

旱地不同生态型冬小麦水分利用效率对播前底墒的响应

罗俊杰¹, 王勇², 樊廷录³

(1. 甘肃省农业科学院生物技术研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省农业科学院科研处, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 针对甘肃陇东旱作区冬小麦产量低而不稳、水分利用效率低下, 冬小麦夏季休闲期正值该区的降雨高峰期, 降雨和无效蒸发同步且土壤保持水分不足的问题开展试验研究。通过夏季休闲期的地膜覆盖、集雨抑蒸, 提高播前底墒, 并对模拟底墒试验的产量、水分利用效率(WUE)进行分析, 得出: 冬小麦产量与播前底墒具有显著的相关性, 基于一定底墒条件下的底墒和生育期降水互作分析表明, 产量与播前底墒的拟合度高于与生育期降水拟合; 播前底墒对不同生态类型冬小麦产量和 WUE 有显著的影响, 高底墒条件下的产量、WUE 分别较中底墒和低底墒高 28.40、70.43 和 22.94、75.06 个百分点; 在夏休闲期采用集流入渗抑蒸技术, 使土壤蓄水效率由传统耕作的 33%~38% 提高到 60%~70%, 蓄保夏休闲期的降雨于土壤中, 对于稳定提高适宜生态型冬小麦产量有显著的作用。

关键词: 旱地; 冬小麦; 生态型; 水分利用效率; 底墒

中图分类号: S152.7*5; S512.1*1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)01-0061-05

黄土高原半湿润偏旱地区, 降水年际间变幅大, 年内季节分布不均, 7~9 月降雨占年降水量的 54.1%^[1], 该时段是旱地冬小麦田的夏秋休闲期, 是土壤水分补充、恢复时期^[2]。夏闲期降水和土壤存储的水量, 决定着冬小麦播前底墒的丰欠, 成为影响冬小麦产量波动的重要因素^[3~5]。然而传统的深翻晒垡、纳雨蓄墒、耙耱保墒等农耕措施, 夏闲期土壤蓄水效率仅为 35.0%~38.6%, 60% 以上的降雨在此高温时段以及土壤裸露状况下, 通过地表蒸发、径流等方式散失, 致使该区域农田生产力水平低下且

稳定性较差^[6,7]。

陇东旱作区降雨是土壤水分的唯一补充来源, 它对土壤水分变化有直接的影响。该区冬小麦田夏休闲期降雨和年际降雨有较大的一致性, 两者相关系数达到极显著水平 ($r = 0.78$)^[1]。多年平均夏休闲期降雨 267.3 mm, 占全年降雨 544.8 mm 的 49.06%, 也就是说, 陇东旱地冬小麦生产的降雨资源中, 近一半不是在生育期内, 而是在休闲期的 7~9 月份(图 1)。

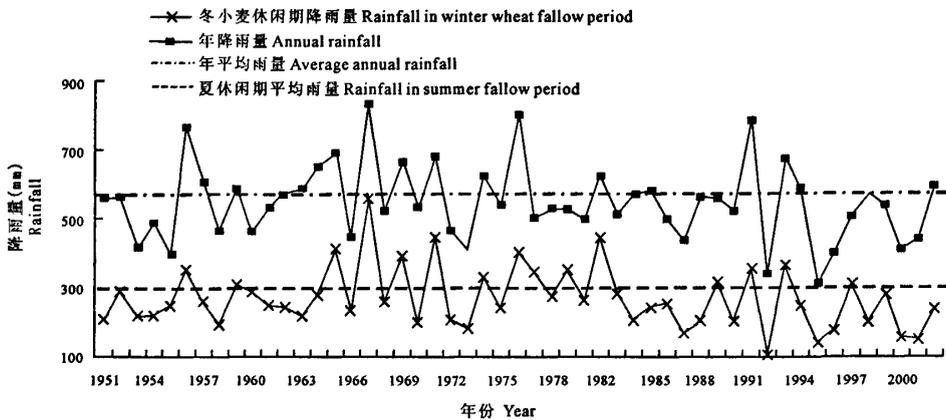


图1 陇东旱塬冬小麦年降雨量和休闲期降雨量状况

Fig.1 The status yearly rainfall and fallow time rainfall in eastern Gansu

收稿日期: 2008-11-10

基金项目: 国家“十五”攻关课题“北方旱塬区优质粮食产业开发模式与技术研究”(2001BA508B11)

作者简介: 罗俊杰(1962—), 男, 博士, 研究员, 主要从事旱地作物栽培与耕作研究。E-mail: hnsjljie@163.com。

休闲期降雨是该区冬小麦田土壤贮水补充的主要来源和关键时期。在正常降雨年份,7~9月份休闲期麦田 0~200 cm 土层土壤储水量可以达到 370~500 mm,而在干旱年份,休闲期降雨比常年偏少

50%~60%及以上时,土壤中的水分不仅得不到补充,而且还会因蒸发而消耗^[1,4]。休闲期气温高,土壤蒸发失水多,降雨补给土壤的水分中有很大一部分被消耗掉,降雨补给率比较低(表 1)。

表 1 旱地冬小麦田夏休闲期降雨及其土壤水分变化

Table 1 The soil water changing by the raining in summer fallow period in dryland

年份 Year	休闲期降雨量 Rainfall in fallow period (mm)	休闲期前土壤储水量 Soil water stored before fallow period (mm)	休闲期末土壤储水量 Soil water stored after fallow period (mm)	休闲期降雨补给 Soil water supplement in fallow period (mm)	休闲期降雨补给率 The ratio of soil water supplement in fallow period (%)
1989	258.4	250.2	300.7	50.5	19.5
1990	344.3	271.4	474.2	202.8	58.9
1991	112.1	256.7	275.5	19.0	16.9
1992	340.4	294.9	433.3	138.4	40.7
平均 Average	266.3	268.3	371.0	102.7	38.6

半干旱区降雨量少,经过一个作物生长季,降雨贮蓄水量已基本消耗,无论是哪种耕作方式,除生育期降雨外,播前底墒是土壤供水的重要组成部分^[8]。

本文针对不同生态类型品种和同一品种在不同底墒条件下的产量、2 m 土壤水分变化以及与生育期降水的互作关系,研究底墒对旱作冬小麦水分利用效率、产量贡献以及群体生理生态变化的影响,以期阐述冬小麦夏休闲期通过地膜覆盖措施,提高土

壤贮水和保水性能,实现旱作区冬小麦产量的稳定和水充分利用效率的提高提供依据。

1 试验材料与试验设计

1.1 试验材料及来源

试验共选用不同生态型的 14 个冬小麦品种,品种名称及来源见表 2。

表 2 供试品种及来源

Table 2 Varieties and their sources

序号 No.	品种 Varieties	来源 Source	序号 No.	品种 Varieties	来源 Source
1	长治 6878 Changzhi 6878	山西省农科院 Shanxi Academy of Agricultural Sciences	8	陇鉴 338 Longjian 338	甘肃省农科院 Gansu Academy of Agricultural Sciences
2	洛麦 9505 Luomai 9505	洛阳市农科所 Luoyang Agricultural Science Institute	9	西峰 20(CK2) Xifeng 20	陇东学院 Longdong University
3	京 411 Jing 411	北京市农林科学院 Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences	10	西农 1043 Xinong 1043	西北农林科技大学 Northwest A and F University
4	晋麦 47(CK1) Jinmai 47	山西省农科院 Shanxi Academy of Agricultural Sciences	11	西农 9622 Xinong 9622	西北农林科技大学 Northwest A and F University
5	陇鉴 127 Longjian 127	甘肃省农科院 Gansu Academy of Agricultural Sciences	12	西农 2911 Xinong 2911	西北农林科技大学 Northwest A and F University
6	陇鉴 196 Longjian 196	甘肃省农科院 Gansu Academy of Agricultural Sciences	13	西农 9614 Xinong 9614	西北农林科技大学 Northwest A and F University
7	陇鉴 294 Longjian 294	甘肃省农科院 Gansu Academy of Agricultural Sciences	14	洛早 2 号 Luohan No.2	洛阳市农科所 Luoyang Agricultural Science Institute

1.2 试验设计

试验采用裂区设计,以播前土壤底墒(2 m 土壤水分含量)TW 为主处理。底墒处理采用前茬冬小麦收获后人工覆膜遮雨。具体方法是:在前茬小麦收获后翻耕、耙耱,用 1.2 m 宽、厚度 0.008 mm 的地膜覆盖全地面,试验地四周开 40 cm × 40 cm 排水

沟,以确保试验地块土壤水分含量正常,播前根据设计的土壤水分要求,通过灌水创造不同底墒条件,并于休闲期至收获期以地膜覆盖,共分为三个水平:

(1) TW1,高底墒,平均含水量 19.68%,相当于 2 m 土层贮水量 535.6 mm,夏休闲期降雨较平均偏多;(2) TW2,中底墒,平均含水量 16.80%,相当于

2 m 土层贮水量 343.2 mm, 夏休闲期降雨平均水平;
(3) TW3, 低底墒, 平均含水量 14.55%, 相当于 2 m
土层贮水量 252.2 mm, 夏休闲期降雨较平均偏少。

品种(TV)为副处理。

小区面积 20 m²(5 m × 4 m), 重复 3 次, 以撮苗
种植方式播种, 每小区种 25 行, 行间距 20 cm, 基本

苗 375 万/hm²。磷肥(P₂O₅) 90 kg/hm² 播前一次施
入, 氮肥(纯氮)150 kg/hm², 田间管理同大田。试验
于 2003~2006 年度进行, 数据分析为 3 年平均均值。

2 结果与分析

2.1 底墒对不同生态型品种产量的影响

表 3 底墒对不同品种产量的影响(kg/hm²)

Table 3 The yield in different soil water content before sowing

品种 Varieties	处理 Treatments			平均产量 Average
	TW1	TW2	TW3	
陇鉴 127 Longjian127	3177.80	2916.68	1988.90	2694.46aA
陇鉴 338 Longjian338	2633.35	2627.79	2055.57	2438.90abAB
陇鉴 294 Longjian294	2505.57	2366.68	2200.01	2357.42abcAB
陇鉴 196 Longjian196	2627.79	2533.35	1655.56	2272.23abcdAB
西峰 20 Xifeng20	2933.35	1700.01	1061.12	1898.16bcdeABC
京 411 Jing411	2611.12	1811.12	1233.34	1885.19bcdeBC
晋麦 47 Jinmai47	2438.90	1633.34	1416.67	1829.64cdefBC
西农 2911 Xinong2911	2588.90	1533.34	1116.67	1746.31defBC
长治 6878 Changzhi6878	2127.79	1594.45	1300.01	1674.08defBC
西农 9614 Xinong9614	1940.01	1733.34	1313.34	1662.23efBC
西农 9622 Xinong9622	1811.12	1455.56	1050.01	1438.90efC
洛早 2 号 Luohan No.2	1893.34	1240.01	1006.67	1380.01efC
西农 1043 Xinong1043	1700.01	1338.90	1055.56	1364.82efC
洛麦 9505 Luomai9505	1833.34	1077.78	805.56	1238.90fC

注:不同大小写字母表示差异分别达到 1% 和 5% 显著水平。

Note: Different capital and small letters mean significance at 1% and 5% levels.

由表 3 分析得知,不同底墒处理间产量差异显著($F_{0.01} = 99.00 > F_{TW} = 22.34 > F_{0.05} = 19.00$), 处理 TW1 较 TW2、TW3 的平均产量分别高 28.40%、70.43%。品种之间产量差异显著($F_{0.01} = 6.70 > F_{TV} = 4.30 > F_{0.05} = 3.80$)。在高底墒(TW1)处理中陇鉴 127 产量最高,为 3 177.8 kg/hm², 西农 1034 产量最低,为 1 700.01 kg/hm²;在中底墒(TW2)处理中陇鉴 127 产量最高,为 2 916.68 kg/hm², 洛麦 9505 产量最低,为 1 077.08 kg/hm²;在低底墒(TW3)处理中陇鉴 294 产量最高,为 2 200.01 kg/hm², 洛麦 9505 产量最低,为 805.56 kg/hm²。

由分析结果可以看出,播前底墒对不同生态类型冬小麦品种在黄土高原旱作区产量有显著的影响,不同品种对底墒变化的敏感性和增产潜力差异较大。当地品种产量较高且在较高底墒条件下对水分敏感程度高,其他生态类型品种产量在低底墒水平下对土壤水分敏感程度高。

2.2 不同底墒下品种的水分利用效率(WUE)

由图 2 可见,不同底墒处理间平均 WUE 最高的是 TW1,为 8.55 kg/(mm·hm²);其次是 TW2,6.9

kg/(mm·hm²);TW3 最低,4.95 kg/(mm·hm²)。TW1 处理 WUE 分别较 TW2、TW3 增加 22.94、75.06 个百分点。品种之间,陇鉴 127 WUE 最高,为 9.6 kg/(mm·hm²),其次是陇鉴 338,为 9.15 kg/(mm·hm²);陇鉴 294,8.4 kg/(mm·hm²)和陇鉴 196,8.1 kg/(mm·hm²)分列第 3、4 位,分别较晋麦 47(CK1)和西峰 20(CK2)高出 46.12、39.48、28.10、22.95 和 41.61、35.18、24.15、19.16 个百分点。WUE 最低为洛麦 9505,4.95 kg/(mm·hm²)。晋麦 47(CK1)和西峰 20(CK2) WUE 分别是 6.6 kg/(mm·hm²)、6.75 kg/(mm·hm²)。

分析表明,播前底墒对冬小麦的 WUE 有明显影响,不同底墒条件下,品种间有较大的差异(图 2)。从三个底墒处理水分利用效率趋势上看,水分利用效率高的品种在不同的底墒水平上都表现出较高的水平,相反,水分利用效率低的,在各处理中也表现较低。

2.3 底墒和生育期降水对产量影响

1991~2003 年露地常规种植条件下,播前土壤贮水、生育期降水和产量情况见表 4。

冬小麦产量与播前底墒、生育期降水均有显著的相关性,并得到以下模拟关系式:

底墒 X_1 (mm)与产量 Y (kg/hm²)关系可模拟为:

$$Y = 5770.8 / [1 + e(5.248 - 0.017 X_1)]$$

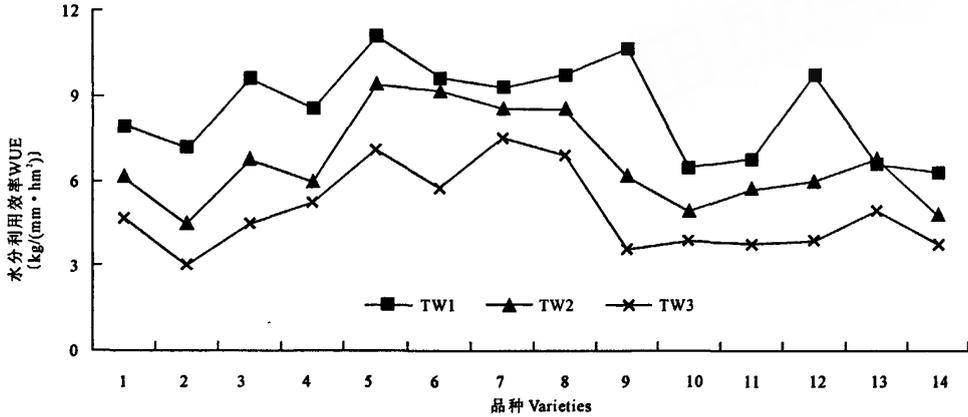
$$F = 10.67, R = 0.777^*$$

生育期降水 X_2 (mm)与产量 Y (kg/hm²)关系可模拟为:

$$Y = 5770.8 / [1 + e(4.874 - 0.011 X_2)]$$

$$F = 29.89, R = 0.9001^{**}$$

表明在露天常规种植条件下,产量与播前底墒有显著的相关性,同时产量和作物生育期降水量之间有极显著相关性,说明旱塬地区有效保持底墒和充分利用生育期降水是提高冬小麦产量的关键因素。



注:图中 1~14 分别代表:长治 6878,洛麦 9505,京 411,晋麦 47(CK1),陇鉴 127,陇鉴 196,陇鉴 294,陇鉴 338,西峰 20(CK2),西农 1043,西农 9622,西农 2911,西农 9614,洛旱 2 号

Note: In Fig. 2 1~14 stand respectively for the varieties of Changzhi6878, Luomai9505, Jing411, Jinmai47 (CK1), Longjian127, Longjian196, Longjian294, Longjian338, Xifeng20(CK2), Xinong1043, Xinong9622, Xinong2911, Xinong9614 and Luohan No.2.

图 2 不同品种对底墒水分利用效率的响应

Fig.2 Effect of WUE in different soil water stored before sowing

表 4 底墒、生育期降水对冬小麦产量的影响

Table 4 Yield of different soil water before sowing and rainfall in growing season

年份 Year	播前底墒(mm) Soil water before sowing (0~200cm)	生育期降水 Rain fall in growing season (mm)	产量 Yield (kg/hm ²)
1991~1992	324.1	233.5	2730.0
1992~1993	458.0	254.3	5496.0
1993~1994	397.4	338.2	4777.5
1994~1995	277.1	173.0	1276.5
1995~1996	231.8	277.5	1473.0
1996~1997	365.2	193.2	4371.0
1997~1998	276.6	346.2	4209.6
1998~1999	328.2	254.2	3875.0
1999~2000	332.8	183.6	1064.0
2000~2001	300.6	286.1	3324.2
2001~2002	338.3	450.3	5761.6
2002~2003	327.9	251.8	3333.3

对于降水,人为调控能力是有限的,但对于减少夏休闲期降水的无效蒸发损失,提高土壤蓄水效率,使冬小麦播前有较强的底墒条件对稳定提高冬小麦

产量是可以多种方式来实。由图 3 中可以看出,两条模拟曲线在水分变化过程中的走势以及对产量增加贡献的差异,产量与底墒关系曲线在土壤水分增加过程中,产量迅速提高并在水分含量达到中等水平时接近最大值后趋于平缓;而在产量与生育期降水关系中,随着降水量的增加,产量在中、低阶段表现增产不明显,在降水到达较高水平时,增产幅度增大。可见,通过增加播前底墒所获得的增产效果显著优于增加生育期降水。该模拟方程与试验有较好的吻合,也与金松灿等^[9]的研究结果一致。

进一步对冬小麦播前底墒 X_3 (mm)和生育期降雨量 X_4 (mm)的交互与产量 Y (kg/hm²)进行分析,有如下关系式:

$$Y = -20490 + 70.92 X_3 + 56.95 X_4 - 0.028 X_3^2 - 0.127 X_3 X_4 - 0.004 X_4^2 \quad R = 0.8288^{**}$$

图 4 表明,在底墒和生育期降水的共同作用下,该拟合方程的产量水平在中段的大部分与播前底墒有较好的吻合,说明底墒在一定的水分区段内是决定产量的主导因素,相反,方程与生育期降雨量的吻合程度较低,说明旱塬区冬小麦生育期降水的产量

效应小于底墒的效应。同时,分析结果表明,底墒对冬小麦产量的方差贡献率为38.6%,即冬小麦产量的近40%由播前底墒决定。但是,研究结果并不说明该区冬小麦产量在有了充分底墒的情况下没有生育期降雨也可以获得高产,本研究的设计是在相对稳定的底墒和生育期降雨的前提下进行的,因此,该结论只说明在上述背景下的底墒与降雨量对产量贡献份额的大小和关联性,并试图为调控底墒技术提供理论依据。

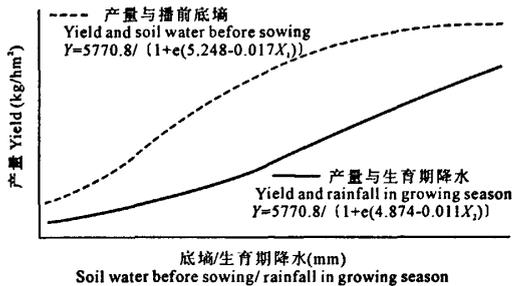


图3 产量与底墒、生育期降水量的关系模拟曲线

Fig.3 The simulation curve of yield with soil water before sowing and rainfall in growing season

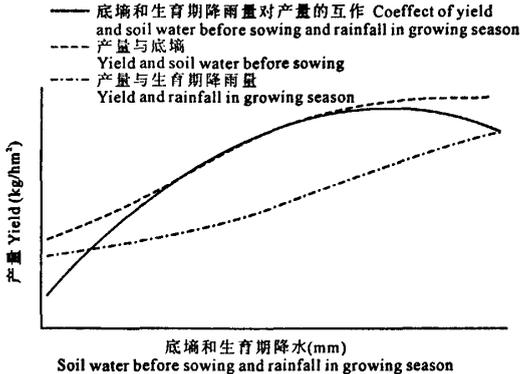


图4 产量与底墒、生育期降水量互作关系

Fig.4 Yield of co-effect of soil water before sowing and rainfall in growing season

3 小结与讨论

1) 冬小麦产量与播前底墒具有显著的相关性,虽然在单项指标分析上反映产量与生育期降水相关

性较大,但基于一定底墒条件下的底墒和生育期降水互作分析表明,产量与播前底墒的拟合度高于和生育期降水拟合。本文初步认为,底墒在降水量相对较低时可以起到较好的稳定产量作用,生育期降水量在达到一定水平后,对于产量的作用将大于底墒对产量的贡献。

2) 播前底墒对不同生态类型冬小麦产量和WUE有显著的影响,表明播前土壤贮水在黄土高原冬小麦生产中具有重要作用。高底墒下的产量、WUE分别较中底墒和低底墒高28.40、70.43和22.94、75.06个百分点。

3) 地膜冬小麦产量表现出随着底墒的提高产量增加。低底墒时种植地膜冬小麦产量低、效益差。这主要是由于冬小麦覆膜种植,翌春拔节后群体快速生长,此时消耗水分主要依赖于播前深层蓄水,若底墒不足,将造成植株生长发育不良,干物质积累减少,最终影响产量。

4) 在夏休闭期采用集流入渗抑蒸技术,使土壤蓄水效率由传统耕作的33%~38%提高到60%~70%,2m土层土壤水分达到中、高底墒水平,并与全生育期地膜覆盖技术结合起来,该项技术对旱地冬小麦的持续增产具有重要意义。

参考文献:

- [1] 邓振镛. 高原干旱气候作物生态适应性研究[M]. 气象出版社, 2005:38—51.
- [2] 李英,上官周平,陈培元,等. 底墒和氮肥对小麦抽穗后绿色叶面积参数的调控模型[J]. 西北农业学报,1994,3(1):3—8.
- [3] 李玉山,喻宝屏. 土壤深层贮水对小麦产量效应研究[J]. 土壤学报,1980,17(1):43—53.
- [4] 毛飞,霍治国,李世奎,等. 中国北方冬小麦播前底墒干旱模型[J]. 自然灾害学报,2003,12(2):85—91.
- [5] 韩思明,王虎全. 旱作地膜覆盖穴播小麦底墒与产量关系[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2001,29(2):91—94.
- [6] 王勇,樊廷录,崔明九. 旱地地膜冬小麦增产机理研究初报[J]. 西北农业学报,1998,7(4):43—48.
- [7] 任三学,赵花荣,郭安红,等. 底墒对冬小麦植株生长及产量的影响[J]. 麦类作物学报,2005,(4):79—86.
- [8] 张仁陟,李小刚,胡恒觉. 施肥对提高旱地农田水分利用效率的机理[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(3):221—226.
- [9] 金松灿. 不同土壤水分对洛旱2号小麦产量的影响[J]. 河南职业技术学院学报,2004,32(4):11—13.

(英文摘要下转第71页)

Effects of long-term organic manure application on crop yield and fertility of black soil

HAN Xiao-zeng¹, WANG Feng-xian^{1,2}, WANG Feng-ju^{1,2}, ZOU Wen-xiu¹

(1. *Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Science, Harbin, Heilongjiang 150040, China;*

2. *College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)*

Abstract: Based on long-term experiment located in central section of the northeast black soil, the effect of organic manure application on black soil fertility and crop yield was studied. The results show that long-term organic manure application could enhance black soil fertility, compared to pre-test, organic matter content, total nitrogen, total phosphorus, available nitrogen, available phosphorus and available potassium under organic manure application treatment demonstrated increase trend, organic matter content, total nitrogen, available nitrogen, total phosphorus, available phosphorus of fertilizer treatment showed increase trend, however, total potassium and available potassium showed opposite trend; under no fertilizer treatment, all indicators except total phosphorus and total potassium showed increase trend; C/N under different treatments demonstrated decrease, the range of values from 11.32 to 12.01; pH was suitable range for crop grow attributed to organic manure application. > 0.25 mm water stability aggregate under different treatments was in the order of fertilizer plus high organic manure(NPKM2) > fertilizer plus low organic manure(NPKM1) > fertilizer(NPK) > no fertilizer(CK); the yield of maize and soybean indicated increase with fertilizer and organic manure application, and, annual yield of maize under different treatments showed increase trend, but, the same trend was not found in yield of soybean. The bio-exhausting experiment proved that organic manure application could increased black soil productivity.

Keywords: black soil; organic manure; soil fertility; crop yield

(上接第 65 页)

Effect of winter wheat yield and WUE with different soil water before sowing in semi-arid areas

LUO Jun-jie¹, WANG Yong², FAN Ting-lu³

(1. *Institute of Bio-technology, GAAS, Lanzhou, Gansu 730070, China;*

2. *Institute of Dryland Agriculture, GAAS, Lanzhou, Gansu 730070, China;*

3. *Department Science and Technology, GAAS, Lanzhou, Gansu 730070, China)*

Abstract: According to the wheat yield and water use efficiency low and instability in arid of eastern Gansu. The summer fallow coincides with the rainy season and evaporation fastigium, which brings the insufficiency of soil water storage in East Gansu rain-fed areas. Covering field with plastic film in this season to collect water and restrain it from evaporation could increase the water storage in soil. An experiment was made in summer fallow time in which bare land was covered with plastic film for restoring the rainfall in the soil. The results show that: 1) Wheat yield and soil water content before sowing significant correlation based on certain conditions. The yield has a higher fitting degree with the soil water content before sowing. 2) The soil water content before sowing in different ecological types of winter wheat yield and WUE has significant influence. The yield and WUE in higher soil water content was respectively increasing than middle lever and low lever in 28.40, 70.43 and 22.94, 75.06 percentage points. 3) During the summer fallow period, applying this technology which collecting rainfall and control the evaporation, make by conventional tillage soil water efficiency of 33% ~ 38% increasing to 60% ~ 70%. Rain water collection and plastic film cover in summer fallow period could significant improving the soil water condition and stable for ecological winter wheat yield increasing.

Keywords: dry land; winter wheat; ecotype; WUE; soil water before sowing