

渭北旱塬冬小麦水·肥·产量关系研究

宋翔, 王全尤³, 李世清, 沈新磊 (1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; 2. 中国科学院水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨凌 712100; 3. 西安理工大学水资源研究所, 陕西西安 710048)

摘要 [目的] 探讨了不同供水条件下土壤水分与作物产量的关系。[方法] 以冬小麦品种长旱58为试材, 设肥力和水分2因子高、中、低3水平9个处理组合, 通过试验资料分析了不同养分和水分条件下作物的产量响应。利用2006年9月~2007年7月的气象资料研究了冬小麦不同生育期耗水量。[结果] 各生育期耗水量占全生育期总耗水量的百分比以孕穗灌浆期最大, 达45.6%, 其次为拔节期, 约21.5%, 越冬期最小, 约8.4%。底墒对旱作作物产量具有重要影响, 施肥量过量会影响农田水分循环过程, 使得高产农田的产量随降水量的变化而波动。[结论] 提高作物土壤耗水量和土壤底墒利用率是黄土高原旱地农业实现高产稳产的关键。

关键词 渭北旱塬; 冬小麦; 作物水分生产函数; 土壤水资源

中图分类号 S512.1⁺¹ 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)07-02691-02

Study on the Relation between Water-fertilization and Yield of Winter Wheat in Weibei Dry Highland

SONG Xiang et al (College of Natural Resources and Environment, Northwest A and F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract [Objective] The purpose of the study was to discuss the relation between the soil water and crop yield under different water supply conditions. [Method] With winter wheat variety Changhan 58 as tested material, 9 treatment combinations with 2 factors of fertility and water at 3 levels of high, mid and low were set up to analyze the yield response of crop under the different nutrient and water conditions on the basis of test data. The water consumptions in different growth stages were studied by using weather data in Sep. 2006 ~ Jul. 2007. [Result] As for the water consumptions in different growth stages, it was found that the percent of water consumption from booting to filling stages to total water consumption was largest (45.6%) in the whole growth period, that in jointing stage was secondary (21.5%) and that in wintering period was least (about 8.4%). The soil moisture in seedling had important effect on the yield of dry-land crop. The excessive fertilization would affect the field water cycle, which make the yield in high yield field fluctuate with precipitation change. [Conclusion] Increasing soil water consumption of crop and utilizing rate of soil moisture in seedling is the key for realizing high and stable yield in dry-land agriculture in loess plateau.

Key words Weibei dry highland; Winter wheat; Crop water production function; Soil water resources

渭北旱塬位于黄土高原南部, 属典型的旱作农业区。冬小麦是渭北旱塬主要粮食作物之一, 占粮食播种面积的60%以上。旱地农业主要指半干旱地区在没有灌溉条件下的农田生产^[1]。降水是旱地农业唯一的水分补给源, 而土壤水作为降水入渗后所形成的动态水资源, 是作物赖以生存的直接水资源。为此, 笔者在不同养分条件下, 研究不同供水(或增加降雨入渗)下土壤水分与作物产量的关系, 为土壤水资源管理提供科学依据。

1 材料与方

试验在陕西省长武县王东沟村旱地塬面进行, 当地海拔1200 m, 年均降水量584.1 mm, 干燥度1.41, 供试土壤为黏钙黑垆土, 耕层土壤pH值为8.3, 有机质10.40 g/kg, 全氮0.60 g/kg, 碱解氮37.0 mg/kg, 速效磷3.0 mg/kg, 速效钾129.0 mg/kg。设肥力和水分2因子, 肥力和水分分别设高、中、低3水平, 共9个处理组合, 随机排列, 重复3次, 增设1个对照, 共计28个小区, 每个试验小区面积72 m²(8 m×9 m)。于2006年9月~2007年7月种植冬小麦(品种为长旱58)N肥用尿素, P肥用过磷酸钙作基肥施。田间管理同大田。

高、中、低肥分别施纯N 450、225、0 kg/hm²; 高、中、低水分补充灌水250、150、0 mm。烘干法测定播种前与收获后0~300 cm土层土壤含水量(0~100 cm每10 cm为1层, 100~300 cm每20 cm为1层)产量以籽粒干重计, 气象资料取自长武县农业生态实验站气象站测定结果。

2 结果与分析

2.1 水肥产量效应

无论在缺水、平水还是丰水年增施肥

料均能引起产量的显著提高, 而不同水分水平的产量差异只有在个别年份即底墒不足或生育期干旱才达显著或极显著水平^[2]。但从平均意义上讲, 农田水分不构成限制产量的主导因素, 肥是限制产量的主导因素, 6年试验中, 低肥处理组合小麦减产绝对量为547.5~3100.5 kg/hm², 平均为1398.8 kg/hm²。据有关分析, 1991~1995年缺肥减产率为0.7%~11.4%, 平均为5.3%, 较1985~1990年缺肥减产率下降了32.3个百分点; 而水分减产率由平均的8.6%(0~17.9%)上升了31.3个百分点, 达到39.9%。并且缺水减产率是同期缺肥减产率的7倍多^[3]。说明随着化肥施用量增多, 肥力因子对产量的影响强度逐渐减弱, 水分成为生产力提高的首要因子。

2.2 作物耗水量与产量的关系 耗水量的计算依据农田水量平衡法: $W = P + I - N - F + R - E_c$; 式中, P 为降水量, I 为灌溉量, N 为地表径流量, F 为深层渗漏量, R 为地下水补给量, E_c 为作物耗水量。根据黄土高原土壤的性质可简化为: $E_c = P + I - W$ 。利用二次水分生长函数表示作物耗水量与产量的关系。根据2006年9月~2007年7月实测试验小区播前收获后土壤含水量、降雨量和冬小麦产量计算了冬小麦耗水量和水分利用效率, 结果如图1、表1所示。

由图1可知, 冬小麦耗水量与产量之间呈现出良好的二次抛物线关系, 即在中、低产水平下, 随着耗水量的增加, 作物产量增加, 当耗水量达到一定数值时, 产量上升的速度减慢, 当耗水量达到作物需水量值时, 产量达最高值; 此后耗水量继续增加, 产量不但不增加, 反而呈下降趋势; 增加养分投入能显著提高作物产量, 但不一定能提高水分生产效率。中氮的抛物线前段斜率比高氮和低氮大, 说明旱地施肥受水分条件限制, 大量施肥可能促进了作物营养生长, 没能转化为干物质生产造成。同时前期生长过多消耗水分, 后期生产水

基金项目 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2005CB121103)、中国科学院百人计划项目。

作者简介 宋翔(1983-), 男, 四川绵阳人, 硕士研究生, 研究方向: 植物营养生理生态。

收稿日期 2007-11-19

分相对不足。

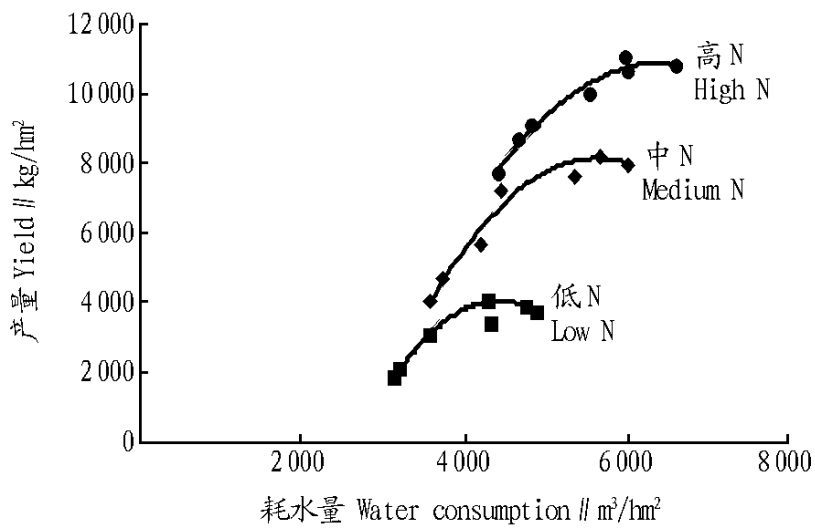


图1 不同养分条件下产量与耗水量的回归曲线

Fig.1 Regression curve between yield and water consumption of winter wheat under different fertilization levels

利用水分生产二次函数模型对试验数据进行处理,中肥为 $Y = -0.001 X^2 + 11.028 X - 22931$, $n = 12$, $R^2 = 0.9753$;高肥为 $Y = -0.0008 X^2 + 10.418 X - 22251$, $n = 10$, $R^2 = 0.9688$;低肥为 $Y = -0.0013 X^2 + 11.85 X - 22108$, $n = 12$, $R^2 = 0.9977$ 。其中, Y 为产量(kg/hm^2); X 为耗水量(m^3/hm^2), R^2 为相关系数。对二次水分生产函数进行求导,可以得到作物最高产量及相应耗水量,结果显示达到最高产量 $11028 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 需要消耗最大水量为 $4301.3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。李玉山指出回归曲线顶点所对应的产量与实际最大产量和需水量有差距,

在根据回归曲线确定的作物需水量与最大产量时需注意^[4]。

表1 各肥力条件下冬小麦水分利用效率差异比较

Table 1 The comparison of WUE under different irrigation and fertilization levels

水分条件 Irrigation	产量 Yield kg/hm^2		
	低肥 Low fertility	中肥 Medium fertility	高肥 High fertility
低 Low	0.96	1.28	1.51
中 Medium	1.14	1.43	1.50
高 High	1.05	1.40	1.37

由表1可知,增加养分投入能提高作物水分利用效率,但随着水分的增加,在相同施肥量下作物水分利用效率下降,而且以低肥和高肥下表现明显。高肥下降的原因可能与王兵等的研究结果有关,在相同的施磷量下,当施氮量到 $90 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 时, $100 \sim 300 \text{ cm}$ 土层的土壤含水率达到一个稳定的值,说明在此基础上增施氮肥不能提高作物水分生产率^[5]。

2.3 作物需水规律与农田水分供需平衡 利用2006年9月~2007年7月的气象资料对冬小麦日耗水量进行计算^[6-7],对日耗水量进行生育期累加得到不同生育期耗水量。不同生育期耗水量占总耗水量的比例为该生育阶段的模系数,它可以反应作物耗水规律,不受不同水分处理的影响。选取 $100, 150, 200 \text{ mm}$ 水分处理下各生育期耗水量与模系数,结果如表2所示。

表2 冬小麦耗水规律

Table 2 Water consumption rule of winter wheat

水分处理 Water treatment	指标 Index	播种~分蘖 Sowing~tillering	越冬期 Overwintering	返青~拔节 Regreening~jointing	拔节~抽穗 Jointing~heading	抽穗~灌浆成熟 Heading~filling mature	全生育期 Whole growth period
100	耗水量 Water consumption	55.5	30.3	21.2	72.8	132.0	311.8
	模系数 Middle coefficient	17.8	9.7	6.8	23.3	42.4	100.0
150	耗水量 Water consumption	70.0	36.8	47.5	90.1	198.8	443.2
	模系数 Middle coefficient	15.8	8.3	10.7	20.3	44.9	100.0
200	耗水量 Water consumption	72.2	38.7	66.4	110.9	241.5	529.7
	模系数 Middle coefficient	13.6	7.3	12.5	20.9	45.6	100.0

由表2可知,模系数以抽穗灌浆期最大,达到 45.6% ;其次为拔节期,达 21.5% 左右;越冬期的模系数最小,为 8.4% 左右。表明抽穗灌浆期需水最大,对缺水最敏感;拔节期次之,越冬期最小,这与山仑等的研究成果一致。

旱地作物耗水由降水和土壤供水两项组成,1985~1986年的试验资料表明:冬小麦土壤供水量占耗水量的比例变化在 $9.1\% \sim 52.6\%$, 平均 35.4% , 这与李玉山等^[8]的研究结果一致;降水所占比例变化在 $17.4\% \sim 90.9\%$, 平均 64.6% 。冬小麦耗水除依赖生育期降水外,很大程度依赖于播前土壤储水,即底墒,依赖土壤水库的供水调节功能来弥补生育期降水之不足;冬小麦播前土壤底墒充足的年份,生长期可提供 200 mm 左右的水分供其需水高峰利用。

2.4 农田土壤水分管理 农田土壤水资源变化规律受降水和作物需水规律共同影响。以冬小麦为例,冬小麦收割后7~9月的夏季休闲期是黄土旱塬地区的雨季。作物生长期间消耗的土壤水分在此期间可得到部分或全部恢复,恢复的深度和程度受该时期的降雨量和收获后土壤水分的亏缺程度影响。长武县气象站监测数据表明,全年降水量的多年平均

值为 582.8 mm , 其中7~9月份雨季的多年平均降雨量为 309.0 mm 。因此该地区降水不能满足作物生长季节的水分需求,作物会不断利用深层土壤水分,而在夏季休闲期的降水量接近多年平均值的年份,土壤水分入渗深度均未超过 3 m ^[9]。入渗深度低,阻碍深层土壤水分的恢复,易造成土壤干燥化,不利于土壤深层供水能力的发挥,同时影响区域的水分循环^[10],受生育期降水量的影响,造成旱作高产田产量波动。因此,提高作物土壤耗水量和土壤底墒利用率是旱地作物增产的关键所在。

据研究,黄土高原沟壑区冬小麦水分利用效率一般为 $6.0 \text{ kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$, 北方旱地冬小麦的水分利用效率可达 $15.0 \text{ kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$ 。说明渭北旱塬大田作物有增产的巨大潜力,其中,土壤水资源的田间管理可发挥重要作用。研究表明,渭北旱塬传统耕作方法在麦田夏季休闲期所保蓄的土壤水分占同期降水量的 40% 左右^[11], 秸秆覆盖可提高到 65% 。根据长武实验站1985~1990年试验资料计算,多年7~9月降水平均值为 321.4 mm , 夏季休闲时采取覆盖措施可比传统耕作提

(下转第2711页)

$$y = 21.1 - 20.0x + 8.9x^2 \quad (F = 16.207) \quad (5)$$

从回归方程(5)可以看出, $F < F_{0.05}$, 说明茄子的黄萎病发生率 y 与益果灵浓度 x 之间没有显著的回归关系, 所配置的回归方程是无效的, 不能用来预测 y 值^[2]。就试验结果(表1)来看, 当茄子黄萎病发生率最低时, 益果灵的浓度为

1.0 ml/L, 此时, 茄子黄萎病发生率为 8.73%, 发生减低率为 57.35%。

2.3 益果灵对茄子日增重的影响 以益果灵喷施浓度为自变量 x , 以茄子果实的日增重量为因变量 y , 得到回归方程:

$$y = 5.99 + 3.0x - 1.6x^2 \quad (F = 3.32) \quad (6)$$

表1 不同浓度的益果灵对茄子产量、黄萎病发生率、日增重的影响

Table 1 Effects of different Yiguling (TDZ preparations) concentration on yield of eggplant, incidence of verticillium wilt and daily gain

处理 Treatment	产量 Yield kg/hm ²	增产率 Yield increasing rate %	黄萎病发生率 Incidence of Verticillium wilt %	发生减低率 Decreasing rate of occurrence %	日增重 Daily gain of fruit g/d	日增重差异率 Differences of daily gain %
	46 587.0	0	20.47	0	5.76	0
	63 298.5	35.87	15.03	26.58	7.74	34.38
	70 597.5	51.54	8.73	57.35	7.03	22.05
	65 932.5	41.53	11.22	45.19	7.02	21.88
	53 875.5	15.65	17.00	16.95	5.92	2.78
平均 Mean	60 058.5	28.92	14.49	29.21	6.69	16.15

从回归方程(6)可以看出, $F < F_{0.05}$, 说明茄子果实的日增重量 y 与益果灵浓度 x 之间没有显著的回归关系, 所配置的回归方程是无效的, 不能用来预测 y 值^[2]。从试验结果(表1)来看, 当茄子日增重达到最大时, 益果灵的浓度为 0.5 ml/L, 日增重为 7.74 g/d, 日增重差异率为 34.38%。

3 结论与讨论

益果灵具有极好的增产效果, 理论上最高增产率达 50.55%, 这与最新的研究结论一致^[4]; 具有极好的减少茄子黄萎病发生的效果, 最高可以降低发病率 57.35%; 有效地增加了茄子的日增重, 日增重差异率最高为 34.38%。该试验

仅考察茄子的产量、黄萎病发生率、单果日增重等指标, 茄子的商品化率、落花落果及植株本身的分枝、叶面积、节间距等植物学性状并未考察, 尚需要做进一步研究。

参考文献

- [1] 荣钦科技. Excel 2003 在统计学中的应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 251 - 257.
- [2] 毛达如. 植物营养研究方法[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2005: 164 - 169, 176.
- [3] 张新社, 陈继选, 丁拓, 等. 保护地西葫芦生产中取代点花和人工授粉的无公害新药. 蔬菜[J], 2005(12): 27.
- [4] 高传光, 张春霞. 益果灵在工业番茄上的试验示范总结[J]. 农业新技术, 2006(2): 22.

(上接第2692页)

高蓄水量 80.4 mm。假设所增加的蓄水量全部转化为耗水量, 那么按 6.0 kg/(mm·hm²) 的水分生产效率计算, 冬小麦可增产 7 240.5 kg/hm²。长时间的研究与生产实践表明, 除了覆盖耕作外(秸秆覆盖、地膜覆盖、秸秆地膜组合覆盖)、深耕休闲、夏季休闲、增加农田养分投入、优化种植制度均能有效提高土壤水资源利用效率。

3 讨论

(1) 黄土高原深厚疏松和壤质的土体特性使其具有巨大的储水能力, 成为天然的土壤水库, 是旱地农业存在和发展的基础。施肥促进了作物的生长同时降低了土壤含水量, 降低了土壤供水能力, 从而限制了肥料作用的进一步发挥。加之实现旱地高生产力造成土壤干燥化, 其土壤水平在较低的水平上波动, 使得作物产量容易受降水影响而发生波动; 同时加剧了对土壤储水的消耗, 上层土壤水分容易得到恢复, 而深层土壤储水在降水量较少的情况下得不到足够的补充, 储水恢复程度低。因此在肥料充足的条件下, 限制了土壤水库的调节作用。

(2) 该地区气候干燥、蒸发量大、土壤无效水蒸发大, 尤

其在夏季休闲期土壤无效蒸发相当严重, 所以旱地农业生产具有很大的增长潜力。土壤水资源的管理是渭北旱塬农业生产管理的核心。

参考文献

- [1] 山仑. 黄土高原旱地农业的理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1 - 2.
- [2] 李玉山, 苏陕民. 长武王东沟高效生态经济系统综合研究[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1991: 115 - 119.
- [3] 钟良平, 邵明安, 李玉山. 农田生态系统生产力演变及驱动力[J]. 中国农业科学, 2004, 37(4): 510 - 515.
- [4] 李玉山. 陕西东部旱塬农田墒情调查[J]. 土壤, 1975(6): 10 - 17.
- [5] 王兵, 刘文兆, 党廷辉, 等. 长期施肥条件下旱作农田土壤水分剖面分析特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 411 - 416.
- [6] SMITH MR G. Report on the expert consultation for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements[M]. Italy: Land and Water Development Division, FAO, Rome, 1991: 1 - 52.
- [7] 刘钰, PEREIRA LS, THXERA J L, 等. 参照腾发量新定义及计算方法对比[J]. 水利学报, 1997(6): 27 - 33.
- [8] 李玉山, 喻宝屏. 土壤深层储水对小麦的增产效应研究[J]. 土壤学报, 1980, 17(1): 43 - 54.
- [9] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响[J]. 生态学报, 1983, 3(2): 91 - 101.
- [10] 李玉山. 旱作高产田产量波动性和土壤干燥化[J]. 土壤学报, 2001, 33(3): 353 - 356.
- [11] 黄明斌, 党廷辉, 李玉山. 黄土区旱塬农田生产力提高对土壤水分循环的影响[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 50 - 54.