第3卷 第3期
1997年9月

植物营养与肥料学报
PLANT NUTRITION AND FERTILIZER SCIENCE

Vol.3 No.3
Sep. 1997

我国北方地区几种主要作物氮营养诊断及追肥推荐研究①

Ⅰ. 几种主要作物氮磷施用量的研究

李志宏② 王兴仁 张福锁

（中国农业大学植物营养系，北京 100094）

摘 要

通过田间试验研究了春小麦、冬小麦、春玉米和夏玉米四种作物氮、磷施用量。结果表明，随作物和地区不同，各种作物氮肥最适施用量变异很大，其中，冬小麦氮肥最适施用量为100～155.4kghm^{-2}，春小麦为158.7～187.8kghm^{-2}，夏玉米为121～228kghm^{-2}。而磷肥最适施用量变化不大，仅春小麦略有差异，为71.9～94.4kghm^{-2}。该研究结果为通过快速营养诊断的方法指导作物追肥提供了依据。

关键词 氮肥需要量 磷肥需要量 春小麦 冬小麦 春玉米 夏玉米

合理施肥技术包括施用量、肥料配比、施肥时间和施肥方法的确定。其中确定经济合理施肥量是合理施肥的中心问题。由于快速植株营养诊断只能在事先确定了施肥总量后作为一种补充，不能用来预计作物需肥总量。因此，在进行营养诊断之前，必须根据土壤供肥能力和作物需肥特性来预计一季作物的总施肥量。目前，广泛应用的推荐施肥方法有：养分平衡法、养分丰缺指标法和肥料效应函数法等。其中，只有肥料效应函数法可以与其它基本方法很好地配合使用，用来确定其它方法中的一些参数[1,2]。而且肥料效应函数法可以确切地反映不同种植条件下产量与施肥量的数量关系[3]；还可以客观地反映肥料增产效果，用来计算各种要求的最佳施肥量参数，提供区域施肥建议，这对于控制地区性施肥量有重要意义[4]。

因此，我们在研究中采用肥料效应函数法来确定氮、磷化肥的最佳用量，并将此作为营养诊断的基础。

一、材料与方法

（一）试验材料

选择北方地区主要作物：春小麦、冬小麦、春玉米和夏玉米作为供试作物，在内蒙古自治区五原县、通辽市，山西省运城市、永济市和北京农业大学昌平试验站进行田间试验。春小麦品种为永良12号，冬小麦为1604，春

①北京市和国家自然科学基金资助项目
②现工作单位，山西农科院蔬菜所，太原 030031
收稿日期：1996－08－08

玉米为掖单12，夏玉米为西玉3号。在播种前采取0～20cm土壤作为基础土样。主要测定项目为：

土壤pH值($CaCl_2$浸提)，有机质(重铬酸钾一外加热法)，全氮(开氏法)，碱解氮(NaOH水解，$FeSO_4$还原法)，有效磷(Olsen法)，有效钾(NH_4Ac)。具体测定方法见《土壤农业化学常规分析方法》[5]。各试验点土壤养分测定结果见表1。

表 1　供试土壤基本理化性状

Table 1　The properties of soils

地点 Site	有机质 O.M. (C,%)	全氮 Total N (N,%)	有效氮 Availiable N (N, mg kg^{-1})	有效磷 Olsen-P (P,mg kg^{-1})	有效钾 NH_4Ac-K (K,mg kg^{-1})	pH
五　原	2.23	0.121	112.0	12.0	195.1	7.80
通　辽	2.50	0.130	125.0	16.6	207.5	7.50
昌平站	0.96	0.064	68.1	6.1	114.0	7.23
运　城	0.88	0.042	112.0	6.3	142.5	8.20
永　济	1.39	0.107	146.0	1.3	166.0	8.10

(二)试验设计

1. 春小麦肥料试验

春小麦肥料试验于1993～1994年度在内蒙古自治区五原县和通辽市进行。试验设计为氮、磷二因素4×3设计，3次重复，随机区组排列。氮肥4个水平为0、90、180、270kghm^{-2}N，磷肥3个水平为0、75、150kghm$^{-2}P_2O_5$。全部磷肥作为底肥一次施入；氮肥分3次施入，底肥、分蘖肥、拔节肥分别占40%、30%、30%。试验中进行详细田间调查。在追肥前采取土壤及植物样品进行分析。

2. 春玉米肥料试验

1994年在北京农业大学昌平试验站进行春玉米肥料试验。昌平试验站为长期定位试验，采用氮、磷二因素的3×3设计。3个氮水平分别为0、135、270kghm^{-2}N，3个磷水平分别为0、67.5、135kghm$^{-2}P_2O_5$，不设重复。40%的氮肥和全部磷肥作为基肥施入，其余氮肥分拔节期和抽雄期分二次追施。

3. 冬小麦一夏玉米轮作肥料试验

1993～1994年在山西省运城市和永济市进行。冬小麦采用氮、磷二因子4×3设计，3次重复，随机区组排列。小区面积为4m×8m。氮肥4个水平分别为0、90、180、270kghm^{-2}N，磷肥3个水平分别为0、112.5、225kghm$^{-2}P_2O_5$。夏玉米只设4个氮肥处理，磷肥只有112.5kghm$^{-2}P_2O_5$1个水平。氮肥4个水平分别为0、75、150、225kghm^{-2}N，3次重复。冬小麦60%氮及全部磷肥作底肥，40%氮作追肥，在拔节前一次施入。夏玉米用磷酸二铵作为种肥，其余氮肥作为追肥，在拔节前一次施用。追肥前采植物样品进行测定。

(三)模型选择

最早应用数学模型来定量地描述作物产量与肥料用量关系的是著名农业化学家Mitscherlich。随着数理统计的发展，特别是电子计算机的问世及普及，有力地促进了该方面的研究。当前定量施肥研究中，回归分析方法已逐步为农业科技工作者采用。然而，采用回归分析方法就要选用合适的施肥效应函数模式。近年对施肥效应模式研究较多，现已提出了多种数学模拟来模拟作物产量与施肥量的关系[6,7]。但因农业生产中干扰因子太多，不可能有哪一种模式能适应所有的情况[8]。联合国粮农组织(FAO)推荐米氏方程、直线式、二次多项式和平方根多项式等4种模式来表示施肥效应。生产实践中多采用二次多项式[9]。研究表明，灌溉地上，二次施肥模型能较好地反映肥料效应的规律[10]。我们在研究中也采用二次多项式函数来建立施肥效应模式。该模式的效应方程曲率较大，二次项系数增加较快，曲线峰顶不致于过于平缓，这样可以避免最高产量和边际产量都外推和过高估计肥料用量。

二次多项式的基础模式为：

$$Y = B_0 + b_1X_1 + b_2X_1^2 + b_3X_2 + b_4X_2^2 + b_5X_1X_2$$

式中Y为作物产量(子粒,$kghm^{-2}$),X_1,X_2分别为施氮量(N,$kghm^{-2}$)和施磷量(P_2O_5,$kghm^{-2}$)。

二、结果与讨论

(一)不同作物肥料效应方程

将不同作物不同处理得到的产量进行数理统计,求得各种作物产量与施肥之间的函数关系(表2),各肥料效应方程式经拟合检验,均达到显著或极显著水平。

表 2 不同作物肥料效应方程

Table 2 The response functions of fertilizer for several crops

作物 Crops	试验点 Sites	方程式 Response function
春小麦	五原(1993)	$Y=2787.0+21.3N+17.6P-0.047N^2-0.053P^2-0.047N\times P$ $F=21.1^{**}$ $R^2=0.9604$
春小麦	五原(1994)	$Y=3681.0+7.78N+9.74P-0.024N^2-0.039P^2-5.27\times10^{-5}N\times P$ $F=14.07^{**}$ $R^2=0.8075$
春小麦	通辽(1993)	$Y=3063.5+22.2N-13.2P-0.032N^2+0.127P^2-0.066N\times P$ $F=16.83^{**}$ $R^2=0.8407$
春小麦	通辽(1994)	$Y=2641.9+17.1N+22.1P-0.031N^2-0.067P^2-0.037N\times P$ $F=9.48^{**}$ $R^2=0.8877$
冬小麦	运城	$Y=3055.9+6.01N+9.12P-0.020N^2-0.034P^2-3.78\times10^{-4}N\times P$ $F=4.12^{*}$ $R^2=0.7746$
冬小麦	永济	$Y=4508.0+9.63N+11.59P-0.024N^2-0.046P^2-7.11\times10^{-4}N\times P$ $F=6.01^{*}$ $R^2=0.8367$
春玉米	昌平站	$Y=3868.4+29.1N+61.4P-0.11N^2-0.37P^2+0.059N\times P$ $F=2.59^{*}$ $R^2=0.7877$
夏玉米	运城	$Y=3433.5+8.78N-0.028N^2$ $F=5.21^{*}$ $R^2=0.6344$
夏玉米	永济	$Y=3734.9+18.01N-0.035N^2$ $F=100.7^{*}$ $R^2=0.9573$

表2中有两个效应方程是非典型效应方程。五原点1994年春小麦效应方程对磷肥的推荐结果严重外推,1993年通辽点春小麦的效应方程是一个鞍型方程,不能直接用于施肥推荐,需经过优化处理后方可进行推荐。

(二)不同作物最高、最佳施肥量及其产量

试验求得的效应方程需经过拟合性检验、可用性判别和外推结论判别后,才能进行边际效应分析[11]。

根据达到最高产量时,边际产量$\frac{\partial Y}{\partial X}=0$的原理,求得表2中各回归方程的一阶偏导,并令其等于零,即:

$$\frac{\partial Y}{\partial N}=b_1+2b_3N+b_5P=0 \text{和}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial P}=b_2+2b_4P+b_5N=0$$

根据上面两式，求得各种作物最高氮、磷施肥量，将所得的施肥量分别代入相应的回归方程中，可得出各种作物的最高产量(表3)。

根据最佳施肥量应符合边际收益等于边际成本的原则，即：

$$\frac{\partial Y}{\partial N}=\frac{P_N}{P_Y} \text{和}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial P}=\frac{P_P}{P_Y}$$

式中P_Y、P_N、P_P分别代表不同作物产品、N和P_2O_5的单价。

将各种产品及肥料价格代入上式，可求得各方程最佳施肥量，将所得的各个最佳的氮、磷施用量分别代入表2的回归方程，得出相应的最佳产量(表3)。

表 3　不同作物最大、最佳施肥量及其产量

Table 3　The maximum and optimum rates of fertilizer and yield for several crops

作物 Crops	最大施肥量及产量 The maximum fertilizer and yield			最佳施肥量及产量 The optimum fertilizer and yield		
	N ($kghm^{-2}$)	P (P_2O_5, $kghm^{-2}$)	产量 Yield ($kghm^{-2}$)	N ($kghm^{-2}$)	P (P_2O_5, $kghm^{-2}$)	产量 Yield ($kghm^{-2}$)
春小麦(五原，1993)	184.6	84.0	5493.0	158.8	71.9	5409.1
春小麦(通辽，1994)	213.6	106.0	5632.1	187.8	94.4	5593.2
冬小麦(运城)	147.6	133.3	4111.4	100.0	96.8	4017.5
冬小麦(永济)	203.6	124.4	6185.7	155.4	97.6	6107.1
春玉(昌平)	112.7	74.0	8760.4	102.4	70.6	8612.0
夏玉米(运城)	158.6		4121.7	121.1		4086.1
夏玉米(永济)	257.3		6051.8	228.7		6023.2

注：氮肥价格：2.00元／kg N，磷肥价格2.50元／kg P_2O_5，小麦价格：1.00元／kg，玉米价格：0.80元／kg。

Note: The price of N, P_2O_5, wheat and corn were ￥2/kg, ￥2.5/kg, ￥1.00/kg, and ￥0.80/kg, respectively.

从表3数字看出，对不同作物磷的最大施肥量(P_2O_5)变幅为74.0～133.3$kghm^{-2}$，最佳施肥量变幅为70.6～97.6$kghm^{-2}$，变化较小。而氮肥用量(N)变化较大，不同作物最大施肥量为112.7～257.3$kghm^{-2}$，最佳施肥量为100.0～228.7$kghm^{-2}$，变幅超过了100$kghm^{-2}$。这些数据从一个侧面说明在推荐施肥中，氮肥施用量比较难掌握，它不象磷肥那样对不同作物施用量变化不大。因此施肥调控应以氮肥为主。

三、结 论

通过不同作物田间试验结果，获得了各种作物的肥料效应方程。根据边际效应原理，得出不同作物氮、磷肥的最佳施用量。冬小麦最适施氮量为100.0～155.4kghm^{-2}，春小麦为158.7～187.8kghm^{-2}，夏玉米为121.0～228kghm^{-2}。

由于农业生产具有很大的变异性，作物产量很大程度上受地理环境、气候条件的影响，通过田间试验获得的施肥量也有很大的随机性。在一个试验点得到的推荐施肥建议，即使在条件相似的地区应用时也会有变异。应用肥料效应函数法进行推荐施肥还有另外一个缺陷就是当土壤肥力高时，随施肥量增加，曲线变化趋于平缓，因此，推荐施肥量会偏高，这一点从表3中五原点和通辽点的对比中可看出。通辽点和肥力水平高于五原点，但由于拟合曲线比较平缓，因此，推荐施肥量反而偏高。同时，肥料效应函数法等推荐施肥方法只是农作物产前定肥的定量方法，这种预测往往因农作物生育期间天气变化而不准。因此在框定某一地区总施肥量后，再借助于营养诊断，通过监测作物需肥程度，将“产前定肥”和“产中调肥”紧密结合起来，使已确定的施肥量施用得更加合理。氮肥最佳施肥量变异范围大于磷肥，应在“产前定肥”的基础上，通过植株氮营养诊断，进行“产中调配”。

参 考 文 献

1 邱忠祥，王德清等．应用效应函数法推荐玉米最佳施肥方案的探讨．全国推荐(配方)施肥学术讨论会材料．1989.

2 张宽，王秀芳等．肥料效应函数在配方施肥五种方法中的应用．全国推荐(配方)施肥学术讨论会材料，1989.

3 李仁岗．根据肥料效应函数确定经济合理施肥量．土壤通报，1983，14(3)，24～28.

4 王兴仁．分类回归综合法及其在区域施肥决策中的应用．土壤通报，1989，20(1)，17～20.

5 李酉开．《土壤农业化学常规分析方法》．科学出版社，1983.

6 Cook GW. Fertilizing For Maximum Yield. Crosby Lockwood and Son Ltd., 1972, 221～238.

7 Cowell JD. Some consideration in modeling the effects of fertilizers on crop yield. J. Aust. Inst. Agri. Sci., 1981, 32:142～146.

8 Sparrow PE. Nitrogen response curves of spring barley. J. Agr. Sci., 1979, 92 :307～317.

9 王兴仁，高慧．不同种植制度下的经济施肥决策和计算机应用．北京农业大学学报，1990，16(2)：109～116.

10 毛达如，张承东．推荐施肥技术中施肥模型与试验设计研究．土壤通报，1991，22(5)，216～218.

11 陈伦寿，毛达如，王兴仁，张承东．曲周县冬小麦优化配方施肥模型和效应反馈的研究．杨守春主编，黄淮海平原主要作物优化施肥和土壤培肥技术．中国农业出版社，1991，58～65.

NITROGEN NUTRITIONAL DIAGNOSIS AND RECOMMENDATION AS TOPDRESSING FERTILIZER N FOR SEVERAL CROPS IN NORTH CHINA

I. RECOMMENDATION OF NITROGEN AND PHOSPHATE FERTILIZER FOR SEVERAL CROPS IN NORTH CHINA

Li Zhihong Wang Xingren Zhang Fusuo
(Department of Plant Nutrition CAU, Beijing 100094)

Summary

This paper is part of "The Nitrogen Nutritional Diagnosis and Recommendation as Top dressing Fertilizer N for Several Crops in North China". The rate of nitrogen application for four crops: spring wheat, winter wheat, spring corn and summer corn were studied in field plot experiment. The results showed that the optimum rate of nitrogen recommended for spring wheat, winter winter wheat and summer corn had a significant difference at different sites, and were considered to be 158.7～187.8kghm^{-2}, 100.0～155.4kghm^{-2} and 121.0～228.0kghm^{-2}, respectively. The optimum rate of phosphate recommendation had a unsignificant difference except for the spring wheat which varied from 71.9 to 94.4kghm^{-2}. Based upon the research, the rate of nitrogen topdressing could be guided by the means of quick nitrate test in plant tissue.

Key words Nitrogen fertilizer recommendation Phosphate fertilizer recommendation · Spring wheat Winter wheat Spring corn Summer corn.