

# 基于黄土旱塬区长期定位试验的施肥效益分析

王改玲<sup>1,2</sup>, 郝明德<sup>2</sup>, 李燕敏<sup>2</sup>

(1. 山西农业大学, 山西 太谷 030801; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

**摘要:** 以在黄土旱塬区进行了 18 年的长期定位试验为基础, 研究了长期定位施肥对肥料利用率、土壤肥力及施肥经济效益的影响, 结果表明: 长期单施磷肥, 对小麦无增产效果, 磷肥的利用率为 0.4%, 磷肥的利润率为 -1.1; 单施氮肥, 小麦产量明显增加, 氮肥利用率为 39.3%, 利润率为 3.0, 最高可达 4.7; 氮磷配施, 肥料的肥效、利用率明显高于氮、磷肥单施, 利润率为 1.7。氮磷配施还有利于土壤养分平衡, 土壤肥力提高。综合考虑, 氮磷配施, 特别是 90 kg/hm<sup>2</sup> N 和 90 kg/hm<sup>2</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 配施是更理想的施肥方式。

**关键词:** 定位施肥; 肥料利用率; 土壤肥力; 利润率

**中图分类号:** S143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)03-0129-04

施肥是农业获得高产的重要手段。随着肥料, 特别是化肥投入的不断增多, 作物产量大幅度提高的同时, 不合理施肥的负面效应日益凸现。在过量施肥、偏畸施肥的情况下, 出现了肥料的利用率降低及食品和环境安全问题<sup>[1-3]</sup>。“高产 + 高效 + 优质 + 环境友好”成为科学施肥追求的目标<sup>[3]</sup>。

施肥对作物产量的影响已有较多研究<sup>[4-8]</sup>, 但是随着施肥量的增加, 肥料投入的增加, 施肥对土壤环境及肥料经济效益的综合影响研究较少。长期定位试验以长期固定的管理模式管理土壤, 具有时间的长期性和气候的重复性等特点, 信息量丰富, 准确可靠, 有着常规试验不可比拟的优点, 是研究不同施肥制度和耕作条件下土壤肥力和肥料效益的重要手段<sup>[9]</sup>。

本文将以长期定位试验为基础, 研究不同施肥对肥料利用率、土壤肥力及施肥经济效益的影响, 以期科学施肥提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

长期试验 1984 年秋开始, 布设在陕西省长武县十里铺塬面上, 海拔 1 200 m, 多年平均降水 548.4 mm(1984~2002 年), 年均气温 9.1℃, 无霜期 171 d, 属暖温带半湿润大陆性季风气候。土壤为粘盖黑垆土, 全剖面土质均匀疏松, 通透性好, 肥力中等。试验开始时, 耕层土壤有机质含量为 10.5 g/kg, 全氮含量为 0.77 g/kg, 碱解氮含量为 37.0 mg/kg, 有效磷含量为 2.2 mg/kg, 速效钾含量为 123.9 mg/kg, pH

8.3。

### 1.2 试验设计

试验设 N、P 两个因子, 每个因子设 0、90 kg/hm<sup>2</sup>、180 kg/hm<sup>2</sup> 3 水平(P 按 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 计), 分别用 N<sub>0</sub>、N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub> 和 P<sub>0</sub>、P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> 表示。整个试验共 9 个处理, 3 次重复, 27 个小区, 小区面积为 22.2 m<sup>2</sup>。供试 N 肥是尿素(含 N46%), 磷肥是普通过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 17%)。肥料在播前撒施并深翻入土中。

供试作物为小麦, 供试小麦品种 1984、1985 年是秦麦 4 号, 1986~1995 年是长武 131, 1996 年后是长武 134。小麦播种量为 225 kg/hm<sup>2</sup>, 9 月下旬播种, 翌年 6 月下旬收获。小麦田间管理同大田小麦。

### 1.3 样品采集与测定

每年小麦收获后, 分别采集小麦籽粒和地上部样品, 测定小麦的籽粒产量和地上部产量。根据 1984~2002 年各处理小麦产量, 计算小麦的籽粒平均产量和地上部平均产量。

试验年份内, 每 2~3 年测定 1 次籽粒和地上部样品的全 N、全 P 含量, 计算全 N、全 P 的平均含量及植株 N、P 吸收总量。

2002 年小麦收获后, 采集 0~20 cm 土壤样品, 风干过筛, 测定土壤全 N、有机质、碱解 N、速效 P、速效 K 含量。样品的测定均采用常规方法。

### 1.4 数据分析

肥料的肥效 = (施肥区产量 - 无肥区产量) / 施肥投入的养分量

肥料利用率 (%) = (施肥区养分吸收量 - 无肥区养分吸收量) / 施肥投入的养分量

收稿日期: 2009-11-16

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2009CB118604); 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX-YW-09-07); 山西农业大学博士启动基金

作者简介: 王改玲(1971—), 女, 山西太原人, 博士, 主要从事土壤肥力与环境效应研究。E-mail: gailingwang@yahoo.com.cn。

施肥的产值 = 小麦增产量 × 小麦价格

施肥成本 = 施肥量 × 肥料价格

施肥利润 = 施肥产值 - 施肥成本

施肥利润率 = (施肥利润 - 施肥成本) / 施肥成本

## 2 结果与分析

### 2.1 长期定位施肥对小麦产量及肥效的影响

提高粮食单产直接关系到我国的粮食安全。试验结果表明,合理施肥对提高作物产量具有重要作用(表 1)。1984~2002 年不同处理小麦 18 年的平均产量为 2 473.5 kg/hm<sup>2</sup>, 变幅为 1 228.7~3 747.1 kg/hm<sup>2</sup>。无肥区产量为 1 269.0 kg/hm<sup>2</sup>, 单施磷肥无增产效果, 氮肥单施和氮磷肥配施均有明显的增产效果, 增产率为 90.4%~195.3%。按每千克 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增加的产量计算氮、磷肥的肥效, 氮、磷肥的肥效分别为 14.9 kg/(kg·hm<sup>2</sup>) 和 4.6 kg/(kg·hm<sup>2</sup>)。单施氮肥, 随氮肥用量由 90 kg/hm<sup>2</sup> 增加到 180 kg/hm<sup>2</sup>, 小麦产量没有增加, 氮肥的肥效则由 14.7 kg/(kg·hm<sup>2</sup>) 降低为 6.4 kg/(kg·hm<sup>2</sup>)。氮磷肥配施使氮肥、磷肥的肥效均有明显的增加, 氮肥的肥效在 N<sub>1</sub>P<sub>2</sub> 中达到 21.5 kg/(kg·hm<sup>2</sup>), 磷肥的肥效在 N<sub>2</sub>P<sub>1</sub> 中达到最大, 为 12.2 kg/(kg·hm<sup>2</sup>)。相同氮用量条件下, 随磷肥用量的增加, 磷肥的肥效明显降低, 氮肥的肥效略有增加; 磷用量相同条件下, 随氮肥用量的增加, 磷肥的肥效明显增加, 氮肥的肥效明显降低。张福锁等总结了近年来在全国粮食主产区进行的 1 333 个田间试验结果, 发现小麦的氮、磷肥 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 的农学利用效率 (即肥料的肥效) 分别为 8.0 kg/kg 和 7.3 kg/kg<sup>[10]</sup>。本试验结果中氮的肥效与张福锁等的结果基本相当; 磷肥的肥效较低, 其原因与长期施磷, 土壤速效磷含量升高, 磷肥利用率降低有关。磷肥单施时不增产、氮磷配施时肥效显著上升说明改进施肥技术对提高肥料利用效率有重要意义。

### 2.2 长期定位施肥对肥料利用率的影响

肥料利用率指作物从所施肥料中吸收的养分数与肥料所含的养分数之比, 是衡量肥料资源利用效率及肥料施用是否科学的一项重要指标。根据 1984~2002 年不同处理小麦的秸秆产量、籽粒产量及各部位氮、磷养分含量计算肥料利用率(表 2)。结果表明, 单施磷肥, 小麦对氮、磷的吸收与不施肥无明显差异。氮肥单施, 提高了小麦的吸氮量, 亦在一定程度上促进了小麦对磷的吸收。氮肥的利用率, N<sub>1</sub>P<sub>0</sub> 和 N<sub>2</sub>P<sub>0</sub> 处理中氮肥的利用率分别为 49.2% 和 29.4%, 平均为 39.3%。氮磷配施明显提高了氮

磷吸收量及肥料利用率。N<sub>1</sub>P<sub>1</sub> 处理, 氮肥的利用率达到 69.3%, 较单施氮肥 N<sub>1</sub>P<sub>0</sub> 提高氮肥利用率 20.1%; 磷肥的利用率为 11.0%, 较磷肥单施 N<sub>1</sub>P<sub>0</sub> 提高磷肥利用率 12.6%。其它氮磷配施处理, 肥料的利用率亦较单施有明显提高, 但随着氮、磷肥用量的增加, 氮、磷肥的利用率明显下降。

表 1 长期定位施肥对小麦产量的影响

Table 1 Effect of long-term fertilization on the yield of wheat

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm <sup>2</sup> )	增产量 Yield increase (kg/hm <sup>2</sup> )	增产率 Yield increase rate (%)	N 肥效 Yield increase of per kg N (kg/(kg·hm <sup>2</sup> ))	P 肥效 Yield increase of per kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/(kg·hm <sup>2</sup> ))
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub>	1269.0 d	—	—	—	—
N <sub>0</sub> P <sub>1</sub>	1228.7 d	-40.3	-3.2	—	-0.4
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub>	1250.9 d	-18.1	-1.4	—	-0.1
N <sub>1</sub> P <sub>0</sub>	2588.5 c	1319.5	104.0	14.7	—
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	3053.3 b	1784.3	140.6	20.3	5.2
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub>	3190.3 b	1921.3	151.4	21.5	3.3
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub>	2416.8 c	1147.8	90.4	6.4	—
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	3517.3 a	2248.3	177.2	12.7	12.2
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub>	3747.1 a	2478.1	195.3	13.9	7.4
平均 Average	2473.5	1355.1	106.8	14.9	4.6

注: 同列数据后字母相同者表示差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 字母不同者表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

Note: The same letters mean insignificant difference ( $P > 0.05$ ), while different letters mean significant difference ( $P < 0.05$ ). They are the same in following tables.

表 2 长期定位施肥对肥料利用率的影响

Table 2 Effect of long-term fertilization on fertilizer use efficiency

处理 Treatment	氮肥 N fertilizer		磷肥 P fertilizer	
	吸氮量 N uptake (kg/hm <sup>2</sup> )	利用率 NUE (%)	吸氮量 N uptake (kg/hm <sup>2</sup> )	利用率 NUE (%)
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub>	37.20 d	—	8.00 d	—
N <sub>0</sub> P <sub>1</sub>	34.85 d	—	7.37 d	-1.6
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub>	34.48 d	—	8.62 d	0.8
N <sub>1</sub> P <sub>0</sub>	81.47 c	49.2	12.32 c	—
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	97.20 b	69.3	16.66 b	11.0
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub>	93.70 b	65.8	17.85 b	7.0
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub>	90.14 b	29.4	10.91 e	—
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	124.57 a	49.8	17.39 b	16.5
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub>	118.07 a	46.4	21.54 a	13.5
平均 Average	79.08	51.7	13.41	7.9

### 2.3 施肥的经济效益分析

粮食生产的经济效益是调动农民生产积极性的重要因素, 也是我国保障粮食安全的重要内容。按较长时期肥料的市场价格 (尿素 1.81 元/kg, 普通过

磷酸钙 0.84 元/kg,小麦 1.53 元/kg)计算施肥的经济效益(表 3)。结果表明,不同处理,施肥的利润率变幅为 -1.1~4.7。单施氮肥,利润率平均为 3.0;单施磷肥,平均为 -1.1;氮磷配施,平均为 1.7。随氮、磷肥用量的增加,施肥的产值、利润增加,肥料成本亦明显增加,肥料的利润率呈下降趋势。 $N_1P_0$  处理,施肥的利润率最大; $N_1P_1$  处理次之;氮肥与高磷配施 ( $N_1P_2$  和  $N_2P_2$ ) 较低;单施磷肥 ( $N_0P_1$  和  $N_0P_2$ ),施肥的利润率最低,为负值。分析施磷利润率低的原因,第一,长期施磷,磷肥的增产效应降低,甚至不增产;第二,受肥料价格和粮食价格的影响。目前,普通磷酸钙(含  $P_2O_5$  16%)的市场价格为 0.84 元/kg,相当于纯  $P_2O_5$  的价格为 5.25 元/kg,是小麦价格的 3.4 倍,其价格偏高也使磷肥的利润率较低。

表 3 长期定位施肥的经济效益分析  
Table 3 Analysis of the economical benefit of fertilizer based long-term fertilization

处理 Treatment	产值 Output (元/hm <sup>2</sup> )	成本 Cost (元/hm <sup>2</sup> )	利润 Profit (元/hm <sup>2</sup> )	利润率 Profit rate
$N_0P_1$	-61.6	472.4	-534.0	-1.1
$N_0P_2$	-27.7	944.8	-972.4	-1.0
$N_1P_0$	2018.9	353.7	1665.2	4.7
$N_1P_1$	2730.0	826.1	1903.9	2.3
$N_1P_2$	2939.6	1298.5	1641.2	1.3
$N_2P_0$	1756.1	707.4	1048.7	1.5
$N_2P_1$	3439.8	1179.8	2260.1	1.9
$N_2P_2$	3791.5	1652.2	2139.3	1.3

2.4 长期定位施肥对土壤养分含量的影响

科学施肥是培肥土壤、提高土壤综合生产力的重要措施。但是,过量施肥、不均衡施肥也会使土壤养分失调,从而给生态环境造成潜在危害。2002 年 6 月小麦收获后测定 0~20 cm 土壤养分含量,研究长期定位施肥对耕层土壤养分含量的影响(表 4)。结果表明,单施氮肥,使土壤有机质、全氮、碱解氮含量高于对照,土壤速效磷含量略低于对照。单施磷肥,土壤有机质、全氮、碱解氮、速效钾含量与对照无显著差异;速效磷含量明显高于对照土壤,且随磷肥用量的增加,土壤速效磷含量明显增加。 $N_0P_1$  处理速效磷含量 41.7 mg/kg,较对照增加 34.6 mg/kg,高 487.3%; $N_0P_2$  速效磷含量为 61.4 mg/kg,较对照增加 54.3 mg/kg,高 764.8%。氮磷配施,土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷含量均有明显提高,较对照分别提高 9%~15%、11%~20%、21%~40% 和 202%

~568%。

表 4 长期定位施肥对土壤养分含量的影响  
Table 4 Effect of long-term fertilization on the content of soil nutrients

处理 Treatment	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	碱解氮 Available N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
$N_0P_0$	7.504 d	0.73 c	37.1 de	7.1 d	176.2 a
$N_0P_1$	7.278 d	0.75 c	35.5 e	41.7 b	171.7 a
$N_0P_2$	7.421 d	0.73 c	40.3 d	61.4 a	171.7 a
$N_1P_0$	7.888 c	0.88 a	43.8 e	6.4 d	175.5 a
$N_1P_1$	8.252 b	0.85 ab	46.0 b	24.1 c	140.1 b
$N_1P_2$	8.138 b	0.83 b	48.6 b	46.9 b	129.5 bc
$N_2P_0$	8.143 b	0.87 a	44.8 c	5.2 d	119.7 c
$N_2P_1$	8.662 a	0.85 ab	47.6 b	21.5 c	116.7 c
$N_2P_2$	8.472 a	0.81 b	52.1 a	47.4 b	136.0 b

根据国家耕地土壤养分分级标准(表 5),各处理土壤有机质、全氮、速效氮含量普遍较低,均属于 V 级或 IV 级;速效钾较高,属于 II 级或 III 级。施肥对速效磷的影响最大,对照处理速效磷含量属于 IV 级,氮肥与低磷配施 ( $N_1P_1$  和  $N_2P_1$ ) 处理速效磷属于 II 级,单施磷肥 ( $N_0P_1$  和  $N_0P_2$ ) 以及氮肥与高磷配施 ( $N_1P_2$  和  $N_2P_2$ ) 处理速效磷含量均达 I 级。单施氮肥不利于土壤养分的提高。长期大量单施磷肥使土壤速效磷含量明显增高,一方面使施磷效果降低,还可能给生态环境造成潜在危险。氮肥与磷肥配合,特别是氮肥与低磷配合,更有利于维持土壤养分平衡,提高土壤肥力及施肥效益。张福锁等的研究也表明,在华北平原冬小麦/夏玉米轮作周期,当小麦/玉米目标产量均为 6 000 kg/hm<sup>2</sup>,土壤速效磷含量 14~30 mg/kg,应维持土壤磷素平衡,推荐施磷量为 35~40 kg/hm<sup>2</sup>;土壤速效磷含量 > 30 mg/kg,应严格控制施磷<sup>[3]</sup>。

表 5 全国土壤养分分级标准  
Table 5 National standard of soil nutrient graduation

级别 Level	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	碱解氮 Available N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
1	> 40	> 2	> 150	> 40	> 200
2	30~40	1.5~2	120~150	20~40	150~200
3	20~30	1~1.5	90~120	10~20	100~150
4	10~20	0.75~1	60~90	5~10	50~100
5	6~10	0.5~0.75	30~60	3~5	30~50
6	< 6	< 0.75	< 30	< 3	< 30

### 3 结 论

1) 试验条件下,氮、磷肥的肥效分别为 14.9 kg/(kg·hm<sup>2</sup>)和 4.6 kg/(kg·hm<sup>2</sup>),长期单施磷肥无增产效果。

2) 氮、磷肥的利用率平均分别为 51.7%、7.9%;氮肥单施和磷肥单施,肥料利用率分别为 39.3%和 0.4%。氮磷配施,肥料的肥效及利用率显著提高。

3) 施肥的利润率氮肥单施 > 氮磷配施 > 磷肥单施。随肥料投入增加,利润率下降。

4) 氮磷配施,土壤有机质、全氮、碱解氮及速效磷含量均有明显提高,有利于提高土壤肥力。

5) 综合考虑,90 kg/hm<sup>2</sup> N 和 90 kg/hm<sup>2</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 配施更有利于提高肥料利用率、施肥的经济效益,增强土壤肥力。

#### 参 考 文 献:

[1] 黄国勤,王兴祥,钱海燕,等.施用化学肥料对农业生态环境的

负面影响与对策[J].生态环境,2004,13(4):656—660.

- [2] 侯彦林,周水娟,李红英,等.中国农田氮面源污染研究 I.污染类型区划和分省污染现状分析[J].农业环境科学学报,2008,27(4):1271—1276.
- [3] 张福锁,马文奇,陈新平,等.养分资源综合管理理论与技术概论[M].北京:中国农业大学出版社,2006.
- [4] 郝明德,王旭刚,党廷辉.黄土高原旱地小麦多年定位施用化肥的产量效应分析[J].作物学报,2004,30(11):1108—1112.
- [5] 詹其厚,陈杰.基于长期定位试验的变性土养分持续供给能力和作物响应研究[J].土壤学报,2006,43(1):124—132.
- [6] 门明新,李新旺,许 喙.长期施肥对华北平原潮土作物产量及稳定性的影响[J].中国农业科学,2008,41(8):2339—2346.
- [7] 古巧珍,杨学云,孙本华,等.长期定位施肥对壤土耕层土壤养分和土地生产力的影响[J].西北农业学报,2004,13(3):121—125.
- [8] 董 旭,娄冀来.长期定位施肥对土壤养分和玉米产量的影响[J].现代农业科学,2008,15(1):9—11.
- [9] 关 焱,宇万太,李建东.长期施肥对土壤养分库的影响[J].生态学杂志,2004,23(6):131—137.
- [10] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915—924.

## Analysis of the benefit of fertilizer based on long-term fertilization in dry-land of Loess Plateau

WANG Gai-ling<sup>1,2</sup>, HAO Ming-de<sup>2</sup>, LI Yan-min<sup>2</sup>

(1. Institute of Resource and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shanxi 712100, China)

**Abstract:** The effect of fertilization on fertilizer use efficiency (FUE), soil fertility and profit rate of fertilization (PR) was studied based on 18-year long-term experiment in dry-land of Loess Plateau. The results showed that: single P application didn't increase the yield of wheat, and FUE and PR of P were 0.4% and -1.1, respectively; Single N application increased the yield of wheat significantly, and FUE and PR of N were 39.3% and 3.0 respectively; Compared with single fertilization, combination of N and P increased FUE of N and P, and the average PR was 1.7, which also contributed to the balance of nutrients and the increase of soil fertility. On the whole, combination of N and P was recommended, and the fertilizer rate of 90 kg/hm<sup>2</sup> N & 90 kg/hm<sup>2</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> was the most optimum.

**Keywords:** long-term fertilization; fertilizer use efficiency; soil fertility; profit rate