氮磷配施对旱地春小麦水分利用效率及水肥交互作用的影响

杨 文[1],周 涛[2]

(1.西北农林科技大学经济管理学院,陕西 杨凌 712100;2.宁夏农林科学院农业资源与环境研究所,宁夏 银川 750002)

摘 要:通过盆栽和多年田间定位试验,系统研究了旱地春小麦水肥交互效应和氮磷配施对土壤水分有效利用、作物蒸腾和水分利用效率的影响。结果表明,盆栽试验中水肥交互作用增产效果明显,水、肥利用效率分别提高124%和28.6%。在本试验水平下,水肥单位用量的产量互补效益为471.5:7.0,即水肥主次效应的转换阈值为17.4%。当水分含量为19.7%,总施肥量为247.4 kg/hm^{2}时($N:P_2O_5=1:0.75$),最高收入达4 970.0元/hm^2。小麦收获时,施肥使0~200 cm土层有效水分利用率从44.9%提高到54.2%。$N_{60}P_{45}$、$N_{120}P_{90}$和$N_{180}P_{135}$处理较对照,蒸腾分别增加22.7、38.0和47.8 mm,蒸散比值分别提高0.04、0.07和0.08,较对照籽粒蒸腾效率分别提高0.08、0.24和0.14 g/kg。氮磷配施提高了土壤有效水分的利用、作物的蒸腾效率和水分利用效率,提高作物的经济产量。因此,合理施肥是提高作物水分利用效率和农业生产水平的重要措施。

关键词:氮磷配施;旱地;春小麦;水分利用效率;水肥交互作用

中图分类号:S512.1$^+$2 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-7601(2008)05-0010-07

宁夏南部山区属典型的干旱、半干旱地区,主要依靠天然降水进行农业生产。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,以肥调水,以水促肥,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[1,2]。适宜的水肥条件有利于作物对养分的吸收和运输,有利于植株的协调生长[3]。有效地协调水分和养分可以提高作物产量和水分利用效率[4,5]。施肥能提高植物渗透调节能力,尤其是增施氮肥可显著抑制蒸腾失水,提高水分利用率[6],氮素营养可以改善水分胁迫下小麦植株体内的水分状况[7]。干旱胁迫严重地影响了氮肥的作用,只有在水分配合条件下,氮肥的作用才得到了充分发挥。水分和氮素配合不仅有利于提高产量,也有利于提高冬小麦的品质[8]。有研究表明,春小麦施氮后,耗水量也显著提高,水分利用效率明显提高[9]。在不同土壤水分条件下,春小麦地上部分干重和籽粒的水分利用效率随施氮量的增加而增加,尤以水分充足条件下水分利用率随施氮量的增加最为显著[10]。施肥能够促进春小麦根系的生长发育,特别是浅层根量的增加,增强了作物的水分养分吸收。控制播种密度、改善土壤肥力对于促进旱地春小麦高效利用有限水分具有明显效应[11]。另外,注重肥料配合施用,适当增施有机肥、氮肥和磷肥,能明显改善水分利用效率和底墒利用率[12]。许多研究已经报道了田间作物产量的研究[13,14],而施肥对于水分利用效率的影响及其交互作用则涉及较少。我们结合盆栽和多年田间定位试验,系统研究了旱地春小麦水肥交互效应和施肥对土壤水分有效利用、作物蒸腾和水分利用效率的影响,为宁夏南部山区旱地春小麦合理施肥提供依据。

1 试验材料和方法

1.1 试验区概况

试验在宁夏隆德县陈靳乡陈靳村第五自然队的塬地上进行,该地海拔1 874 m,年降雨量324~576 mm,属半干旱偏旱区。土壤为典型的黑垆土,耕层0~20 cm土壤pH为7.8,有机质11.6 g/kg、全氮0.54 g/kg、碱解氮41.0 mg/kg、速效磷2.5 mg/kg、速效钾117.0 mg/kg,田间持水量为30.61%(田间灌溉试验法测定),春小麦凋萎含水量为5.12%(盆栽试验法测定)。

1.2 试验设计

1.2.1 盆栽试验 供试土壤采自试验区塬地,土壤是黑垆土,质地中壤,每盆装土3.5 kg。土壤含水量设9%、12%、15%、18%(重量含水率)四个水平,每个含水量下设4个施肥水平,即0、0.163、0.326、

收稿日期:2008-06-05
基金项目:国家"十一五"科技支撑项目(2006BAD05B07)
作者简介:杨 文(1978—),男,宁夏中宁人,在读硕士,主要从事作物水肥高效利用研究。
通讯作者:周 涛(1966—),男,博士,研究员,主要从事土壤与植物营养生态、农业信息化与精准农业等研究。
E-mail:zhoutao6084609@163.com。

万方数据

0.489 g/盆(施肥量指纯 N 和 P_2O_5,N:P_2O_5 = 1:0.75)。氮肥用碳酸氢氨(N 16%),磷肥用过磷酸钙(P_2O_5 11.8%),与土拌匀后装盆。共 16 个处理,重复 3 次,春小麦品种为"高原 602",每盆留苗 6 株,在生育期用差重法调节土壤水分,收获以后考种分析。

1.2.2　田间试验设计　试验布置在试验区塬地上,采用等距肥力设计,氮磷配比分别为 N_0P_0、$N_{60}P_{45}$、$N_{120}P_{90}$、$N_{180}P_{135}$(下标数字表示用量,单位:kg/hm^2,P 指 P_2O_5,N:P_2O_5 = 1:0.75)四个水平,氮肥为 46% 尿素,磷肥为过磷酸钙(P_2O_5 11.8%),60% 氮肥和全部磷肥作基肥,剩下 40% 氮肥分别在拔节期和灌浆期追施(各 20%)。小区面积 140 m^2 (7 m×20 m),重复三次,随机排列。供试春小麦品种为"高原 602",播前至收获每隔 10 天分 0~20,20~60,60~100 cm 和 100~200 cm 共 4 层测定土壤含水量,采用烘干法测定。在播前、苗期、分蘖、拔节、开花、灌浆、成熟、收获后以及休闲期各加测一次,记录全生育期降水量。按小区收获计产。

2　结果分析

2.1　水肥交互作用试验分析

2.1.1　水肥交互作用分析　水肥交互作用试验结果见表 1。表 1 看出,不同水肥供应显著地影响产量水平,双因子方差检验 $F_{水}$ = 48.66**,$F_{肥}$ = 41.87**。作物产量随施肥量的增加而增加,且含水量 12%~15% 和施肥量 0.163~0.326 g/pot 之间增加最大。而且发现在水分供应提高的情况下,肥料和水分的效应显著提高,肥效由含水量 12% 时的 74.2% 提高到 18% 时的 121.6%,且在土壤含水量 15%~18% 时增加幅度较大;水分效应由含水量 12% 时的 41.7% 增加到含水量 18% 时的 96.7%,在 12%~15% 之间增加较快。在同一含水量下,由于施肥水平不同,也会造成水分效应和肥料效应的差异,高、中施肥水平的肥效较低施肥水平增加 82%,水效也增加 26.4%~58.3%。表 1 也看出,水肥交互作用增产效果明显,$F_{水肥}$ = 76.06**(临界值 $F_{0.05}$ = 3.20、$F_{0.01}$ = 5.11)。高水肥处理较低水肥增加 3.08~3.29 倍,且以施肥在 0.326~0.489 g/pot 和含水量在 15%~18% 范围增产较大。而且水肥配合情况下,水效及肥效均显著提高,肥效提高 28.6%,水效提高 124%。同时也看出水肥配合较肥、水单独作用效果增加 1 倍以上。可见,水肥具有明显的相互促进作用,对作物产量影响十分显著,与吕殿青和金轲等的结论一致[15]。

表 1　盆栽试验结果和肥水交互作用分析

Table 1　The results of pot experiment analysis on the interaction of water and fertilizer

肥料用量 Fertilizer application (g/pot)	含水量 Water content (%)	产量 Yield (g/pot)	水分效应* Effect of water (%)	肥料效应** Effect of fertilizer (%)	水肥交互效应*** Effect of water & fertilizer (%)	增产效应 Yield-increasing effect (%)
0	9	1.446	—	—	—	0
0.163	9	2.358	—	68.1	—	63.1
0.326	9	2.712	—	87.6	—	87.6
0.489	9	2.602	—	80.0	—	79.9
0	12	2.268	56.8	—	—	56.8
0.163	12	3.184	35.0	40.4	44.8	120.2
0.326	12	3.690	36.1	62.7	56.4	155.2
0.489	12	3.608	38.7	59.1	51.7	149.5
0	15	2.674	84.9	—	—	84.9
0.163	15	3.748	58.9	40.2	60.1	159.2
0.326	15	4.416	62.8	65.1	77.5	205.4
0.489	15	4.312	65.7	61.3	71.2	198.2
0	18	2.730	88.8	—	—	88.8
0.163	18	4.072	72.7	49.2	59.7	181.6
0.326	18	4.786	76.5	95.3	59.2	231.0
0.489	18	5.143	97.6	88.4	161.9	255.7

注:* 水分效应 = 同等施肥条件下(高水分处理产量 - 对照 9% 水分处理产量)/对照 9% 水分处理产量 × 100%;** 肥料效应 = 同等水分条件下(高肥料处理产量 - 对照处理产量)/对照处理产量 × 100%;*** 水肥交互效应 = 增产效应 - 水分效应 - 肥料效应。

Note: * Effect of water = the same fertilizer supply (the yield of high water supply - the yield of 9% water supply)/ the yield of 9% water supply × 100%; ** Effect of fertilizer = the same water supply (the yield of high fertilizer - the yield of CK)/ the yield of CK × 100%; *** Interaction effect of water and fertilizer = effect of increasing yield - effect of water - effect of fertilizer.

万方数据

2.1.2 水肥交互作用方程及应用

1) 春小麦水肥交互作用产量与收入效应方程

根据表2建立农田水肥产量效应方程和水肥收入效应方程(为便于盆栽试验结果与田间试验比较和参考应用,将盆栽试验结果折为公顷量)。

$$Y_1 = -2104.35 + 6.987X_1 + 471.526X_2 + 0.216X_1X_2 - 0.01986X_1^2 - 13.219X_2^2 \quad (1)$$

$$Y_2 = -4163.91 + 9.454X_1 + 803.385X_2 + 0.364X_1X_2 - 0.03381X_1^2 - 22.532X_2^2 \quad (2)$$

Y_1 是产量,Y_2 为收入;X_1 为含水量,X_2 是施肥量,方程(1)的方差检验,$F_{0.01} = 115.32$(临界值 $F_{0.01} = 4.47$),$R = 0.962$,方程(2)方差检验 $F_{0.01} = 46.6$(临界值 $F_{0.01} = 4.47$),$R = 0.970$,均达到显著水平。

表2 盆栽试验折为公顷量的产量与收入结果

Table 2 Yield and income per hectare converted from the result of pot experiment

处理 Treatment	9%		12%		15%		18%	
	产量 Yield (kg/hm²)	收入 Income (yuan/hm²)	产量 Yield (kg/hm²)	收入 Income (yuan/hm²)	产量 Yield (kg/hm²)	收入 Income (yuan/hm²)	产量 Yield (kg/hm²)	收入 Income (yuan/hm²)
N_0P_0	931.47	1269.9	1460.98	2318.0	1722.52	2835.6	1758.59	2907.0
$N_{60}P_{45}$	1518.96	2173.5	2051.04	3226.7	2414.36	3945.8	2623.07	4358.9
$N_{120}P_{90}$	1746.99	2365.7	2376.99	3612.6	2844.66	4538.3	3083.01	5010.0
$N_{180}P_{135}$	1676.13	1966.2	2324.17	3248.9	2777.67	4146.5	3312.98	4576.1

注:小麦1.6元/kg,氮肥2.67元/kg,磷肥4.00元/kg,收入=毛收入-化肥投入。

Note: Price of wheat: 1.6 yuan/kg, N fertilizer: 2.67 yuan/kg, P fertilizer: 4.00 yuan/kg, income = total income - fertilizer input.

2) 水效应与肥效应分析

对方程(1)进行降阶处理,可得水分产量效应方程(3)和肥料产量效应方程(4)。

$$\partial Y/\partial X_1 = 6.987 + 0.216X_2 - 0.040X_1 \quad (3)$$

$$\partial Y/\partial X_2 = 471.526 + 0.216X_1 - 26.438X_2 \quad (4)$$

增产率等效点方程为 $X_2 = 17.428 + 0.0096X_1$,即当 $X_2 > 17.428 + 0.0096X_1$ 时,肥效 > 水效;当水分满足 $X_2 < 17.428 + 0.0096X_1$,肥效 < 水效;当 $X_2 = 17.428 + 0.0096X_1$ 时为水肥等效线。在试验中心点上($X_1 = X_2 = 0$),$\partial Y/\partial X_1 = 6.987$,$\partial Y/\partial X_2 = 471.526$,表明本试验范围内水肥单位(1% 含水量,1 kg/hm² 施肥量,以下同)用量的产量互补效益为471.53:6.987。在肥力中心水平上($X_2 = 0$),$X_1 = 17.4$,即水肥主次效应的转换阈值为17.4%,当土壤含水量大于17.4% 时,肥效 > 水效;含水量小于17.4% 时,则水效 > 肥效。

对方程(2)求导,得到水分增收效应方程(5)及肥料增收效应方程(6)。

$$\partial Y/\partial X_1 = 9.454 + 0.364X_2 - 0.068X_1 \quad (5)$$

$$\partial Y/\partial X_2 = 803.385 + 0.364X_1 - 45.064X_2 \quad (6)$$

令 $\partial Y/\partial X_1 = \partial Y/\partial X_2$,得出水肥增收效应等效线方程为:$X_2 = 17.477 + 0.00951X_1$;当 $X_2 > 17.477 + 0.00951X_1$ 时,水效 < 肥效;当 $X_2 < 17.477 + 0.00951X_1$ 时,水效 > 肥效,此时增加水分时对纯收入的贡献大于增加同等水平肥力值的贡献。试验中心点上,水效(1%)是肥效(1 kg/hm²)的84.98倍。

3) 春小麦最大产量和最高收入的水肥组合。

令方程(3)、(4)中偏导数为0,得方程组求解,即得产量极大值。

$$6.987 + 0.216X_2 - 0.040X_1 = 0$$

$$471.526 + 0.216X_1 - 26.438X_2 = 0$$

$X_1 = 19.04$、$X_2 = 302.7$,即在理论上,当氮磷总施肥量为302.7 kg/hm²,土壤含水量为19.04%时,春小麦可以达最高产量3 647.85 kg/hm²。

令方程(5)、(6)中偏导数为0,得方程组求解,即得收入极大值。

$$9.454 + 0.364X_2 - 0.068X_1 = 0$$

$$803.385 + 0.364X_1 - 45.064X_2 = 0$$

$X_1 = 19.65$、$X_2 = 247.35$,即当水分含量为19.65%,当氮磷总施肥量为247.35 kg/hm² 时,最高收入为4 969.95元/hm²。

4) 水肥组合的技术合理区及其应用。产量的水肥组合合理区应满足以下条件。

$$Y_1 = \partial Y/\partial X_1 = 6.987 + 0.216X_2 - 0.040X_1$$

$$Y_2 = \partial Y/\partial X_2 = 471.526 + 0.216X_1 - 26.438X_2$$

但是在农业生产中,不仅要求得到最大产量,而且应该获得最佳经济效益,应同时满足以下条件。

$$Y'_1 = \partial Y/\partial X_1 = 9.454 + 0.364X_2 - 0.068X_1$$

$$Y'_2 = \partial Y/\partial X_2 = 803.385 + 0.364X_1 - 45.064X_2$$

由 Y_1、Y_2、Y'_1 和 Y'_2 与坐标轴围成的封闭区域构成产量收入的技术合理区,可以看出,水肥存在

万方数据

明显的交互效应,一个因素水平的提高有助于另一因子效应的发挥。而且水肥有明显的互补性,施肥量一定时,产量、收入随含水量的提高而提高。说明不同水分条件下存在最佳施肥量,同时说明为获得某一产量或收入效果,可通过对水肥调节而达到。本文根据多年本地区土壤水分资料,把土壤水分状况划分为三种类型,并分别把产量、收入和土壤施肥上限列表 3。

表 3　不同水分状况下施肥量、产量与收入

Table 3　Rational fertilization, yield and income in different precipitation condition

项目 Item	土壤水分(全生育期) Soil water content(%)		
	8%～12%	12%～16%	16%～20%
代表年型 Type of year	干旱年 Dry year	普通年 Average year	湿润年 Moist year
施肥量上限 Upper limit(kg/hm²)	224.85～241.2	241.2～263.25	263.25～284.4
产量 Yield(kg/hm²)	2072.70～2805.45	2845.45～3433.8	3433.8～3647.55
收入 Income (yuan/hm²)	2395.05～3600.45	3600.45～4614.45	4614.45～4924.65

注:表中施肥量是指 $N:P_2O_5$ 按 1:0.75 比例的总量。

Note: Fertilization rate in the table means the total rate of nitrogen and phosphorus with the ratio of $N:P_2O_5=1:0.75$.

2.2　氮磷配施对农田土壤水分利用效率的影响

2.2.1　氮磷配施对有效水分利用及耗水的影响

从小麦收获时 0～200 cm 土壤有效水分利用率和剩余比率(表 4)可以看出,施肥提高了 0～200 cm 土层有效水分的利用率,降低了有效水分的剩余率。提高和降低的幅度都随施肥量的增加而增加,说明施肥提高了有效水分的利用。但试验结果中也看出,水分利用效率虽然由于增施肥料而显著提高,总的水平仍不高。土壤中有效水分的剩余量几乎占到总量的一半,说明水分的生产潜力还未发挥出来。

表 4　各施肥处理 0～200 cm 土壤有效水分利用

Table 4　Utilization of valid water in 0～200 cm soil in different treatments

处理 Treatment	收获时土壤有效水分贮量 Soil water storage at harvest (mm)	土壤最大有效水贮量 Maximum valid-water storage (mm)	有效水分利用比例 Using rate of valid-water (%)	有效水分剩余比例 Leftover rate of valid-water (%)
N_0P_0	140.3	254.9	44.9	55.1
$N_{60}P_{45}$	128.4	254.9	49.6	50.4
$N_{120}P_{90}$	120.2	254.9	52.8	47.2
$N_{180}P_{135}$	116.8	254.9	54.2	45.8

注:* 土壤有效水分贮量 = 田间持水量 - 凋萎水量。

Note: * Deposition of soil valid water = field water capacity - plant withered water capacity.

根据农田水量平衡的原理推算的本地区小麦生育期的耗水状况及组成见表 5。不同施肥处理 0～60 cm 土体贮水对作物生长总耗水量贡献比例分别为 89.4%、85.7%、83.6%和 82.8%,是 0～200 cm 土体主要供水层。60～100 cm 土体贮水的贡献比例分别为 6.5%、9.7%、12.1%和 13.0%。可见,施肥后作物对 60～100 cm 的水分利用提高,中高施肥较对照提高一倍左右。说明增施肥料后,高肥力土壤水分对作物生长的贡献大于对照区。同时看出施肥可大幅度提高产量,而全生育期水分消耗量变化不大,因此在水分受限制的地区提倡合理施肥很重要。

2.2.2　氮磷配施对作物蒸腾的影响

蒸腾作用的强弱是作物水分代谢的重要生理指标。干物质的形成,作物产量的高低都和蒸腾量和蒸腾效率有关。根据研究[16],作物蒸腾量与作物生长量有密切的线性关系,结合本地多年的试验,分析得 $Y=64.704+0.273X$(其中 X 是叶面积,Y 为蒸腾量(mm),$r=0.947^{**}$)。用此方法计算出不同施肥水平下的蒸发与蒸腾量(表 6)。

表 6 看出,施肥后蒸腾的水分增加,而蒸发损失的水分减少,蒸腾与蒸发比值提高。其中施肥处理 $N_{60}P_{45}$、$N_{120}P_{90}$ 和 $N_{180}P_{135}$ 较对照蒸腾增加 22.7、38.0 和 47.8 mm,蒸散比值分别提高 0.04、0.07 和 0.08。本文采用了蒸腾效率(蒸腾 1 kg 水所生产的籽粒或干物质克数)说明,$N_{60}P_{45}$、$N_{120}P_{90}$ 和 $N_{180}P_{135}$ 施肥处理较对照籽粒蒸腾效率分别提高 0.08、0.24 和0.14 g/kg。干物质也有同样趋势,但增加幅度较

万方数据

小。所以施肥不仅提高了作物的蒸腾量,也提高了作物的蒸腾效率,使蒸腾的水分得到更加有效的利用,从而提高了作物产量。

表5 不同氮磷处理下各土层水分利用

Table 5 Water utilization of different soil profile with nitrogen and phosphorus rate

处理 Treatment	土层 Soil layer 0~60 cm 贮水量 Soil water (mm)	0~60 cm 占土壤供水比例 Ratio (%)	60~100 cm 贮水量 Soil water (mm)	60~100 cm 占土壤供水比例 Ratio (%)	100~200 cm 贮水量 Soil water (mm)	100~200 cm 占土壤供水比例 Ratio (%)	土壤供水量 Water from soil (mm)	全生育期降水量* Precipitation (mm)	耗水量 Consumed water (mm)	土壤供水占耗水量比例 Ratio of soil water in consumed water(%)
N_0P_0	102.5	89.4	7.4	6.5	4.7	4.1	114.6	236.4	351.0	32.6
$N_{60}P_{45}$	110.6	85.7	12.6	9.7	5.9	4.6	129.1	236.4	365.5	35.3
$N_{120}P_{90}$	116.9	83.6	16.9	12.1	6.0	4.3	139.8	236.4	376.2	37.2
$N_{180}P_{135}$	121.2	82.8	19.1	13.0	6.1	4.2	146.4	236.4	382.8	38.2

注:* 春小麦生育期雨量均不大,且试验设于塬地,故径流忽略。

Note: * The experiment was carried out in upland, and precipitation was very lack, therefore, the runoff was ignored.

表6 氮磷配施对作物蒸腾.蒸发的影响

Table 6 Effect of nitrogen and phosphorus rate on transpiration and evaporation of crops

处理 Treatment	籽粒 Grain wt. (kg/hm²)	干物质 Dry matter (kg/hm²)	蒸腾损失 Loss by transpiration (mm)	蒸发损失* Loss by evaporation (mm)	蒸腾量/蒸发量 Transpiration/evaporation	蒸腾效率(g/kg) Efficiency of transpiration 籽粒 Grain	蒸腾效率(g/kg) Efficiency of transpiration 干物质 Dry matter
N_0P_0	1747.5	3979.5	178.7	172.3	1.04	1.04	2.23
$N_{60}P_{45}$	2256.0	4585.5	201.4	164.1	1.23	1.12	2.28
$N_{120}P_{90}$	2773.5	5076.0	216.7	159.5	1.36	1.28	2.35
$N_{180}P_{135}$	2621.0	5218.5	226.5	156.3	1.45	1.18	2.31

注:* 蒸发损失(mm)=耗水量(mm)-蒸腾损失(mm)。

Note: * Loss by evaporation (mm) = consumed water (mm) - loss by transpiration (mm).

2.2.3 氮磷配施对水分利用效率的影响 为了详细分析作物对土壤水分的利用,本文同时采用 $WUE(ET)$ 和 $WUE(T)$[6] 来分析水分利用效率,以便对农业措施和植物的水分代谢同时评价(表7)。

$$WUE(ET) = Y/ET$$

$$WUE(T) = Y/T$$

式中,Y 是产量(籽粒或干物质量);ET 是蒸散量;T 是蒸腾量。$WUE(ET)$ 用以评价栽培措施对生产体系蒸腾所造成的水分损失的差别以及水分有效利用程度。$WUE(T)$ 在植物生理中可以提供关于水分基本代谢功能以及植物生长与水分利用之间的信息。

表7 氮磷配施对水分利用效率的影响

Table 7 Effect of nitrogen and phosphorus rate on water utilization

处理 Treatment	籽粒 Grain (kg/hm²)	干物质 Dry matter (kg/hm²)	耗水量 Water consumption (mm)	WUE(ET) [kg/(mm·hm²)] 籽粒 Grain	WUE(ET) 干物质 Dry matter	WUE(T) [kg/(mm·hm²)] 籽粒 Grain	WUE(T) 干物质 Dry matter
N_0P_0	1747.5	3979.5	351.0	5.10	11.40	9.75	22.21
$N_{60}P_{45}$	2256.0	4585.5	365.5	6.15	12.55	11.10	22.79
$N_{120}P_{90}$	2773.5	5076.0	376.2	7.35	13.49	12.75	23.42
$N_{180}P_{135}$	2621.0	5218.5	382.8	6.90	13.63	11.57	23.08

由 $WUE(ET)$ 可以看出施肥与未施肥相比消耗的水分无明显的区别,但由于显著地增加了作物

万方数据

产量,作物的水分利用效率显著增加,提高程度因施肥量而不同,随着肥料的增加,水分的利用效率一直稳定增加,干物质也有同样趋势,但增加幅度小。由此可见,施肥的增产作用并不在于消耗较多的土壤水分为代价,而是以提高水分的利用效率为基础。$WUE(T)$的计算结果也说明施肥对提高水分利用效率的效果十分显著。$N_{60}P_{45}$、$N_{120}P_{90}$和 $N_{180}P_{135}$施肥处理较对照分别增加 1.35、3.0 和 1.82 kg/(mm·hm^2),而干物质变化不大。说明氮磷配施对提高籽粒的水分利用效率更有利,施肥提高了作物的经济产量而减少了非经济产量的比重。但最高施肥量时,此种效应降低。

为详细分析施肥对于水分利用从土壤到作物产量形成的贡献,将 $WUE = Y/ET$ 分解为:$WUE = (Y \cdot B \cdot T)/(B \cdot T \cdot ET)$,式中,$Y$ 是籽粒产量(经济产量),B 是干物质产量(生物量),T 是蒸腾量,ET 是耗水量[17]。可知 WUE 包含蒸腾吸水与土壤消耗水分总量的比值(T/ET)、蒸腾水量形成生物量的效率(B/T)和经济产量占总生物量的比重(Y/B)三部分。表 7 可以看出,在旱地农田水分利用形成作物产量的过程中,施肥显著提高了 T/ET 和 Y/B 值,而对 B/T 值影响不大。

3　结　论

试验结果表明,氮磷配合施用可以提高有效水的利用,提高作物的蒸腾量、蒸腾效率和水分利用效率,也可以提高所吸收水分形成生物产量和籽粒的能力。而且试验认为施肥作用并不消耗过多的水分,不影响次年播前贮水。因此,合理施肥可以影响作物蒸腾,改善作物产量构成因子,从而影响作物产量和水分利用效率。

参 考 文 献:

[1] Akinremi O O. Simulation of soil moisture and other components of the hydrological cycle using a water budget approach[J]. Canadian Journal of Soil Science, 1996,75:133—142.

[2] Kessler J J. Usage of the human carrying capacity concept in assessing ecological sustainability of land-use in semi - arid regions [J]. Agricultural Ecosystems and Environment, 1994,48:273—284.

[3] 陈竹君,刘春光,周建斌,等.不同水肥条件对小麦生长及养分吸收的影响[J].干旱地区农业研究,2001,19(3):30—35.

[4] 徐　萌.无机营养与作物抗旱性关系[J].干旱地区农业研究,1989,7(4):77—80.

[5] 李志勇,陈建军,陈明灿.不同水肥条件下冬小麦的干物质积累、产量及水氮利用效率[J].麦类作物学报,2005,25(5):80—83.

[6] 汪德水.旱地农田肥水协同效应与耦合模式[M].北京:气象出版社,1999.

[7] 李世清,田霄鸿,李生秀.养分对旱地小麦水分胁迫的生理补偿效应[J].西北植物学报,2000,20(1):22—28.

[8] 翟丙年,李生秀.水氮配合对冬小麦产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2003,9(1):26—31.

[9] 任书杰,李世清,王　俊,等.半干旱农田生态系统覆膜进程和施肥对春小麦耗水量及水分利用效率的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(4):1—5.

[10] 刘晓宏,肖洪浪,赵良菊.不同水肥条件下春小麦耗水量和水分利用率[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):56—59.

[11] 邓西平,山　仑,稻永忍,等.密度、施肥对旱地春小麦产量、水分利用效率和籽粒养分含量的补偿效应[J].西北植物学报,2003,23(11):1861—1870.

[12] 党廷辉.施肥对旱地冬小麦水分利用效率的影响[J].生态农业研究,1999,7(2):28—31.

[13] 王小彬,高绪科.土壤水分胁迫和施肥效果[J].土壤肥料,1988(4):22—23.

[14] 周　涛.宁夏半湿润偏旱区农田水分生产潜力开发初探[J].干旱区资源与环境,1994(2):63—68.

[15] 金　轲.水肥耦合效应研究(Ⅰ、Ⅱ)[J].植物营养与肥料学报,1999,5(1):1—13.

[16] 李生秀,李世清.水肥配合对于米产量和肥料效果的影响[J].干旱地区农业研究,1994,12(1):47—53.

[17] 王凤仙,李韵珠.土壤水分利用效率与氮素水平的关系[A].石元春.节水农业应用基础研究进展[C].北京:北京农业大学出版社,1994.124—130.

Effect of nitrogen and phosphorus rate on use efficiency of soil water and interaction of water and fertilizer in dryland spring wheat

YANG Wen[1], ZHOU Tao[2]

(1. *College of Economics and Management, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*;
2. *Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia* 750002, *China*)

Abstract: Based on a long-term experiment and a pot experiment, the interaction effect of water and fertilizer and effect of nitrogen and phosphorus rate on change of soil water, valid water utilization, water consumption and saving, evaporation and water use efficiency were studied in dryland spring wheat. The results indicat-

万方数据

ed that interaction of water and fertilizer on yield increasing was significant in pot experiment, and the use efficiency of fertilizer and soil water was increased by 28.6% and 124%, respectively. Yield compensation benefit of soil water and fertilizer utilization per unit was 471.5:7.0, that is to say, the change limit of soil water and fertilizer for main effect was 17.4%. The maximum income was 4 970.0 yuan/hm^2 with a fertilization rate of 247.4 kg/hm^2($N:P_2O_5=1:0.75$) and soil water of 19.7%. Nitrogen and phosphorus rate increased soil valid water utilization of 0~200 cm soil depth from 44.9% to 54.2% after spring wheat was harvested. Compared to CK, the evaporation of treatment $N_{60}P_{45}$、$N_{120}P_{90}$ and $N_{180}P_{135}$ was increased by 22.7, 38.0 and 47.8 mm, the ratio of transpiration and evaporation increased by 0.04, 0.07 and 0.08, respectively. And the efficiency of grain transpiration increased by 0.08, 0.24 and 0.14 g/kg compared to CK, respectively. Nitrogen and phosphorus fertilization together could raise soil valid water utilization rate, evaporation rate and water use efficiency of spring wheat, and improve the grain yield of crops. Therefore, rational nitrogen and phosphorus rate in the field is an important way to raise water use efficiency of crop and hence agriculture production.

Keywords: nitrogen and phosphorus rate; dryland; spring wheat; use efficiency of soil water; interaction of water and fertilizer

(上接第9页)

Study on quality characters and correlation of different types of flax germplasm

ZHAO Li[1,2], DANG Zhan-hai[1,2], ZHANG Jian-ping[1,2],
GUAN Tian-xia[3], TIAN Cai-ping[4]

(1. *Oil Crops Research Institute of CAAS, Wuhan, Gansu* 430062, *China*;
2. *Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*
3. *Gansu Hualong Exploitation Cororation of Agricuture, Lanzhou, Gansu* 730000, *China*;
4. *Gansu Tumor Hospital, Lanzhou, Gansu* 730050, *China*)

Abstract: Based on a total of 46 flax samples of Gansu landraces, improved cultivars and exotic cultivars, the lignan content, fat content and five kinds of fatty acids were analyzed. The results showed: ① The range content of the lignan, fat, Palmitic acid, Stearic acid, Oleic acid, Linoleic acid and Linolenic acid of flax cultivars is wide. The content of these main quality characters have significant difference. ② In the 3 kinds of flax cultivars, the content of lignan and Linolenic acid are the highest in the exotic cultivars; the fat content is high both in the improved cultivars and the exotic cultivars, but Linolenic acid content is the lowest in the improved cultivars; the content of lignan and crude fat are the lowest in Gansu landraces. ③ 4 cultivars which have some special characteristics were selected to be used in flax breeding. ④ The correlations of the quality characters showed: the content of lignan were significantly positively correlated with the linoleic acid, while Stearic acid content was significantly correlated with the fat content and unsaturation fatty acids, and the content of Oleic acid was significantly negatively correlated with Gansu landraces; with fat content, Linoleic acid and Linolenic acid.

Keywords: flax; germplasm; quality character; correlation

万方数据