

黄土高原半湿润区旱地一年两熟 复种模式土壤水分效应

李露¹, 杨玲¹, 廖允成², 温晚霞²

(1. 西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以冬小麦—夏闲种植模式为对照, 比较了不同作物种植模式的土壤水分动态、作物耗水量及作物产量等指标。研究了旱地“一年两熟”种植模式的农田土壤水分动态及耗水规律, 揭示了不同种植模式对土壤水分的影响机理。结果表明: 旱地一年两熟种植模式具有较好的水分利用效率和经济效益, 4种一年两熟种植模式的水分利用效率和经济效益较对照分别高48.4%~107.5%和62.3%~119.2%; 发展旱地复种对土壤水分的影响程度有限, 各复种处理与对照相比, 水分差异主要存在于1 m以下的深层土壤; 冬小麦—芝麻、冬小麦—大豆、冬小麦—玉米3种作物模式的全季度耗水强度仅较对照分别高0.05、0.07和0.09 mm/d。综合经济效益及土壤水分可利用性分析, 冬小麦—玉米模式的经济产量、收益最佳, 冬小麦—大豆则为水分生产效益次佳, 但显著降低了对土壤水分的消耗。

关键词:旱作农田; 一年两熟; 土壤水分; 水分利用

中图分类号: S152.7*5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)04-0145-07

长期以来, 在有限水资源和土地肥力不足的条件下, 发展复种后, 常会引起后作小麦减产, 黄土高原旱地盛行以夏季休闲为主要特征的种植制度^[1]。研究表明, 以蓄水为主要目的的夏闲地, 在夏闲期光、热、水资源浪费严重, 贮水量仅为同期降水量的30%左右^[2]。对黄土高原夏闲期农业气候资源状况的研究表明^[2], 黄土高原半湿润区热量状况基本上能满足复种的要求, 夏闲期内的降水足以满足夏播作物的水分需要。李军研究表明, 在降水量大于610 mm的冬麦区是可以实行一年两熟^[2]。随着资源丰度的下降、人口和食物需求的持续增长, 多熟种植已不容忽视^[3]。冬小麦生长期降水与作物需水要求的错位, 以及夏闲期降水自然蓄积方式的低效, 决定了可以将提高夏闲期降水资源的利用效率作为研究的重点, 作为提高旱地夏闲期降水利用效率的重要方式, 复种应受到足够的重视。当前, 对旱地作物水分效应的研究多以单季作物和保护性耕作为主^[3-5], 较少涉及作物复种后的水分效应。李军^[6]、韩思明^[7]、李裕元^[8]及张松令^[9]等对黄土高原实行多熟种植进行了探讨, 为本文的研究提供了宝贵的借鉴材料, 但这些研究主要涉及降水生产力的模拟及小宗作物, 且年代较为久远, 对生产上广泛采用的复种模式研究较少。为此, 本研究选取杨凌为试验

地点, 以旱地一年两熟种植制度为研究对象, 研究分析了不同种植模式下的水分效应和经济效益, 以期为该地区发展适度复种提供理论支持。

1 试验地概况与试验方法

1.1 试验地概况

试验于2008年10月~2009年10月在陕西杨凌西北农林科技大学农作一站进行。该地属于暖温带半湿润季风气候区, 海拔525 m, 年均气温13.0℃, 年均日照时数为2 196 h, 无霜期220 d; 多年平均降水量为637.6 mm, 年内降雨分配不均, 60%的降雨集中在7~10月。供试土壤为塿土, 冬小麦播前测定耕层土壤(0~40 cm)的基本肥力状况为: 土壤有机质为9.08 g/kg, 速效氮43.12 mg/kg, 速效磷16.34 mg/kg, 速效钾105.45 mg/kg, pH 7.40。2008年10月17日至2009年10月6日降水量为576.3 mm, 其中冬小麦生育期降水量为165.7 mm, 夏闲期降水量为410.6 mm。

1.2 试验设计

试验共设置5个处理: 处理Ⅰ. 冬小麦—夏闲; Ⅱ. 冬小麦—芝麻; Ⅲ. 冬小麦—大豆; Ⅳ. 冬小麦—高粱; Ⅴ. 冬小麦—玉米(中熟)。以处理Ⅰ为对照, 符号“—”表示年内接茬复种。每处理3次重复, 随

收稿日期: 2009-12-28

基金项目: 2007年度教育部新世纪优秀人才支持计划; 国家自然科学基金(30671227); 公益性行业(农业)科研专项(200803028)

作者简介: 李露(1985—), 男(汉族), 硕士研究生, 研究方向为农业生态学。E-mail: xibeia1@163.com。

通讯作者: 廖允成, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事农业资源利用及农业生态学的教学与科研工作。E-mail: yunchengliao@163.com。

机机组排列,小区面积 48 m²,长 8 m,宽 6 m。试验初前茬作物为冬小麦,2009 年 6 月 6 日冬小麦收获后,于 6 月 7 日在原小区上点播各夏播作物。

冬小麦供试品种为西农 889,芝麻为郑芝 9515,大豆为中黄 13,高粱为赤杂 16,玉米为郑单 958,田间管理按当地高产措施进行。

1.3 测定项目及方法

(1) 土壤水分测定。采用烘干法在冬小麦不同生育期测定 0~200 cm 土壤水分空间动态变化,复种周期内每 15~20 d 测定一次,每隔 20 cm 土层取样。

(2) 作物产量。各作物收获后全小区测产,取 3 次重复平均值,根据收获产品的蛋白质、脂肪、淀粉含量计算等价产量^[10]。

等价经济产量 =
$$\frac{\text{收获体蛋白质产量}}{0.38} + \frac{\text{收获体脂肪产量}}{0.31} + \frac{\text{收获体淀粉产量}}{0.84}$$

(3) 作物耗水量(ETa)。根据农田水分平衡计

算作物耗水量,即: $ETa = \Delta W + P^{[1]}$

(4) 水分利用经济效率。 $EWUE = \text{净产值} / \text{耗水量}^{[11]}$

数据处理采用 EXCEL2003 和 SAS 统计软件进行。

2 结果与分析

2.1 不同处理土壤水分效应

对试验周期内不同处理土壤水分含量测定表明(表 1),前茬冬小麦对土壤水分的影响较大,冬小麦收获后 2 m 土层内土壤贮水量仅为 358.9 mm,比播种时减少 171.5 mm。在不同的处理中,经过夏闲期降水补给后,2 m 土层内的土壤贮水量和冬小麦播种时相比均得到了较好恢复,夏闲结束时各处理 2 m 土层内贮水量分别为 533.3、512.7、507.5、479.5 和 501.0 mm,各复种处理与对照间差异达到显著水平($P < 0.05$),复种作物以芝麻需水量最少,而高粱耗水能力较强,以冬小麦—高粱复种方式贮水量最低。

表 1 不同处理冬小麦生育期和夏闲期期末 2 m 土层贮水量比较

Table 1 Water storage in 2m depth during the growth period of winter wheat and summer fallow

处理 Treatments	冬小麦播前 土壤贮水量(mm) Water storage before sowing of winter wheat	冬小麦收获时 土壤贮水量(mm) Water storage after winter wheat harvesting	夏闲开始时 土壤贮水量(mm) Water storage before summer fallow	夏闲结束 土壤贮水量(mm) Water storage after summer fallow	夏闲期 蓄积水量(mm) Water storage during summer fallow
I	530.4	358.9	358.9	533.3a	174.4
II	530.4	358.9	358.9	512.7b	153.8
III	530.4	358.9	358.9	507.5bc	148.6
IV	530.4	358.9	358.9	479.5d	120.6
V	530.4	358.9	358.9	501.0c	142.1

注:表中不同小写字母(a,b,c)代表数据差异达显著水平($P < 0.05$),以下各表同。

Note: The different letters of a, b and c indicate significant difference at 0.05 level. They are the same in the following.

2.2 不同作物田间耗水量组成特征及耗水强度

从表 2 可以看出,秋播作物和夏播作物的田间耗水量及其构成特征有很大的差异,且土壤贮水对秋播作物和夏播作物耗水的重要程度不同。在田间耗水量组成中,对于秋播作物冬小麦,由于其整个生长期处于少雨季节,生育期内降水供给远不能满足其正常生长对水分的需要,其生长发育要依赖于土壤中贮藏的水分,所以其田间耗水量中土壤供水量所占比例较大。在本试验中,土壤贮水供给占到冬小麦田间耗水量的一半以上,达 51%。各夏播作物生育期与降水高峰期相吻合,夏播作物田间耗水完全来源于生育期内的降水。在本试验中,夏闲期自

然降水除满足作物生长需求外,还对土壤水分起到了有效的补给作用。发展复种后,土地利用率得到了提高,同时也增加了作物对土壤水分的消耗,从全季度耗水量来看,处理 II、处理 III、处理 IV、处理 V 均比对照要高;各复种处理与对照间差异达到显著水平($P < 0.05$),处理 II 和处理 III 之间差异不显著。不同复种作物需水量不同,在复种周期内各处理耗水强度表现为:各复种处理耗水强度均高于对照,以处理 IV 最高,较对照高 0.15 mm/d,处理 II、处理 III 和处理 V 耗水强度与处理 I 相近,并没有因增加了一茬作物而导致耗水强度明显增加。

表2 不同处理冬小麦生育期和夏闲期田间耗水量及组成特征
Table 2 Field water consumption and its components in different cropping systems

处理 Treatments	单季作物 耗水量 Water consumption of each crop(mm)	生育期 降水供给量 Rainfall during growth period of each crop (mm)	土壤贮水 供给量 Consumption of soil water (mm)	土壤贮水 供给总量 Total soil water consumption (mm)	全季度 耗水量 Total water consumption (mm)	单季作物 耗水强度 Daily water consumption of each crop(mm/d)	全季度 耗水强度 Daily water consumption in systems (mm/d)
I 冬小麦 Winter wheat	337.2	165.7	171.5	- 2.9	573.4d	1.44	1.62
夏闲 Summer follow	236.2	410.6	- 174.4			1.95	
II 冬小麦 Winter wheat	337.2	165.7	171.5	17.7	594.0c	1.44	1.67
芝麻 Sesame	256.8	410.6	- 153.8			2.12	
III 冬小麦 Winter wheat	337.2	165.7	171.5	22.9	599.2bc	1.44	1.69
大豆 Soybean	262.0	410.6	- 148.6			2.17	
IV 冬小麦 Winter wheat	337.2	165.7	171.5	50.9	627.2a	1.44	1.77
高粱 Sorghum	290.0	410.6	- 120.6			2.40	
V 冬小麦 Winter wheat	337.2	165.7	171.5	29.4	605.7b	1.44	1.71
玉米 Corn	268.5	410.6	- 142.1			2.22	

2.3 夏闲期不同处理土壤水分动态变化

对不同处理下的土壤含水量时空动态变化分析表明(图1),随着夏闲期的推进,各处理在0~100 cm和100~200 cm 2个层次上的土壤贮水量总体上均呈上升趋势。由图1A可以看出,从夏闲期开始到8月底,各复种作物处理0~100 cm土层内的贮水量均低于对照,各复种处理间差异不明显;至9月中旬,各处理0~100 cm土层内的贮水量均达到最高值;夏闲期结束时,各处理0~100 cm土层内的储水量分别为250.7、263.6、258.1、251.1和247.8 mm,处理Ⅱ、处理Ⅲ与对照间差异达到显著水平($P<0.05$)。由图1B可以看出,至8月底,各处理100~200 cm土层内水分含量均未得到有效补给,进入9月后,随着蒸发强度的减弱及各复种作物需水量的减少,水分才开始向深层补给;至夏闲期结束时,各处理100~200 cm土层内的水分含量分别为282.6、249.1、249.4、228.4和253.2 mm,各复种处理与对照间差异均达到显著水平($P<0.05$)。

与夏闲期开始时相比,各处理在夏闲期结束时0~100 cm土层内的贮水量分别增加了85.2、98.1、92.6、85.6和82.2 mm,增长率分别为51.5%、59.3%、55.9%、51.7%和49.7%,除处理V(复种玉米)外,其它复种处理0~100 cm土层内的含水量均较对照高;各处理100~200 cm含水量分别增加了89.1、55.7、56.0、34.9和59.9 mm,增长率分别为46.1%、28.8%、28.9%、18.1%和30.9%。对各处理2个土层内含水量动态进行比较分析,可以看出:同一种处理下,不同土层内水分含量对夏闲期降水

的响应程度不同,从对各土层的补给量及补给程度上来看,0~100 cm土层受降水的影响程度较大,各处理均显示了相似的分异规律。在夏闲期结束时,复种处理与对照2m土层内贮水量的差异主要存在于100~200 cm土层内,主要原因是:夏闲处理中,由于没有作物对水分吸收阻截的作用,降水所补充的水分更易向土壤深层流动。

2.4 农田土壤贮水的利用程度

对5种处理下不同作物的农田土壤贮水利用状况进行分析得出,夏闲、芝麻、大豆、高粱和玉米生育期与试区雨季同步。考虑到降水入渗补给的影响,如果仅以作物收获时分析计算的话,则不能客观地反映作物对土壤贮水的实际利用状况。因此,我们采用以作物生育期内土壤水分含量最低值时为分析时点,仅以收获时的土壤水分含量作为参考分析计算的时点。作物对农田土壤贮水的利用程度采用下式来计算^[12]:

$$SWUD = \frac{SWC}{SWSS} \times 100\%$$

式中,SWUD为作物及夏闲农田土壤贮水利用程度(%);SWC为土壤贮水消耗量(mm);SWSS为播种时土壤贮水量(mm)。当SWUD为正值时,SWUD值越大,说明作物对土壤贮水的利用程度越高,土壤中剩余水量越少。当SWUD为负值时(夏闲及夏播作物生育期内),SWUD的绝对值越大,说明降雨对土壤水分的补给程度越高,土壤水分恢复程度越高。

表3显示了试验年度内5种作物及夏闲方式下农田贮水利用程度的动态特征,可以看出:同一作物

对不同土层内土壤贮水的利用程度不同。在冬小麦生长季内,0~40、40~100 和 100~200 cm 3 个层次内土壤贮水的利用程度分别为 48.8%、46.7% 和 22.9%。虽然本试区夏闲期在时序上处于降水比较

集中的阶段,除夏闲方式下各土层的农田贮水利用程度为负值外,在一定时期内,土壤贮水也起到了供给复种作物生长的作用。

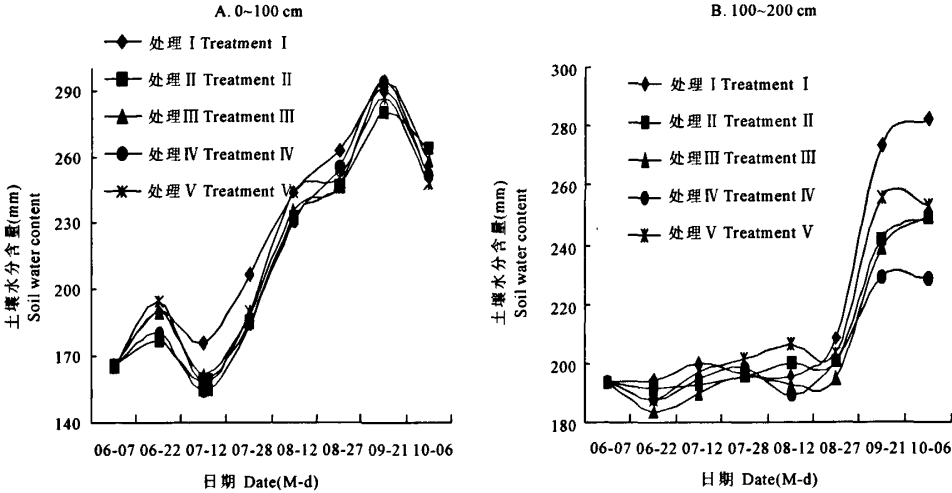


图 1 夏闲期不同处理土壤水分含量动态变化

Fig.1 Comparison of variation in water content at 0~100 cm and 100~200 cm depth between different treatment during summer follow period

表 3 各作物农田土壤贮水利用动态特征

Table 3 Dynamic characteristics of utilization degree of soil water storage for different crops

作物 Crops	土层深度 Soil depth (cm)	播种时 土壤贮水量 Soil water storage at sowing(mm)	生育期土壤含水量低值时土壤水分状况 Lowest soil water content within phenostages			收获时土壤水分状况 Soil water condition of harvest		
			SWS (mm)	SWC (mm)	SWUD (%)	SWS (mm)	SWC (mm)	SWUD (%)
冬小麦 Winter wheat	0~40	113.8	58.3	55.5	48.8	74.1	39.7	34.9
	40~100	165.8	88.3	77.5	46.7	91.5	74.3	44.8
	100~200	250.7	193.4	57.4	22.9	193.4	57.4	22.9
夏闲 Summer follow	0~40	74.1	74.1	0	0	93.8	-19.7	-26.6
	40~100	91.5	91.5	0	0	156.9	-65.4	-71.5
	100~200	193.4	193.4	0	0	282.6	-89.2	-46.1
芝麻 Sesame	0~40	74.1	66.0	8.1	10.9	101.1	-27.0	-36.4
	40~100	91.5	89.5	2.0	2.2	162.4	-70.9	-77.5
	100~200	193.4	191.5	1.9	1.0	248.9	-55.5	-28.7
大豆 Soybean	0~40	74.1	67.3	6.8	9.2	102.6	-28.5	-38.5
	40~100	91.5	91.5	0	0	155.4	-63.9	-69.8
	100~200	193.4	183.3	10.1	5.2	249.4	-56.0	-29.0
高粱 Sorghum	0~40	74.1	61.3	12.8	17.3	98.0	-23.9	-32.3
	40~100	91.5	91.0	0.5	0.5	153.1	-61.6	-67.3
	100~200	193.4	188.1	5.3	2.7	228.4	-35.0	-18.1
玉米 Crop	0~40	74.1	67.8	6.3	8.5	99.5	-25.4	-34.3
	40~100	91.5	90.4	1.1	1.2	148.2	-56.7	-62.0
	100~200	193.4	187.7	5.7	2.9	253.3	-59.9	-31.0

注 Note: SWS,土壤贮水量 Soil water storage; SWC,土壤贮水消耗量 Soil water consumption; SWUD,土壤贮水利用程度 Soil water utilization degree.

不同作物的农田贮水利用程度也存在着明显差异。冬小麦 0~40 cm、0~100 cm 和 0~200 cm 3 个土层内土壤贮水的利用程度分别为 48.8%、47.6% 和 35.9%;夏闲分别为 0、0 和 0;芝麻分别为 10.9%、6.1% 和 3.3%;大豆分别为 9.2%、4.1% 和 4.7%;高粱分别为 17.3%、8% 和 5.2%;玉米分别为 8.5%、5.9% 和 3.6%。对任一土层,均以冬小麦土壤贮水利用程度最高,高粱次之,夏闲最低。此外,从不同层次土壤贮水的利用程度来看,其分异程度也很明显。除夏闲外,无论是冬小麦还是复种接茬作物,均以 0~40 cm 土层土壤贮水的利用程度最高,为 8.5%~48.8%。复种接茬作物对深层(100~200 cm)土壤贮水的利用程度要高于中层(40~100 cm),但水分消耗量差异较小。这表明:0~40 cm 土层是作物生长的主要耗水层,对冬小麦来讲,40~100 cm 土层是次主要耗水层,且受降水的影响较大,而 100~200 cm 土层是潜在供水层,对于夏播复

种作物,0~40 cm 土层和 100~200 cm 土层无明显的水分供给作用。

2.5 不同处理生产力水平分析

不同复种处理下,作物组成不同,为了准确比较不同复种方式生产力的差异,本文采用了等价产量的公式来计算产量,以比较、分析不同复种方式、不同作物的生产力水平。由表 4 可以看出,由于夏闲期农田的利用方式不同,各处理间生物学产量和等价经济产量差异较大。全年和夏闲期生物产量均表现为处理Ⅳ>处理Ⅴ>处理Ⅲ>处理Ⅱ>处理Ⅰ;等价经济产量以处理Ⅴ最高,其次为处理Ⅳ,最低为处理Ⅰ,各复种处理等价经济产量分别较对照增加 14.4%、55.1%、81.7% 和 108%,增产幅度明显,各处理间差异显著($P<0.05$)。可见,挖掘降水资源潜力,充分利用夏闲期的光热资源,是提高作物生产力,提高单位耕地面积产出的有效途径。

表 4 不同处理生产力水平比较

Table 4 Comparison of productivity under different cropping systems

处理 Treatments	作物生物产量 Biomass yield of crop (kg/hm ²)	全年生物学产量 Biomass yield in system (kg/hm ²)	作物经济产量 Economical yield (kg/hm ²)	等价经济产量 Equivalent economical yield (kg/hm ²)	全年等价经济产量 Equivalent economical yield in system (kg/hm ²)
Ⅰ 冬小麦 Winter wheat 夏闲 Summer follow	14998.3 —	14998.3	6149.3 —	6657.3 —	6657.3e
Ⅱ 冬小麦 Winter wheat 芝麻 Sesame	14998.3 2683.2	17681.5	6149.3 489.2	6657.3 958.8	7616.1d
Ⅲ 冬小麦 Winter wheat 大豆 Soybean	14998.3 5167.2	20165.5	6149.3 2061.7	6657.3 3666.1	10323.4c
Ⅳ 冬小麦 Winter wheat 高粱 Sorghum	14998.3 21998.3	36955.1	6149.3 4750.8	6657.3 5436.8	12094.1b
Ⅴ 冬小麦 Winter wheat 玉米 Crop	14998.3 14202.8	29201.1	6149.3 6083.3	6657.3 7184.6	13841.9a

2.6 不同处理经济效益及水分经济效率

高产高效是种植制度改革的重要目标,也是种植制度在实际生产中得以广泛推广和应用的首要条件。对 5 种处理的经济效益(表 5)分析可知,与冬小麦—夏闲相比,发展复种后,生产投入(机耕、种子、化肥、农药、人工)明显增多,其中冬小麦—玉米模式的投入最高,为 8 440.0 元,其次是冬小麦—芝麻,为 8 284.5 元、冬小麦—高粱为 8 115.0 元,冬小麦—大豆最低,为 7 852.5 元。按照试验年度内农产品价格计算,冬小麦—玉米模式产值最高,为 21 410.3 元,其次是冬小麦—大豆,为 19 109.3 元、

冬小麦—芝麻为 18 406.7 元,再次是冬小麦—高粱,为 17 719.8 元,最低是冬小麦—夏闲模式,为 11 068.7 元。各处理的净产值和水分经济利用效率与总产值趋势一致,各复种模式都不同程度较对照增收,增收范围为 62.3%~119.2%,尤以冬小麦—玉米和冬小麦—大豆两种复种模式的经济效益和水分经济利用效率最为可观。因此,在半湿润旱作区夏闲地种植制度改革中,在保证秋播作物土壤水分有效供给的前提下,发展复种是兼顾社会效益和经济效益,提高资源利用效率的关键。

表 5 不同处理经济效益及水分经济利用效率比较

Table 5 The economic benefit and EWUE of different cropping systems

处理 Treatments	投入 Investment (yuan/hm ²)	总投入 Total investment (yuan/hm ²)	产值 Output value (yuan/hm ²)	总产值 Total output value (yuan/hm ²)	净产值 Net output (yuan/hm ²)	水分经济 利用效率 EWUE [yuan/(hm ² ·mm)]
I 冬小麦 Winter wheat	4552.5	5152.5	11068.7	11068.7e	5916.2d	10.32e
夏闲 Summer follow	600.0		—			
II 冬小麦 Winter wheat	4552.5	8284.5	11068.7	18407.2c	10122.7c	17.04c
芝麻 Sesame	3732.0		7338.5			
III 冬小麦 Winter wheat	4552.5	7852.5	11068.7	19109.3b	11256.8b	18.79b
大豆 Soybean	3300.0		8040.6			
IV 冬小麦 Winter wheat	4552.5	8115.0	11068.7	17719.8d	9604.8c	15.31d
高粱 Sorghum	3562.5		6651.1			
V 冬小麦 Winter wheat	4552.5	8440.0	11068.7	21410.3a	12970.3a	21.41a
玉米 Crop	3887.5		10341.6			

注:农产品价格为当季市场收购价格;冬小麦 1.8 元/kg、芝麻 15 元/kg、大豆 3.9 元/kg、高粱 1.4 元/kg、玉米 1.7 元/kg。

Note: The farm product price means the present season market price: winter wheat 1.8 yuan/kg, sesame 15 yuan/kg, soybean 3.9 yuan/kg, sorghum 1.4 yuan/kg, corn 1.7 yuan/kg.

3 结 论

1) 旱地冬小麦一熟制休闲期长,造成光、热、水、土地资源的浪费,一年两作提高了农业气候资源的利用程度和土地生产能力,增加了农业生产的收益。在耕地面积日益减少且对农产品需求不断增加的情况下,在一定程度上,增加夏闲地复种指数有利于缓解人、地矛盾,并能为国家粮食安全战略的顺利实施提供有力保障。

2) 试验结果表明,发展夏闲地复种对下茬冬小麦的底墒影响有限,在 2 m 土层内,复种芝麻、大豆、高粱和玉米后分别比夏闲田减少蓄水 20.6、25.8、53.9 和 32.3 mm,这种差异主要存在于 100~200 cm 深层土壤中,而各复种处理在 0~40 cm 土层内的含水量均高于夏闲处理。从生产力和经济效益方面看,各复种处理在以增加少量水分消耗的代价下换取了大量的生物产量和经济产量,并且增加了经济收入;一年两作水分经济利用效益较对照高 4.99~11.09 元/(hm²·mm),净产值较对照高 4 206~7 054.1 元/hm²。

3) 不同复种模式在生态效益和经济效益的表现上存在较大区别,经济效益以冬小麦—玉米为最高,生态效益以冬小麦—芝麻的土壤水分资源的可持续利用表现最好。综合考虑该区的自然资源状况,在黄土高原半湿润区旱作农田下,可将冬小麦—大豆作为替代冬小麦—夏闲的一年两作种植模式。

4 讨 论

1) 冬小麦是黄土高原地区主要的粮食作物,有着不可替代的重要作用。在进行农作制度改革时,要充分认识到土壤底墒对旱地冬小麦的重要性,确保旱地复种模式的可持续性。本试验表明旱地冬小麦生育期内 66.5% 的土壤水分消耗来源于 0~100 cm 的土层内,冬小麦进入拔节期时才开始消耗 100~200 cm 土层内的土壤水分,且各复种处理与夏闲处理的土壤水分主要存在于 100~200 cm 土层内,因此,发展夏闲种植后,旱地冬小麦在前期的生长并不会受到影响。为了达到冬小麦稳产的目的,建议在有灌溉条件的地区,在冬小麦生育期内进行适量的灌溉,以补充深层土壤水分的亏缺,王淑芬等^[13]对不同供水条件对冬小麦根系分布、产量及水分利用效率的影响进行研究,认为在冬小麦拔节期进行一次 60 mm 的灌溉能明显增加冬小麦产量;李裕元^[8]对豫西黄土丘陵区两熟制旱地秋作物生长期土壤水分动态及其利用进行研究,认为在半湿润旱作区,发展夏闲种植后,在冬小麦播前进行一次补充灌溉,即使仅有 50 mm,小麦也能得到显著的增产作用。

2) 本研究是在平水偏旱年份下进行的,一年两熟复种模式水分供给条件较好,基本能反应常年的情况,且在本试验区域内,进入 8 月后,多阴雨天气,气温较低,因而各夏播作物耗水量相对较低,因此,应该完善对于旱年份及极端气候下的试验内容。据

张松令等^[9]研究表明,在特干旱年份下进行一年两熟也有明显的增收效益。且本研究采用的是常规农作措施,对于反应不同农作措施下的节水增产效果有局限性。张吉祥^[14]、付国占^[15]、黄明镜^[16]研究表明,覆盖措施具有节水增收效应,因此,为了进一步完善研究内容,应将栽培和耕作措施纳入后续的研究工作。

参考文献:

- [1] 熊晓瑞,廖允成,高茂盛,等.黄土高原东南部旱作农田一年两熟种植模式水分效应初探[J].干旱地区农业研究,2008,26(3):44—49.
- [2] 李 军.黄土高原地区种植制度研究[M].杨凌:西北农林科技大学出版社,2004:18—24.
- [3] 张海明,刘景辉,刘国军,等.内蒙古中西部小麦茬复种油用向日葵两熟制种植模式研究[J].华北农学报,2003,18(4):79—81.
- [3] 吕 雯,汪有科.不同秸秆还田模式冬麦田土壤水分特征比较[J].干旱地区农业研究,2006,24(3):68—71.
- [4] 王同朝,卫 丽,王 燕,等.夏玉米覆盖对农田土壤水分及利用影响[J].水土保持学报,2007,21(2):129—132.
- [5] 黄高宝,郭清毅,张仁陟,等.保护性耕作条件下旱地农田麦—豆双序列轮作体系的水分动态及产量效应[J].生态学报,2006,26(4):1176—1184.
- [6] 李 军,王立祥.西北黄土高原夏闲地开发可行性决策咨询系统[J].干旱地区农业研究,1994,12(2):56—62.
- [7] 韩思明,王虎全,李 岗.渭北塬区夏闲地高效利用技术研究[J].干旱地区农业研究,2000,18(4):8—12.
- [8] 李裕元.豫西黄土丘陵区两熟制旱地秋作物生长期土壤水分动态及其利用研究[J].干旱地区农业研究,1998,16(2):41—47.
- [9] 张松令,张鸿杰,徐建兵,等.旱地夏闲期利用一年两作种植制度的研究[J].山西农业科学,1997,25(2):22—25.
- [10] 高旺盛,胡恒觉.黄土丘陵半干旱区不同作物生态效能研究[J].生态学杂志,1991,10(2):1—6.
- [11] 马 丽,隋 鹏,高旺盛,等.太行山前平原不同种植模式水资源效率分析[J].干旱地区农业研究,2008,26(2):177—183.
- [12] 李锋瑞,高崇岳.陇东黄土旱塬区几种作物田间耗水量及土壤水分亏缺分异特征[J].应用与环境生物学报,1996,2(3):259—267.
- [13] 王淑芬,张喜英,裴 冬.不同供水条件对冬小麦根系分布、产量及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2006,22(2):27—31.
- [14] 张吉祥,汪有科,员学锋,等.不同秸秆覆盖量对夏玉米耗水量和生理性状的影响[J].灌溉排水学报,2007,26(3):69—71.
- [15] 付国占,李潮海,王俊忠,等.残茬覆盖与耕作方式对土壤性状及夏玉米水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2005,21(1):52—56.
- [16] 黄明镜,晋凡生,池宝亮,等.地膜覆盖条件下旱地冬小麦的耗水特征[J].干旱地区农业研究,1999,17(2):20—23.

Study on soil moisture effect of double cropping in the dryland of subhumid areas of the Loess Plateau

LI Lu¹, YANG Ling¹, LIAO Yun-cheng², WEN Xiao-xia²

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In this study, with winter wheat – summer fallow cropping pattern as control, we compared the soil water dynamics, water consumption and crop yield of different cropping patterns. The purpose of the research was to find out soil water dynamics, water consumption law, and to reveal the influence mechanism of different cropping patterns on the soil water of two crops a year on dry farmland. The result indicated that planting two crops in a year could get better WUE and economic return, the WUE and economic return of the 4 multiple cropping pattern increased by 48.4% ~ 107.5% and 62.3% ~ 119.2%. The influence extent of multiple cropping on the soil water state was limited, and the daily water consumption of treatment II, treatment III and treatment IV were only higher by 0.05 mm/d, 0.07 mm/d and 0.09 mm/d. Comprehensive analysis of economic benefit and soil water sustainable utilization, the pattern of “wheat-corn” obtained the best economic yield and profit, and the “wheat-soybean” was the second, but this cropping system consumed less soil water than that of “wheat-corn”.

Keywords: dry farmland; double-cropping system; soil water; water use