

农牧交错带不同土地利用方式土壤水分利用效益的比较

孙泽强 李子忠 龚元石

(中国农业大学 资源与环境学院,北京 100094)

摘要 根据在农牧交错带典型地段河北坝上地区田间定位实测的土壤水分、作物和降水资料,运用水分平衡原理,研究了相同降水条件下天然草地、人工草地和农田等3种土地利用方式的耗水规律,分析了水分利用效率、经济效益和生态效益。结果表明,在当地,作物耗水集中于6和7月,约占生育期总耗水量的65%以上;人工草地耗水量为213.2 mm,比天然草地少14 mm;人工草地水分利用效率最高为 $0.78 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,是农田的1.7倍;人工草地的经济效益较好,达到 $2\,388.4 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$,产投比是农田的4.6倍;人工草地的风蚀模数小于农田,生态效益优于农田。因此,从可持续发展的角度考虑,在农牧交错带现有条件下,人工草地是较好的土地利用方式。

关键词 农牧交错带;土地利用方式;土壤水分利用效益

中图分类号 S 812

文章编号 1007-4333(2003)01-0043-04

文献标识码 A

Comparison of soil water use benefits under different land use types in agro-pastoral ectone

Sun Zeqiang, Li Zizhong, Gong Yuanshi

(College of Natural Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract Based on the obtained soil moisture, crop and precipitation data, the principle of water balance was applied to study the water consumption regulation of natural pasture, artificial pasture and cropland in Bashang, Hebei province, a typical part of agro-pastoral ectone. Their water use efficiency (WUE), economic and ecological benefit were also analyzed. The results showed that the major crop water consumption occurred in June and July, more than 65% of that in the growth period. Water consumption of artificial pasture was 213.2 mm, 14 mm less than that of natural pasture. Artificial pasture had the highest WUE ($0.78 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), as 1.7 times as that of cropland. The economic benefit of artificial pasture is the highest ($2\,388.4 \text{ yuan} \cdot \text{hm}^{-2}$). Output/input ratio of artificial pasture was as 4.6 times as that of cropland. The wind erosion modulus in artificial pasture was less than that in cropland. In a sustainable development point of view, it has been suggested that artificial pasture was the best land use type under the present conditions of agro-pastoral ectone.

Key words agro-pastoral ectone; land use type; soil water use benefit

农牧交错带是指北方半湿润农业区与半干旱草原区接壤过渡处的半农半牧区^[1],蕴藏着发展畜牧业的巨大潜力,但它又是个环境敏感带和生态脆弱带。如何实现该地区的可持续发展存在不同看法。例如,许显滨等以黑龙江拜泉县为例,指出农牧交错带可持续发展总体结构,以农业为主^[2];刘公社建议将一部分不宜耕地(约占耕地的20%~30%)退耕还林还草^[3];王静爱等认为退耕还林还草受降水变率大的制约,建立波动的农林牧用地^[4]。

河北坝上地区处于典型的华北农牧交错带。土地利用方式的多样性和水资源贫乏是该地区水土资源的主要特点。目前,对不同土地利用方式的研究主要集中在土壤肥力^[5]、土壤有机碳^[6]、土壤侵蚀度和土壤特性^[7];而研究水分利用,主要是针对某种土地,如麦田的不同种植模式的水分利用效益^[8]、草原羊草群落的水分利用动态^[9]、人工草地的水分动态变化^[10]。对不同土地和利用方式土壤水分利用的比较研究较少,在农牧交错带这方面的研究更少。

收稿日期:2002-06-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30100128);国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018606)

作者简介:孙泽强,硕士研究生;李子忠,讲师,联系作者,主要从事农业水土资源管理研究,E-mail:zizhong@cau.edu.cn

为此,本研究比较了农牧交错带不同土地利用方式的土壤水分利用效益,期望从限制该地区发展的重要因子——水分——的角度发现一些规律。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区在河北省丰宁坝上草原鱼儿山牧场,东经 116°15',北纬 41°44',海拔 1 460 m,属温带寒冷地

区、半干旱大陆季风气候,春季干旱少雨,风沙较大,夏季短促温和,昼夜温差大;全年 0℃ 积温 1 870.3℃·d,全年 10℃ 积温 1 513.1℃·d,年均气温 1℃;无霜期 85 d,降水量 430.7 mm,主要集中在 7—9 月,占全年降水量的 79%;年蒸发量 1 735.7 mm,是降水量的 4 倍多,年均风速 4.3 m·s⁻¹。土壤为栗钙土,质地砂壤土(美国制)(表 1)。

表 1 供试土壤基本理化特性

Table 1 Primary soil properties

层次 cm	容重 (g·cm ⁻³)	有机质	全氮 (g·kg ⁻¹)	全磷	全钾	有效氮 (mg·kg ⁻¹)	有效磷 (mg·kg ⁻¹)	速钾	pH 值	电导率 (mS·cm ⁻¹)
0~10	1.51	29.92	1.26	0.22	15.68	100.73	3.08	98.32	8.18	0.15
10~20	1.55	26.97	1.27	0.24	8.76	96.05	2.03	76.16	8.23	0.15
20~30	1.66	24.13	1.01	0.18	8.51	78.48	1.38	63.29	8.36	0.15
30~40	1.79	21.35	0.77	0.15	4.34	57.40	0.98	58.29	8.39	0.15
40~50	1.74	7.96	0.36	0.10	4.76	39.83	0.71	47.57	8.47	0.15
50~60	1.79	6.02	0.20	0.10	2.34	25.77	0.80	46.86	8.49	0.13

1.2 试验设计

试验选取天然草地(返青期 5 月初,以羊草、隐子草、针茅、冰草、无芒雀麦为主要建群种,其他还有冷蒿、黄芪、赖草、鹤虱、萎陵菜、野韭和益母草等。主要用于放牧)、人工草地(1998 年播种老芒麦,返青期与天然草地相近)和农田(春小麦,品种为蒙麦 24,播期 04-24)3 种土地利用方式,每处理设 3 个小区重复,小区面积为 20 m×20 m,共计 9 个小区。小区周围打田埂以防产生径流。

每个小区埋设时域反射仪(简称 TDR)探针,用于测定 0~15、15~30、30~45 和 45~60 cm 土层的土壤体积含水量,每 3 d 测定一次,降雨前后加测,每次重复读数 3 次。全生育期结束时,在 08-16 取 1 m² 植物样品测定地上部生物产量,将植株齐地面剪下,105℃ 烘干 8 h 称重,人工草地和农田同时测定种子产量。在试验区设置天津气象仪器厂 SDM6 型雨量器,测定降水量。根据鱼儿山牧场的投入费用和产品价格等调查资料计算经济效益。

风蚀情况的测定过程是,用长 10~15 cm 的标桩 10~15 根随机布在试验样地内,布桩时桩顶露出地面 2 cm,然后测定桩顶到地面的距离,减去 2 cm 即为实测土壤流失厚度,并且在测定土壤流失高度的同时测定土壤容重,最后根据风蚀模数的定义^[11]计算:土壤风蚀模数(t·hm⁻²)=土壤流失厚度(cm)×土壤容重(g·cm⁻³)×100。

2 结果与分析

2.1 土壤水分动态分析(图 1)

试验期间(05-02—08-16)的总降水量为 201.5 mm,为同期多年平均降水量的 84.6%,属于干旱年份^[12],集中在 6—7 月,本年度 6 月降水多于多年平均降水量。土地利用方式不同,其土壤水分的状况也不同。其中,5 月下旬至 6 月中旬前农田含水量最高,而 6 月中旬至 7 月下旬近 1 个多月时间人工草地比天然草地和农田具有良好的水分条件,其他时期各处理土壤水分无显著差异。

2.2 耗水规律及水分平衡分析

计算作物耗水量通常采用农田水分平衡方程^[13],即

$$ET = P + I - W - S \quad (1)$$

其中,ET 为作物蒸散量,P 为降水量,I 为灌溉量,W 为计划土体贮水量的增量,S 为土体下边界净通量(向下为正,向上为负),所有变量的单位为 mm。土壤供水为耗水量减降水量的差值,正值为土壤水分减少,负值为土壤水分增加。由于 0~60 cm 土层的田间持水量约为 160 mm,其土壤贮水量约为 30~100 mm(图 1),而最大的降水量不到 30 mm,土壤的水分状况常低于田间持水量,故 60 cm 处发生向下水流的可能性较小,且从实验结束时观察的土壤剖面上的湿润锋变化的位置也可证明这一点。因此可假定 60 cm 处土壤水分的净通量 S 为 0,将 0~

60 cm 土层作为计算土壤水分平衡的计划土层。

各作物耗水集中在 6—7 月,2 个月总耗水量约占全生育期的 66.5%~72.9%;天然草地和人工草地只有 6 月的降水量可满足作物需要并补充土壤水分 12.9 和 15 mm,其他月降水不能满足需要;农田在 5—6 月降水

可以满足春小麦耗水需求,并补充土壤水分。从全生育期的耗水情况来看,人工草地耗水最少为 213.2 mm,天然草地和农田耗水相差不大,降水均不能满足植物耗水需求,都需土壤供水且占作物耗水量的 5.5%~11.3%。天然草地土壤供水最多,为 25.8 mm(表 2)。

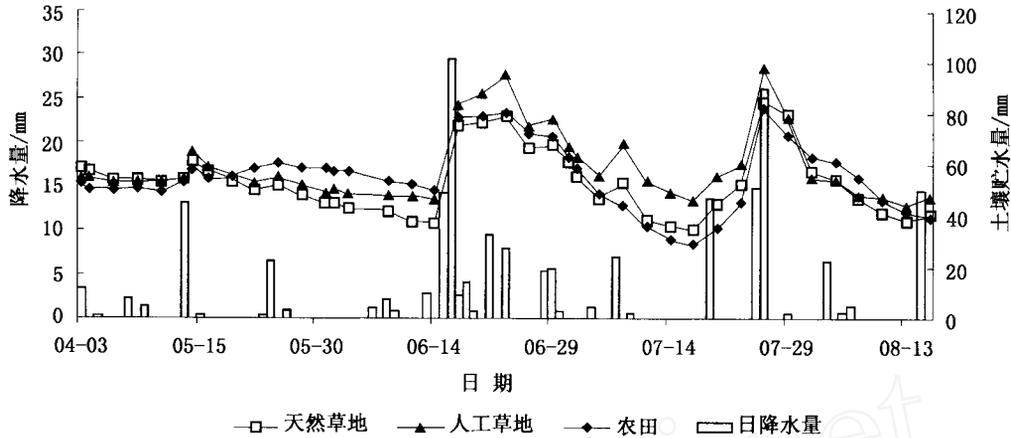


图 1 试验期间(05-02—08-16)降水状况及不同土地利用方式的土壤水分动态变化

Fig. 1 Rainfall and soil water storage dynamic of the different land use types from 05-02 to 08-16

表 2 不同土地利用方式在不同时期的作物耗水

Table 2 Crop water consumption of different land use types and periods mm

土地 利用方式	项目	5 月	6 月	7 月	08-01—08-16	总计
天然草地	降水量	25.1	88.6	64.4	23.4	201.5
	耗水量	35.7	75.8	75.3	40.5	227.3
	土壤供水	10.6	-12.9	10.9	17.1	25.8
人工草地	耗水量	26.9	73.7	81.7	30.9	213.2
	土壤供水	1.8	-15.0	17.3	7.5	11.7
农田	耗水量	18.9	84.5	74.4	47.3	225.0
	土壤供水	-6.3	-4.1	10.0	23.9	23.5

2.3 产量与水分利用效率分析

水分利用效率(WUE)是指单位蒸散量所获得的经济产量^[14]。即

$$WUE = Y / ET \quad (2)$$

式中,ET 为某一时段实际蒸散量(mm 或 m³);Y 为经济产量 kg·hm⁻²(表 2)。人工草地的经济产量最高,其水分利用效率最高为 0.78 kg·m⁻³,农田的最低为 0.47 kg·m⁻³,仅为人工草地的 60%。可见,人

工草地是一种节水高产的土地利用方式(表 3)。

2.4 经济效益分析

天然草地几乎没有人为投入;农田总投入比人工草地多 329 元·hm⁻²;人工草地除地租稍高于农田外,其他费用均低于农田,尤其是机械和化肥费用比农田少投入 150 和 164 元·hm⁻²。虽然人工草地用种子较少,但草籽比小麦单价高得多,种子费用相差不大而且是多年利用(一般老芒麦利用年限为 3 年),耕翻播种的机械费用和化肥费用分摊到 3 年中,大大降低了人工草地的投入费用(表 4)。

表 3 不同土地利用方式的产量和水分利用效率(WUE)

Table 3 Yield and water use efficiency of different land use types

土地 利用方式	耗水量 (m ³ ·hm ⁻²)	地上部产量 (kg·hm ⁻²)	WUE (kg·m ⁻³)
天然草地	2 272.8	1 545.3	0.68
人工草地	2 132.3	1 671.6	0.78
农田	2 250.0	1 049.8*	0.47**

注: * 为春小麦的籽粒产量, ** 为根据春小麦的籽粒产量计算的水分利用效率。

表 4 不同土地利用方式的经济效益比较

Table 4 Economic benefit of different land use types

土地 利用方式	投入					总计	产出			纯收益	产投比
	地租	机械	人工	种子	化肥		干草	籽粒	总计		
天然草地	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	772.7	0.0	772.7	772.7	—
人工草地	450.0	300.0	30.0	225.0	64.0	1 069.0	745.4*	2 712.0	3 457.4	2 388.4	3.2
农田	405.0	450.0	45.0	270.0	228.0	1 398.0	0.0	944.8	944.8	-453.2	0.7

注: * 为计算经济效益的人工草地干草产量不包括籽粒产量。

天然草地干草收入高于人工草地和农田,但人工草地除有干草外,还有 $2\ 712\ \text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的草籽收入,而且所测得的是1998年播种的老芒麦,已是利用的第4年,草地已出现退化现象,产草量下降,此时人工草地的收入也远远高于天然草地和农田。

人工草地的纯收益最高,达到了 $2\ 388.4\ \text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$,农田的纯收益为负值,天然草地居中。从产投比来看,天然草地是基本属于极低投入低产出的自然生态系统;人工草地的产投比为3.2,属于较高投入高产出的人工生态系统;农田的产出与投入基本平衡,属于一种高投入但不一定高产出的高风险人工生产系统,粮食产量年际变化较大,受自然灾害等的影响明显,形成“大灾大减产,小灾小减产,风调雨顺增点产”的局面。

2.5 生态效益分析

土壤侵蚀是我国农牧交错地带以及整个生态脆弱地区目前面临的最为严峻的生态环境问题。河北坝上地区,不同土地利用方式下的风蚀状况(表5)说明,不同土地利用方式的土壤风蚀年际间有差异,但农田风蚀同期大于人工草地,分别是人工草地的1.07和1.6倍。可见,耕翻使农田土壤风蚀严重。

表5 不同土地利用方式的风蚀模数
Table 5 Wind erosion of different land use types

日期	t·hm ⁻²	
	人工草地	农田
2000-10—2001-05	39.19	42.00
2001-10—2002-04	16.10	25.74

3 结论

通过对农牧交错带不同土地利用方式的土壤水分动态、作物耗水、水分利用效率、经济效益和生态效益分析,可得出以下几点初步结论:

1) 3种土地利用方式的作物耗水集中于6—7月,约占生育期总耗水量的65%以上。天然草地和人工草地只有在6月的降水满足作物需水;农田在5—6月的降水都可满足作物需水。人工草地全生育期的耗水量最少,是213.2 mm。

2) 以经济产量计算的水分利用效率以人工草地最高,为 $0.78\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;农田最差,为 $0.47\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。在试验条件下,人工草地的经济效益最好,达到了 $2\ 388.4\ \text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$,农田的经济效益最差,产投比仅为0.7。农田由于耕作的作用,土壤风蚀比人工草地严重,是人工草地的1.07倍和1.6倍。

3) 从作物耗水、地上生物量、水分利用效率、经济效益、生态效益等多方面综合考虑,在试验条件下,人工草地是最好的土地利用方式。

感谢中国农业大学韩永伟博士提供土壤风蚀资料。

参 考 文 献

- [1] 程序. 农牧交错带研究中的现代生态学前沿问题 [J]. 资源科学, 1999, 21(5): 1~8
- [2] 刘公社. 中国农牧交错带可持续发展研究 [J]. 科技导报, 1999, (10): 6~9
- [3] 许显滨, 冯振, 矫江, 等. 农牧交错带农业可持续发展模式的研究 [J]. 黑龙江农业科学, 1998, (4): 17~20
- [4] 王静爱, 徐霞, 刘培芳. 中国北方农牧交错带土地利用与人口负荷研究 [J]. 资源科学, 1999, 21(5): 19~24
- [5] 高富, 沙丽清, 许建初. 西庄河流域土地利用方式对土壤肥力影响的研究 [J]. 土壤与环境, 2000, 9(3): 223~226
- [6] 李忠佩, 王效举. 红壤丘陵区土地利用方式变更后土壤有机碳动态变化的模拟 [J]. 应用生态学报, 1998, 9(4): 367~370
- [7] Kaagul R. Investigation on soil erodibility and some properties of the soils under different land use types in Sogutudere creek watershed near Trabzon [J]. Turkish J Agri Forestry, 1999, 23(1): 53~68
- [8] 刘忠宽. 河北坝上地区麦田不同种植模式的水分利用效益的比较研究 [J]. 耕作与栽培, 2000, (4): 8~10
- [9] 牛海山, 旭日, 宋炳煜. 羊草种群的水分利用动态 [J]. 草地学报, 2000, 8(3): 226~232
- [10] 李政海, 仲延凯. 人工草地土壤水分动态规律的研究 [J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1996, 27(2): 237~241
- [11] 董治宝, 陈广庭. 内蒙古后山地区土壤风蚀问题论证 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(2): 84~90
- [12] 张娜, 梁一民. 干旱气候对白羊草群落土壤水分和地上部生长的初步观察 [J]. 生态学报, 2000, 20(6): 964~970
- [13] 龚元石. 冬小麦和夏玉米农田土壤分层水分平衡模型 [J]. 北京农业大学学报, 1995, 21(1): 61~67
- [14] 李韵珠, 王凤仙, 黄元仿. 土壤水分和养分利用效率几种定义的比较 [J]. 土壤通报, 2000, 31(4): 150~155