

## 北京市冬小麦氮肥适宜用量评价方法的研究

贾良良 陈新平 张福锁 刘宏斌 吴健繁

(中国农业大学资源与环境学院)

(北京市农业局土肥站)

**摘要** 1998—1999年在北京市设置了10个6水平氮肥试验,发现氮肥在大多数试验点对小麦都有增产作用,且在施氮量超过 $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时大多数试验点并未表现出产量降低现象,而是出现一个产量相对稳定的平台。以线性加平台、二次型加平台、二次型和平方根共4个氮肥效应模型对冬小麦施氮量和籽粒产量拟合,对模型拟合程度和施肥经济效益分析发现,除施氮没有增产效应的2个点外,50%的点氮肥效应模型以线性加平台最优,20%的点以二次型加平台最优,10%的点以二次型最优;其中,10个点中有2个点可以不施氮,2个点施氮量为 $1\sim 90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,4个点施氮量为 $91\sim 200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,另外2个点施氮量为 $201\sim 242\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;10个点氮肥的平均施氮量为 $119\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。由此可以判断,北京市冬小麦不同田块适宜氮肥用量变幅很大,其中80%的田块低于 $200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,只有少数田块适宜施氮量在 $201\sim 242\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 之间。北京市存在严重的过量施氮问题。

**关键词** 施氮量; 氮肥效应模型; 冬小麦

**中图分类号** S143.1

## Study of Optimum N Supplying Rate in Winter Wheat in Beijing Area

Jia Liangliang Chen Xinping Zhang Fusuo  
(College of Natural Resources and Environmental Sciences, CAU)

Liu Hongbin Wu Jianfan  
(Station of Soil and Fertilizer, Beijing)

**Abstract** Ten experiments with fertilizer N in 6 levels were conducted in Beijing area in 1998—1999. The yield in most sites did not decrease with N fertilizer rate increase when N fertilizer rate exceeded  $180\sim 270\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , but kept as a plateau. In all of ten sites, the effect of N fertilizer on wheat yield could be simulated by linear plus plateau model in six sites, by quadratic model in one site, by quadratic plus plateau model in one site, and could not be fitted into any models in another two sites. The average rate of optimum N fertilization was  $119\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  in the ten experiments. Of all of ten sites, 20% of them needed not any N input, 20% optimum application rate was  $1\sim 90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 40% optimum application rate was  $91\sim 200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 20% optimized application rate was  $201\sim 242\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ . Optimized N fertilizer rate in about 80% sites was lower than  $200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ . Over N fertilization was a serious problem in Beijing suburb.

**Key words** optimized N fertilizer rate; N fertilizer response model; winter wheat

收稿日期: 2000-11-13

北京市自然科学基金重大资助项目 (6980001) 和国家自然科学基金资助项目 (39900085, 39870479)

贾良良, 北京圆明园西路2号中国农业大学(西校区), 100094

氮是小麦生产中最重要限制因子,农民把施氮作为增加产量的主要手段之一。据调查北京市冬小麦平均施氮量为 225~300 kg·hm<sup>-2</sup>,最高施氮量竟达 345 kg·hm<sup>-2</sup>[1]。施氮量过高带来许多负面影响。首先,在过量施氮情况下,冬小麦产量不再增加甚至减产,经济效益降低;其次,过量施氮造成土壤中大量的氮素积累,随降雨或灌水可能会渗入地下而对地下水造成污染。由于北京市冬小麦过量施氮问题很严重,因此研究当前农业生产条件下适宜的氮肥推荐用量以优化氮肥投入,对促进北京市冬小麦生产和环境保护都具重要的意义。

在确定氮肥推荐用量中,施肥模型的选择十分重要。目前国内外对施肥模型的选择问题已经进行过许多研究[2-5]。美国 Iowa 州立大学研究人员经过多年研究发现,线性加平台、二次型加平台、二次多项式和平方根等模型都能够很好地拟合玉米产量和施肥量的关系,其中以线性加平台和二次型加平台为最优[6]。在对施肥模型的评价上,研究者一致认为应该从模型统计检验的拟合程度和推荐施肥量的节省程度来考虑[7-9]。国内近年来有关推荐施肥的研究中,绝大多数都采用了二次多项式模型,从目前研究的进展看来,有重新加以评价的必要。

本文采用多点的 6 水平氮肥田间试验,采用线性加平台、二次型、平方根和二次型加平台模型对冬小麦产量与施氮量关系进行拟合,试图优选出适合北京市冬小麦生产的最佳模型,进一步确定北京地区冬小麦适宜施氮量,并对北京市当前氮肥施肥现状作出评价。

## 1 材料与方法

1998—1999 年在北京市大兴求贤、昌平涧头、昌平大练庄南、昌平大练庄北、昌平泥洼、顺义农科所、顺义堡上北店、顺义长阳镇篱笆房村、顺义南彩、怀柔东庄共 10 个点分别设置了 6 水平氮肥试验,氮肥(N)用量分别为 0, 90, 180, 270, 360, 450 kg·hm<sup>-2</sup>,基肥追肥各半。基肥在整地前撒施,追肥在拔节期撒施并立即灌水。磷肥用量为(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 90 kg·hm<sup>-2</sup>,钾肥用量为(K<sub>2</sub>O) 75 kg·hm<sup>-2</sup>,磷钾肥作为基肥一次施入。小区面积 25~40 m<sup>2</sup>,小麦品种以京 411 为主。栽培、灌溉等管理措施均与当地大田生产措施一致。

在收获期分小区取样方测产,计算产量等。

数据采用 SAS 统计软件包进行统计分析。其中:

(1) 线性加平台(linear plus plateau)模型:

$$y = a + bx \quad (x < m) \quad (1)$$

$$y = p \quad (x \geq c) \quad (2)$$

其中,  $y$  为籽粒产量(kg·hm<sup>-2</sup>),  $x$  为氮肥用量(N, kg·hm<sup>-2</sup>),  $a$  为截距;  $b$  为回归系数,  $m$  为直线与平台的交点,  $p$  为平台产量(kg·hm<sup>-2</sup>)。

(2) 二次多项式(quad ratic)模型:

$$y = a + bx + cx^2 \quad (3)$$

其中,  $y$  为籽粒产量(kg·hm<sup>-2</sup>),  $x$  为氮肥用量(N, kg·hm<sup>-2</sup>),  $a$  为截距,  $b$  为直线回归系数,  $c$  为二次回归系数,最佳氮肥用量通过边际分析求得。

(3) 二次加平台(quad ratic plus plateau)模型:

$$y = a + bx + cx^2 \quad (x < m) \quad (4)$$

$$y = p \quad (x \geq c) \quad (5)$$

其中,  $y$  为籽粒产量(kg·hm<sup>-2</sup>),  $x$  为氮肥用量(N, kg·hm<sup>-2</sup>),  $a$  为截距;  $b$  为直线回归系数,  $c$  为

二次回归系数,  $m$  为二次型曲线与平台的交点,  $p$  为平台产量 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。

(4) 平方根(square root)模型:

$$y = a + bx^{0.5} + cx \quad (6)$$

其中,  $y$  为籽粒产量 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),  $x$  为氮肥用量 ( $\text{N}$ ,  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),  $a$  为截距;  $b$  为平方根回归系数,  $c$  为直线回归系数。

## 2 结果与分析

### 2.1 作物产量对施氮量的反应

氮肥在大多数试验点都有显著的增产作用(图1)。各试验点基础产量不同则氮肥的增产效应不同。基础肥力高的地块, 施肥的增产幅度较小, 而基础肥力低的地块增产幅度较大。其中南彩最高产量达到  $7\,825 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 但其对照产量也有  $5\,501 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 接近涧头、大练庄北、泥洼、和长阳镇篱笆房村的最高产量。昌平涧头和泥洼2个试验点不同施氮量小麦产量变化不大, 氮肥没有增产作用。

大多数试验点在氮肥施用量超过  $180 \sim 270 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  时作物减产并不显著, 而是趋近于一个平台。由于近20年来有计划地筛选耐倒伏、耐肥和高产的品种, 因此国内目前普遍推广应用的小麦品种在达到较高产量水平的一定施氮量范围内, 并不因施氮过量而立即导致倒伏和减产, 而是出现一个产量平台。

### 2.2 氮肥推荐模型的选择

影响作物产量的因素很多, 一种数学模型不可能对所有产量对氮肥的反应作出准确的拟合, 因此氮肥效应模型的选择是十分重要的。目前研究认为, 线性加平台模型可以在保证产量不会过分降低的情况下使推荐施肥量较低。

在本试验中以昌平大练庄南为例对线性加平台、二次型、平方根和二次型加平台模型拟合结果进行了综合比较。从图2可以发现, 不同氮肥效应模型对氮肥施用量与冬小麦籽粒产量间的关系拟合程度 ( $R^2$ ) 都很好, 达到极显著水平, 说明二次型、平方根、线性加平台和二次型加平台模型都可以很好地表征氮肥用量与小麦产量间的关系。

从不同模型计算的最佳施氮量来看, 以线性加平台模型的最佳施氮量最低, 为  $162 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 二次型最高, 为  $309 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 较前者高出  $147 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。而计算的理论最佳产量却以二次型最高 ( $6\,319 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ), 较线性加平台模型高出  $221 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。从氮肥施用的经济效益分析, 以线性加平台模型最高, 二次型加平台和二次型模型次之, 平方根模型最低(表1)。据此分析, 该试验点最优的氮肥效应模型应为线性加平台模型。

用上述分析方法, 对其他9个点的小麦产量与氮肥用量的关系用不同的肥料效应模型进行了数据拟合, 经比较得出的不同试验点的最优模型及相应的最佳施氮量和最佳产量(表2)。除2个施氮不增产的点(昌平泥洼和昌平涧头)外, 8个试验点中有4个点(求贤、大练庄南、大练庄北、顺义三高)的产量和施氮量的关系以线性加平台模型拟合最好, 1个点(堡上北店)以4个模型拟合均不显著, 但以线性加平台拟合较佳。2个点(南彩和怀柔东庄)以二次型加平台拟合最好, 1个点(长阳镇篱笆房)以二次型拟合的结果最佳, 另有1个点(怀柔东庄)以4个模型拟合均不显著, 但以二次型加平台拟合的决定系数最高且经济效益最好。

由此可见, 根据试验点的具体情况, 选择最优的肥料效应模型是十分重要的。

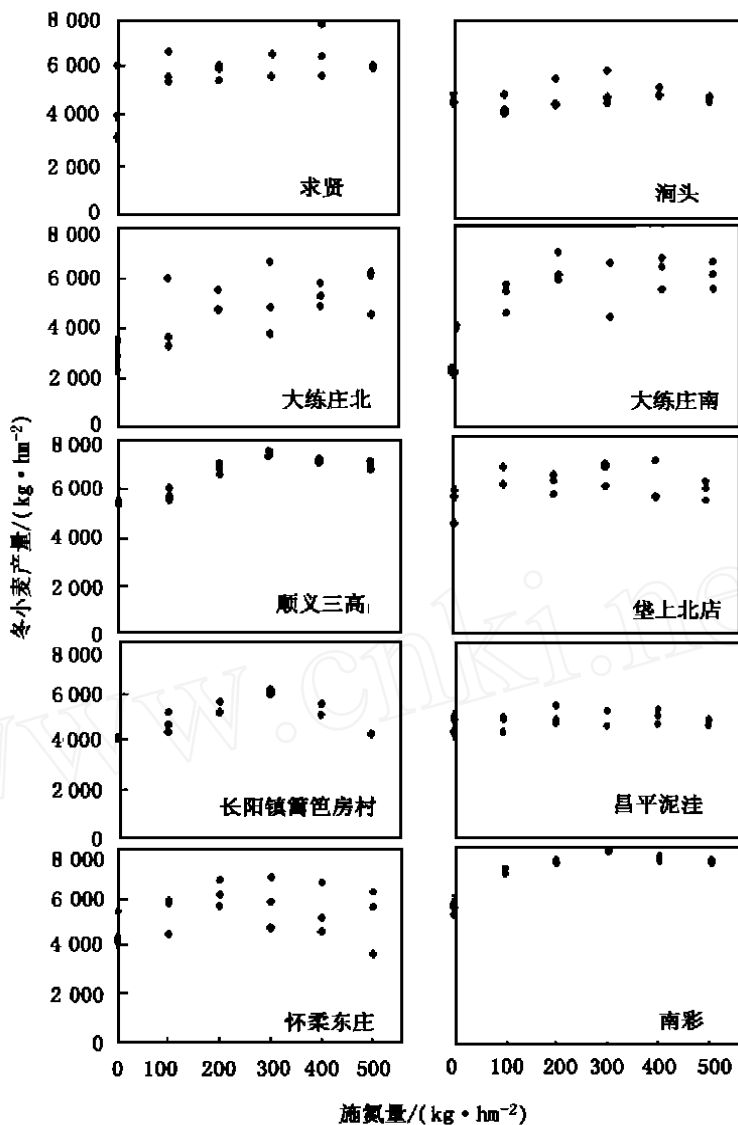


图1 冬小麦产量与施氮量关系

表1 不同氮肥效应模型比较(大练庄南)

模型	$R^2$	最佳(高)产量 $/(kg \cdot hm^{-2})$	最佳施氮量 $/(kg \cdot hm^{-2})$	施氮的经济效益 $/(元 \cdot hm^{-2})$
线性加平台	0.5841	6098	162	0
二次型	0.5201	6319	309	-256
二次型加平台	0.5748	6098	226	-253
平方根	0.5471	5978	225	-429

注: 按氮肥价格  $4.0元 \cdot kg^{-1}$ 、小麦价格  $1.5元 \cdot kg^{-1}$  计算(1998年价格);

设线性加平台模型经济效益为0。

施肥经济效益 = 小麦价格  $\times$  施肥增产量 - 肥料价格  $\times$  肥料施用量。

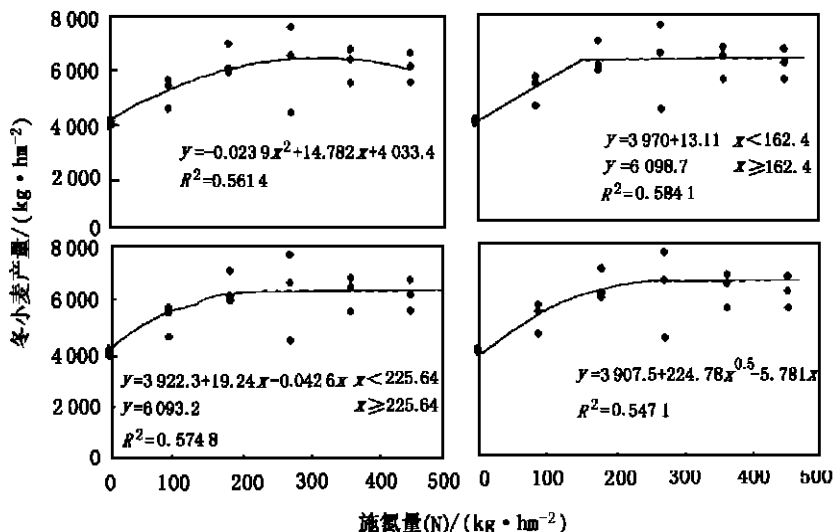


图 2 冬小麦不同氮肥效应模型比较(大练庄南)

表 2 各试验点最佳推荐模型及最佳施氮量、最佳产量

试验点	模型	最佳施氮量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	最佳产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	R <sup>2</sup>
求贤	线性加平台	127	5 875	0.442 5
大练庄南	线性加平台	162	6 099	0.584 1
大练庄北	线性加平台	199	5 340	0.518 9
泥洼	—	0	4 666	—
南彩	二次型加平台	119	7 478	0.929 3
怀柔东庄	二次型加平台	61	5 540	0.148 2
长阳篱笆房	二次型	242	5 619	0.822 5
顺义三高	线性加平台	241	7 080	0.912 0
垡上北店	线性加平台	40	6 041	0.272 9
昌平涧头	—	0	4 744	—

### 2.3 北京地区合理施氮量和施肥现状评价

对北京市农民氮肥施用的情况调查(表 3)发现,北京市冬小麦氮肥平均施用量高达 255.7 kg·hm<sup>-2</sup>,大大超过本研究所得到的最佳施氮量,过量施氮问题十分严重。因此,采用切实可行的推荐施肥技术来针对性地指导具体田块氮肥的合理施用是十分必要的。

对 10 个试验点的氮肥最佳施用量进行频率分布发现(图 3),北京市郊区冬小麦最佳施氮量均在 242 kg·hm<sup>-2</sup>以下,其中 91~ 200 kg·hm<sup>-2</sup>占 40%, 0 kg·hm<sup>-2</sup>, 1~ 90 kg·hm<sup>-2</sup>和 201~ 242 kg·hm<sup>-2</sup>各占约 20%, 10 个点平均的施氮量为 119 kg·hm<sup>-2</sup>。生产中常习惯于用平均的推荐施肥量指导农民施肥。表 4 结果表明,在 10 个试验点中,以研究所得的平均的推荐施肥量(119 kg·hm<sup>-2</sup>)对各点进行推荐,将造成平均 476 元·hm<sup>-2</sup>的经济损失,而以目前北京市农业部门采用的平均推荐施肥量(225 kg·hm<sup>-2</sup>)进行推荐,将造成 106 kg·hm<sup>-2</sup>的过量施氮及 543 元·hm<sup>-2</sup>的经济损失。不同试验点最佳施氮量间存在的巨大差异说明不根据具体情况,采用平均适宜施氮量指导生产是极不合理的。

表3 北京市郊县农民氮肥施用量调查

试验点 所在区(县)	点 数	平均施氮量 /(kg·hm <sup>-2</sup> )
顺义	24	240.0
昌平	9	240.0
怀柔	73	271.5
平谷	12	271.5
平均		255.7

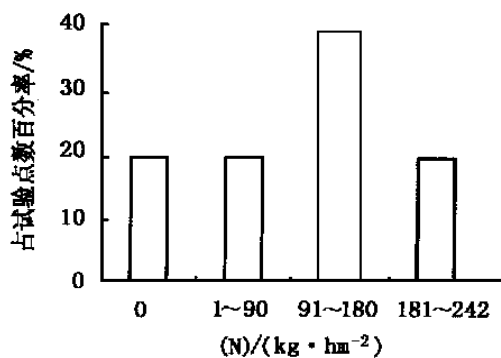


图3 氮肥最佳推荐施用量

表4 不同氮肥推荐施用量的施肥经济效益分析

试验点	试验点适宜氮肥推荐量		研究所得平均推荐施氮量		北京市平均推荐施氮量	
	适宜用量 /(kg·hm <sup>-2</sup> )	经济效益 /(元·hm <sup>-2</sup> )	平均推荐用量 /(kg·hm <sup>-2</sup> )	经济效益 /(元·hm <sup>-2</sup> )	推荐用量 /(kg·hm <sup>-2</sup> )	经济效益 /(元·hm <sup>-2</sup> )
求贤	127	1 555	119	1 174	225	1 163
大练庄南	162	2 545	119	1 864	225	1 308
大练庄北	199	2 819	119	1 754	225	2 715
泥洼	0	0	119	- 476	225	- 900
南彩	119	2 490	119	2 490	225	2 066
怀柔东庄	61	1 126	119	894	225	470
长阳篱笆房	242	1 342	119	1 170	225	1 397
顺义三高	241	1 712	119	756	225	1 582
垡上北店	40	1 109	119	793	225	369
昌平涧头	0	0	119	- 476	225	- 900
平均	119	1 470	119	994	225	927

注: 按照氮肥价格 4.0 元·kg<sup>-1</sup>, 小麦价格 1.5 元·kg<sup>-1</sup> 计算(1998 年价格);

设线性加平台模型经济效益为 0;

施肥经济效益= 小麦价格 × 施肥增产产量 - 肥料价格 × 肥料施用量。

### 3 结论

10 个试验点的小麦产量结果说明氮肥在大多数试验点对小麦有增产作用, 施氮量在超过 180~ 270 kg·hm<sup>-2</sup> 时大多数试验点并未表现出产量降低现象, 而是出现一个产量相对稳定的平台。

在大练庄南试验点, 4 个氮肥效应模型对冬小麦施氮量和籽粒产量的拟合都很好, 均可表征氮肥与小麦产量的关系, 综合最佳施氮量和小麦产量及经济效益, 以线性加平台模型最优。

10 个试验点中, 除 2 个施氮没有增产效应的点外, 50% 的点氮肥效应模型以线性加平

台最优,20%的点以二次型加平台最优,10%的点以二次型最优。

北京市冬小麦最优施氮量为 $0\sim 242\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,其中20%的点上可以不施氮,20%的点施氮量为 $1\sim 90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,40%的点施氮量为 $91\sim 200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,20%的点施氮量为 $201\sim 242\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。10个点氮肥的平均施氮量为 $119\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

以北京市目前推荐使用的平均适宜施氮量 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 推荐和以研究所得到的10个田块适宜氮肥用量的平均 $119\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 进行推荐,将使经济效益分别比实际适宜氮肥用量的经济效益下降 $476\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $543\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

在确定冬小麦的适宜施氮量时,应当根据具体田间情况具体分析,采用单一的平均适宜施氮量方法是不合理的。

### 参 考 文 献

- 1 赵久然,郭强,等 北京郊区粮田化肥投入和产量现状的调查分析 北京农业科学,1997,15(2):36~38
- 2 Cady F, Jlaird R. Bias error in yield function as influenced by meat design and postulated model. *Soi Sci Soc Amer Proc*, 1969, 39: 282~296
- 3 Cowell J D. Some consideration in modeling the effects of fertilizers on crop yield. *J A ust Inst A gri Sci*, 1981, 32: 142~146
- 4 Russell C M, Thomas R S. Effect of nitrogen supply on maize yield: II. Field and model analysis. *A gron J*, 1995, 87: 642~648
- 5 Cerrato M E, Blackmer A M. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. *A gron J*, 1990, 82: 138~143
- 6 Thomas R S, Russell C M. Effect of nitrogen supply on maize yield: I. Modeling physiological response. *A gron J*, 1995, 87: 632~641
- 7 陈新平,周金池,张福锁,等 小麦-玉米轮作制中氮肥效应模型的选择——经济、环境效益分析. *土壤学报*, 2000, 37(3): 346~354
- 8 毛达如,张承东 推荐施肥技术中施肥模型与实验设计研究. *土壤通报*, 1991, 22(5): 216~218
- 9 王兴仁 分类回归法在区域施肥决策中的应用. *土壤通报*, 1989, 20(1): 17~20