

# 关于肥料利用率的猜想\*

沈善敏

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

**【摘要】** 测算肥料利用率的同位素标记法受土壤、肥料间交互作用的影响,而通常肥料试验的差值法则既受土壤、肥料间交互作用,又可能受施肥直接抑制作物吸收土壤养分的双重影响,猜想这两种测算方法都不可能获得可靠结果.本文在给出若干假设的基础上,提出了适用于通常肥料试验估算肥料利用率的替代方法.该法可规避上述影响干扰,但其可靠性有待实验证实.

**关键词** 肥料利用率 田间试验

**文章编号** 1001-9332(2005)05-0781-02 **中图分类号** S181 **文献标识码** A

**A conjecture on the fertilizer recovery measurement by field experiment.** SHEN Shanmin (*Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(5):781~782.

The measurement of fertilizer recovery either by isotope tracer technique or by field experiment with plots fertilized and unfertilized, both were suspected unreliable and reasons were discussed. Based on some reasonable pre-suppositions, an alternative way of estimating fertilizer recovery by field trials was proposed in this paper, but further examination on its reliability is needed.

**Key words** Recovery of fertilizer, Field experiment.

推出这一“猜想”的目的,是希望引起同行的兴趣和研究,从而走出传统认识的误区.

1 土壤肥料工作者时常为我国农业中化肥的作物利用率“很低”所困扰,比如,按通常的测算方法,许多田间试验的氮肥利用率仅为0.3~0.4上下.研究人员试图查明未被作物利用肥料氮的去向,如土壤残留、NH<sub>3</sub>挥发、N<sub>2</sub>O排放、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>淋失等,然而将各分项相加依然有相当一部分肥料氮不知去向.于是,笔者将疑问投向那个被用了数十乃至上百年的计算肥料利用率的算式,猜想:或许是那个算式给出了偏低的肥料利用率?

2 田间试验的肥料利用率通常以下式计算:

$$R = (H - H_0) / F \quad (1)$$

式中,  $R$  肥料养分的作物利用率(简称肥料利用率);  $H$  施肥作物收获养分量;  $H_0$  不施肥作物收获养分量;  $F$  施肥养分量.

施肥作物收获养分中包括了来自肥料养分  $H_f$  和来自土壤养分  $H_s$ , 后者除土壤自身养分外,还包括来自大气干湿沉降、灌溉等输入的养分.因此,式(1)也可写成:

$$R = (H_f + H_s - H_0) / F \quad (2)$$

当施肥作物和不施肥作物吸收的土壤养分量相同,即  $H_s = H_0$ , 式(2)便可写成:  $R = H_f / F$ , 式(1)的可靠性或准确性便成立.这一算法称之为差值

法.可以看出差值法是建立在  $H_s = H_0$  这一假设基础上的,问题是这一假设是否可靠?能否成立?

3 20世纪40年代以来,同位素示踪技术在肥料试验中的应用为解开这一谜团展现一片曙光,设想是:用同位素标记肥料进行田间试验,既可以直接测定作物的肥料利用率,同时也可检验上述假设.然而事情并非如想象那么顺利,以氮肥为例,过去数十年中的大多数试验,其结果总是表现为施氮作物吸收的土壤氮量超过了不施氮作物,即  $H_s > H_0$ , 因而用<sup>15</sup>N标记技术测定的氮肥利用率也总是低于差值法的计算结果<sup>[2]</sup>.笔者参与的一组田间试验结果进一步展示:随<sup>15</sup>N标记氮肥用量增加,施氮作物吸收的土壤氮量不断上升,例如5个施氮处理的标记氮肥用量(两年平均)依次为:0、48、96、144、189 kg·hm<sup>-2</sup>,对应各处理作物(小麦)吸收的土壤氮量(两年平均)分别为31、45、67、74、74 kg·hm<sup>-2</sup><sup>[4]</sup>.

4 在国际土壤学界,对于用<sup>15</sup>N标记氮肥进行田间试验出现的上述现象曾赋予一种称之为“激发效应”(priming action,国内也有称之为“起爆效应”)的解释,大意是施用无机氮肥可加速土壤中有机氮矿化,从而释放更多土壤氮供作物利用<sup>[1,2]</sup>.不过后来笔

\*中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX3-SW-433).  
2005-03-24收稿,2005-03-30接受.

者的一项精确实验证实,无机氮添加不能加速土壤有机氮矿化,只是由于一部分施入土壤的 $^{15}\text{N}$ 标记氮代替了土壤氮被土壤中的生物过程所固持,从而额外余下一部分土壤氮为作物所利用<sup>[5]</sup>,这一现象后来被称之为“加入氮交互效应”(added nitrogen interaction, ANI)<sup>[3]</sup>.土壤对肥料氮的生物固持愈强,余下的土壤氮也愈多,作物便可吸收更多的土壤氮,从不同施氮量处理土壤中微生物生物量氮(biomass-N)随施氮量上升而增加,其上作物相应获得更多土壤氮的关联现象中可以印证这一解释<sup>[6]</sup>.

笔者从未用 $^{32}\text{P}$ 标记磷肥做过试验,但猜想:虽然土壤磷的生物固持远不象氮那么强烈和明显,不过 $^{32}\text{P}$ 可以和土壤中 $^{31}\text{P}$ 发生同位素交换反应, $^{32}\text{P}$ 可以置换出部分土壤 $^{31}\text{P}$ ,使后者易于被作物吸收利用,从而使施磷作物比不施磷作物利用更多的土壤磷,其结果与氮肥的影响是一样的: $H_s = H_0$ ,而更普遍情况可能是 $H_s > H_0$ .

5 进一步的问题是:如果土壤中不发生肥料氮的生物固持(对于磷可能主要是同位素交换反应),施肥作物和不施肥作物是否会吸收相同的土壤氮量?对此眼下尚无任何实验证据可证明相同或不相同,不过笔者猜想,施肥可能抑制作物对土壤养分的利用,所以与土壤、肥料间交互作用的方向是相反的,即 $H_s < H_0$ ,尤其是在大量施肥的情况下.用实验方法验证这一猜想必须在实验过程中抑制由土壤、肥料间交互作用所产生的影响并使用同位素标记技术,而要做到实验过程中有效控制土壤、肥料间的交互作用看来并非易事.

6 简要总结以上讨论:迄今,用田间试验(也包括盆栽试验)测定肥料养分的作物利用率不外乎两种方法,一种是采用同位素标记技术,直接测定作物吸收同位素标记肥料的量,计算肥料利用率;另一种方法是试验处理中设置不施肥对照,用差值法计算肥料利用率.用同位素标记技术测定肥料利用率曾被认为是绝对可靠的,不过现在知道,由于一部分同位素标记养分消耗于土壤与肥料之间的交互作用(例如以上述两年试验的平均测定结果,按“激发量”计算,被土壤生物固持的 $^{15}\text{N}$ 标记氮可占施入氮量的23%~38%),所以测定结果是明显偏低的,只有在极少数情况下出现所谓“负激发效应”时可能例外.差值法被广泛应用于一般肥料试验,该法的可靠性一方面受影响于土壤、肥料间的交互作用,另一方面则受肥料对作物吸收土壤养分的直接影响,后者的作用机

制还不清楚,不过笔者猜想施肥可能减少作物对土壤养分的利用.由于后一种作用的结果与土壤、肥料间交互作用的结果是相反的,相互可部分抵消彼此的影响,因此差值法比同位素标记法给出的肥料利用率时常要高一些.不过总的来说,用这两种方法测算的肥料利用率都不可靠.那个关于施肥作物和不施肥作物吸收相同土壤养分量即 $H_s = H_0$ 的假设也始终未得到过证实.因此,对于不论是哪种方法给出的结果,读者都不必过于当真的.事实上,近些年来一些国外刊物中已很少见到用差值法计算肥料利用率的实例,大概也是意识到其结果的可信度值得怀疑的缘故.

7 余下的问题是:有没有可替代的办法估计肥料养分的作物利用率?笔者猜想:利用通常肥料试验提供的那3个基本参数( $H$ ,  $H_0$ ,  $F$ ),大概不可能做到准确计算肥料利用率,不过可以在合理假设的基础上比较可信地对肥料利用率作出“估算”.笔者假设:1)肥料施入土壤后肥料养分和土壤中的有效养分两者对作物同等有效;2)作物不能识别这两种养分,因此作物分别对这两种养分的利用程度取决于两者在土壤中的存量;3)土壤有效养分的存量可用 $H_0$ 表示,肥料养分量可用施肥养分量 $F$ 表示.于是,肥料利用率的估算式可给出如下:

$$R = H / (H_0 + F) \quad (3)$$

这一估算法可避开上述两种影响干扰,得出比式(1)高得多的 $R$ 值,读者不妨试试比较两种算法的结果.式(3)所依据的假设同样存在许多弱点,尤其是用于氮肥利用率的估算时这些弱点更是显而易见.这也就是笔者宁肯将其称之为“估算”,而不愿说成是“计算”的缘故.

#### 参考文献

- 1 Bremner JM. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: Black CA, eds. Method of Soil Analysis. Part 2. Madison, USA: American Society of Agronomy.
- 2 Jansson SL, Persson J. 1982. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: Stevenson FJ ed. Nitrogen in Agricultural Soils. Madison, USA: American Society of Agronomy.
- 3 Jenkinson DS, Fox RH, Rayner JH. 1985. Interaction between fertilizer nitrogen and soil nitrogen—The so called priming effect. *J Soil Sci*, **36**:425~444
- 4 Powlson DS, Pruden G, Johnston AE, et al. 1986. The nitrogen cycle in the Broadbalk wheat experiment: Recovery and losses of  $^{15}\text{N}$ -labelled fertilizer applied in spring and inputs of nitrogen from atmosphere. *J Agric Sci*, **107**:591~609
- 5 Shen SM, Pruden G, Jenkinson DS. 1984. Mineralization and immobilization of nitrogen in fumigated soil and the measurement of microbial biomass nitrogen. *Soil Biol Biochem*, **16**(5):437~444
- 6 Shen SM, Hart BS, Powlson DS, Jenkinson DS. 1989. The nitrogen cycle in the Broadbalk wheat experiment:  $^{15}\text{N}$ -labelled fertilizer residues in the soil and in the soil microbial biomass. *Soil Biol Biochem*, **21**(4):529~533