

不同降水年型氮磷配施对冬小麦产量形成及水量平衡的影响

李婷¹, 刘文兆^{1,2*}, 张益望³, 胡亚妮⁴

(1. 西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 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. 长安大学公路学院, 陕西 西安 710064; 4. 河北科技大学图书馆, 河北 石家庄 050018)

摘要: 通过田间定位试验, 探讨不同降水年型下氮磷配施对冬小麦产量形成及水分利用的影响, 为改善麦田水分状况, 建立与水分条件相适应的肥料组合模式提供依据。结果表明: (1) 试验条件下, 与对照处理相比, 高氮高磷处理产量及水分利用效率均较高, 平水年和干旱年的产量分别较对照增加 68.37% 和 62.95%; 水分利用效率分别较对照增加 36.72% 和 31.21%, 与对照及低氮高磷处理间差异显著; (2) 不同降水年型下, 4 种氮磷配施处理对叶重、秸秆重、籽粒重和千粒重的影响基本呈现高氮处理 > 低氮处理 > 对照的趋势, 4 种氮磷配施比对照对籽粒产量和水分利用效率的影响基本一致, 即高氮高磷 > 高氮低磷 > 低氮低磷 > 低氮高磷 > 对照。在不同降水年型下, 合理施肥可显著提高冬小麦干物质积累及产量, 同时有效促进水分的利用效率, 高氮处理下尤为显著。

关键词: 氮磷配施; 降水年型; 干物质; 产量; 水分利用效率; 冬小麦

中图分类号: S512.1⁺1; S147 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)03-0156-05

肥和水是旱地农业生产的两大限制因子, 根据土壤水分合理施肥, 促进作物生长发育和提高作物产量成为农业综合发展的关键技术, 早期已有大量文献表明水分对产量的影响。黄土高原区是典型的旱作农业区, 该区降水少, 时间和空间分布不均, 有限的水分不能充分利用, 同时土壤肥力低下, 成为限制旱地作物产量和水分利用效率提高的主要因素。而随着人们对农产品需求的不断扩大以及粮食生产重要性的提高, 如何通过水肥合理配置达到“以肥调水, 以水促肥”的目的成为科学研究的重点。

从提高作物生产力和充分利用有限降水资源的角度出发, 根据田间试验结果, 分析小麦生育期生长状况及耗水特性, 研究不同降水年型下肥料配施是如何影响和调控水分资源与作物生长需求之间的关系, 以便通过施肥措施, 改善麦田水肥状况, 为建立与该区水分资源条件相适应的肥料组合模式提供科学依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验区概况

田间试验布设于中国科学院长武农业生态试验站作物水分平衡试验场, 该试验站地处黄土高原中

南部陕甘交界的陕西省长武县洪家镇王东村, 107°40'E, 35°12'N, 海拔 940~1 220 m, 为典型的黄土高原沟壑地貌。属暖温带半湿润大陆性季风气候, 年平均降水量为 584.1 mm, 且年际季节分布不均, 降水集中在 7~9 月, 占全年降水总量的 55% 以上。土壤为中壤质黑垆土, 田间持水量为 20.8%~22.4%, 塬面地下水埋深 40~80 m。土壤耕层有机质 11.5 g/kg, 全氮 0.80 g/kg, 碱解氮 46.67 mg/kg, 有效磷 5.34 mg/kg, 速效钾 187.8 mg/kg。

1.2 试验设计

试验始于 2005 年, 供试冬小麦品种为长武 89-134, 设有氮肥(尿素)和磷肥(过磷酸钙)各 2 个水平, 共 5 个处理: 低氮低磷[N90P60, N 90 kg/(hm²·a) + P 60 kg/(hm²·a)], 低氮高磷[N90P120, N 90 kg/(hm²·a) + P 120 kg/(hm²·a)], 高氮低磷[N180P60, N 180 kg/(hm²·a) + P 60 kg/(hm²·a)], 高氮高磷[N180P120, N 180 kg/(hm²·a) + P 120 kg/(hm²·a)]和对照(CK), 每处理 3 次重复, 具体处理见表 1。试验小区面积 12 m²(长 4 m, 宽 3 m), 四周用水泥砌墙 1.5 m 深, 以阻断小区间土壤水分养分水平交换, 小区间留有 0.5 m 宽的保护行。每年 9 月中旬播种, 6 月中旬收获, 冬小麦成熟后记录实

收稿日期: 2010-11-15

基金项目: 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室专项经费(10502-z10)

作者简介: 李婷(1985-), 女, 内蒙古乌兰察布市人, 在读硕士, 主要从事农业生态研究。E-mail: liting1226@126.com。

* 通讯作者: 刘文兆(1960-), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事流域水文生态与节水型生态学农业研究。E-mail: wzliu@ms.iswc.ac.cn。

产并考种。

表 1 不同降水年型下不同氮磷配施小麦的干物质分配(kg/hm²)

Table 1 Dry matter distribution of different fertilizer N and P treatment in different years of precipitation

处理 Treatment	平水年 Normal year				干旱年 Drought year			
	叶重 Leaf weight	秸秆重 Straw weight	籽粒重 Grain weight	千粒重 1000-grain weight	叶重 Leaf weight	秸秆重 Straw weight	籽粒重 Grain weight	千粒重 1000-grain weight
CK	259.36 _c	2000.00 _b	1777.80 _c	44.20 _a	187.72 _c	1231.11 _c	1570.54 _c	45.19 _b
N90P60	318.96 _{ab}	2188.33 _{ab}	2512.71 _b	43.90 _{ab}	286.63 _a	2478.89 _a	2296.38 _b	45.40 _b
N90P120	286.05 _{bc}	2225.00 _{ab}	2257.96 _b	41.67 _b	201.95 _{bc}	1487.64 _{bc}	1955.96 _b	46.07 _{ab}
N180P60	344.94 _a	2450.00 _{ab}	2730.49 _a	44.63 _a	262.69 _{abc}	1754.44 _{bc}	2301.79 _b	46.25 _{ab}
N180P120	354.50 _a	2600.00 _a	2993.30 _a	44.74 _a	304.38 _{ab}	2495.97 _a	2559.15 _a	47.88 _a

注:表中所示小写字母者表示差异达5%显著水平。

Note: Different small letters mean significant differences at 5% level.

1.3 测定项目和相关指标计算方法

1.3.1 产量及干物质测定 收获期对冬小麦进行收获,分别测定叶重,秸秆重,千粒重,籽粒产量等指标。

1.3.2 冬小麦耗水量与水分利用效率计算 由于没有地表径流,并且略去3 m深度处水分的上下交换,相关计算式如下:

$$\text{冬小麦耗水量: } E = P - \Delta W \quad (1)$$

$$\text{水分利用效率: } WUE = Y/E \quad (2)$$

式中, E 为作物耗水量(mm); P 为降水量(mm); ΔW 为土壤储水变化量(mm),等于阶段末与阶段初土壤储水量之差,土层取0~3 m厚度; WUE 为水分利用效率[kg/(mm·hm²)]; Y 为作物籽粒产量(kg/hm²)。

肥料对产量的贡献率=(施肥处理产量-对照处理产量)/施肥处理产量×100%

1.3.3 小麦降水年型划分 采用生育年概念,即从小麦收获后的休闲期(7~9月)和生育期(10月~次年6月)的降水量划分不同降水年型,以降水量增减在多年平均降水量的10%以内为平水年,以降水量减少在多年平均降水量10%以上为干旱年,以降水量增加在多年平均降水量10%以上为丰水年^[1]。该试验区多年平均降水584.1 mm,选取试验布设以来的2005~2006年(平水年)、2008~2009年(干旱年)试验结果进行分析,两年的降水量依次是582.4 mm和485.7 mm。各年月均降水量见图1。

1.4 数据处理

采用Microsoft Excel和SPSS 17.0软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

根据2007~2008年度的试验结果,张益望^[2]等就补充灌溉和氮磷配施条件下麦田土壤水分动态及

作物产量等做了研究,结果表明:补充灌溉条件下,不同氮磷配施处理均表现出显著的增产效果,且补充灌溉与高氮高磷处理有显著的水肥协同效应,能显著提高作物产量并保持较高的水分利用效率。胡亚妮等依据2005~2006年度的结果,在氮磷配施对冬小麦产量形成及水分利用的影响研究中得出与对照相比,施肥后作物产量、干物质积累及水分利用效率都有显著提高的结论^[3]。本文在以上研究的基础上,就不同降水年型条件下,分析肥料配施对农田水分状况、作物生长与产量形成的影响。

2.1 不同年型下冬小麦的产量比较

2.1.1 不同施肥对冬小麦干物质分配及千粒重的影响 各年型不同施肥水平下冬小麦干物质分配见表1。从表1可以看出不同肥料配比对干物质分配的影响不同,除低氮低磷处理,平水年冬小麦叶重、秸秆重及籽粒重均明显高于干旱年。平水年及干旱年高氮处理的叶重及秸秆重均较高,且各年型叶重与秸秆重均与对照差异显著,平水年叶重及秸秆重分别较对照增加36.68%和30.00%,干旱年叶重及秸秆重较对照分别增加62.15%和102.74%。平水年与干旱年籽粒饱满度均有所增加,各年型千粒重均呈现高氮处理>低氮处理>对照的趋势,以高氮高磷处理下千粒重最高,平水年和干旱年千粒质量分别较对照增加1.22%和5.95%。以上结果表明施氮可以提高冬小麦干物质积累,在水分不是限制因素的条件下效果更为显著,施磷增产效果不明显。

2.1.2 不同降水年型及氮磷配比条件下籽粒产量、增产率和肥料贡献率 表2表明,不同降水年型下不同处理间籽粒产量差异较大,其中两个高氮处理增幅都较大,与对照相比,平水年高氮低磷处理下小麦增产952.69 kg/hm²,增产率为53.59%,干旱年为731.25 kg/hm²,增产率为46.56%;高氮高磷处理增

幅最大,各年型较对照分别增产 1 215.50 kg/hm² 和 988.61 kg/hm²,增产率分别为 68.37%和 62.95%。这与前人得出的不同肥料配施方案会直接影响作物增产效果的结论一致^[4~6]。从肥料贡献率来看,不同施肥处理间的差异较大,高氮高磷处理的肥料贡

献率较大,分别为 40.61%和 38.63%,差异较小,说明其贡献率较为稳定;低氮高磷处理的贡献率在各处理间最小,分别为 21.27%和 19.70%。以上结果表明平水年及干旱年型下不同氮磷配施处理均能提高肥料贡献率,但增长幅度不同。

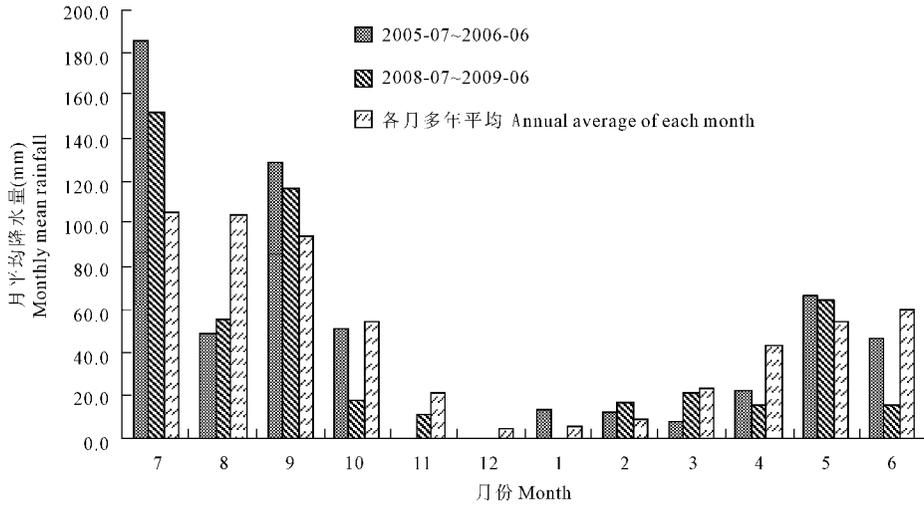


图 1 2005~2006 年、2008~2009 年各月平均降水量

Fig.1 Average monthly precipitation during 2005~2006 and 2008~2009

表 2 不同降水年型及施肥处理下的籽粒产量、增产率和肥料贡献率

Table 2 Grain yield, increase rate and contribution ratio of fertilizer N and P in different years of precipitation

处理 Treatment	籽粒产量 Grain yield (kg/hm ²)	增产率 Increase rate (%)	肥料贡献率 Contribution ratio of fertilizer (%)	籽粒产量 Grain yield (kg/hm ²)	增产率 Increase rate (%)	肥料贡献率 Contribution ratio of fertilizer (%)
CK	1777.80 _c	0.00	0.00	1570.54 _c	0.00	0.00
N90P60	2512.71 _b	41.34	29.25	2296.38 _b	46.22	31.61
N90P120	2257.96 _b	27.01	21.27	1955.96 _b	24.54	19.70
N180P60	2730.49 _a	53.59	34.89	2301.79 _b	46.56	31.77
N180P120	2993.30 _a	68.37	40.61	2559.15 _a	62.95	38.63

2.2 不同降水年型氮磷配施比对冬小麦农田水分平衡和利用的影响

2.2.1 不同年型下氮磷配比对冬小麦农田水量平衡的影响 由表 3 可以看出,各年型耗水量除低氮低磷处理外均随施肥量的增加而增加。平水年冬小麦耗水量在 440.9~542.4 mm 之间,平均值为 506.9 mm,其中土壤储水变化量 151.3~252.8 mm,平均值 217.3 mm,约占土壤耗水量的 42.9%。干旱年冬小麦耗水量在 308.7~394.1 mm 之间,平均值为 351.8 mm,其中土壤储水变化量 67.3~149.1 mm,平均值为 104.8 mm,约占土壤耗水量的 29.8%。由此可见,不同水分供应年份,氮磷配施比例不同对冬小麦土壤储水变化量和耗水量的影响有所差异。与对照相比,施肥后平水年和干旱年的土壤储水和耗水均显著增加。

表 3 不同降水年型冬小麦农田水量平衡特征(mm)

Table 3 Characters of water supply-demand balance of winter wheat in different years of precipitation

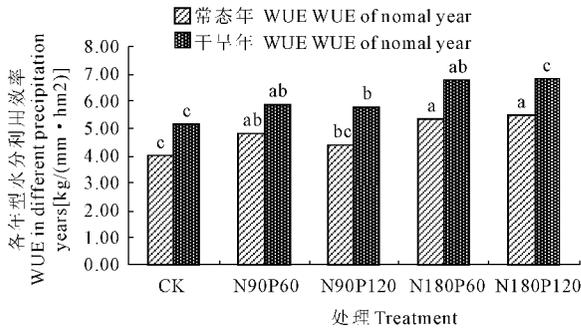
处理 Treatment	平水年 Normal year		干旱年 Drought year	
	△W	ETa	△W	ETa
CK	-151.3	440.9	-83.7	308.7
N90P60	-234.5	524.1	-149.1	394.1
N90P120	-225.9	515.5	-91.2	336.2
N180P60	-222.2	511.8	-67.3	342.3
N180P120	-252.8	542.4	-132.6	377.6

注:2005~2006 年,2008~2009 年生育期降水量分别为 289.6 mm 和 245.0 mm。

Note: Precipitation in growth period is 289.6 mm and 245.0 mm during 2005~2006 and 2008~2009, respectively.

2.2.2 不同降水年型氮磷配比对冬小麦水分利用

效率的影响 作物水分利用效率(WUE)是作物—水分关系研究中的一个重要方面,如何提高WUE值一直是旱地农业所追求的目标之一^[7]。本文不同年型水分利用效率见图2,由图2可以看出,除低氮低磷处理外,各年型冬小麦水分利用效率均呈现高氮处理>低氮处理>对照的趋势,说明适当提高氮肥施用量可以在一定程度上提高水分利用效率;平水年,除对照与低氮高磷处理间差异不显著,对照与其它各施肥处理均呈显著差异,其中平水年下两个低氮处理间水分利用效率无显著差异,但低氮处理与高氮处理间差异显著;干旱年型下,对照与各处理间水分利用效率差异均显著,同时低氮高磷处理与高氮高磷间也存在显著性差异,其余处理间差异不显著。从图中还可以看出,平水年水分利用效率较之干旱年略低,平水年水分利用效率增幅在2.99%~36.72%,干旱年增幅为0.89%~31.21%。且不同年型中高氮高磷与对照及低氮高磷处理间差异均达到显著水平,水分利用效率分别较对照增加36.72%和31.21%;其次以高氮低磷水分利用效率最高,较对照增加32.75%和30.06%。



注:图中所标小写字母者表示差异达5%显著水平。

Note: Different small letters mean significant differences at 5% level.

图2 不同降水年型冬小麦水分利用效率

Fig.2 Water use efficiency of winter wheat in different years of precipitation

3 结果与讨论

1) 在不同降水年型下,合理施肥可显著提高冬小麦干物质积累及产量。曾有研究指出氮、磷肥有很强的时效互补性和功能互补性,合理配施能显著增产,达到高产、稳产和提高水分利用效率的目的^[8]。何萍等^[9]经研究得出适宜的氮磷钾配比可以

促进植株后期干物质从营养器官向生殖器官的转运的结果,可见氮磷钾肥结合增施对提高冬小麦产量及干物质积累非常重要。本文经计算得出不同年型下高氮高磷处理干物质积累与产量均较高,且与其它处理间差异显著,平水年与干旱年较对照分别增产68.37%和127.60%,千粒重均呈现高氮处理>低氮处理>对照的趋势,与对照相比分别增加1.22%和5.95%。同时,不同氮磷配施处理对肥料贡献率的增长作用不同,以两个高氮处理最高,分别在平水年为34.89%和40.61%,干旱年为31.77%和38.63%。

2) 在不同降水年型下,合理的氮磷配比不仅可以提高籽粒产量而且可以显著提高水分利用效率,本试验中4种氮磷配施比籽粒产量和水分利用效率的影响基本一致,即高氮高磷>高氮低磷>低氮低磷>低氮高磷>对照,且高氮高磷处理与低氮高磷处理间差异显著,说明在氮磷配施处理中氮肥起主要作用,磷的作用不显著,这在前期的研究中已有说明^[3]。

参考文献:

- [1] 尚成柏,刘淑英,王平.西北干旱地区有机无机肥配施对春小麦养分吸收及产量构成的影响[J].西北农业学报,2009,18(3):97-102.
- [2] 张益望,刘文兆.补充灌溉及氮磷配施对黄土塬区冬小麦水分利用及产量的影响[J].中国水土保持科学,2009,7(5):76-81.
- [3] 胡亚妮,刘文兆,王俊,等.黄土塬区氮磷配施对冬小麦光合作用、产量形成及水分利用的影响[J].水土保持学报,2007,21(6):159-161,178.
- [4] 王旭刚,郝明德,李建民,等.氮磷配施对旱地小麦产量和吸肥特性的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(2):138-142.
- [5] 刘一.施肥对黄土高原旱地冬小麦产量及土壤肥力的影响[J].水土保持研究,2003,10(1):40-42.
- [6] 宇万太,张璐,马强,等.施肥对土壤潜在养分(磷和钾)和作物产量的影响[J].生态学杂志,2004,23(5):71-76.
- [7] 刘文兆.作物生产、水分消耗与水分利用效率间的动态联系[J].自然资源学报,1998,13(1):23-27.
- [8] 黄明丽,邵明安,白登忠.N、P营养对旱地小麦生理过程和产量形成的补偿效应研究进展[J].麦类作物学报,2002,22(4):74-78.
- [9] 何萍,王秀芳.不同氮磷钾用量下春玉米生物产量及其组分动态与养分吸收模型研究[J].植物营养与肥料学报,1998,4(2):123-130.

Effects of fertilizer N and P on winter wheat yield and water balance in different years of precipitation

LI Ting¹, LIU Wen-zhao^{1,2*}, ZHANG Yi-wang³, HU Ya-ni⁴

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. School of Highway, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710064, China; 4. Library, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018, China)

Abstract: Field experiments were conducted to investigate the effects of combined application of fertilizer N and P on wheat yield and water use efficiency in different years of precipitation. Purpose of the study was to provide a theoretical basis of the combined fertilizer application model suitable to soil water conditions for the improvement of soil water in wheat yield. Results showed that (1) under the experimental conditions, both yield and water use efficiency with high N and P treatments were the highest in contrast to control treatment (CK). Wheat yield was increased by 68.37% and 62.95% in drought year and normal year and water use efficiency, 36.72% and 31.21%, respectively. (2) In different years of precipitation, the treatments had the order of high N > low N > CK for all of leaf weight, corn straw weight, grain weight and 1000-grain weight. The five different treatments, for grain yield and water use efficiency, were in the order of high N and high P > high N and low P > low N and low P > low N and high P > CK. In different years of precipitation, rational fertilization can significantly increase wheat dry matter accumulation and yield and effectively improve water use efficiency as well. In high N treatment, the result was especially prominent.

Keywords: winter wheat; fertilizer N and P; precipitation year; dry matter accumulation; yield; water use efficiency

(上接第 149 页)

GIS-based research on soil quality evaluation in the loess hilly gully region — A case study of Changwu County

YUE Xi-jie, GE Xi-zu, WANG Xu-dong*

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The loess hilly region of Changwu County in Shaanxi Province was taken as the research object. Index system of soil quality evaluation was established by screening 14 factors as the evaluating indicators, including soil nutrients, environmental factors, trace elements and soil enzyme activity. AHP was applied to work out the weight values of each factor, and comprehensive index method of fuzzy mathematics was adopted to conduct evaluation of soil quality. Based on the platform of GIS, we divided and mapped the grade distribution of soil quality of Changwu County, achieved the visualization of county-scale soil quality and had a clear understanding on the whole county-scale soil quality. The results indicated that soil quality of orchard is better than farmland on the same topography site and soil quality in different topography positions are in the order of table-land > bottom-land > slope-land. Throughout the county scale, the distribution of soil quality indexes between 0.195~0.710 and grades III, IV and V are only 27% of the entire area, however, grade II is accounted for 59.7% of the entire area. On the whole, the soil quality of the research region is at medium level and affected by topography site largely, however, the soil quality of orchard is better than farmland. Analyzing and evaluating the condition of county-scale soil quality and physical or chemical properties of soils in Changwu County provide practical and theoretical basis for land utilization and nutrient management of orchards and farmland.

Keywords: soil quality evaluation; GIS; AHP