

# 陕北新修梯田地膜小麦优化施肥栽培模式研究

王栓全<sup>1</sup>, 刘冬梅<sup>1</sup>, 张成娥<sup>2</sup>, 邓西平<sup>2</sup>, 徐学选<sup>2</sup>

(1 西北农林科技大学 农学院, 2 中科院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

**[摘要]** 采用田间正交旋转试验设计, 于1999年在延安市燕沟进行了小麦产量与氮肥(N)、磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)和有机肥(M)<sup>3</sup>因子5水平的新修梯田地膜小麦试验。通过对试验结果数学建模及模型分析得出, 本区影响产量的因子效应为N>P>M, N肥产量效应约为磷肥、有机肥的3倍, 有机肥增产趋势在低肥力时最低, 随着肥力水平提高, 其增施肥料的增产能力增加, 而氮肥、磷肥肥效均呈递减趋势, 即肥效随施肥量增加而减小。还分析了本区小麦单位面积产量 2 500 kg/hm<sup>2</sup> 的优化施肥组合, 筛选的施肥方案为N 251.8~272.5 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 108.9~136.5 kg/hm<sup>2</sup>, 有机肥 12 800~16 400 kg/hm<sup>2</sup>。均值依次为261.1, 125.1和14 600 kg/hm<sup>2</sup>。

**[关键词]** 地膜小麦; 施肥方案; 优化模型; 栽培模式

**[中图分类号]** S512.106.2

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1000-2782(2001)06-018-04

我国自1978年引进了日本地膜覆盖栽培技术以来, 到1996年地膜覆盖栽培面积已达700万hm<sup>2</sup>, 其中地膜覆盖小麦的开展较早, 发展很快, 1998年面积已达56.7万hm<sup>2</sup>。在小麦水肥效应与田间水肥管理研究的基础上, 地膜小麦栽培的施肥模式研究在干旱半干旱区发展十分迅速, 宁夏、甘肃和陕西的渭北、陕北、关中灌区部分县市都进行了较大面积的施肥田间试验示范<sup>[1-4]</sup>。在陕北, 由于水土流失严重, 坡耕地所占比重较大(80%以上是坡耕地), 治理水土流失和改善生态环境的主要措施是坡耕地改为梯田。1995年以来, 每年坡地改梯田0.8~1.0万hm<sup>2</sup>, 梯田小麦将取代坡地小麦成为该区小麦种植的主体。随着地膜覆盖栽培技术的迅速推广及新修梯田面积的快速增长, 如何使小麦在新修梯田上

尽快实现稳产高产, 促进以退耕还林还草为中心的生态环境建设, 客观上需要加快新修梯田地膜小麦的科学施肥及田间管理模式的研究。为此, 笔者在延安市燕沟流域新修梯田上进行了地膜小麦优化施肥模式栽培研究, 以期能指导农业生产, 配合“退耕还林还草”的生态环境建设。

## 1 试验区自然概况与试验设计

### 1.1 试验地自然条件

试验设在延安市宝塔区的燕沟流域, 属黄土丘陵沟壑区暖温带半干旱气候, 年均温度8~10℃, 多年平均降水553mm, 10℃积温3 500℃·h, 无霜期182d, 年蒸发量900~1 000mm。新修梯田土壤为黄绵土, 肥力低下(表1)。

表1 燕沟梯田土壤养分状况

Table 1 The soil nutrient status of terrace land in Yangou

项目 Item	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> ) O.M	全N/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Total N	水解N/ (mg·kg <sup>-1</sup> ) H.N	速效P/ (mg·kg <sup>-1</sup> ) QA.P	速效K/ (mg·kg <sup>-1</sup> ) QA.K
均值 Mean	3.94	0.37	45.7	5.08	98.5
标准差 St.Dev.	0.47	0.031	9.29	2.46	7.8

### 1.2 试验设计

试验采用二次回归组合设计, 按3因素水平正交旋转方案<sup>[1]</sup>实施。结合当地肥力水平和同类地区肥力投入水平<sup>[1,5-7]</sup>、自变量处理水平及其编码施肥

量见表2。小区面积为16m<sup>2</sup>, 共设23个小区, 随机排列, 化肥采用尿素(含N46%)、磷酸二铵(含P46%、含N17%), 与有机肥于播种前一次性统一施入, 地膜种植, 供试小麦品种为宁冬1号, 播量

[收稿日期] 2001-03-27

[基金项目] 国家“九五”科技攻关项目(96-04-05-13); 中国科学院创新项目(KZCX1-06)

[作者简介] 王栓全(1953-), 男, 陕西黄陵人, 副研究员, 主要从事作物栽培与遗传育种研究。



480~ 500 粒/m<sup>2</sup>。试验年年降水为平水年, 其中生育期降水为 192.4 mm。

表 2 自变量处理水平及其编码施肥量

Table 2 Treatment level and fertilizer amount code of independent variables

因子 Factor	代码 Code	设计水平 Designed input level				
		- 1.68	- 1	0	1	1.68
N	x <sub>1</sub>	75	120.6	187.5	254.4	300
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	x <sub>2</sub>	37.5	68.0	112.5	157.1	187
M	x <sub>3</sub>	3.750	7.500	13.000	18.700	225

## 2 结果与分析

从地膜小麦小区试验结果(表 3)可以看出, 燕沟新修梯田地膜小麦产量实际为 1.469~

3.219 kg/hm<sup>2</sup>, 平均为 2.454 kg/hm<sup>2</sup>, 最大值与最小值之比为 2.2。对试验结果进行微机回归计算, 建立了产量与 3 因子(施肥量因子)的模型方程, 进而进行模型分析, 从中筛选出了优化施肥模式。

表 3 燕沟梯田小麦试验方案与产量结果

Table 3 The experimental plan and output of terrane wheat in Yangou

序号 Sequence	水平编码 Input level code			产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> ) Output	序号 Sequence	水平编码 Input level code			产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> ) Output
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>			x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	
1	1	1	1	3.219	13	0	0	1.68	2.750
2	1	1	- 1	2.813	14	0	0	- 1.68	2.375
3	1	- 1	1	2.938	15	0	0	0	2.469
4	1	- 1	- 1	2.500	16	0	0	0	2.531
5	- 1	1	1	2.375	17	0	0	0	2.594
6	- 1	1	- 1	2.031	18	0	0	0	2.563
7	- 1	- 1	1	2.000	19	0	0	0	2.688
8	- 1	- 1	- 1	1.688	20	0	0	0	2.406
9	1.68	0	0	3.094	21	0	0	0	2.563
10	- 1.68	0	0	1.469	22	0	0	0	2.375
11	0	1.68	0	2.594	23	0	0	0	2.438
12	0	1.68	0	2.156					

### 2.1 小麦产量与施肥量的回归方程

根据表 2 的试验结果, 通过程序运算可得产量与施肥量之间的回归模型方程为

$$y = 2.454 + 448x_1 + 150x_2 + 156x_3 - 16x_1x_2 - 16x_1x_3 + 23x_1x_3 - 66x_1^2 - 33x_2^2 + 34x_3^2$$

$$F = 66.6^{***}, R = 0.987^{***}, F_{\text{失拟}} = 1.442 \quad (1)$$

F 检验说明方程(1)回归达极显著水平, 失拟不显著, 因此可以认为方程(1)反映了当地小麦产量与施肥量之间的真实关系, 可用来模拟试验范围内的施肥量与产量的关系。

方程(1)的 3 因素一次项系数均为正, 表明 3 因素都对产量有增产作用, 从方程(1) 3 因素的二次项系数判断, N、P 二次项系数均为负, 即 N、P 肥效效益递减, 有机肥(M)的二次项系数为正, 表明施有机肥的效益与 N、P 正好相反, 即有机肥为效益递增因子变量。

### 2.2 单因子效应

#### 2.2.1 N 肥、磷肥(P)、有机肥(M)的产量效益比

较 从方程(1)中的一次项系数可以看出, 单位 x<sub>i</sub> 的投入, N 肥产出系数为 448, P 肥为 150, 有机肥则为 156, 因而其产出效益之比为 448 : 150 : 156, 即约为 3 : 1 : 1。因此可以认为, 梯田地膜小麦 N 肥肥效为磷肥或有机肥的 3 倍, 磷肥与有机肥对小麦的产量效应基本接近, 但有机肥略高于磷肥, 即肥效顺序为 N > P = M。

从二次项系数可以看出, x<sub>1</sub><sup>2</sup> 项系数大于 x<sub>2</sub><sup>2</sup> 和 x<sub>3</sub><sup>2</sup> 的系数, 说明 N 肥对产量的贡献应较磷和有机肥大, x<sub>2</sub><sup>2</sup>、x<sub>3</sub><sup>2</sup> 项系数的绝对值十分接近, 都较 x<sub>1</sub><sup>2</sup> 项系数为小, 这进一步表明了 N、P、M 三者之间的产出效应项大小是 N > P = M。P 的二次项系数为负, 表明当磷肥投入超过某一水平后, 磷肥的产量效应为肥效递减函数, M 的二次项系数为正, 表明有机肥投入的产量效应为肥效递增函数。

2.2.2 单因素效应在不同肥力水平中的表现分析 当 x<sub>i</sub> 中的 2 个因素取零时, 则另一个因素水平与产量的回归模型则成为单因素效应模型:

$$y_{x_1} = 2\ 454 + 448x_1 - 66x_1^2 \quad (2)$$

$$y_{x_2} = 2\ 454 + 150x_2 - 33x_2^2 \quad (3)$$

$$y_{x_3} = 2\ 454 + 156x_3 + 34x_3^2 \quad (4)$$

$$y_{x_1} = 448 - 132x_1 \quad (5)$$

$$y_{x_2} = 150 - 66x_2 \quad (6)$$

$$y_{x_3} = 156 + 68x_3 \quad (7)$$

当分别对  $y_{x_i}$  求导就可得到各因子在其他因子为零水平时,  $y_{x_i}$  在不同肥力水平区间变动时  $y$  的增产趋势, 即肥力每提高一个水平时的增产量计算模型。

根据增产趋势方程(5), (6), (7), 计算各肥力因素在不同水平区间变化时对产量的促进能力(表4)。

表 4 肥力因素在不同水平区间的增产量趋势分析

Table 4 Analysis of yield increase trend by input level of fertilizer

因素水平 Level code	- 1. 68	- 1	0	1	1. 68
$y_{x_1}$	668	579	448	316	226
$y_{x_2}$	259	214	150	86	41
$y_{x_3}$	40	87	156	225	272

从表 4 可以看出, N、P 肥的增产作用随处理水平的提高, 肥效增产幅度在减缓, 愈是在高肥基础上施肥, 其肥效愈低, 即肥效具有随施肥量水平增加而衰减的趋势。

而有机肥则相反, 它在高肥处理时, 施肥的增产效应更大, 在当肥力水平为 - 1. 68~ 1. 68 上升时, 增产趋势加强。在肥力水平为 1. 68 时, 有机肥肥效由第 3 位上升为第 1 位。

因此, 农业上要合理搭配有限的各种肥料, 以达到高效增产和节肥的目的。

### 2.3 交互效应分析

从方程(1)中的交互项系数值可以看出, N 肥与有机肥搭配效果最好, N 肥与磷肥、磷与有机肥搭配在试验范围内的交互效应值为负。

### 2.4 最佳农艺措施的筛选

利用所建立的回归方程(1)在微机上寻优, 可以选择适宜当地小麦高产高效的优化施肥方案, 以指导大田生产。为方便起见, 首先确定了本区小麦高产的产量目标, 要求目标性状  $Y \geq 2\ 500\ \text{kg}/\text{km}^2$ , 其农艺措施方案频率分配如表 5。

表 5 产量  $\geq 2\ 500\ \text{kg}/\text{km}^2$  的优化农艺措施组合

Table 5 Optimal agronomic measurements with yield  $\geq 2\ 500\ \text{kg}/\text{km}^2$

编码值 Code value	$x_1$		$x_2$		$x_3$	
	频次 Times	频率 Frequency	频次 Times	频率 Frequency	频次 Times	频率 Frequency
- 1. 68	0	0	7	0. 125	7	0. 125
- 1	0	0	10	0. 179	9	0. 161
0	9	0. 161	12	0. 214	12	0. 214
1	22	0. 393	13	0. 232	13	0. 232
+ 1. 68	24	0. 429	13	0. 232	14	0. 250
编码组平均值 Mean of input lever	1. 11		0. 234		0. 282	
标准误差 St Dev.	0. 08		0. 158		0. 158	
95% 信度区间 95% distributed scale	0. 96~ 1. 27		- 0. 08~ 0. 54		- 0. 03~ 0. 59	
实际投入量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$ Actual input scale	251. 8~ 272. 5		108. 9~ 136. 5		12 800~ 16 400	

从表 5 可以看出, 在本地区小麦产量  $\geq 2\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$  的 55 个组合中, 3 要素投入水平平均为 N 1. 11, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0. 234, M 0. 282, 分别折合 261. 1, 125. 1 和 14 500  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 其施肥量为 251. 8~ 272. 5, 108. 9~ 136. 5 和 12 800~ 16 400  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。该研究结果表明, 该区一般要求 N 的投入水平要高, 磷和

有机肥则相对低一些。按照这一施肥组合, 可获得  $2\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$  的产量水平。

## 3 结 语

1) 对新修梯田地膜小麦的 3 因素 5 水平正交旋转试验结果的分析, 认为在陕北新修梯田上种植小

麦, 可使单产达到  $2\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , 其施肥管理的农艺措施应该是多投入N。每公顷施肥量N为  $251.8 \sim 272.5\ \text{kg}$ , 平均为  $261.1\ \text{kg}$ ; P为  $108.9 \sim 136.5\ \text{kg}$ , 平均为  $125.1\ \text{kg}$ ; 有机肥为  $12\ 800 \sim 16\ 400\ \text{kg}$ , 平均为  $14\ 600\ \text{kg}$ 。

2) 在单因素对产量贡献的比较中, N肥的一次项系数3倍于P和M的一次项系数, 这表明在零肥力水平附近, N的产量效应3倍于P和M, 因而在陕北新修梯田上种植小麦, 应十分重视尿素等N肥的投入水平。在小麦产量-施肥3因素的增产趋势排

序中, 对产量影响作用的大小排列为  $N > M > P$ , 在低肥力水平时, M的肥力效应最差, 当肥力逐渐改善, 达到一定水平时, M的影响值会上升到首位。

陕北新修梯田小麦单产提高的关键是N肥量的投入, 同时辅以一定量的磷肥和有机肥, 其产量可达  $2\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , 从而可为解决当地人口口粮, 进行退耕还林(草)提供科学保证。在实际生产当中, 今后应抓紧推广优化模式栽培技术, 使小麦种植不仅高产, 而且高效。

### [参考文献]

- [1] 穆兴民 水肥耦合效应与协调管理[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [2] 史志诚 陕西玉米小麦地膜覆盖栽培技术的应用与推广[J]. 西北农业大学学报, 1998, 26(6): 75- 79.
- [3] 李梅, 贾志宽 宁南旱区春小麦覆膜穴播栽培决策研究[J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(4): 11- 15.
- [4] 徐学选, 穆兴民 小麦水肥产量效应研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(3): 6- 12.
- [5] 张成娥, 王拴全, 邓西平 燕洵流域农田基础肥力分析与培肥途径[J]. 水土保持通报, 1999, (5): 16- 20.
- [6] 党增春, 李鼎新, 刘耀宏, 等 宁南干旱山区春小麦氮、磷肥施肥模式研究[J]. 水土保持通报, 1994, 14(6): 36- 38.
- [7] 谷洁, 高华, 方晓, 等 冬小麦产量的土壤养分限制因子与施肥研究[J]. 西北农业大学学报, 1998, 26(1): 74- 77.

## A study of optimum fertilization model for plastic-mulched wheat on newly built terrane land in North Shaanxi Province

WANG Shuan-quan<sup>1</sup>, LIU Dong-mei<sup>1</sup>, ZHANG Cheng-e<sup>2</sup>, DENG Xi-ping<sup>2</sup>, XU Xue-xuan<sup>2</sup>

(1 College of Agronomy, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry; 2 Institute of Soil and Water Conservation of Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Field plastic-mulched wheat trials were conducted by using the regression design of orthogonal rotation in terrane land in Yanan City. By means of establishing mathematical models, this paper analysed inter-reaction between wheat yield and the fertilizer input rate (including: N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, manure). The analysis shows that N rate is more effective than that of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and M, that is three times of the latter two factors. In order to guide the plantation of wheat, the paper also recommended the input rate of the three sorts of fertilizers to ensure that unit wheat yield could surpass  $2\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$ . The recommended rate of fertilizers is that N:  $261.1\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , ranges in  $251.8 \sim 272.5\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:  $125.1\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , ranges in  $108.9 \sim 136.5\ \text{kg}/\text{hm}^2$  and M:  $14\ 600\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ,  $12\ 800 \sim 16\ 400\ \text{kg}/\text{hm}^2$ .

**Key words:** plastic-mulched wheat; input rate of fertilizer; optimum model; cultivation pattern