

# 生态平衡施肥追肥预测方法

米长虹<sup>1</sup>, 黄治平<sup>1</sup>, 侯彦林<sup>1\*</sup>, 刘书田<sup>1</sup>, 郑宏艳<sup>1</sup>, 王 农<sup>1</sup>, 蔡彦明<sup>1</sup>, 王铄今<sup>2</sup>, 侯显达<sup>3</sup>

(1.农业部环境保护科研监测所, 天津 300191; 2.北京农业信息技术研究中心, 北京 100089; 3.北京优雅施软件研发服务中心, 北京 100089)

**摘 要:** 从全国和各地追肥比例入手, 分析了追肥预测方法的必要性和实践价值。在此基础上, 提出生态平衡施肥追肥量确定的“天-地-作物概念模型”, 重点介绍了在正常年型追肥量基础上如何确定追肥修正系数的方法, 包括宏观专家经验方法、微观田间试验方法、根据历年化肥用量波动的确定方法、根据历年单产波动确定的方法、根据氮肥单位用量估算的确定方法; 最后归纳出追肥修正系数确定方法的优化过程, 并阐述了追肥预报信息化的必要性。结果表明: 根据历年化肥用量波动的确定方法和根据历年单产波动确定的方法适合于省级大尺度追肥参数的确定。

**关键词:** 生态平衡施肥; 追肥; 预测; 方法

中图分类号: S147.21

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2014)06-0506-07

doi: 10.13254/j.jare.2014.0288

## The Method of Topdressing Forecasting in Ecological Balanced Fertilization

MI Chang-hong<sup>1</sup>, HUANG Zhi-ping<sup>1</sup>, HOU Yan-lin<sup>1\*</sup>, LIU Shu-tian<sup>1</sup>, ZHENG Hong-yan<sup>1</sup>, WANG Nong<sup>1</sup>, CAI Yan-ming<sup>1</sup>, WANG Shuo-jin<sup>2</sup>, HOU Xian-da<sup>3</sup>

(1. Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, Tianjin 300191, China; 2. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100089, China; 3. Software Development and Service Center of Beijing Yours, Beijing 100089, China)

**Abstract:** Started from national and regional topdressing ratio, this paper investigated the necessity and practice value of prediction method of topdressing. ‘climate-soil-crop’ concept model determined by ecological balance amount of fertilization and topdressing was established. Topdressing correction coefficient method was particularly introduced under the amount of topdressing in normal year, which contained macroscopic expert experience method, microcosmic field trial method, the method based on the fertilizer amount of consumption fluctuation during past years, the method based on the yield fluctuation during past years and the method based on the estimation of nitrogen fertilizer per unit. Optimization process of topdressing correction coefficient was generalized and the necessary informatization in topdressing forecasting was explained. The results showed the methods based on the fertilizer amount of consumption and yield fluctuation during past years were suitable for the determination of topdressing parameters in province scale.

**Keywords:** ecological balance fertilization; topdressing; forecast; method

研究表明,从全国来看,水稻氮、钾基肥和追肥各为50%左右,磷以基肥为主;小麦氮基肥约占2/3,磷和钾几乎都为基肥;玉米氮基肥和追肥各为50%左右,磷以基肥为主,钾基肥占3/4。对6个地区氮基肥和追肥统计获得以下4个结果(表1)<sup>[1]</sup>:(1)水稻氮基肥和追肥除东北基肥比例略高外,其余5个地区都为

50%左右<sup>[1-10]</sup>;(2)小麦氮追肥比例依次增加顺序为西北19%、东北35%、华北37%、华东38%、西南39%、华南50%,这和温度和降水趋势大致相同,即南方追氮比例高<sup>[11-19]</sup>;(3)玉米氮追肥比例依次增加顺序为东北39%、西北47%、华北58%、西南61%、华南69%、华东71%,这也与温度和降水趋势大致相同,即南方追氮比例高<sup>[20-25]</sup>;(4)和水稻相比,小麦氮肥基肥比例高,在50%~80%之间;玉米基肥比例变化较大为30%~60%;可见水稻基肥比例全国比较稳定,小麦和玉米振幅都在30%左右,但小麦在高比例范围,玉米在低比例范围。

收稿日期:2014-10-23

基金项目:中国农业科学院科技创新工程(2014-cxgc-hyl)

作者简介:米长虹(1968—),男,天津人,副研究员,主要从事农业资源环境数据挖掘。E-mail: mch68@sina.com

\* 通信作者:侯彦林 E-mail: bjyours@sina.com

表 1 2000—2002 年全国六大地区氮肥基肥和追肥比例统计<sup>[1]</sup>  
Table 1 Statistics of N base fertilizer and topdressing ratio in six areas in China in 2000—2002<sup>[1]</sup>

| 地区<br>Area     | 水稻基追比例<br>Rice base and<br>topdressing ratio | 小麦基追比例<br>Wheat base and<br>topdressing ratio | 玉米基追比例<br>Corn base and<br>topdressing ratio |
|----------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 西北 Northwest   | 0.54:0.46                                    | 0.81:0.19                                     | 0.53:0.47                                    |
| 东北 Northeast   | 0.60:0.40                                    | 0.65:0.35                                     | 0.61:0.39                                    |
| 华北 North China | 0.52:0.48                                    | 0.63:0.37                                     | 0.42:0.58                                    |
| 华东 East China  | 0.51:0.49                                    | 0.62:0.38                                     | 0.29:0.71                                    |
| 西南 Southwest   | 0.51:0.49                                    | 0.61:0.39                                     | 0.39:0.61                                    |
| 华南 South China | 0.47:0.53                                    | 0.50:0.50                                     | 0.31:0.69                                    |

全国性的测土配方施肥工作自 2005 年开始以来已经历时 8 年,生态平衡施肥理论和方法以及软件已经在全国一半省以上推广使用<sup>[26-36]</sup>。然而,其中一个重要的技术问题至今也未解决,即如何根据生育期的气候条件和作物长势而适时确定追肥量,使好年型可以充分利用水肥耦合效应达到高产,差年型减少肥料投入节约成本,同时又不至于增加肥料污染。可见,这一问题的科学解决具有极其重要的实践价值,可以为各地施肥实践提供重要方法和追肥修正依据,达到高产、高效和提高肥料利用率等生态平衡施肥的目的<sup>[26-36]</sup>。

1 确定追肥量的“天-地-作物概念模型”

笔者以大田作物施肥为例,进行系统分析。根据生态平衡施肥理论和通用施肥模型确定的作物施肥量是指一般气候年型下的基肥(底肥)、种肥(口肥)和追肥的总养分用量,再根据使用的肥料品种而折算成具体的单质肥料或复合肥等<sup>[27-35,37-38]</sup>。基肥的用量不能根据气象条件和作物的长势来确定,必须在播种时就施用。一般情况下,某一地区某一具体施肥模式最近几年的基肥和种肥的合理用量是一个相对固定量,所以需要讨论的只是追肥用量如何确定的问题。在讨论之前,必须明确播种前确定的追肥用量是指一般气候年型下的用量,并因地制宜分次施用。现在的问题是随着作物长势和降水等气候因素的不同,每一年追肥的具体用量和次数需要根据当时情况具体确定。为此,提出“天-地-作物追肥概念模型”,其表达方式如下:

$$Y=Y_0 \times f(\text{天;地;作物})=Y_0 \times f(\text{最近降水;土壤墒情;作物长势}) \quad (1)$$

$$Y \approx Y_0 \times f(\text{最近降水-土壤墒情;作物长势}) \quad (2)$$

式(1)中:Y 为根据气象条件确定的追肥量;Y<sub>0</sub> 为季前确定的某一施肥模式的某养分的追肥总量;“天”是指

气候条件并以降水为代表的因素,它和土壤墒情密切相关;“地”主要指土壤墒情;“作物”主要指作物长势。在考虑大范围情况下,可以用气象实时降水数据近似估算“最近降水-土壤墒情”状况等级,并根据当地作物水肥耦合关系确定追肥量(式 3);在考虑小范围情况下,可根据田间作物长势确定追肥量(式 4)。

$$\text{大范围情况下: } Y \approx Y_0 \times f(\text{最近降水-土壤墒情}) \quad (3)$$

$$\text{小范围情况下: } Y \approx Y_0 \times f(\text{作物长势}) \quad (4)$$

2 确定追肥量的通式

由以上分析可以获得确定追肥量的通式如下:  
$$Y=Y_0 \times K \quad (5)$$

科学地确定 K 要因地制宜,主要考虑追肥前的一段时间的降水、温度、日照(有些地区温度或日照可能比降水更重要)等气象条件以及土壤墒情和作物长势,并以一般气候年型为基准(Y<sub>0</sub>),产量高的年型需肥量多,反之需肥量少。

3 确定追肥修正参数的方法

3.1 宏观专家经验方法

各地农民和技术人员从长期的生产实践中总结出很多宝贵的水肥耦合(气象条件与施肥的关系)经验,可将这些经验总结成追肥修正参数,再经过实践检验,最后即可大体确定各地追肥量与气象条件或作物长势的关系参数。如以我国北方半干旱地区的春玉米追氮量为例,将气候正常年型下的追肥量参数定为 1.00(100%),则极端干旱年型、偏干旱年型、正常年型、偏湿润年型、湿润年型下的参数可分别定义为:0.70、0.90、1.00、1.15、1.25。而以江淮地区水稻追氮量为例,将气候正常年型下的追氮量参数定为 1.00(100%),则极端干旱年型、偏干旱年型、正常年型、偏湿润年型、湿润年型的参数可分别定义为:0.85、1.15、1.00、0.90、0.85。以上参数的确定仅作为案例说明,非实际使用的参数。

3.2 微观田间试验方法

某作物的追肥量修正参数也可以根据具体田间试验获得,但它不具有空间普遍性和时间稳定性,即没有考虑土壤肥力空间差异性和气候多年的波动性以及不同气候年型下的土壤养分供应量的不同<sup>[12-25]</sup>,因此,必须是多年多点田间试验才具有实践指导意义。

3.3 根据历年化肥用量波动的确定方法

如何确定区域追肥修正参数,对于指导肥料销售

和生产实践具有重要的价值。以省(或县)为单元,根据历年化肥销售量波动情况确定追肥修正参数,充分利用历史数据中包含的气候信息和广大基层技术人员以及农民的生产实践经验,使历史数据得以充分挖掘,不失为一种有效的宏观确定追肥修正系数的方法<sup>[39]</sup>。

追肥主要肥料品种为氮肥,以下以氮为例说明。表 2 是以全国 1979—2010 年的氮肥销售量为基础,进行直线回归,然后计算每一年实际氮肥用量与回归值之间的误差,误差等于 0 的为标准气候年型,误差大于 0 的表明气候年型有利于增产,反之减产。回归值可以认为是正常年型下的氮肥销售量;预测误差可以认为是追肥修正参数的近似值。全国的数据虽然不能指导各省和各县施肥,但是可以给出全国氮肥年际间的波动,这种波动已经基本去除了科技进步的增加因素,因此可以为氮肥生产和贸易决策提供参考。

采用以上同样计算方法,根据吉林、甘肃、河南、江苏、广西、贵州各省的氮肥用量估算追肥修正系数,统计全国和其他 6 省的回归误差范围的频率列入表 3。由此可见全国追肥修正系数变化范围在 $\pm 5\%$ 之间;各省追肥修正系数变化范围在 $\pm 15\%$ 之间,其中吉林省与其他省相比相对集中,波动在 $\pm 5\%$ 之间频率为 65.6%, $\pm 10\%$ 之间的频率为 81.3%,说明吉林省氮肥用量相对稳定。

### 3.4 根据历年单产波动确定的方法

以省(县)为单元,根据历史粮食作物单产波动情况确定追肥修正系数,充分利用历史数据中包含的综合信息,使历史数据得以挖掘,也是一种有效的宏观确定追肥修正系数的方法<sup>[39]</sup>。

表 4 是以全国 1979—2010 年的粮食作物单产为基础,进行回归,然后计算每一年实际单产与回归值之间的误差,误差等于 0 的为标准气候年型,误差大

表 2 根据全国 1979—2010 年氮肥用量估算的追肥修正系数

Table 2 Correction coefficient of topdressing estimated by amount of N fertilizer in 1979—2010 in China

| 年份<br>Year | N 肥<br>N fertilizer/ 万 t | 回归值 Reversion<br>value/ 万 t | 误差<br>Error/% | 年份<br>Year | N 肥<br>N fertilizer/ 万 t | 回归值 Reversion<br>value/ 万 t | 误差<br>Error/% | 年份<br>Year | N 肥<br>N fertilizer/ 万 t | 回归值 Reversion<br>value/ 万 t | 误差<br>Error/% |
|------------|--------------------------|-----------------------------|---------------|------------|--------------------------|-----------------------------|---------------|------------|--------------------------|-----------------------------|---------------|
| 1979       | 825.9                    | 809.4                       | 2.04          | 1990       | 1 638.4                  | 1 628.3                     | 0.62          | 2001       | 2 164.1                  | 2 168.3                     | -0.19         |
| 1980       | 934.2                    | 883.8                       | 5.70          | 1991       | 1 726.1                  | 1 702.7                     | 1.37          | 2002       | 2 157.3                  | 2 177.3                     | -0.91         |
| 1981       | 942.0                    | 958.3                       | -1.69         | 1992       | 1 756.1                  | 1 777.2                     | -1.18         | 2003       | 2 149.9                  | 2 189.6                     | -1.81         |
| 1982       | 1 043.3                  | 1 032.7                     | 1.03          | 1993       | 1 835.1                  | 1 851.6                     | -0.89         | 2004       | 2 221.9                  | 2 205.3                     | 0.75          |
| 1983       | 1 163.3                  | 1 107.2                     | 5.07          | 1994       | 1 882.0                  | 1 926.1                     | -2.28         | 2005       | 2 229.3                  | 2 224.3                     | 0.22          |
| 1984       | 1 215.3                  | 1 181.6                     | 2.85          | 1995       | 2 021.9                  | 2 000.5                     | 1.07          | 2006       | 2 262.5                  | 2 246.6                     | 0.70          |
| 1985       | 1 204.9                  | 1 256.0                     | -4.07         | 1996       | 2 145.3                  | 2 075.0                     | 3.39          | 2007       | 2 297.2                  | 2 272.3                     | 1.10          |
| 1986       | 1 312.6                  | 1 330.5                     | -1.34         | 1997       | 2 171.7                  | 2 149.4                     | 1.04          | 2008       | 2 302.9                  | 2 301.3                     | 0.07          |
| 1987       | 1 326.8                  | 1 404.9                     | -5.56         | 1998       | 2 233.3                  | 2 223.8                     | 0.42          | 2009       | 2 329.9                  | 2 333.6                     | -0.16         |
| 1988       | 1 417.1                  | 1 479.4                     | -4.21         | 1999       | 2 180.9                  | 2 160.4                     | 0.95          | 2010       | 2 353.7                  | 2 369.3                     | -0.66         |
| 1989       | 1 536.8                  | 1 553.8                     | -1.09         | 2000       | 2 161.5                  | 2 162.7                     | -0.05         |            |                          |                             |               |

注:1979—1998 年作直线回归, $Y=74.446 4X-146 520.043 5$ , $R^2=0.991 9^{**}(n=20)$ ;1999—2010 年作二次回归, $Y=1.667 6X^2-6 666.242 3X+6 664 417.57$ , $R^2=0.934 9^{**}(n=12)$ 。

表 3 氮肥回归的误差波动频率统计

Table 3 Statistics of fluctuation frequency of N fertilizer regression error

| 地区 Area    | 回归误差波动范围 Regression error fluctuation scale/% |           |           |          |        |        |         |         |      |
|------------|-----------------------------------------------|-----------|-----------|----------|--------|--------|---------|---------|------|
|            | < -20                                         | -20 ~ -15 | -15 ~ -10 | -10 ~ -5 | -5 ~ 5 | 5 ~ 10 | 10 ~ 15 | 15 ~ 20 | > 20 |
| 全国 China   | 0                                             | 0         | 0         | 1        | 29     | 2      | 0       | 0       | 0    |
| 吉林 Jilin   | 1                                             | 0         | 2         | 3        | 21     | 2      | 2       | 1       | 0    |
| 甘肃 Gansu   | 1                                             | 1         | 1         | 4        | 17     | 6      | 1       | 0       | 1    |
| 广西 Guangxi | 0                                             | 0         | 3         | 3        | 17     | 7      | 2       | 0       | 0    |
| 贵州 Guizhou | 0                                             | 0         | 0         | 9        | 16     | 6      | 1       | 0       | 0    |
| 河南 Henan   | 1                                             | 2         | 1         | 3        | 15     | 9      | 1       | 0       | 0    |
| 江苏 Jiangsu | 1                                             | 0         | 5         | 6        | 9      | 6      | 3       | 2       | 0    |

于 0 的表明气候年型有利于增产,反之减产。采用同样方法对 6 个省(吉林、甘肃、河南、江苏、广西、贵州)的单产进行同样处理,获得回归误差。再对全国和其他 6 省的误差作频率统计列入表 5,从中可见:全国追肥修正系数变化范围在±10%之间,比氮肥预测误差离散;各省追肥修正参数变化范围在±15%之间(除吉林外),并集中在±10%之间,±5%之间最低为 62.5%(除吉林)。

通过以上分析得出:全国和吉林以氮肥波动确定追肥参数比较合适,其他 5 省以单产波动确定追肥参数比较合适。

3.5 根据氮肥单位用量估算的追肥修正系数

对全国 1979—2010 年氮肥单位用量的统计结果(表 6 和表 7)表明:全国主要波动在±5%之间,占 87.5%;吉林波动最大,贵州波动最小。贵州和河南可以使用单位面积施氮量来确定追肥量修正系数,但总体没有使用单产和化肥用量预测追肥量修正系数的

方法结果好<sup>[39]</sup>。

4 氮肥波动性和单产波动性研究

对氮肥波动的统计结果是:全国的氮肥 85.3%波动在±10%之间;6 省的氮肥 82.8%波动在±10%之间;不包括江苏的氮肥 86.3%波动在±10%之间;结果是氮肥 80%以上波动在±10%之间。

对单产波动的统计结果是:全国单产的 83.0%波动在±10%之间;6 省的单产 81.3%波动在±10%之间;不包括吉林的单产 90.0%波动在±10%之间;结果是单产 80%以上波动在±10%之间。

取 6 省的氮肥和单产修正系数(即单产的回归误差,参见表 4)的平均再回归,得  $Y=62.943\ 2X-65.112\ 5$ ,  $R^2=0.429\ 3^*(n=32)$ ,这说明,各省氮肥用量与单产相关。

取 6 省氮肥波动平均,与对应的全国氮肥波动求相关,结果不显著。

取 6 省单产波动合计,与对应的全国单产波动求

表 4 根据全国 1979—2010 年单产估算的追肥修正系数

Table 4 Correction coefficient of topdressing estimated by yield in 1979—2010 in China

| 年份<br>Year | 单产<br>Yeild/kg·hm <sup>-2</sup> | 回归值<br>value/kg·hm <sup>-2</sup> | Reversion | 误差<br>Error/% | 年份<br>Year | 单产<br>Yeild/kg·hm <sup>-2</sup> | 回归值<br>value/kg·hm <sup>-2</sup> | Reversion | 误差<br>Error/% | 年份<br>Year | 单产<br>Yeild<br>/kg·hm <sup>-2</sup> | 回归值<br>value/kg·hm <sup>-2</sup> | Reversion | 误差<br>Error/% |
|------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------|---------------|------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------|---------------|------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------|---------------|
| 1979       | 2 785                           | 3 029.7                          |           | -8.78         | 1990       | 3 933                           | 3 745.3                          |           | 4.77          | 2001       | 4 267                               | 4 460.9                          |           | -4.54         |
| 1980       | 2 734                           | 3 094.8                          |           | -13.20        | 1991       | 3 876                           | 3 810.3                          |           | 1.69          | 2002       | 4 399                               | 4 525.9                          |           | -2.88         |
| 1981       | 2 827                           | 3 159.8                          |           | -11.77        | 1992       | 4 004                           | 3 875.4                          |           | 3.21          | 2003       | 4 333                               | 4 591.0                          |           | -5.95         |
| 1982       | 3 124                           | 3 224.9                          |           | -3.23         | 1993       | 4 131                           | 3 940.5                          |           | 4.61          | 2004       | 4 621                               | 4 656.0                          |           | -0.76         |
| 1983       | 3 396                           | 3 289.9                          |           | 3.12          | 1994       | 4 063                           | 4 005.5                          |           | 1.43          | 2005       | 4 642                               | 4 721.1                          |           | -1.70         |
| 1984       | 3 608                           | 3 355.0                          |           | 7.01          | 1995       | 4 240                           | 4 070.6                          |           | 4.00          | 2006       | 4 716                               | 4 786.1                          |           | -1.49         |
| 1985       | 3 483                           | 3 420.0                          |           | 1.81          | 1996       | 4 483                           | 4 135.6                          |           | 7.75          | 2007       | 4 748                               | 4 851.2                          |           | -2.17         |
| 1986       | 3 529                           | 3 485.0                          |           | 1.24          | 1997       | 4 376                           | 4 200.7                          |           | 4.01          | 2008       | 4 951                               | 4 916.2                          |           | 0.703         |
| 1987       | 3 637                           | 3 550.1                          |           | 2.39          | 1998       | 4 502                           | 4 265.7                          |           | 5.25          | 2009       | 4 871                               | 4 981.3                          |           | -2.27         |
| 1988       | 3 579                           | 3 615.2                          |           | -1.01         | 1999       | 4 493                           | 4 330.8                          |           | 3.61          | 2010       | 4 973                               | 5 046.3                          |           | -1.47         |
| 1989       | 3 632                           | 3 680.2                          |           | -1.33         | 2000       | 4 261                           | 4 395.8                          |           | -3.16         |            |                                     |                                  |           |               |

注:全国回归方程  $Y=65.050\ 368\ 7X-125\ 704.935$ ,  $R^2=0.924\ 6^{**}(n=32)$ 。

表 5 单产回归的误差波动频率统计

Table 5 Statistics of fluctuation frequency of yield regression error

| 地区 Area    | 回归误差波动范围 Regression error fluctuation scale/% |           |           |          |        |        |         |         |      |
|------------|-----------------------------------------------|-----------|-----------|----------|--------|--------|---------|---------|------|
|            | < -20                                         | -20 ~ -15 | -15 ~ -10 | -10 ~ -5 | -5 ~ 5 | 5 ~ 10 | 10 ~ 15 | 15 ~ 20 | > 20 |
| 全国 China   | 0                                             | 0         | 2         | 2        | 25     | 3      | 0       | 0       | 0    |
| 甘肃 Gansu   | 0                                             | 1         | 2         | 3        | 22     | 3      | 1       | 0       | 0    |
| 贵州 Guizhou | 0                                             | 1         | 1         | 6        | 22     | 1      | 1       | 0       | 0    |
| 河南 Henan   | 0                                             | 0         | 2         | 5        | 21     | 2      | 2       | 0       | 0    |
| 江苏 Jiangsu | 0                                             | 1         | 3         | 1        | 21     | 6      | 0       | 0       | 0    |
| 广西 Guangxi | 0                                             | 1         | 0         | 5        | 20     | 6      | 0       | 0       | 0    |
| 吉林 Jilin   | 6                                             | 1         | 3         | 2        | 7      | 3      | 5       | 3       | 2    |

表 6 根据全国 1979—2010 年氮肥单位用量估算的追肥修正系数

Table 6 Correction coefficient of topdressing estimated by N unit dosage in 1979—2010 in China

| 年份<br>Year | 单位 N<br>Unit N/kg·hm <sup>-2</sup> | 回归值 Reversion<br>value/kg·hm <sup>-2</sup> | 误差<br>Error/% | 年份<br>Year | 单位 N<br>Unit N/kg·hm <sup>-2</sup> | 回归值 Reversion<br>value/kg·hm <sup>-2</sup> | 误差<br>Error/% | 年份<br>Year | 单位 N<br>Unit N/kg·hm <sup>-2</sup> | 回归值 Reversion<br>value/kg·hm <sup>-2</sup> | 误差<br>Error/% |
|------------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------|------------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------|------------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------|
| 1979       | 69.26                              | 63.60                                      | 8.90          | 1990       | 144.40                             | 149.73                                     | -3.56         | 2001       | 204.01                             | 202.40                                     | 0.79          |
| 1980       | 79.68                              | 72.81                                      | 9.43          | 1991       | 153.70                             | 155.91                                     | -1.42         | 2002       | 207.63                             | 205.53                                     | 1.02          |
| 1981       | 81.93                              | 81.75                                      | 0.23          | 1992       | 158.85                             | 161.80                                     | -1.83         | 2003       | 216.29                             | 208.38                                     | 3.79          |
| 1982       | 91.94                              | 90.41                                      | 1.69          | 1993       | 166.07                             | 167.42                                     | -0.81         | 2004       | 218.70                             | 210.96                                     | 3.67          |
| 1983       | 102.05                             | 98.79                                      | 3.30          | 1994       | 171.79                             | 172.76                                     | -0.56         | 2005       | 213.80                             | 213.26                                     | 0.26          |
| 1984       | 107.65                             | 106.90                                     | 0.71          | 1995       | 183.72                             | 177.82                                     | 3.32          | 2006       | 214.48                             | 215.28                                     | -0.37         |
| 1985       | 110.70                             | 114.73                                     | -3.51         | 1996       | 190.62                             | 182.61                                     | 4.38          | 2007       | 217.46                             | 217.02                                     | 0.20          |
| 1986       | 118.32                             | 122.28                                     | -3.25         | 1997       | 192.31                             | 187.12                                     | 2.77          | 2008       | 215.64                             | 218.49                                     | -1.31         |
| 1987       | 119.75                             | 129.56                                     | -7.57         | 1998       | 196.26                             | 191.36                                     | 2.56          | 2009       | 213.78                             | 219.68                                     | -2.69         |
| 1988       | 128.70                             | 136.56                                     | -5.76         | 1999       | 192.75                             | 195.32                                     | -1.32         | 2010       | 214.22                             | 220.60                                     | -2.89         |
| 1989       | 136.96                             | 143.29                                     | -4.42         | 2000       | 199.28                             | 199.00                                     | 0.14          |            |                                    |                                            |               |

注: 1979—2010 年作二次回归,  $y = -0.138\ 306\ 95x^2 + 556.771\ 021\ 19x - 560\ 115.245\ 242\ 45$ ,  $R^2 = 0.990\ 054\ 38$  ( $n=32$ )。

表 7 用氮肥单位用量回归的误差波动频率统计

Table 7 Statistics of fluctuation frequency of N unit dosage regression error

| 地区 Area    | 回归误差波动范围 Regression error fluctuation scale/% |           |           |          |        |        |         |         |      |
|------------|-----------------------------------------------|-----------|-----------|----------|--------|--------|---------|---------|------|
|            | < -20                                         | -20 ~ -15 | -15 ~ -10 | -10 ~ -5 | -5 ~ 5 | 5 ~ 10 | 10 ~ 15 | 15 ~ 20 | > 20 |
| 全国 China   | 0                                             | 0         | 0         | 2        | 28     | 2      | 0       | 0       | 0    |
| 贵州 Guizhou | 0                                             | 0         | 1         | 2        | 25     | 3      | 0       | 1       | 0    |
| 河南 Henan   | 1                                             | 1         | 1         | 1        | 21     | 4      | 1       | 1       | 1    |
| 甘肃 Gansu   | 0                                             | 2         | 1         | 5        | 18     | 4      | 1       | 0       | 1    |
| 广西 Guangxi | 0                                             | 0         | 2         | 8        | 13     | 8      | 1       | 0       | 0    |
| 江苏 Jiangsu | 0                                             | 0         | 1         | 10       | 12     | 4      | 3       | 2       | 0    |
| 吉林 Jilin   | 0                                             | 0         | 4         | 7        | 11     | 6      | 2       | 0       | 2    |

相关, 回归方程是:  $Y = 0.971\ 7X - 0.607\ 7$ ,  $R^2 = 0.829\ 5$ 。说明全国与 6 省粮食产量相关性好, 这也说明了抽样 6 省作为案例的代表性强。

## 5 结论和展望

### 5.1 追肥修正系数确定方法的优化

本文从几方面讨论了追肥修正系数的确定问题, 就全国而言, 氮肥一般修正范围取  $\pm 30\%$  足矣, 其中  $\pm 15\%$  为常用范围。在具体确定田块种植的作物时, 要考虑土壤供肥能力和作物长势, 可以以  $\pm 15\%$  为基数进行适当调整。根据历年化肥用量波动的方法和单产波动确定的方法适合于省级大尺度追肥参数的确定。

如果有当地的详细的历史气象资料和长期多点肥料田间试验结果, 则可以进行综合分析, 确定不同气候年型的追肥修正系数。

由于目前还没有成熟的追肥修正方法, 结合本文的研究结果, 制订以下参考流程: 县以上单元范围在

缺少田间试验数据情况下, 可以根据降水(因地制宜选择气象要素)等气候因素并结合专家经验确定; 或根据截止追肥时的估算单产确定; 乡镇或地块范围根据作物长势确定。

### 5.2 追肥预报信息化的必要性

实现追肥修正是提高肥料利用率和产量的重要措施, 也是减少肥料损失的重要举措。中国范围大, 栽培模式多种多样, 各地要因地制宜通过田间试验、专家经验和各种数据挖掘方法, 确定适合的追肥修正系数。优化的基肥和优化的追肥构成一个完整的生态平衡施肥参数体系, 通过信息技术实现适时对外发布, 进一步在宏观上指导全国和地区性测土配方施肥工作中的追肥薄弱环节, 全面、系统地实现生态平衡施肥的目的。

#### 参考文献:

[1] 王激清, 马文奇, 江荣风, 等. 我国水稻、小麦、玉米基肥和追肥用量

- 及比例分析[J]. 土壤通报, 2008, 39(2): 229-332.
- WANG Ji-qing, MA Wen-qi, JIANG Rong-feng, et al. Analysis about amount and ratio of basal fertilizer and topdressing fertilizer on rice, wheat, maize in China[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(2): 229-332.(in Chinese)
- [2] 胡广斌, 郭树林, 廖大标, 等. 尿素在砂性水稻土上基肥与追肥比例研究[J]. 大麦与谷类科学, 2012(2): 34-35.
- HU Guang-bin, GUO Shu-lin, LIAO Da-biao, et al. Ratio between basic fertilizer and topdressing of urea in grittiness rice soil[J]. *Barley and Cereal Sciences*, 2012(2): 34-35.(in Chinese)
- [3] 冯卫东, 王兴盛, 李绍先, 等. 水稻基、追肥不同施肥量、不同施肥时期及比例研究[J]. 宁夏农林科技, 2010(2): 28-29.
- FENG Wei-dong, WANG Xing-sheng, LI Shao-xian, et al. Research on different basic fertilizer and topdressing amount, different fertilizer time and ratio of rice[J]. *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology*, 2010(2): 28-29.(in Chinese)
- [4] 瞿德民, 杨仕优, 王心刚, 等. 水稻基肥与追肥施用比例试验初报[J]. 作物学报, 2007(2): 98-99.
- QU De-min, YANG Shi-you, WANG Xin-gang, et al. Preliminary report on the experiment of basic fertilizer and topdressing application ratio of rice[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2007(2): 98-99.(in Chinese)
- [5] 马宏卫, 陈卫明, 马建宏, 等. 水稻追肥合理施用技术研究[J]. 土壤, 2001(2): 70-72.
- MA Hong-wei, CHEN Wei-ming, MA Jian-hong, et al. Study on the reasonable application technology of rice topdressing[J]. *Soil*, 2001(2): 70-72.(in Chinese)
- [6] 陈亚琴, 刘喜, 谭玉琴. 不同施肥方法对水稻产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 1998, 14(5): 64-65.
- CHEN Ya-qin, LIU Xi, TAN Yu-qin. Effect of different fertilizing methods on rice yield and quality[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 1998, 14(5): 64-65.(in Chinese)
- [7] 郑赛生, 刘新华, 吴吉祥, 等. 施肥方法和栽培密度对水稻品种间产量与品质的影响[J]. 上海农业学报, 1995, 11(3): 81-86.
- ZHENG Zhai-sheng, LIU Xin-hua, WU Ji-xiang, et al. Effects of different fertilizer application modes and plant densities on yield and quality of rice[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 1995, 11(3): 81-86.(in Chinese)
- [8] 刘蕴贤, 倪道明, 李从华, 等. 不同施肥方法对水稻生长及稻田周围水体污染的影响[J]. 天津农业科学, 2007, 13(1): 31-34.
- LIU Yun-xian, NI Dao-ming, LI Cong-hua, et al. Fertilization method influence on rice growth and surrounded water pollution[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2007, 13(1): 31-34.(in Chinese)
- [9] 余增钢, 柴进成, 廖述胜, 等. 不同的水稻测土配方施肥方法效益对比试验小结[J]. 中国农村小康科技, 2006(12): 68-69.
- YU Zeng-gang, CHAI Jin-cheng, LIAO Shu-sheng, et al. The comparative experiments summary of effects of different rice formula fertilizer methods by testing soil[J]. *Chinese Countryside Well-off Technology*, 2006(12): 68-69.(in Chinese)
- [10] 黄粟嘉. 水稻不同追肥方法试验[J]. 江苏农业科学, 1980: 59-60.
- HUANG Su-jia. Experiment of different methods on rice topdressing[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 1980: 59-60.(in Chinese)
- [11] 蒋家慧. 氮肥运筹对小麦碳素同化、运转和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(3): 69-72.
- JIANG Jia-hui. Effects of nitrogen application on carbon assimilation, transfer and yield of the wheat[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2004, 24(3): 69-72.(in Chinese)
- [12] 戴廷波, 孙传范, 荆奇, 等. 不同施氮水平和基追比对小麦籽粒品质形成的调控[J]. 作物学报, 2005, 31(2): 248-253.
- DAI Ting-bo, SUN Chuan-fan, JING Qi, et al. Regulation of nitrogen rates and dressing ratios on grain quality in wheat[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(2): 248-253.(in Chinese)
- [13] 赵荣芳, 陈新平, 张福锁. 基于养分平衡和土壤测试的冬小麦氮素优化管理方法研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(11): 211-225.
- ZHAO Rong-fang, CHEN Xin-ping, ZHANG Fu-suo. Study on nitrogen optimized management at different growing stage of winter wheat based on nutrient balance and soil test[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(11): 211-225.(in Chinese)
- [14] 王桂芳. 彬县旱地小麦氮肥基追肥比例试验[J]. 现代农业科技, 2011(22): 72-74.
- WANG Gui-fang. Test on nitrogen basic fertilizer and topdressing proportion of dry land wheat in Binxian[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2011(22): 72-74.(in Chinese)
- [15] 周奇, 赵永敢, 张存岭. 氮肥基追比和追肥时期对小麦产量的影响[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(3): 92-95.
- ZHOU Qi, ZHAO Yong-gan, ZHANG Cun-ling. Effect of topdressing time and ratio between basic manuring and after manuring of nitrogenous fertilizers on yield of wheat[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2009, 15(3): 92-95.(in Chinese)
- [16] 赵广才, 刘利华, 杨玉双, 等. 不同追肥比例对小麦产量和品质的影响[J]. 北京农业科学, 2000, 18(5): 7-9.
- ZHAO Guang-cai, LIU Li-hua, YANG Yu-shuang, et al. The influence of different fertilizer proportion of wheat yield and quality[J]. *Beijing Agricultural Sciences*, 2000, 18(5): 7-9.(in Chinese)
- [17] 万传斌, 孙培良, 潘遵谱, 等. 苏州地区氮素化肥合理施用技术研究 V. 小麦基追肥的分配及有机肥的增产效果[J]. 江苏农业科学, 1983(9): 1-4.
- WAN Chuan-bin, SUN Pei-liang, PAN Zun-pu, et al. Technology of nitrogen fertilizer rational application in Suzhou Area V. Allocation of basic fertilizer and topdressing and yield-increasing effect of organic fertilizer of wheat[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 1983(9): 1-4.(in Chinese)
- [18] 赵敏. 不同施肥方法对小麦产量的影响[J]. 现代农业科技, 2008(8): 120-122.
- ZHAO Min. Effect of different fertilizing methods on wheat yield[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2008(8): 120-122.(in Chinese)
- [19] 白招弟, 赵海平. 不同施肥方法对小麦生长发育及产量的影响[J]. 农业技术与装备, 2011(16): 58-60.
- BAI ZHAO-di, ZHAO Hai-ping. Effect of different fertilizing methods on wheat growth development and yield[J]. *Agricultural Technology & Equipment*, 2011(16): 58-60.(in Chinese)
- [20] 王岩萍. 玉米施肥方法研究[J]. 宁夏农林科技, 2011, 52(11): 21, 24.
- WANG Yan-ping. Study on corn fertilizing method[J]. *Ningxia Journal*

- of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2011, 52(11): 21, 24. (in Chinese)
- [21] 贺喜全, 王成根, 盛良学, 等. 稻田春玉米高产高效氮肥施用技术[J]. 农业现代化研究, 2000, 21(3): 151-154.  
HE Xi-quan, WANG Cheng-gen, SHENG Liang-xue, et al. A technology of applying nitrogen fertilizer of high-yield and high-benefit on spring maize of paday field in south China[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2000, 21(3): 151-154. (in Chinese)
- [22] 秦祖臻, 刘永贤, 韦培炎, 等. 不同追肥方式和播种密度对桂中地区玉米农艺性状与产量的影响[J]. 广东农业科学, 2012(3): 20-21.  
QIN Zu-zhen, LIU Yong-xian, WEI Pei-yan, et al. Effect of different topdressing way and planting density on agronomic characteristics and yield of maize in middle area of Guangxi[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012(3): 20-21. (in Chinese)
- [23] 牛 斌, 刘社平, 王激清. 氮肥用量和追肥方式对玉米中玉 15 产量和氮肥利用效率的影响[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(8): 1844-1847.  
NIU Bin, LIU She-ping, WANG Ji-qing. Effect of different nitrogen fertilizer application rate and different topdressing way on yield and efficiency for maize Zhongyu 15[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2009, 48(8): 1844-1847. (in Chinese)
- [24] 高明波, 金 益, 刘红军, 等. 密度和追肥量对玉米产量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2008(6): 38-41.  
GAO Ming-bo, JIN Yi, LIU Hong-jun, et al. Effect of density and additional fertilizer amount on maize yield[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2008(6): 38-41. (in Chinese)
- [25] 王新业. 玉米氮素追肥试验结果的经济效果分析[J]. 土壤肥料, 1984(3): 27-28.  
WANG Xin-ye. The economic effect analysis of the corn nitrogen top-dressing test results[J]. *Soil Fertilizer*, 1984(3): 27-28. (in Chinese)
- [26] 侯彦林. 可持续发展呼唤“生态肥料”[N]. 科学时报, 1998-11-18.  
HOU Yan-lin. Sustainable development calls ecological fertilizers[N]. *China Science Daily*, 1998-11-18. (in Chinese)
- [27] 侯彦林. “生态平衡施肥”的理论基础和技术体系[J]. 生态学报, 2000, 20(4): 653-658.  
HOU Yan-lin. Theory and technological system of ecological balanced fertilization[J]. *Acta Ecological Sinica*, 2000, 20(4): 653-658. (in Chinese)
- [28] 侯彦林, 闫晓燕, 任 军, 等. 区域生态平衡施肥模型建立方法和应用[J]. 土壤通报, 2003, 34(1): 33-35.  
HOU Yan-lin, YAN Xiao-yan, REN Jun, et al. Establishment method and application of regional ecological balanced fertilization models[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(1): 33-35. (in Chinese)
- [29] 侯彦林, 陈守伦. 施肥模型研究综述[J]. 土壤通报, 2004, 35(4): 493-501.  
HOU Yan-lin, CHEN Shou-lun. Summarization of fertilization model research[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(4): 493-501. (in Chinese)
- [30] 侯彦林. 生态平衡施肥 I. 理论体系[J]. 磷肥与复肥, 2008, 23(2): 66-70.  
HOU Yan-lin. Ecological balanced fertilization I. Theoretical system[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2008, 23(2): 66-70. (in Chinese)
- [31] 侯彦林. 生态平衡施肥 II. 施肥参数指标体系[J]. 磷肥与复肥, 2008, 23(3): 65-67.  
HOU Yan-lin. Ecological balanced fertilization II. Fertilization parametric norm system[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2008, 23(3): 65-67. (in Chinese)
- [32] 侯彦林. 生态平衡施肥 III. 施肥专家系统软件[J]. 磷肥与复肥, 2008, 23(4): 62-64.  
HOU Yan-lin. Ecological balanced fertilization III. Specialist system software for fertilization[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2008, 23(4): 62-64. (in Chinese)
- [33] 侯彦林. 生态平衡施肥 IV. 通用施肥软件应用案例[J]. 磷肥与复肥, 2008, 23(6): 74-76.  
HOU Yan-lin. Ecological balanced fertilization IV. Application cases of general fertilization software[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2008, 23(6): 74-76. (in Chinese)
- [34] 侯彦林. 肥效评价的生态平衡施肥指标体系的应用[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(8): 1477-1481.  
HOU Yan-lin. Application of index system of ecological balanced fertilization for fertilizer efficiency evaluation[J]. *Journal of Agro-environment Science*, 2011, 30(8): 1477-1481. (in Chinese)
- [35] 侯彦林. 肥效评价的生态平衡施肥理论体系、指标体系及其实证[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(7): 1257-1266.  
HOU Yan-lin. Theory system, index system of ecological balanced fertilization and demonstration for fertilizer efficiency evaluation[J]. *Journal of Agro-environment Science*, 2011, 30(7): 1257-1266. (in Chinese)
- [36] 北京优雅施土肥技术咨询服务. 测土配方施肥系列软件. [EB/OL]. <http://www.bjyours.com>. (2011-09-10) [2013-05-01].  
Bjyours Soil Fertilizer Technology Consultation Service Center. Formula fertilizer by testing soil series software[EB/OL]. <http://www.bjyours.com>. (2011-09-10) [2013-05-01]. (in Chinese)
- [37] 黄治平, 米长虹, 侯彦林, 等. 生态平衡施肥模型与目标产量施肥模型比较研究[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(6): 495-499.  
HUANG Zhi-ping, MI Chang-hong, HOU Yan-lin, et al. Comparison of target yield method and ecological balanced fertilization model[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2014, 31(6): 495-499. (in Chinese)
- [38] 郑宏艳, 刘书田, 侯彦林, 等. 生态平衡施肥模型与肥料效应函数模型关系研究[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(6): 500-505.  
ZHENG Hong-yan, LIU Shu-tian, HOU Yan-lin, et al. Relationship of ecological balanced fertilization model and fertilizer effect function method[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2014, 31(6): 500-505. (in Chinese)
- [39] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.  
National Bureau of Statistics of China. China statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2010. (in Chinese)