.27	1.32
20—40	1.18	1.19	1.28	1.31
40—60	1.23	1.25	1.35	1.37
60—80	1.23	1.32	1.32	1.49
80—100	1.31	1.43	1.36	1.48

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤剖面水分动态变化规律

如图 1A、1B 所示,各生草地平均含水量均高于行间裸地,其中鸡脚草地含水量最高,其次是百脉根和小冠花。3 月 10 日鸡脚草、百脉根、小冠花地块 0—200 cm 土层的平均含水量分别比行间裸地高 11.0%,8.8%,1.7%。4 月 10 日各草地含水量分别比行间裸地高 14.8%,10.9%,2.8%,显示出了明显的保墒效果。但是到了 4 月 30 日(图 1C)鸡脚草、百脉根地块含水量分别只比行间裸地高 7.4%,3.2%,与行间裸地相比,草地土壤含水量呈现较快下降趋势,并且小冠花地块出现了含水量低于行间裸地 3.5%的情况。到了 5 月初(图 1D)行间裸地 0—200 cm 土层含水量开始逐渐高于生草地,5 月 31 日(图 1E)行间裸地 0—200 cm 土层含水量比鸡脚草、百脉根、小冠花分别高 1.6%,5.8%,9.0%。由于 6 月初的一次明显降雨,6 月 15 日(图 1F)各处理地块 0—100 cm 土层含水量有较大变化,鸡脚草、百脉根、小冠花地块含水量分别比行间裸地高 0.3%,1.7%,8.4%,100—200 cm 土层受降雨影响较小,含水量无明显变化。

### 2.2 不同牧草土壤剖面耗水能力对比

春旱是限制作物生长的关键因素,探求不同植被条件下土壤水分变化过程与消耗空间,是获得土壤水分管理技术措施的重要依据<sup>[14]</sup>。图 2 显示了 4 月初—5 月底气候干旱期间果园行间生草(鸡脚草、百脉根、小冠花)与行间裸地土壤剖面水分随时间的变化过程。从图 2A、2B、2C 可以看出,随着时间的推移,3 个生草地 0—200 cm 含水量均有明显减少。对鸡脚草地块 4 月 10 日—4 月 30 日、4 月 30 日—5 月 13 日、5 月 13 日—5 月 31 日 3 个时段内耗水量进行分析,结果显示:与 4 月 10 日含水量相比,3 个时段内 0—200 cm 土层平均含水量分别减少了 7.5%,7.1%,3.7%,百脉根地块减少了 7.9%,6.6%,4.4%,小冠花地块减少了 7.1%,5.8%,2.9%,而行间裸地为 1.1%,2.8%,0.9%。对比三种牧草在 0—200 cm 土层的耗水能力大致排序为:鸡脚草≈百脉根>小冠花。

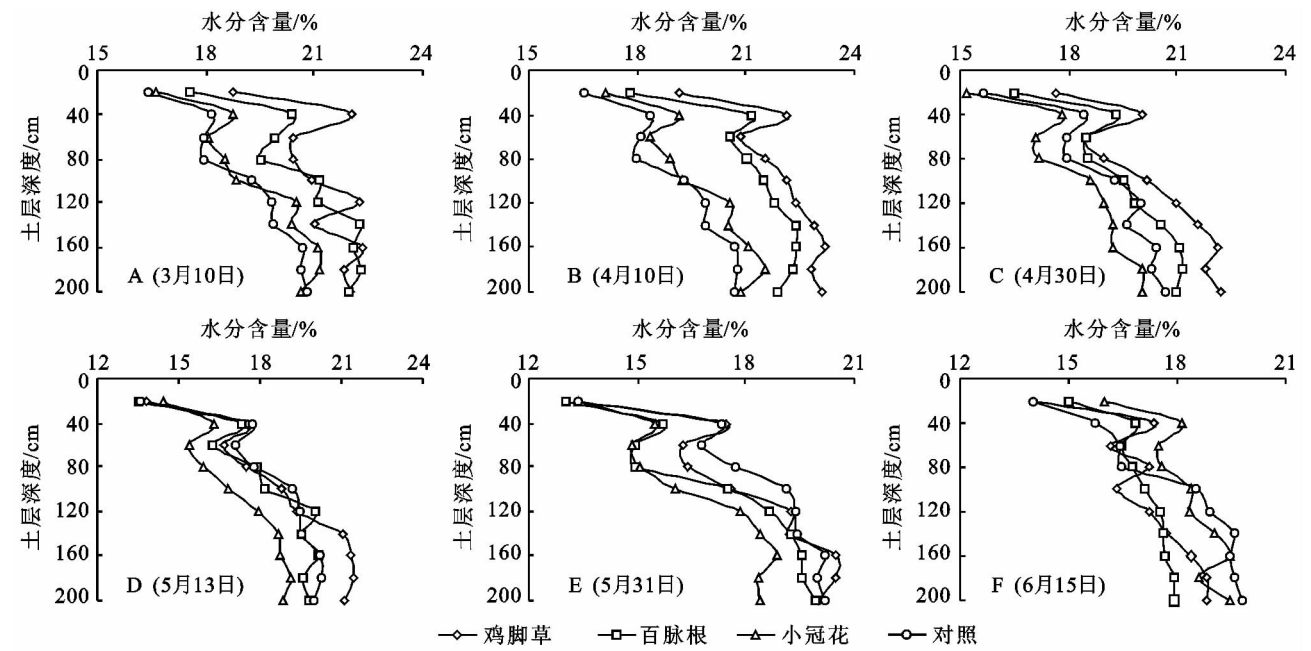


图 1 初春、春末及夏初果园行间生草地与裸地土壤水分状况

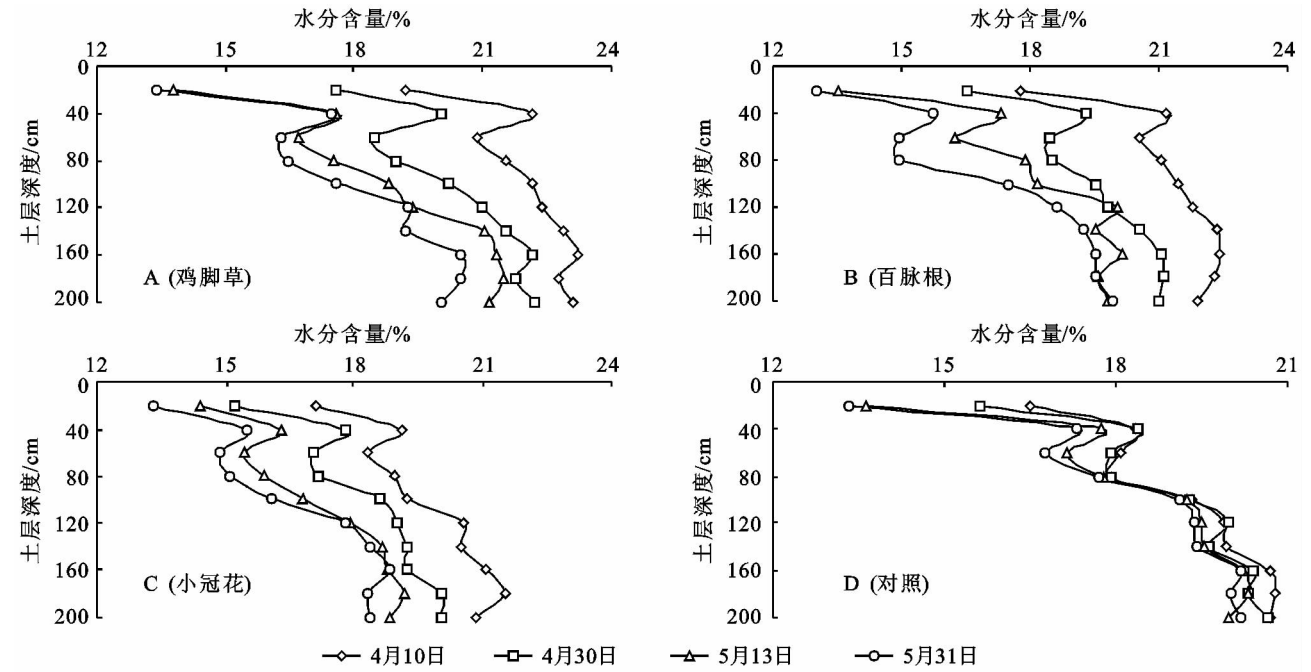


图 2 春季果园行间生草与行间裸地土壤剖面水分随时间的变化过程

从图 3 中可以看出,4 月 10 日—5 月 31 日鸡脚草、百脉根、小冠花地块土壤总耗水量分别为 99.57, 104.81,82.13 mm,不仅远高于行间裸地同期在该土

层的耗水量 24.19 mm,也高于同期自然降水量 42.8 mm(图 4),对比 3 个生草地块耗水总量可知:百脉根>鸡脚草>小冠花。

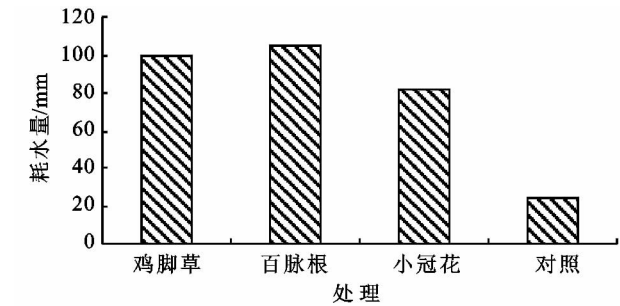


图 3 4 月 10 日—5 月 31 日 0—200 cm 土层总耗水量

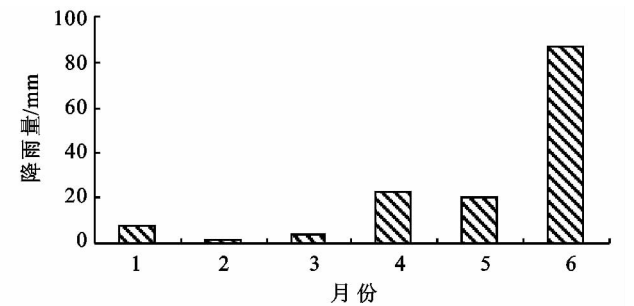


图 4 白水縣 2013 年 1—6 月降雨量

对草地和行间裸地土壤贮水量分期逐层进行计算(表 2),来量化分析旱地植物根系耗水时空变化特征。从春季到夏初,草地土壤剖面耗水量主要分布在土壤 0—100 cm 土层,其耗水量占到 0—200 cm 土层总耗水量的 57.79%~65.74%。而行间裸地土壤耗水量不仅不高,且 60%以上的耗水主要来自 0—60 cm 土层。牧草返青、生长导致土壤水分消耗严重,尤其在 4 月初至 5 月初的一个月内,鸡脚草、百脉根、小冠花样地总耗水量分别达到了 78.24,83.3,67.31 mm,远高于裸地的 24.36 mm。由于春旱少雨、蒸发量大等原因造成土壤水分亏缺严重,此时又是牧草返青—拔节—开花期,应该加强地面管理。

表 2 4 月 10 日—5 月 31 日 0—200 cm 各土层耗水量 mm

不同处理	不同时期	土层深度/cm									
		20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
鸡脚草	04-10—04-30	3.64	4.93	5.89	6.29	5.09	3.63	3.51	2.76	2.68	2.41
	04-30—05-13	8.81	5.85	4.37	3.59	3.62	4.21	1.27	2.10	0.79	2.81
	05-13—05-31	1.01	0.26	1.06	2.75	3.18	0.38	4.91	2.30	2.57	2.91
百脉根	04-10—04-30	2.94	4.36	5.23	6.64	5.51	5.58	5.21	3.82	3.40	2.57
	04-30—05-13	6.73	4.81	5.73	1.58	3.83	−0.64	2.93	2.53	4.33	3.26
	05-13—05-31	1.11	3.78	3.23	7.97	1.94	4.02	0.74	1.82	0.16	−0.30
小冠花	04-10—04-30	4.95	3.50	3.35	4.67	1.77	4.31	3.48	4.96	4.10	2.23
	04-30—05-13	1.98	3.93	4.59	3.41	4.83	2.84	1.54	1.28	2.37	3.21
	05-13—05-31	2.70	2.00	1.54	2.19	2.06	0.28	0.82	−0.26	2.20	1.28
对照	04-10—04-30	2.35	−0.18	0.52	0.12	0.09	−0.27	0.89	0.83	1.48	0.08
	04-30—05-13	5.33	1.76	2.08	0.37	0.16	1.45	0.21	0.50	0.00	2.05
	05-13—05-31	0.69	1.07	1.01	0.22	0.30	0.37	0.31	0.15	0.89	−0.65

表 3 2013 年 3—6 月不同处理下各土层含水量变异性分析

土层深度/cm	鸡脚草			百脉根			小冠花			行间裸地		
	最大差值/mm	标准差/mm	变异系数	最大差值/mm	标准差/mm	变异系数	最大差值/mm	标准差/mm	变异系数	最大差值/mm	标准差/mm	变异系数
20	13.46	5.73	0.16	10.78	4.52	0.13	9.63	3.52	0.09	8.37	3.53	0.09
40	11.03	4.57	0.10	12.95	4.89	0.11	9.42	3.63	0.08	2.65	1.17	0.02
60	11.31	4.45	0.10	14.18	5.43	0.12	9.48	3.75	0.08	3.62	1.48	0.03
80	12.64	4.73	0.10	16.20	5.76	0.12	10.27	3.88	0.09	0.71	0.28	0.01
100	11.89	4.42	0.09	11.29	4.31	0.08	8.66	3.51	0.07	0.55	0.21	0.00
120	8.23	3.37	0.06	8.95	3.20	0.06	7.43	2.99	0.06	1.55	0.77	0.01
140	9.68	3.47	0.06	8.88	3.49	0.06	5.85	2.24	0.04	1.41	0.52	0.01
160	7.15	2.64	0.05	8.16	3.06	0.05	5.99	2.53	0.05	1.48	0.58	0.01
180	6.04	2.15	0.04	7.89	3.28	0.06	8.68	3.22	0.06	2.37	0.85	0.01
200	8.13	3.04	0.05	5.54	2.38	0.04	6.72	2.64	0.05	1.48	0.91	0.02

根据表 3 各土层含水量变异性,将生草地块 0—200 cm 土层分为活跃层(0—100 cm 土层)和相对稳定层(100—200 cm 土层)两个层次,以探求草地不同土层含水量的补偿规律。首先对各地块 0—100 cm 和 100—200 cm 土层水分增减量求和,得到该层在春季阶段的总增减量。然后以 0—100 cm 土层的贮水

2.3 土壤剖面含水量变化特征

对鸡脚草、百脉根、小冠花和行间裸地四块样地 0—200 cm 各个土层的含水量变化进行变异性分析。结果如表 3 所示,各生草地块 0—100 cm 土层贮水量变化较为明显(最大差值>8 mm,标准差>3.5 mm,变异系数>0.07),而行间裸地只有 0—60 cm 土层变化较大(最大差值>2.6 mm,标准差>1 mm,变异系数>0.03)。生草地 0—100 cm 土层变异特征相比:百脉根>鸡脚草>小冠花;100—200 cm 土层变异趋于一致(平均变异系数均为 0.052~0.054),说明不同牧草对 100—200 cm 土层含水量的影响差别较小,但是与行间裸地相比(平均变异系数 0.012),变异仍然显著。

量为自变量,以 100—200 cm 土层贮水量为因变量,对二者进行相关性回归分析,结果发现两者之间呈显著线性相关关系,各生草地的线性回归方程见表 4。从表 4 可以看出,活跃层贮水量每增减 1 mm,鸡脚草的相对稳定层要增减 0.6 mm;百脉根增减 0.6 mm;小冠花增减 0.73 mm。

表 4 不同生草地稳定层贮水量随活跃层  
贮水量变化的回归方程

不同牧草	方程	$R^2$	$P$
鸡脚草	$y=146+0.6x$	0.9596	0.01
百脉根	$y=157.98+0.6x$	0.9969	0.01
小冠花	$y=104.61+0.73x$	0.9671	0.01

注: $x$ 为活跃层贮水量(mm); $y$ 为相对稳定层贮水量(mm); $R^2$ 为决定系数; $P$ 为显著性水平。

3 讨论

3.1 土壤剖面水分动态变化规律

随着季节的变化,植物对土壤水分的利用和植被覆盖地表的情况随之变化。王晶等<sup>[15]</sup>认为,林地的土壤蓄水量变化具有明显的季节性,根据生长季内土壤蓄水量的变化,可以将土壤水分变化分为 3 个时期:土壤水分恢复期、土壤水分消耗期、土壤水分补充期。在 3—4 月初,果园行间生草地块土壤水分含量明显高于裸地,0—200 cm 土层均体现出明显的保墒效果,充足的土壤墒情有利于春季果树萌发及生长发育需要(图 1A、1B)。冬春季节,各行间生草地块土壤含水量不尽相同(鸡脚草>百脉根>小冠花),但均比行间裸地高,这可能是由于生草地每年定期刈割并覆盖于地表,导致地表产生一定厚度的枯落物,抑制了近地面风速。生草地块在冬春季节产生了明显的土壤保墒效果,这和王益权的研究结果相似<sup>[14]</sup>。4 月末,行间草地与行间裸地土壤剖面含水量差异不再明显(图 1C),进入 5 月份,呈现出裸地含水量逐渐高于各生草地块的趋势(图 1D、1E)。这可能是因为 4 月中下旬是牧草返青期,耗水量增加,而降水量不足,气温回升,解冻后的土壤蒸发量加大,导致草地土壤含水量降低。Whitaker<sup>[3]</sup>也得到了类似的研究结果:受植被生长期耗水和降水特征的影响,所有土地利用类型都有一个共同的特点,即土壤水分在整个生长期表现为衰减型。可见果园行间生草在一定意义上具有冬季保水、缓解春旱的作用,但是到了春末夏初,和行间裸地相比草地又显著耗水,加剧了土壤干旱。

3.2 不同牧草土壤剖面耗水能力对比

土壤贮水量变化是评价不同植被下土壤水循环状况的主要指标之一<sup>[16]</sup>。在旱作条件下,植物水分的供给主要是依靠降雨和土壤本身的储水情况。人工牧草通过根系从土壤中吸收大量的水分,除供给植株体内正常所需和营养物质的运转输送外,绝大部分消耗于植株的叶面蒸腾和株间的土壤蒸发,这两部分消耗的水分称为牧草耗水量(或称蒸散量)。张晓红等<sup>[17]</sup>在田间旱作条件下研究了三种豆科牧草对土壤水分的消耗情况得到结论:在牧草生长期内耗水量,

单播沙打旺>苜蓿>达乌里胡枝子。在本文研究条件下,三种牧草在 4 月 10 日—5 月 31 日期间耗水总量:百脉根>鸡脚草>小冠花。耗水量大小可能与不同牧草根系的入土深度和地上生物量等生长特性有关。相比较而言,小冠花不适合在长期干旱、蒸腾强烈的地区种植。

3.3 土壤剖面含水量变化特征

在土壤垂直剖面上,上层土壤受外界环境影响较大,随着深度的增加土壤所受的环境影响减弱。但是在长期生草条件下,随着牧草根系的生长,必然会对深层土壤水分造成影响。对于林地下的土壤水分分布,考虑到林草的作用,王孟本等<sup>[18]</sup>将其分为活跃层、次活跃层和相对稳定层。本文根据土壤水分在垂直剖面上的动态变化,将其粗略地分为水分活跃层和相对稳定层。草地 0—100 cm 土层为水分活跃层,100—200 cm 土层为相对稳定层。而裸地 0—60 cm 土层变化较大,为活跃层,60—200 cm 为相对稳定层。对比草地与裸地的土壤活跃层深度可知:生草可以增加土壤剖面的活跃层深度。这可能是因为牧草的根系垂直向下延伸增加了土壤孔隙度,降低了土壤容重。对各种植模式的春季和夏季失墒期的相对稳定层对活跃层的补偿进行分析,结果显示:长期干旱条件下,土壤稳定层对活跃层土壤水分的输送补偿作用明显,尤其是小冠花。由于小冠花的地上生物量较大,应当及时对其地上部分进行刈割,减少不必要的蒸腾耗水。

4 结论

(1) 在多风少雨的冬春季节,果园行间生草地块土壤水分含量明显高于裸地,起到了缓解春旱的作用,这种情况可以持续到 4 月初,其中鸡脚草保水能力最强,其次为百脉根和小冠花。

(2) 三种牧草在 4 月 10 日—5 月 31 日这段时期内耗水总量对比结果为:百脉根>鸡脚草>小冠花,并且草地耗水量远高于行间裸地。

(3) 和裸地相比,生草可以增加土壤剖面的活跃层深度。生草地块土壤稳定层对活跃层水分补偿作用明显,活跃层贮水量每减少 1 mm,鸡脚草、百脉根、小冠花的相对稳定层贮水量分别减少 0.60,0.60,0.73 mm。

参考文献:

[1] Luce B. Five most important developments[J]. West Fruit Grower,2004,124(10):13.

的不断发展和气候条件的影响,乌兰木伦河年径流量呈不断衰减的趋势。径流量的衰减过程主要分为3个阶段:1966—1986年为初期阶段,降雨量为主要影响因素,径流量一直保持在2.5亿 $\text{m}^3$ ;1987—1996年人为因素开始逐渐介入,乌兰木伦河年径流量不断减少,在1.5亿 $\text{m}^3$ 左右变化;1997—2012年,人为因素成为主要影响因素,并对径流量的影响程度较强,年径流量仅有0.67亿 $\text{m}^3$ 。

(2) 乌兰木伦河径流量的驱动因素主要有降雨量、气温、人口、煤炭产能、GDP等。其中以降雨量和气温为主要内容的自然因素在乌兰木伦河径流量影响因素中的比重为19.6%;而以人口、煤炭产能和GDP为主要内容的社会因素在乌兰木伦河径流量影响因素中的比重为80.4%,是乌兰木伦河径流量衰减的主导因素。

#### 参考文献:

- [1] 黄强,蒋晓辉,刘俊萍,等.二元模式下黄河年径流变化规律研究[J].自然科学进展,2002,12(8):874-877.
- [2] 朱一中,夏军,谈戈.关于水资源承载力理论与方法的研究[J].地理科学进展,2002,21(2):180-188.

- [3] 薛丽芳,谭海樵.沂河流域水文特征变化及其驱动因素[J].地理科学进展,2011,30(11):1354-1360.
- [4] 黄方,张树文,Jan de Leeuw,等.20世纪70年代以来松嫩平原乌裕尔河中下游流域的湿地演变[J].自然资源学报,2006,21(6):949-956.
- [5] 曾庆铭,施龙青.山东省煤炭开采对水资源的影响分析及对策研究[J].山东科技大学学报:自然科学版,2009,28(2):42-46.
- [6] 王波雷,马孝义,范严伟.基于洛伦兹曲线的乌兰木伦河径流变化分析[J].水文,2008,28(5):40-42.
- [7] 张思锋,马策,张立.榆林大柳塔矿区乌兰木伦河径流量衰减的影响因素分析[J].环境科学学报,2011,31(4):889-896.
- [8] 邓飞,全占军,于云江.20年来乌兰木伦河流域植被盖度变化及影响因素[J].水土保持研究,2011,18(3):137-152.
- [9] 杨新,延军平,刘宝元.无定河年径流量变化特征及人为驱动力分析[J].地球科学进展,2005,20(6):637-642.
- [10] 李丽娟,郑红星.华北典型河流年径流演变规律及其驱动力分析:以潮白河为例[J].地理学报,2000,55(3):309-317.
- [11] 孙鹏,张强,白云岗,等.塔里木河流域径流量周期特征及其影响因素[J].地理科学,2013,33(2):216-222.

(上接第33页)

- [2] 李会科,赵政阳,张广军.果园生草的理论与实践:以黄土高原南部苹果园生草实践为例[J].草业科学,2005,22(8):32-36.
- [3] Whitaker M P. Small-scale spatial variability of soil moisture and hydraulic conductivity in a semi-arid rangeland soil in Arizona[D]. Tucson: The University of Arizona, 1993.
- [4] 惠竹梅,李华,周攀,等.行间生草对葡萄园土壤水分含量及贮水量变化的影响[J].草业学报,2011,20(1):62-68.
- [5] 赵政阳,李会科.黄土高原旱地苹果园生草对土壤水分影响[J].园艺学报,2006,33(3):481-484.
- [6] 张扬,赵世伟,侯庆春.草地植被恢复对次降雨土壤水分动态的影响分析[J].水土保持研究,2009,16(3):70-73.
- [7] 邹俊亮,邵明安,龚时慧.不同植被和土壤类型下土壤水分剖面的分异[J].水土保持研究,2011,18(6):12-17.
- [8] 朱德兰,杨涛,王得祥,等.黄土丘陵沟壑区三种不同植被土壤水分动态及蒸散耗水规律研究[J].水土保持研究,2009,16(1):8-16.
- [9] 李国怀,伊华林.生草栽培对柑橘园土壤水分与有效养分及果实产量、品质的影响[J].中国生态农业学报,2005,13(2):161-163.
- [10] Monteiro A, Lopes C M. Influence of cover crop on

water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2007, 121(4): 336-342.

- [11] King A P, Berry A M. Vineyard  $\delta^{15}\text{N}$ , nitrogen and water status in perennial clover and bunch grass cover crop systems of California's central valley[J]. Agriculture, ecosystems & Environment, 2005, 109(3): 262-272.
- [12] 李会科,张广军.黄土高原旱地苹果园生草对土壤贮水的影响[J].草地学报,2007,15(1):76-81.
- [13] 张先来,李会科.种植不同牧草对渭北苹果园土壤水分影响的初步分析[J].西北林学院学报,2005,20(3):56-59.
- [14] 张露,王益权.干旱季节渭北果园土壤水分时空变化特征[J].干旱地区农业研究,2012,30(1):83-89.
- [15] 王晶,朱清科,刘中奇,等.黄土丘陵区不同林地土壤水分动态变化[J].水土保持研究,2011,18(1):220-223.
- [16] 王韶康.植物的水分利用效率和旱地农业生产[J].干旱地区农业研究,1987,5(2):67-80.
- [17] 张晓红,王惠梅,徐炳成,等.黄土塬区3种豆科牧草对土壤水分的消耗利用研究[J].西北植物学报,2007,27(7):1428-1437.
- [18] 王孟本,李洪建.柠条林蒸腾状况与土壤水分动态研究[J].水土保持通报,1990,10(6):85-90.