

黄淮海平原化肥用量的时间序列分析及其对农业发展的正负效应

吴 凯, 谢贤群

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 根据黄淮海平原区公顷化肥量的逐年增加趋势, 采用龚帕兹生长曲线, 对其进行了模拟分析。指出虽然化肥对粮食产量的贡献率在 40% 以上, 但其超量施用对农业发展亦有不少负面影响, 诸如食品中硝酸盐含量增加、影响植株生长、污染耕地、土壤硝态氮含量增加、pH 值下降、污染地下水等。为此, 提出了防止过量施肥污染的对策, 包括强化环境保护意识、严格监测化肥中污染物质的含量、推广定量化施肥技术、在施肥时配合实施其他农业措施等。

关键词: 黄淮海平原; 化肥; 时间序列; 效应

中图分类号: X592 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 0267(2002)06 - 0516 - 03

Time Series Analysis of Applied Fertilizer and Its Positive and Negative Effects on Agricultural Development in the Huang - Huai - Hai Plain

WU Kai, XIE Xian-qun

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Total applied chemical fertilizer (in pure) was 9.146×10^6 T and per hectare was 509 kg during 1994—1998 in the Huang - Huai - Hai Plain. The over - use rate of fertilizer was at least 33.9%, if the rational dose per hectare is $380 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ in the area. Applying chemical fertilizer per hectare has the increasing tendency year by year, which can be simulated by a special growth curve. There are negative effects of over - use of chemical fertilizer on agricultural development including increasing nitrate content in foods, affecting plant growth, polluting farmland, increasing $\text{NO}_3^- - \text{N}$ content in soil, decreasing pH and polluting groundwater and so on, although the contribution rate of chemical fertilizer to grain yield is over 40%. For this reason, the countermeasures for avoiding the pollution by over - use of chemical fertilizer were presented in the paper, which include strengthening the consciousness of environmental protection, rigorously monitoring the pollutants contents in chemical fertilizer, spreading ration applying fertilizer techniques, coordinately implementing the other agricultural measures in applying chemical fertilizer and so forth.

Keywords: the Huang - Huai - Hai Plain; chemical fertilizer; time series; effect

黄淮海平原包括北京、天津、河北、河南、山东、江苏、安徽等 5 省 2 市的 317 个县市区。1998 年人口为 2.14×10^8 人, 约占全国总量的 17.1%; 耕地面积为 $1.795 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 约占全国总量的 41.8%; 粮食总产量为 $11.086 \times 10^4 \text{ t}$, 约占全国总量的 21.6%; 棉花总量为 $163 \times 10^4 \text{ t}$, 约占全国总量的 36.2%; 化肥用量(折纯)为 $1.008.6 \times 10^4 \text{ t}$, 约占全国总量的 24.7%。

1 化肥用量的时间序列分析

1.1 化肥用量及其 N、P、K 比例

黄淮海平原农田土壤普遍缺氮, 大部缺磷, 局部

缺钾。化肥施用应以氮肥、磷肥配合为主, 在高产栽培中也应注意增施适量钾肥^[1]。本区 1994—1998 年化肥用量平均为 $914.6 \times 10^4 \text{ t}$, 若按 5 省 2 市 N、P、K 比例(表 1)估算, 则本区施氮肥 $514.9 \times 10^4 \text{ t}$, 磷肥 $163.7 \times 10^4 \text{ t}$, 钾肥 $50.3 \times 10^4 \text{ t}$, 复合肥 $185.7 \times 10^4 \text{ t}$ 。若不计复合肥, N:P:K = 1:0.32:0.10, 小于世界平均水平 1:0.5:0.5^[2]。本区 1993 年、1998 年不同类型区公顷化肥量见表 2。

参考文献[1]、[3]、[4]等的研究成果, 河南清丰县在一年两熟条件下, 最佳施肥量为 $399 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (其中小麦、玉米施肥量之比为 1:1.06); 河南郑州最佳施肥量为 $360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (表 3); 山东禹城冬小麦最佳施 N 量为 $142.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 1996—1999 年 N:P:K = 1:0.25:0.04, 即施肥量约 $184 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 若按河

收稿日期: 2002 - 01 - 27

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(49890330)

作者简介: 吴 凯(1939—), 男, 江苏省盐城市人, 中国科学院地理科学与资源研究所研究员。

表 1 5 省 2 市化肥用量及其 N、P、K 的比例(1990—1999)

Table 1 Amounts of fertilizer applied and proportion of N to P to K in 5 provinces and 2 cities (1990—1999)

年份	化肥	氮肥	磷肥	钾肥	复合肥
1990	991.5	639.0	183.1	27.9	141.5
1991	1 076.0	662.0	206.0	38.3	169.7
1992	1 122.4	667.4	212.0	47.5	195.5
1993	1 287.5	746.3	249.7	59.5	232.1
1994	1 328.6	751.1	244.4	67.6	265.5
1995	1 432.2	797.4	255.8	79.0	300.0
1996	1 565.7	876.7	270.4	88.6	330.0
1997	1 602.0	863.3	275.8	103.6	359.3
1998	1 681.2	888.1	283.8	116.6	392.7
1999	1 717.5	885.3	293.1	126.1	413.0
平均	1 380.5	777.7	247.4	75.5	279.9
%	100.0	56.3	17.9	5.5	20.3

表 2 黄淮海平原 1993、1998 年不同类型区公顷化肥量

Table 2 Applied fertilizer per hectare in typical regions of the Huang - Huai - Hai Plain in 1993 and 1998

区域	公顷化肥量/kg·hm ⁻²		年增长率 /%
	1993	1998	
全区	416	562	7.0
山前平原区	454	564	4.8
海河低平原区	352	467	6.5
黄淮平原区	412	618	10.0
滨海低平原区	502	589	3.5

表 3 在每公顷不同施氮量条件下 0—100 cm 土壤中硝态氮含量

Table 3 NO₃⁻ - N contents per hectare in 0—100 cm soil in the different conditions of applied nitrogenous fertilizer

取样时间	施氮量/kg·hm ⁻²					
	0	75	150	225	300	375
1997-04-04	11.4	17.3	23.2	20.7	40.9	60.0
1997-05-28	12.3	15.4	17.7	31.4	132.4	251.4
1997-09-26	11.7	26.6	31.4	20.1	33.0	90.0
1998-03-19	6.2	18.3	26.8	15.2	17.9	19.6
1998-05-22	15.9	11.4	16.4	16.5	34.5	72.8
1998-09-22	7.9	12.9	15.0	41.3	62.7	101.2
平均	10.9	17.0	21.8	24.2	53.6	99.2
残留率/%		22.7	14.5	10.8	17.9	26.5

备注:施 N 6 个水平,施 P₂O₅ 90 kg·hm⁻²,施 K₂O 45 kg·hm⁻²,地低温。

南清丰县小麦、玉米施肥量之比 1:1.06 计,则最佳施肥量约 379 kg·hm⁻²。若取清丰、郑州、禹城三地最佳施肥量的平均值(380 kg·hm⁻²)作为本区最佳施肥量,对照 1994—1998 年实际施肥量 509 kg·hm⁻²,则本区化肥至少超量施用了 33.9%。

1.2 公顷化肥量的变化趋势及其模拟

黄淮海平原公顷化肥量有逐年增加的趋势,全区

1984—1988 年平均为 227 kg·hm⁻², 1989—1993 年为 361 kg·hm⁻², 1994—1998 年为 509 kg·hm⁻², 1994—1998 年的平均值为 1984—1988 年的 2.2 倍。四个类型区亦有类似的变化趋势,但山前平原区与滨海低平原区增加幅度略大,分别为 2.4 倍与 2.3 倍。

由于本区公顷化肥量的时间序列大致为单调增函数,并且近期增长速率在减小,因此,可用龚帕兹生长曲线拟合。其表达式为:

$$y = ka^{f(x)}, f(x) = b^{x-1} \quad (1)$$

式中: y 为公顷化肥量, kg·hm⁻²; x 为该时间序列第一年为起始年的年数; k 、 a 、 b 为参数; $f(x)$ 为转换函数。

参数 k 、 a 、 b 的计算步骤如下^[5]:

(1)为简便计,时间序列的个数 N 应能被 3 整除,即 $N = 3n$ 。将 N 个数依次分成相等个数的 3 个组;

(2)将各 y_i 值变换为 $\ln y_i$ 值;

(3)计算 $\sum_1 \ln y = \sum_{i=1}^n \ln y_i$, $\sum_2 \ln y = \sum_{i=2n+1}^{2n} \ln y_i$, $\sum_3 \ln y = \sum_{i=2n+1}^{3n} \ln y_i$

(4)按下列公式计算 k 、 a 、 b :

$$b^n = (\sum_3 \ln y - \sum_2 \ln y) / (\sum_2 \ln y - \sum_1 \ln y) \quad (2)$$

$$\ln a = (\sum_2 \ln y - \sum_1 \ln y) \cdot (b - 1) / (b^n - 1) \quad (3)$$

$$\ln k = [\sum_1 \ln y - (b^n - 1) \ln a / (b - 1)] / n \quad (4)$$

据笔者分析,黄淮海平原 1984—1998 年不同类型区公顷化肥量时间序列模型的 k 、 a 、 b 值见表 4。由表 4 可知,其相对误差均小于 0.7%,可见其拟合程度较高。

表 4 黄淮海平原不同类型区模型参数 k 、 a 、 b 值Table 4 Value of model parameters k , a and b in different typical regions of the Huang - Huai - Hai Plain

区域	a	b	k	相对误差/%
全区	0.145 1	0.936 1	1 217.954 0	0.3
山前平原区	0.192 1	0.882 5	768.072 1	0.7
海河低平原区	0.122 6	0.949 0	1 325.781 0	0.4
黄淮平原区	0.004 5	0.984 3	46 528.930 0	0.2
滨海低平原区	0.127 6	0.939 7	1 504.134 0	0.6

2 化肥对农业发展的正负效应

2.1 化肥的增产效益

合理施用有机肥料和化学肥料,对于提高作物单位面积产量和不断提高土壤肥力有着重要的作用。黄淮海平原 1984—1998 年化肥用量从 285.2 × 10⁴ t 增加到 1 008.6 × 10⁴ t,年增长率为 18.1%;同期,粮食总产从 7 949.45 × 10⁴ t 增加到 11 086.24 × 10⁴ t,年增长率为 2.8%。据有关估计,化肥对粮食产量的贡献

率在40%以上^[6]。

据笔者分析,黄淮海平原1984—1998年公顷化肥量(x , $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)与公顷粮食产量(y , $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)的回归关系为:

$$y = 3\,533.036 + 2.127\,017x + 0.005\,561x^2$$

$$(r = 0.979, \text{相对误差 } 0.1\%) \quad (5)$$

2.2 化肥超量施用的负面效应

2.2.1 对作物的影响

(1)食品中硝酸盐含量增加。世界健康保护组织规定食品中硝酸盐含量不得超过 $700 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 鲜物重,但食品中硝酸盐含量与氮肥用量呈显著的正相关,相关系数为0.77—0.99。若采取最高产量降低5%—10%的氮肥用量,则植物中 NO_3^- 的含量就能减少50%—58%。

(2)影响植株生长。施用单一氮肥可削弱初生根和次生根生长,又可使土壤中病原菌数目增多和生活能力增强^[21]。

2.2.2 对土壤的影响

(1)污染耕地。我国现有耕地受污染面积达 $2\,667 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中,受工业“三废”污染的占37.5%,受大气污染的占25.0%,受农药残留和过量施肥污染的占37.5%^[7]。1999年我国施氮肥 $2\,180.9 \times 10^4 \text{ t}$ 、磷肥 $697.8 \times 10^4 \text{ t}$ 、钾肥 $365.6 \times 10^4 \text{ t}$ 、复合肥 $880.0 \times 10^4 \text{ t}$ 。目前化肥利用率:氮为30%—60%,磷为3%—25%,钾为30%—60%^[51]。

(2)土壤硝态氮含量增加。若采用MNP(马粪+NPK)、SNPK(秸秆+NPK)与NPK平衡施肥,0—100 cm土壤硝态氮含量约为28.0 kg,残留率8.5%;若采用N、NK施肥方式,则其含量达251.1 kg,残留率达76.1%,比平衡施肥高8倍(表5)^[6]。

(3)pH值下降。氯化铵和硫酸铵分别以相当于 $60 \text{ kgN} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的数量施用,两年后,表土pH从5.0分别表5不同施肥方式0—100 cm土壤硝态氮含量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 5 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ contents of 0—100 cm soil in different methods of applied fertilizer ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

测定时间	N	NP	NK	NPK	MNP	SNPK
1996-10-09	195.8	40.9	119.9	24.4	11.4	16.9
1997-06-09	335.2	47.6	268.0	22.7	22.0	20.6
1997-10-06	228.4	70.7	193.9	35.1	25.1	89.6
1998-05-26	416.9	222.6	385.1	46.6	38.6	44.8
1998-09-26	293.3	102.7	186.0	13.6	16.7	19.3
1999-05-26	216.0	28.4	174.3	13.1	25.6	18.4
平均	280.9	85.5	221.2	25.9	23.2	34.9
残留率/%	85.1	25.9	67.0	7.8	7.0	10.6

备注:施N $165 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,施 P_2O_5 $82.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,施 K_2O $82.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

降至4.3和4.7;长期施用钾肥,土壤中 Ca^{2+} 会逐渐减少,而使土壤板结,或土壤中 H^+ 、 Al^{3+} 浓度升高,pH下降^[21]。

(4)活性锌和活性铁下降。单方面大量施用磷肥,可使土壤中活性锌和活性铁下降,并会带来重金属(镉)和放射性污染^[21]。

2.2.3 污染地下水

造成地下水污染的主要原因是农药的污染,其次是化肥^[8]。世界卫生组织制定的饮用水中硝酸盐含量的标准为: NO_3^- 为 $45 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[9]。欧共体饮用水标准中,钾的最大允许浓度为 $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。据联合国粮农组织1993年统计,我国农田磷素进入水体的通量为 $19.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,比美国高8倍^[7]。石家庄市浅层地下水中硝酸盐氮检出率为98.4%,总磷的检出率为80%,检出极值为 $0.204 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,未超标^①。

3 防止过量施肥污染的对策

(1)强化环境保护意识。应大力加强环境保护教育,提高群众的环保意识。在宣传普及化肥知识时,应同时宣讲不当或过量施用化肥的害处,做到适时适量、科学施肥。

(2)严格监测化肥中污染物质的含量。应确定化肥中微量有害物质允许量标准,对化肥进行环境污染物质含量的长期定位网络监测。

(3)推广定量化施肥技术。应把肥料效应关系、测土施肥、营养诊断三大推荐施肥系统结合起来,形成更科学的定量化的施肥技术,并予以推广,如测土配方施肥、氮调控法、计算机推荐施肥等就是目前较好的计量施肥方法。

(4)施肥时配合其他农业措施

施用氮肥时,通过配施磷肥、钾肥和有机肥料,或配施含氮肥料,或适当喷施钼肥、锰肥,可以降低蔬菜中 NO_3^- 的含量(蔬菜中硝酸盐允许含量为小于 $432 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$);施用缓效氮肥时,使用硝化抑制剂、脲酶抑制剂降低土壤中 NO_3^- 的含量,如将氮吡啉(CP)与硫酸铵一起使用,可减少 NO_3^- 含量的50%;用双氰胺(DCD)以氮肥用量的10%加入,可减少 NO_3^- 含量的10%;施肥时,采取施用石灰、增施有机肥料、调节土壤Eh等方法降低植物对重金属元素的吸收积累;

(下转第523页)

①石家庄地区水利局,石家庄水文分站.石家庄地区地下水水质调查评价报告.1992.12.