

# 松江土壤养分精准管理试验研究<sup>①</sup>

杨佩珍<sup>1</sup> 王国忠<sup>1</sup> 千春娟<sup>2</sup> 张中华<sup>2</sup>

(1 上海市农业技术推广服务中心 上海 201103; 2 松江区农业技术推广服务中心 上海 201600)

**摘要** 应用 GPS 定位取样, ASI 施肥推荐等方法, 对上海松江区佘山镇将凤农场规模经营的耕地土壤养分精准管理对麦子的增产效益进行研究。结果表明: 土壤养分受到成土母质和土壤类型等结构性因子的影响, 麦子产量与土壤速效养分含量密切相关。当土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、Zn 等处于临界值附近水平时, 对作物产量的影响最大, 施用这些元素的效益也最为明显。增加 N 肥、Zn 肥 10%~30%, 最低养分增产效果明显, 小麦增产 42.0%、26.5%, 大麦增产 37%。

**关键词** 土壤养分管理; 推荐施肥; 麦子产量

**中图分类号** S158

规模经营农场传统的施肥方法不分田块个体差异, 以一种作物一个配方。国内外现有的施肥方法一般也是根据大田养分平均施肥, 或基于大田混合土壤养分进行施肥。这种方法不能准确根据土壤养分实际丰缺指标供给作物生长需求, 造成不同程度的资源浪费与环境污染等问题。为探索土壤养分精准管理模型在上海农业生产上的应用, 采用 GPS 土壤网格取样、实验室分析及 ASI 施肥推荐、土壤养分状态系统研究等方法<sup>[1]</sup>, 以土壤养分分区管理为目的, 对麦子产量与土壤速效养分含量的相关性进行试验研究, 以期为规模经营农场建立数字农业示范基地, 实施土壤养分精准管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点

本研究选择上海松江区佘山将凤农场, 于 2002~2003 年进行麦子试验。土壤类型为水稻土, 青紫泥, 质地为中壤, 稻麦轮作; 试验地面积为 6.67  $\text{hm}^2$ , 标准规划田块, 地势平整<sup>[2]</sup>。试验区分别在麦子、水稻、麦子不同茬口收割前进行地块、边界的精准定位割方测产。2002 年 5 月在麦子收获前后, 应用差分式 GPS 在试验区应用 50 m × 50 m 的网格方法采集土壤样品, 取 0~20 cm 的土壤样品, 每个样品取 8~10 钻, 重量 1 kg 左右, 风干后供测定备用。

### 1.2 土壤基本性状

试验区土壤采用土壤快速测定技术 ASI 分析<sup>[3]</sup>, 供试土壤基本性状见表 1。pH、有机质和非金属元素用比色计测定, 金属元素用原子吸收分光光度计测定。土壤样品由中国农业科学院土壤肥料研究所中-加合作土壤测试实验室统一分析。

### 1.3 数据处理平台

GIS 平台为美国 ESRI 公司的 Arc/Info7.0 和 Arcview5.0<sup>[3]</sup>。在 Arc/Info7.0 平台上面建立了 20 个相关文件, 用 GPS 定位直接导入, 进行数字化。在试验区进行了地块、边界的精准定位割方测产, 土壤样品的采集与分析, 作物计产与产量图绘制, 低空遥感影像拍摄和作物光谱初步研究等工作<sup>[4]</sup>。

对将凤农场地块边界采用 Ag132 亚米级差分 GPS 进行逐块定位, 取得了该农场高精度的土地分布图, 测量误差不超过 1 m<sup>[5]</sup>。

### 1.4 试验设计

麦子推荐施肥设 3 个试验, 6 个处理, 3 次重复。采取随机区组设计, 每个小区面积 200  $\text{m}^2$ , 长宽比例 3:1, 小区间留走道 1  $\text{m}^2$ , 保护行 1  $\text{m}^2$ 。按照小区设计, 不同肥料使用之间各设一个灌水口和排水口。不同肥料施用方法一致, 硫酸锌肥叶面喷施。杂草防治: 除草剂 12/3 异丙隆 3.0  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 2/25 骠马 0.75  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。按照当地习惯进行病虫害防治、水浆管理和其他田间管理。麦子不同肥料用量试验与栽培方式见表 2。

<sup>①</sup>上海市科技兴农重点攻关项目《精准农业的研究》、中-加合作钾肥研究项目部分内容。

表1 供试土壤速效养分含量

Table 1 Available nutrient contents in the tested soil

项目	pH	OM	Ca	Mg	K	N	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
最大值	7.0	2.0	2859.9	398.2	91.8	17.1	16.8	47.8	2.0	12.4	222.2	33.3	3.0
最小值	6.4	1.5	2314.7	354.3	75.0	12.7	8.9	32.5	1.2	9.1	160.5	19.1	2.0
平均值	6.4	1.9	2226.1	341.0	72.5	12.7	8.9	32.5	1.2	9.1	160.5	19.1	2.0
中值	6.4	1.4	2254.3	363.9	75.3	12.4	8.5	30.7	1.2	9.2	167.6	16.5	6.4
标准差	0.5	2.3	529.5	74.7	14.7	2.3	2.8	7.0	0.4	1.7	35.3	5.1	0.4
变异系数(c.v %)	4.7	13.3	12.2	9.1	9.7	18.1	31.5	21.5	33.3	18.7	21.9	26.7	20.0
临界值*		1.5	400.8	121.0	78.2	50.0	12.0	12.0	0.2	1.0	10.0	5.0	2.0
±**		+	+++	+++	+	-	-	+	+++	+++	+++	+	-

\*土壤养分状态系统研究方法, \*\*土壤养分含量状态: -偏低、+低、++中、+++高。

表2 麦子不同肥料用量试验与栽培方式

Table 2 Wheat growth modes of different fertilizer treatments

试验	处理	供试品种	播种期	栽培方式	播种量	施肥量 (kg)
					(kg)	N : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O
A	小麦 <sub>F</sub>	扬麦 158	2002/11/9	免耕	8	1 : 0.3 : 0.3
B	小麦 <sub>CK</sub>	扬麦 158	2002/11/9	免耕	8	1 : 0.3 : 0.2
C	小麦 <sub>Zn</sub>	扬麦 158	2002/11/9	免耕	8	1 : 0.3 : 0.3
D	小麦 <sub>CK</sub>	扬麦 158	2002/11/13	免耕	8	1 : 0.3 : 0.3
E	大麦 <sub>Zn</sub>	沪麦八号	2002/11/13	浅耕	13	1 : 0.3 : 0.3
F	大麦 <sub>CK</sub>	沪麦八号	2002/11/13	浅耕	13	1 : 0.3 : 0.3

各处理的肥料种类和用量见表3。麦子肥料用法: 60%的N肥料(复合肥料、过磷酸钙)作为基肥施用, 40%N肥料作为追肥, 分2次追施。施硫

酸锌: 12月13日、2月24日2次喷硫酸锌7.5 kg/hm<sup>2</sup>。

表3 麦子不同处理肥料用量试验

Table 3 Experiment on wheat with treatments of different a quantity of fertilizers

处理	不同处理肥料用量 (kg/hm <sup>2</sup> )			不同处理肥料种类用量 (kg/hm <sup>2</sup> )				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	微肥	尿素	碳铵+过磷酸钙	复合肥	微肥
A	300	90	84 (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	-	300	300+225	450**	-
B	225*	68	36 (KCl)	-	300	300+225	450	-
C	300	90	84 (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Zn SO <sub>4</sub>	300	300+225	450	6
D	300	90	84 (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	-	300	300+225	450	-
E	315	90	84 (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Zn SO <sub>4</sub>	330	300+225	525	6
F	315	90	84 (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	-	330	300+225	525	-

\* 当地施肥低浓度(25%)复合肥(8-9-8), 1000元/t; \*\*高浓度48%复合肥(20-12-16), 1800元/t, 尿素(46%), 1200元/t, 碳铵(17%), 400元/t, 过磷酸钙(12%), 400元/t, 硫酸锌(35%), 20元/kg。麦子收购价: 1元/kg。

## 2 结果与分析

### 2.1 麦子不同肥料用量增产效果

根据2002年夏麦-秋稻-2003年夏麦的土壤N、P、K养分与临界值推荐施肥分析(图1), 土壤养

分测定结果与推荐施肥方法有一定的距离, 土壤中N平均值12.7 mg/kg, 低于临界值50.0 mg/kg, N素严重不足。麦子推荐施肥N:P:K:Zn为150:125:100:6 (kg/hm<sup>2</sup>), 肥料N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O:ZnSO<sub>4</sub>

结构配比为 1 : 0.83 : 0.67 : 0.04<sup>[6]</sup>。由于上海地区麦子种植受到天气影响产量偏低, 实际肥料用量偏

低。本试验按当地常规施肥与推荐施肥用量进行对比试验, 肥料配比为 1 : 0.3 : 0.3 : 0.02 (表 2)<sup>[7]</sup>。

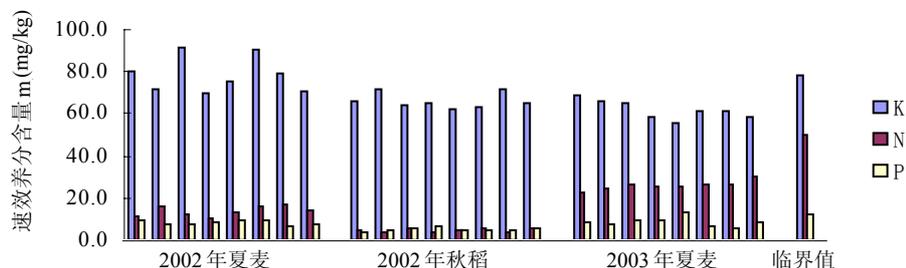


图 1 稻麦土壤 N、P、K 养分与临界值推荐施肥

Fig. 1 Recommended fertilizer application with different critical values of N, P, K contents in rice-wheat soils

小麦推荐施肥试验结果表明(表 4), 处理 A 与 B 和处理 C 与 D, 推荐施肥试验区比常规施肥对照区增产显著。当 P、K 肥料用量相同, 复合肥料结构不同及施用量 (N 300 kg/hm<sup>2</sup> 或 N 300 kg/hm<sup>2</sup>+Zn 1 kg/hm<sup>2</sup>) 不同, 处理 A 与 B 小麦产量分别增产 1389.0 kg/hm<sup>2</sup>, 增幅 42.2%。处理 A 与处理 C 不同地块相同处理增产结果显著。

小麦推荐施 Zn 肥试验结果表明: 处理 C 与 D 小区液体喷施硫酸锌肥, 一是发苗快, 苗数量高峰苗高, 因而穗数也多。C 处理有效穗 378.0 万穗/hm<sup>2</sup>, 比处理 D 288.0 万穗/hm<sup>2</sup> 增 90 万穗/hm<sup>2</sup>, 增 31.25%。二是穗型大, 每穗总粒: C 处理为 32.6 粒, 比 D 28.4 粒增加 4.2 粒, 实粒数增加 4.3 粒, 分别增加 14.8 %

和 15.8 %。实际增产 888 kg/hm<sup>2</sup>, 增幅 26.5 % (表 4)。可见, 在缺 Zn 或 Zn 元素不足的田块, 增施适量 Zn 肥, 可以达到增穗增粒, 从而提高产量。

大麦推荐施 Zn 肥试验结果表明: 处理 E 与 F 比较, 在施用 N 315 kg/hm<sup>2</sup> 或 N 315 kg/hm<sup>2</sup> + Zn 1 kg/hm<sup>2</sup> 的基础上, 当 P、K 肥料用量相同, 单纯增加 N 肥施用量和增加 N 肥、Zn 肥施用量, 大麦产量增产 724.5 kg/hm<sup>2</sup>, 增幅 37.0 % (表 4)。

## 2.2 麦子不同施肥处理产量经济效益比较

小麦复合肥料、Zn 肥试验结果表明, 不同处理 A 与 B、C 与 D、E 与 F 均比对照增加产量, 分别为 1389.0、888.0、724.5 kg/hm<sup>2</sup>, 增加产值分别为 1389.0、888.0、724.5 元/hm<sup>2</sup>。麦子不同肥料用量

表 4 麦子不同肥料用量增产效果的研究

Table 4 Effect of different fertilizer amount on increased production of wheat

处理	有效穗数 (万穗/hm <sup>2</sup> )	穗粒数 (粒)	实粒数 (粒)	空秕粒 (粒)	空秕率 (%)	千粒重 (g)	平均产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	增产率 (%)	增产 (kg/hm <sup>2</sup> )
A	414.0	29.1	28.1	1.0	3.4	41.9	4683.0	42.2	+1389.0
B	346.5	29.8	28.7	1.2	3.9	45.3	3294.0		
平均	381.0	29.5	28.4	1.1	3.7	43.6	3988.5		
C	378.0	32.6	31.5	1.2	3.4	42.4	4240.5	26.5	+888.0
D	288.0	28.4	27.2	1.2	4.3	43.9	3352.5		
平均	333.0	30.5	29.4	1.2	3.8	43.2	3796.5		
E	409.5	26.4	24.6	1.8	6.9	43.9	2682.0	37.0	+724.5
F	355.5	23.7	23.7	0.9	3.7	44.6	1957.5		
平均	382.5	25.05	24.2	1.4	5.3	44.3	2320.5		

增产效果见表 4, 不同施肥处理麦子产量经济效益比较见表 5。试验结果表明了规模经营农场从土壤养分管理着手的必要性, 快速测定结果低于临界值时, 说明田块的 N 肥、Zn 肥量缺少或不足, 应适时适量增施。一种作物一个配方, 不分田块个体差异, 按照大田平均养分平均施肥, 或基于大田混合土壤

养分进行施肥都是不合理的。长期以来, 人们一直认为上海地区不宜种麦子。不同年份产量差异很大, 肥料投入不是多了, 相反是少了。试验说明, 提高麦子产量的潜力很大。合理施肥可达到增产增收的效果。当然, 大量和过量增施 N 肥、Zn 肥, 不仅达不到增收, 相反会增加肥料成本。

表 5 麦子不同施肥处理产量经济效益比较

Table 5 Economy benefit of wheat production for different fertilizer treatment

处理	肥料投入 (元/hm <sup>2</sup> )	麦子产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	增产 (kg/hm <sup>2</sup> )	纯收益 (元/hm <sup>2</sup> )	投入 产出比
A	1410	4683.0	+1389.0	+1389.0	1:3.8
B	1050	3294.0			
C	1560	4240.5	+888.0	+888.0	1:5.9
D	1410	3352.5			
E	1545	2682.0	+724.5	+724.5	1:6.9
F	1440	1957.5			

注: 试验田播种当天下大雨, 即下雨播种, 湿田烂种, 基础不好, 出苗受到影响。冬、春两季, 发苗差, 春后草多苗少, 导致穗少而产量不高。

### 3 小结

(1) 土壤速效养分含量与麦子产量密切相关。通过麦子不同处理肥料试验结果表明, 土壤养分受到成土母质和土壤类型等结构性因子的影响, 麦子产量与土壤速效养分含量密切相关。当 N、Zn 元素处于临界值附近, 土壤营养元素对作物产量影响最大, 施用这些元素其效益也会最为明显。同时, 需要考虑其他元素对作物产量影响的平衡关系。Zn 是作物必需的营养元素之一, 长期以来, Zn 肥一直以化学肥料的副成分给以补充, 当土壤某一元素处于较低水平时, 它对作物产量的影响最大, 有时表观影响较小时, 施用这些元素的肥料同样会大幅度提高作物产量<sup>[7]</sup>。

(2) 根据土壤养分精准管理模型进行推荐施肥是可行的。通过松江区佘山镇将凤农场规模经营管理模式试验区的实施与验证, 在 Arc/Info 平台上, 使用土壤养分精准管理模型进行推荐施肥是可行的, 它避免了传统土壤养分精准管理空间变异性所造成的施肥推荐偏差<sup>[8]</sup>。应用土壤养分状态系统研究方法, 推荐施肥以土壤养分分区管理为目的, 结合我国规模经营管理模式的国营农场、集体农场生产实践, 根据不同植物需求, 精准推荐施肥是可行的, 符合农业现代化发展的需要, 从而为规模经营

土壤养分精准管理、大面积推荐施肥推广应用提供了科学依据。

(3) 3S 技术提高现代农业管理水平。采用 GIS 土壤网格取样、实验室分析及 ASI 施肥推荐等方法<sup>[8]</sup>, 测定快速准确, 检测成本低, 为提高田间信息采集的效率和改善农田的精细管理提供理论依据。在地理信息系统支持下, 建立了养分分区管理模型, 对于提高现代农业管理水平, 及农业可持续发展意义深远。对于上海地区土壤资源严重缺乏、城郊农业劳动力价格昂贵, 十分珍惜和合理利用土地和人力资源更具有重要现实意义<sup>[9]</sup>。

### 参考文献

- 1 闻大中, 杨俐萍, 金继运, 梁鸣早, 程明芳, 黄绍文. ASI 法测定土壤有效 P、K、Cu、Zn、Mn 与我国常规化学方法的相关性研究. 土壤通报, 2000, 31 (6): 277~279
- 2 自由路, 金继运, 杨俐萍. 低空遥感技术及其在精准农业中的应用. 土壤肥料, 2004, (1): 3~5
- 3 姜勇, 张玉革, 梁文举, 闻大中. 沈阳市郊耕地土壤交换性锰含量的空间变异. 土壤, 2004, 36 (1): 61~64
- 4 汪懋华. “精细农业”发展与工程技术创新. 农业工程学报, 1999, 15 (1): 1~8
- 5 杨俐萍, 金继运, 自由路, 黄绍文. 土壤养分综合评价

- 方法和平衡施肥技术极其产业化, 磷肥与复肥, 2001, 16 (4): 61 ~ 63
- 6 金继运, 自由路主编. 精准农业与土壤养分管理. 北京: 中国大地出版社, 2001
- 7 潘贤章, 史学正. 土壤质量数字制图方法浅论. 土壤, 2002, 34 (3): 138 ~ 140
- 8 聂艳, 周勇, 田有国, 任意, 汪善勤. 基于 3 S 的土壤肥料专家系统研究. 土壤, 2003, 35 (4): 339 ~ 343
- 9 史学正, 于东升. 数字土壤—21 世纪土壤学面临的机遇与挑战. 土壤通报, 2000, 31 (3): 104 ~ 106

## PRECISION MANAGEMENT OF SOIL NUTRIENTS IN SONGJIANG

YANG Pei-zhen<sup>1</sup> WANG Guo-zhong<sup>1</sup> GAN Chun-juan<sup>2</sup> ZHANG Zhong-hua<sup>2</sup>

( 1 Shanghai Agro-technology Extending and Service Center, Shanghai 201103;

2 Songjiang District Agro- technology Extending Center, Shanghai 201600 )

**Abstract** Effects of soil nutrient precision management on yield of wheat and barely in Jiang-feng Farm, Songjiang District, Shanghai were studied by using GPS for site-specific management and ASI for fertilizer recommendation. The results indicated that soil available nutrients were affected by structural factors including parent rock, soil type and so on. The yield of barely was highly related to soil available nitrogen. When soil available  $\text{NH}_4\text{-N}$  and zinc were at their respective critical level, crop yield would be greatly affected and crop response to nitrogen and zinc application would be the most significant. Wheat increased by 42.0% and 26.5%, respectively, and barley by 37% in response to application of 10%~30% more 30% nitrogen and zinc fertilizer.

**Key words** Soil nutrient precision management, Fertilizer recommendation, Crop yield