

# 关于稻田土壤供氮量的预测 和平均适宜施氮量的应用

朱兆良

(中国科学院南京土壤研究所)

在制定作物施肥方案时,确定适宜的氮肥用量是最基本的一项任务。在高产地区,氮肥的施用量显著偏高,确定适宜的氮肥用量尤为重要<sup>[1]</sup>。为此,国内已经研究并提出了一些方法,其中包括供需平衡法<sup>[2,3]</sup>、应用氮素矿化参数直接估算法<sup>[4,5]</sup>、和“因产定氮”法<sup>[6]</sup>等。最近又提出了应用平均适宜施氮量作为基本依据的建议<sup>[7]</sup>。本文将根据我们对太湖地区所进行的研究结果,对稻田土壤供氮量的预测,以及平均适宜施氮量的应用等问题作一初步讨论。

## 一、稻田土壤供氮量的预测

### (一)稻田土壤供氮量的构成

稻田土壤的供氮量是以田间试验中,无氮区水稻成熟时地上部分积累的氮量作为量度的<sup>[3]</sup>。其来源可以分为土壤和非土壤两个部分。后者包括来源于非共生固氮作用的氮、降水和灌溉水带入的氮、以及作物和土壤直接从大气得到的氮等。如果在计算时未扣除种子或秧苗带入的氮,则这一部分氮量也包括在土壤供氮量之内。一般认为,非土壤来源的氮量远低于土壤来源部分,但是,研究表明,非共生固氮作用对当季水稻所提供的氮量,可达无氮区水稻地上部分吸收氮量(已扣除秧苗带入的氮)的19.1—22.8%,平均21.4%<sup>[8]</sup>,供试的三种土壤之间差异很小。如果不考虑不同季别水稻之间此值可能存在的差异,并忽略降水和灌溉水带入的氮量等,则可以计算出田间试验中,不同季别的水稻,在不施氮时,不同来源所提供的氮量及其占总累积氮量的比例(表1)。从平均值来看,在扣除了秧苗氮和非共生固氮作用提供的氮量后,实际由本田土壤提供的氮量,只占无氮区水稻地上部分累积氮量(即通常所说的土壤供氮量)的58—72%。由此看来,通常所谓水稻高产对土壤氮素的依赖性高达52—76%<sup>[9]</sup>的结果实属偏高,在扣除了秧苗氮和非共生固氮来源的氮后,实际的依赖性只有34—46%。但是,非共生固氮作用的来源部分所占的比例,由于不同土壤之间差异不大,因而不致显著地影响到土壤氮素测试指标与土壤供氮量之间的相关性。而秧苗带入的氮量,不同田块之间却可能有较大的差异,从而将影响到这种相关性。

### (二)土壤供氮量预测的准确性及其影响因素

表2汇集了国内有关稻田土壤供氮量预测方法的一部分研究结果。在盆栽试验中,土壤供氮量与NaOH碱解氮或培养后的矿质氮量之间大都有很高的相关性。但是,在田间试验中,这种相关性却很低,甚至没有相关性。在浙江的田间试验中,这种相关性虽然达到了统计显著水平,但是决定系数 $r^2$ 只有0.25左右。因此,无论用上述的那种指标预测稻田土壤的供氮量时,其相对偏差一般约在30%左右或略低一些,即只能达到半定量的水平<sup>[10,13]</sup>。应当指

表 1 太湖地区田间无氮区水稻吸收氮中不同来源氮所占的比例

| 水稻季别         | 氮素来源    | 水稻中的氮     |      |          |     |
|--------------|---------|-----------|------|----------|-----|
|              |         | 公斤/公顷     |      | 占总吸收氮量的% |     |
|              |         | 范 围       | 平 均  | 范 围      | 平 均 |
| 双季早稻<br>n=7  | 秧苗氮     | 3.1—9.5   | 6.2  | 4—13     | 9   |
|              | 非共生固氮作用 | 11.3—15.3 | 13.2 | 19—21    | 20  |
|              | 土 壤     | 41.6—56.0 | 48.8 | 69—75    | 72  |
|              | 总 计     | 58.5—75.3 | 68.2 | 100      |     |
| 双季晚稻<br>n=7  | 秧苗氮     | 12.9—29.8 | 19.4 | 16—41    | 27  |
|              | 非共生固氮作用 | 8.8—16.4  | 11.5 | 12—18    | 16  |
|              | 土 壤     | 32.4—60.3 | 42.3 | 46—66    | 58  |
|              | 总 计     | 55.5—91.1 | 73.1 | 100      |     |
| 单季晚稻<br>n=26 | 秧苗氮     | 3.0—13.2  | 7.2  | 4—16     | 9   |
|              | 非共生固氮作用 | 11.3—26.4 | 16.1 | 18—21    | 20  |
|              | 土 壤     | 41.3—96.8 | 58.8 | 66—76    | 72  |
|              | 总 计     | 59.6—128  | 81.8 | 100      |     |

注：非共生固氮作用对当季水稻提供的氮量，系根据 $^{15}\text{N}$ 标记土壤的水稻盆栽试验的结果换算而得。

资料来源：朱兆良、张绍林、徐银华，1983—1985，未刊资料。

表 2 土壤对水稻的供氮量( $N_s$ )与氮素指标的相关性[10-12]

| 试验方法 | 地 点  | 土 壤 类 型        | 相 关 系 数 r       |                          |                |
|------|------|----------------|-----------------|--------------------------|----------------|
|      |      |                | $N_s \sim$ 土壤全N | $N_s \sim \text{NaOH-N}$ | $N_s \sim$ 培养N |
| 盆 栽  | 浙 江  | 主要土壤(n=12)     | 0.929**         | 0.893**                  | 0.826**        |
| 盆 栽  | 苏 南  | 主要土壤(n=9)      | 0.587           | —                        | 0.872**        |
| 田 间  | 苏 南  | 主要土壤(n=9)      | -0.447          | —                        | 0.215          |
| 田 间  | 浙 江  | 主要土壤(n=24)     | 0.467*          | 0.480*                   | 0.504*         |
| 田 间  | 太湖地区 | 石灰性排水好的(n=8)   | 0.237           | 0.207                    | -0.155         |
|      |      | 非石灰性排水好的(n=12) | 0.534           | -0.409                   | -0.267         |
|      |      | 囊水型(n=9)       | 0.527           | 0.569                    | -0.522         |

\* 达到5%显著水平；\*\* 达到1%显著水平。

出，在这两个试验中，在计算土壤供氮量时，都已扣除了秧苗带入的氮量，因此，这种偏差产生的原因，似乎主要的在于未能对土壤来源的部分作出准确的预测。

稻田土壤供氮量中土壤来源部分又可区分为两个部分，即种植时施肥前土壤中含有的起始铵态氮和在水稻生长期间土壤释放出的氮。后者主要决定于土壤有机氮的矿化。在高复种指数下，起始的交换性铵含量一般不高，对耕层土壤来说，大多在10ppm左右或更低。而且，其量与水稻收获时土壤中残留的交换性铵量相近。因此，一般说来，土壤来源的氮量主要决定于水稻生长期间土壤氮素的矿化量。而这又决定于土壤氮素的含量及其分解性，以及矿化条件和耕作措施等。因此，曾建议针对不同土壤类型、轮作制度和水稻季别，分别确定土壤氮素测定值与田间土壤供氮量之间的换算系数<sup>[10]</sup>。但是，正如表2所示，即使是按土壤类型分别进行处理，其相关性也并不显著。其原因可能是多方面的，例如，在试验网中各点的灌溉水质量的不同，以及耕作措施、特别是晒垡和碎土程度的不同等。此外，研究还表明，仅以耕层土壤样品的测定数据进行供氮量的预测可能也会引起相当大的误差。

对太湖地区3种类型土壤9块田的测定表明(表3)，耕层以下土壤的供氮量占全土层供

表 3 太湖地区主要类型水稻土耕层以下土壤的氮素供应<sup>[11]</sup>

| 土 壤      | 土 号 | 全层土壤供N量<br>公斤/公顷(T) | 耕层以下土壤的供<br>N量公斤/公顷(S) | 耕层以下土壤的贡献<br>S/T % |
|----------|-----|---------------------|------------------------|--------------------|
| 石灰性排水好的  | 1   | 92.5                | 15.1                   | 16.3               |
|          | 2   | 75.1                | 22.3                   | 29.7               |
|          | 3   | 95.2                | 23.1                   | 24.3               |
| 非石灰性排水好的 | 4   | 73.5                | 23.2                   | 31.5               |
|          | 5   | 91.7                | 16.7                   | 18.2               |
|          | 6   | 74.0                | 14.7                   | 19.9               |
| 囊 水 型    | 7   | 81.3                | 32.1                   | 39.5               |
|          | 8   | 72.5                | 29.9                   | 41.2               |
|          | 9   | 76.6                | 37.8                   | 49.4               |
| 平 均      |     | 81.4                | 23.9                   | 30.0               |

氮量的比例高达30%。而且,即使是对同一类型的土壤来说,不同田块之间的差异也相当大。因此,在通常只以水稻土耕层土样进行土壤氮素矿化量或碱解氮量测定的情况下,由于耕层以下土壤的供氮能力未计算在内也会引起一定的预测偏差。这也是造成盆栽试验与田间试验中相关系数有显著不同的一个重要原因。在盆栽试验中,由于只采用耕层土样种植水稻,因而不存在耕层以下土壤供氮量的差异问题。而在田间,这种差异就可能比较大。因此,在土壤供氮量预测方法的研究中,应当注意到这一点。

此外,对太湖地区3种类型水稻土的9块田进行的研究表明<sup>[11]</sup>,在淹水培养过程中矿化形成的铵,可以部分地被土壤粘土矿物所固定(表4),其量平均占总矿化量(以交换性铵的增量与固定态铵的增量之和计)的20%。而在水稻生长条件下,由于矿化形成的铵不断地被水稻所吸收而不可能在土壤中大量积累,因而被粘土矿物重新固定的量不大;而且,这一部分新固定的铵,在水稻生长中期以后,由于土壤中交换性铵的含量已降至很低水平,仍可大部分释放出来供水稻利用。因此,对具有固定铵能力的土壤来说,在淹水培养中,应将交换性铵的增量与固定态铵的增量之和计作矿化量<sup>[11]</sup>。而在传统的培养法中,却只测定交换性铵,从而使测得的矿化量偏低。而且,如表4所示,由于不同田块的土样之间,固定态铵在培养后的增量占总矿化量的比例存在着相当大的差异,因此,用淹水培养法预测土壤供氮量时,如果不考虑到固定态铵的增量,也会使预测偏差增大。

综上所述,即使是不考虑田间耕作措施、降水和灌溉水带入的氮等因素的影响,目前常用的淹水培养法和化学提取法,一般也只能半定量地预测田间稻田土壤的供氮量。为了提高

表 4 淹水培养中交换性铵和固定态铵的增量(30℃,培养两周,ppm N)<sup>[11]</sup>

| 项 目       | 石灰性排水好的水稻土 |    |    | 非石灰性排水好的水稻土 |     |    | 囊水水稻土 |    |     | 平 均 |
|-----------|------------|----|----|-------------|-----|----|-------|----|-----|-----|
|           | 土 号        |    |    | 土 号         |     |    | 土 号   |    |     |     |
|           | 1          | 2  | 3  | 4           | 5   | 6  | 7     | 8  | 9   |     |
| 交换性铵增量(A) | 59         | 47 | 45 | 95          | 79  | 83 | 61    | 67 | 56  | 66  |
| 固定态铵增量(B) | 26         | 20 | 26 | 11          | 41  | 7  | 20    | 8  | -3  | 17  |
| 总增量(A+B)  | 85         | 67 | 71 | 106         | 120 | 90 | 81    | 75 | 53  | 83  |
| A/(A+B),% | 69         | 70 | 63 | 90          | 66  | 92 | 75    | 89 | 105 | 80  |

预测的准确性，还需对预测的指标和方法作进一步的研究和改进。由此看来，直接或间接地以此为基础以估算氮肥适宜用量的方法，似也难以期望达到较高的准确性。

## 二、平均适宜施氮量在推荐施肥中的应用

基于以上的讨论，并考虑到当前农村农化服务的实际情况，看来，要求对各个田块都取样进行测定，以确定适宜的氮肥用量，不仅存在着偏差较大的问题，而且也难以普遍实行。农业生产实践要求我们建立一种既简便易行，又具有一定准确性的方法，以指导大面积上氮肥合理用量的宏观控制。从这一要求出发，我们探讨了从氮肥用量试验网中得出的某季水稻的平均适宜施氮量的应用问题<sup>[7]</sup>。本文再对此作一些补充说明，有关这一问题详细资料已另文发表<sup>[14]</sup>。

本文中所谓的适宜施氮量，是根据田间氮肥用量试验的结果，主要用一元二次方程式处理，以每施入 1 公斤氮增产稻谷 5 公斤或小麦 3 公斤作为边际产量 $\left(\frac{dy}{dx}\right)$ 计算而得的。这一

边际产量值是根据经济效益和试验误差两个方面的因素考虑确定的。由此计算出的氮肥用量称为该田块的适宜施氮量。对于少数不能用一元二次方程式处理的试验结果，我们采用新复极距法，根据差异的显著性确定其适宜的施氮量。在求得各个田块各自的适宜施氮量 $(X_c)$ 的基础上，求出整个试验网中全部田块的平均适宜施氮量 $(\bar{X})$ 。

对 1982—1985 年间我们在太湖地区进行的不同季别的水稻和小麦的氮肥用量的 62 个试验结果，按上述方法分别求出  $X_c$  和  $\bar{X}$  后，再将此值带入原产量反应方程式求出各田块在  $X_c$  施用量时的可得产量 $(Y_c)$ 和  $\bar{X}$  施用量时的可得产量 $(Y_{\bar{x}})$ ，对于不符合一元二次方程式的一部分反应曲线，则采用内插法求得  $Y_{\bar{x}}$ 。在此基础上，我们比较了各田块  $Y_c$  与  $Y_{\bar{x}}$  之间的差异，详细结果已在另文中叙述<sup>[14]</sup>，此处不再附图。概括地说来，虽然各田块都按统一的平均适宜施氮量施用，除个别例外，其产量 $(Y_{\bar{x}})$ 都与各田块按各自的适宜施氮量施用的 $(Y_c)$ 相差不大，总的来看， $Y_{\bar{x}} - Y_c$  或为正值，或为负值，两者相抵后仍表现为负值，但差值不大（表 5）。以偏差最大的双季早稻为例，在按各自适宜施氮量施用时各田块单产的总和为 69.8 吨（12 块田，每块田以 1 公顷计），在按平均适宜施氮量施用时各田块单产的总和为 68.8 吨，后者仅比前者减产 1.4%。

造成上述现象的原因可能在于：由于将确定适宜施氮量的边际产量 $\left(\frac{dy}{dx}\right)$ 定为每公斤氮

表 5 适宜施氮量时与平均适宜施氮量时的产量比较<sup>[14]</sup>

| 作物   | 试验田块数 | 平均适宜施氮量<br>及标准差, $\bar{X} \pm SD$<br>(公斤 N/公顷) | 适宜施氮量时各<br>田块单产的总和<br>(吨) (A) | 平均适宜施氮量时<br>各田块单产的总和<br>(吨) (B) | B/A<br>(%) |
|------|-------|------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------|
| 双季早稻 | 12    | 100 ± 36                                       | 69.8                          | 68.8                            | 98.6       |
| 双季晚稻 | 10    | 116 ± 43                                       | 59.3                          | 58.7                            | 99.0       |
| 单季晚稻 | 27    | 111 ± 32                                       | 178.6                         | 178.2                           | 99.8       |
| 小麦   | 13    | 137 ± 39                                       | 44.5                          | 44.0                            | 98.9       |

注：试验地点为太湖流域，供试氮肥为尿素。

增产稻谷 5 公斤或小麦 3 公斤,则反应曲线在适宜施氮量附近的斜率已较平缓。因此,按平均适宜施氮量( $\bar{X}$ )施用氮肥时。如果其施用量比其适宜施氮量( $X_0$ )多或少 10 公斤/公顷,则由此可能引起的产量的增减量也不过只有约 50 公斤/公顷稻谷或 30 公斤/公顷小麦,因而这种按平均适宜施氮量统一施用的简单化作法,对各田块单产的影响一般不大。再者,从宏观的总产来看,按平均适宜施氮量施( $\bar{X}$ )施用,在一些田块上由于高于其适宜施氮量( $X_0$ )而使产量可能略高一些,而在另一些田块上则相反可能低一些。而且,由于在反应曲线的适宜用量以上部分,其斜率略小于其下部分,因此,超过适宜施氮量时所增加的产量就不足以全部抵销低于适宜施氮量时的减产量。因而,在大面积上统一按平均适宜施氮量施用,其可得总产就略低于各田块按各自的适宜施氮量施用时的总产,但如表 5 所示,相差极微。

考虑到平均适宜施氮量的这些含义,以及大面积生产中农化服务的现实困难及测试所需的费用,平均适宜施氮量似可作为当前推荐氮肥适宜用量的一个重要依据。在此基础上,可以根据土壤肥力水平、有机肥料施用和前茬等情况,作适当的增减。其增减的幅度似应控制在该试验网中的平均适宜施氮量加或减一个标准差的范围之内。如表 5 所示,对单季晚稻来说,平均适宜施氮量为 111 公斤/公顷(15 斤 N/亩),其标准差为 32 公斤/公顷(4 斤 N/亩),由此计得施用的上限一般为 143 公斤 N/公顷(19 斤 N/亩),下限为 79 公斤 N/公顷(11 斤 N/亩)。

不言而喻,对某一作物来说,平均适宜施氮量受到土壤、气候、耕作轮作制度等许多条件的影响,因而,各个地区应根据不同条件划片确定平均适宜施氮量及应用中的控制幅度,并随着生产条件的改变而重新加以确定。

## 参 考 文 献

- [1]中国科学院南京土壤研究所东亭任务组,苏州地区双三制下提高氮肥对水稻的增产效果问题。土壤,第 3 期,127—135,1977。
- [2]朱兆良,我国水稻生产中土壤和肥料氮素的研究。土壤,13(1):1—6,1981。
- [3]朱兆良,估算水稻、小麦氮肥用量的有关参数的选定。土壤,14(4):136—140,1982。
- [4]高家骅、章云、黄东迈、吴敬民、潘遵谱,应用土壤氮矿化参数预报早稻施肥探讨。中国农业科学,第 3 期,67—72,1984。
- [5]章云、高家骅、黄东迈,早稻因土施(氮)肥预测预报中试报告。土壤,18(5):230—235,1986。
- [6]周鸣铮、王竺美,浙江省水稻土“因产定氮”基本公式及其有关参数的探讨。土壤学报,24(2):127—134,1987。
- [7]朱兆良、张绍林、徐银华,平均适宜施氮量的含义。土壤,18(16):316—317,1986。
- [8]朱兆良、陈德立、张绍林、徐银华,稻田非共生固氮对当季水稻吸收氮的贡献。土壤,18(5):225—229,1986。
- [9]朱兆良,我国土壤供氮和化肥氮去向研究的进展。土壤,17:(1)2—9,1985。
- [10]朱兆良、蔡贵信、徐银华、张绍林,太湖地区水稻土的氮素矿化及土壤供氮量的预测。土壤学报,21(1):29—36,1984。
- [11]陈德立,稻田土壤自然供氮能力的研究。中国科学院南京土壤研究所硕士论文。1985。
- [12]周鸣铮、于文涛、方樟法,土壤速效氮的测定方法。土壤,第 5—6 期,316—323,1976。
- [13]汪寅虎、姜素珍、顾永明,上海郊区青紫泥土壤供氮量的预测研究。土壤学报,20(3):262—272,1983。
- [14]张绍林、朱兆良、徐银华、陈荣业、李阿荣,关于太湖地区稻麦上氮肥的适宜用量。土壤,第 1 期,5—9,1988。