

小麦春季管理肥水联合效应*

徐秋明 周 军** 黄德明 徐建铭 李亚星 刘素华

(北京市农林科学院植物营养和资源研究所, 北京 100081)

摘 要 在北京郊区平原轻壤质潮土类土壤上研究了氮、磷、水三因素的交互作用, 结果表明, 氮、磷、水对小麦增产的作用顺序为水> 氮> 磷。肥水之间存在交互作用, 但肥料对水的影响较小, 而水对肥料的影响则较大。在氮磷两种肥料之间, 水和磷的交互作用大于水和氮。

关键词 小麦 肥水联合效应 交互作用

在干旱和半干旱农业区, 灌溉和施肥是决定小麦产量的两项重要技术措施, “有收无收在于水, 收多收少在于肥”已成为种地人的共识。高产施肥中因子间联合效应日益为人们重视, 肥水联姻, 以水促肥, 以肥调水方面的关系已有汪德水等人的论文汇编^[1]进行论述。

1992~1994 年期间我们在两种不同质地土壤上进行了肥水联姻对小麦产量影响的研究。在砂性二合土上的研究工作已有周军等人的论文发表^[2~4]。本文将论述壤质土壤上肥水联姻对冬小麦产量的影响。

1 材料和方法

田间小区试验在通县梨园乡曹元村进行。该村土壤肥力中上, 轻壤质潮土, 灌溉条件良好。供试点土壤养分状况为有机质 12.6mg/kg, 全氮 0.82mg/kg, 碱解氮 75mg/kg, 有效磷 15.2mg/kg, 有效钾 141mg/kg, 土壤容量(0~20cm) 1.37g/cm³, 总孔隙度 45%, 田间持水量 25%, 凋萎系数 7.6%。

试验处理为肥、水两因素裂区设计, 即土壤含水量 14%、16%、18% 三处理为主区, 氮、磷肥不同用量为副区, 其处理为 N₀P₀、N₀P_{7.5}、N_{12.5}P₀、N_{12.5}P_{7.5}、N_{12.5}P₁₅、N₂₅P_{7.5}、N₂₅P₁₅, 共组成 21 个小区, 不设重复。磷、钾肥作底肥 1 次施入, 氮肥中 60% 作底肥, 40% 在春季追肥(处理 N、P 代号下标为肥料用量 kg/亩)。

试验区土壤含水量通过烘干法测定土壤含水百分率来控制, 从 3 月 25 日开始每隔 7d 测 1 次土壤含水量, 共测 10 次。当土壤含水量大于 14%、16%、18% 时不灌水, 当土壤中含水量小于 14%、16%、18% 时需灌水, 使其达到设计要求。土壤含水量及灌水状况列于表 1。

供试小麦品种为京冬 6 号, 10 月 4 日播种, 基本苗 30.2 万/亩, 春季 4 月 8 日将追肥尿素 1 次施入, 收获期 6 月 13 日。1993 年冬低温干旱, 小麦死苗率在 15% 左右, 影响产量。

1996-09-12 收稿。

* 农业部重点课题

** 中国农业大学农业土木工程学院。

表 1 试验区土壤含水量及灌溉日期

测定日期(月、日)	14%	16%	18%	灌水日期(月、日)	14%	16%	18%
3.25	14.7	14.7	14.7	3.26	—	√	√
4.1	13.6	19.0	19.0	4.2	—	—	√
4.7	11.1	15.7	21.9	4.8	√	√	√
4.15	18.2	18.2	18.2	4.16	—	—	√
4.22	15.5	15.5	19.5	4.22	—	√	√
4.30	11.1	14.6	14.6	5.1	√	√	√
5.10	15.1	15.1	15.1	5.12	—	√	√
5.18	12.6	19.0	19.0	5.19	√	—	√
5.24	21.0	21.0	21.0	5.24	√	√	√
6.3	13.4	13.4	13.4	6.4	—	√	√
平均	14.6	16.6	17.6	灌水次数	4	7	10

注：—不灌水；√灌水。5月2日降雨 53mm；5月24日降雨 48mm。

2 结果与分析

2.1 肥水联姻对小麦产量的影响

北京郊区平原地区小麦春季栽培管理的基本模式是在小麦的起身、拔节、抽穗、灌浆期进行 4 次灌溉，返青至起身拔节期间追施氮肥 1~2 次。由于春季追施氮肥的用量和时期受底肥氮磷用量的影响，所以在此试验中灌溉处理是在冬前统一浇冻水的基础上进行，而氮磷肥的用量则是全生育期的施用量。试验的产量结果见表 2。

试验产量数据用三元二次回归方程拟合，则可得：

$$Y = -623.830 + 15.968N - 0.355N^2 - 4.447P - 0.317P^2 + 28.984W - 0.248W^2 + 0.0996NP - 0.0598NW + 0.165PW$$

(1)

Y——小麦产量(kg/亩)；N，P——氮磷肥用量(kg/亩)；W——土壤相对含水量(%)。

解式(1)可得： $N_{\max} = 19.1\text{kg/亩}$ ； $P_{\max} = 11.6\text{kg/亩}$ ； $W_{\max} = 60\%$ (15%干土重)。此时小麦最高产量为 $Y_{\max} = 372\text{kg/亩}$ 。考虑到小麦死苗情况，则在正常年份时，按此肥水用量，小麦亩产可在 400kg 以上。

设 $N = 0, P = 0$ ；则(1)式简化为： $Y = -623.830 + 28.984W - 0.248W^2$

当 $W_{\max} = 58.4\%$ (14.6%)，则 $Y_{\max} = 223\text{kg/亩}$ (灌水效应)。

设 $W = 58.4\%, P = 0$ ，则(1)式简化为： $Y = 223.017 + 12.380N - 0.355N^2$ 。

当 $N_{\max} = 17.4\text{kg/亩}$ ，则 $Y_{\max} = 330.9\text{kg/亩}$ ， $N = 0$ 时， $Y_0 = 223.0\text{kg/亩}$ ，氮肥效应为： $330.9 - 223.0 = 107.9\text{kg/亩}$ 。

设 $W = 58.4\%, N = 0$ ，则(1)式简化为： $Y = 223.017 + 5.453P - 0.317P^2$ 。

当 $P_{\max} = 8.6 \text{ kg/亩}$, $Y_{\max} = 246.5 \text{ kg/亩}$; $P = 0$ 时, $Y_0 = 223.0 \text{ kg/亩}$, 磷肥效应为: $246.5 - 223.0 = 23.5 \text{ kg/亩}$ 。

因此, 在北京郊区平原轻壤质土壤上, 氮、磷、水效应按其对应小麦产量的影响大小, 顺序为水 > 氮 > 磷, 与吕殿青等^[6]在陕西关中地区的研究工作结论一致。

2.2 氮磷肥对水分效应的影响

李生秀等^[6]在陕西进行的水肥耦合效应研究认为, 在旱薄地上肥水之间有明显的正交互作用, 而肥料效果更突出; 在旱肥地上水肥交互作用不明显, 而灌水的增产效果大于肥料。

根据我们的试验资料, 利用回归方程(1), 以降维法分析氮磷肥对水分效应的影响, 可以看到以下一些特点。

设 $P = 0$, 即不施磷肥时, 不同氮肥用量(0 ~ 20 kg/亩)下的水分效应方程为:

$$N = 0 \quad Y_w = -623.830 + 28.984W - 0.248W^2, W_{\max} = 58.4\% (14.6\%)$$

$$N = 5 \quad Y_w = -552.865 + 28.685W - 0.248W^2, W_{\max} = 57.8\% (14.5\%)$$

$$N = 10 \quad Y_w = -499.650 + 28.386W - 0.248W^2, W_{\max} = 57.2\% (14.3\%)$$

$$N = 15 \quad Y_w = -464.185 + 28.087W - 0.248W^2, W_{\max} = 56.6\% (14.2\%)$$

$$N = 20 \quad Y_w = -446.470 + 27.788W - 0.248W^2, W_{\max} = 56.0\% (14.0\%)$$

设 $N = 0$, 即不施氮肥时, 不同磷肥用量(0 ~ 15 kg/亩)下的水分效应方程为:

$$P = 0 \quad Y_w = -623.830 + 28.984W - 0.248W^2, W_{\max} = 58.4\% (14.6\%)$$

$$P = 3.75 \quad Y_w = -644.964 + 29.603W - 0.248W^2, W_{\max} = 59.7\% (14.9\%)$$

$$P = 7.5 \quad Y_w = -675.014 + 30.222W - 0.248W^2, W_{\max} = 60.9\% (15.2\%)$$

$$P = 11.25 \quad Y_w = -713.979 + 30.840W - 0.248W^2, W_{\max} = 62.2\% (15.5\%)$$

$$P = 15.0 \quad Y_w = -761.860 + 31.459W - 0.248W^2, W_{\max} = 63.4\% (15.9\%)$$

式中, Y_w —小麦产量(kg/亩), W —土壤相对含水量(%)。

从这一系列方程的系数可以看出, 随 N 用量增大, 水分效应方程的 0 次项负值缩小, 一次项系数降低, 二次项不变。随着 P 用量的增大, 水分效应方程的 0 次项负值增大, 一次项系数提高, 二次项仍不变。所以, N 、 P 肥对水分效应的交互作用方向相反, 表现在当 N 从 0 增至 20 kg/亩时, 各方程最高产量土壤相对含水量值(W_{\max})从 58.4% 降至 56.0% (土壤含水量从 14.6% 降至 14.0%); 当 P 从 0 增至 15 kg/亩时, 它从 58.4% 增至 63.4% (土壤含水量从 14.6% 增至 15.9%)。因此在氮磷肥配合施用, 两个方向的影响相互抵消, 缩小了交互作用。如:

$$N = 0, P = 0 \quad Y_w = -623.830 + 28.984W - 0.248W^2, W_{\max} = 58.4\% (14.6\%)$$

$$N = 5, P = 3.75 \quad Y_w = -572.132 + 29.304W - 0.248W^2, W_{\max} = 59.1\% (14.7\%)$$

$$N = 10, P = 7.5 \quad Y_w = -543.364 + 29.624W - 0.248W^2, W_{\max} = 59.7\% (14.9\%)$$

$$N = 15, P = 11.25 \quad Y_w = -537.527 + 29.943W - 0.248W^2, W_{\max} = 60.4\% (15.1\%)$$

$$N = 20, P = 15 \quad Y_w = -524.740 + 30.263W - 0.248W^2, W_{\max} = 61.0\% (15.3\%)$$

显然, 这一系列方程的各项系数, 除二次项不变外, 其余的均在 NP 单因素变化所形成的系数范围之内, 最高产量土壤相对含水量的范围也要小一些(W_{\max} 从 58.4% 增至 61.0%)。

通过以上分析可以看到, N 、 P 肥料对水分效应的影响不大。氮肥用量在 0 ~ 20 kg/亩, 磷肥用量在 0 ~ 15 kg/亩的变化范围内, 水分效应(以最高产量土壤相对含水量表示)仅在 58.4% 到 63.4% 之间(土壤含水量为 14.6% ~ 15.9%)。北京郊区平原农田渠灌时, 这一土壤水分大致

在 4 ~ 5 水之间, 变化很小, 以肥调水的可能性不大。

2.3 水分对氮磷肥料效应的影响

设 $P = 0$, 则不同土壤水分条件下的氮肥效应方程为:

$W = 48\% (12\%) \quad Y_N = 196.010 + 13.098N - 0.355N^2$

$W = 56\% (14\%) \quad Y_N = 221.546 + 12.619N - 0.355N^2$

$W = 64\% (16\%) \quad Y_N = 215.338 + 12.141N - 0.355N^2$

$W = 72\% (18\%) \quad Y_N = 177.386 + 11.662N - 0.355N^2$

$W = 80\% (20\%) \quad Y_N = 107.690 + 11.184N - 0.355N^2$

设 $N = 0$, 不同土壤水分条件下的磷肥效应方程为:

$W = 48\% (12\%) \quad Y_P = 196.010 + 3.473P - 0.317P^2$

$W = 56\% (14\%) \quad Y_P = 221.546 + 4.793P - 0.317P^2$

$W = 64\% (16\%) \quad Y_P = 215.338 + 6.113P - 0.317P^2$

$W = 72\% (18\%) \quad Y_P = 177.386 + 7.433P - 0.317P^2$

$W = 80\% (20\%) \quad Y_P = 107.690 + 8.753P - 0.317P^2$

式中, W —— 土壤相对含水量; () 中为土壤含水量; Y_N, Y_P —— 小麦产量 (kg/亩); N, P —— 氮磷肥用量 (kg/亩)。

从上列肥料效应方程可以看出, 土壤相对含水量从 48% 增加至 80% 时, 各方程的 0 次项, 即不施氮和磷肥的土壤基础肥力发生从低到高又再降低的变化。土壤相对含水量在 56% ~ 64% 时, 基础肥力产量最高, 土壤过旱或过湿都使地力产量下降。土壤含水量增加时, 氮肥效应方程的一次项系数下降, 磷肥效应方程的一次项系数上升, 表现为相反的交互作用。根据这些方程计算的肥料效应列于表 3、表 4。

表 3 土壤水份含量对氮肥肥效的影响 (kg/亩)

土壤相对含水量 (%)	N_0 产量	N_{max}	Y_{max}	肥效*	每公斤 N 增产
48(12)	196.0	18.4	316.8	120.8	6.6
56(14)	221.5	17.8	333.3	112.1	6.3
64(16)	215.3	17.1	319.1	103.8	6.1
72(18)	177.4	16.4	273.2	95.8	5.8
80(20)	107.7	15.8	195.8	88.1	5.6

* Y_{max} — N_0 产量。

表 4 土壤水份含量对磷肥肥效的影响 (kg/亩)

土壤相对含水量 (%)	P_0 产量	P_{max}	Y_{max}	肥效*	每公斤 P 增产
48(12)	196.0	5.5	205.5	9.5	1.7
56(14)	221.5	7.6	239.6	18.1	2.4
64(16)	215.3	9.6	244.8	29.5	3.1
72(18)	177.4	11.7	221.2	43.4	3.7
80(20)	107.7	13.8	168.1	60.4	4.4

* Y_{max} — P_0 产量。

从表 3、4 中可看出, 土壤含水量增加时, 氮肥最大用量下降, 磷肥最大用量则上升, 氮肥肥效从每亩 120.8kg 降至 88.1kg, 而磷肥肥效则从每亩 9.5kg 增至 60.4kg, 变幅大于氮肥效

应。氮水交互效应是负的,而磷水之间则有正的交互效应。水对肥料的影响显然大于肥料对水的影响,而不同肥料之间,则水和磷之间的交互作用大于水和氮。

3 讨论

在北京郊区平原轻壤质潮土类土壤上进行的肥水联姻试验结果表明,对小麦产量影响最大的是水,其次是氮,再次是磷。

肥水之间存在交互作用,但肥料对水的影响显然小于水对肥料的影响。在氮、磷两种肥料之间,则水和磷的交互作用大于水和氮。

参 考 文 献

- 1 汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术. 北京: 中国农业科技出版社, 1995
- 2 周军. 冬小麦水肥增产耦合效应模型研究. 水利学报, 1994, 6(6): 57~64
- 3 周军. 冬小麦水肥增产耦合效应及经济性研究. 华北农学报, 1994, 9(3): 100~106
- 4 周军. 冬小麦水肥机理试验研究. 农业工程学报, 1994, 10(1): 44~49
- 5 吕殿青. 渭北东部旱塬氮磷水三因素交互作用研究. 见: 旱地农田肥水关系原理与调控技术. 北京: 中国农业科技出版社, 1995, 286~291
- 6 李生秀. 澄城低肥力田块小麦的水肥耦合效应, 见: 旱地农田肥水关系原理与调控技术. 北京: 中国农业科技出版社, 1995, 221~234

Effect of Combining Water and Fertilizers in Wheat Management in Spring

Xu Qiuming Huang Deming Xu Jianming Li Yaxing Liu Suhua Tan Baoyi

(Institute of Plant Nutrition and Resources,

Beijing Municipal Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100081)

Abstract The interaction among water, nitrogen and phosphorus was studied in light loam meadow soil on the Beijing suburb plain. The results indicated that the most important factor is water, followed by nitrogen and phosphorus in increasing wheat yield. There were interactions between fertilizers and water. Water was less affected by fertilizers, while fertilizers were more affected by water. The interaction between water and phosphorus was bigger than that between water and nitrogen.

Key words: Wheat; Effect of combining water and fertilizers; Interaction