

DOI: 10. 11766/trxb201308300390

有机碳肥对养分平衡的作用初探*

——试析植物营养中的碳短板

廖宗文 毛小云 刘可星

(华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

EFFECT OF ORGANIC CARBON FERTILIZER ON NUTRIENT BALANCE

—ANALYSIS OF CARBON, A SHORT BOARD, IN PLANT NUTRITION

Liao Zongwen Mao Xiaoyun Liu Kexing

(College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

关键词 有机碳肥; 有机碳营养; 养分平衡; 施肥补碳

中图分类号 S14; Q945.1 文献标识码 A

碳是 17 种必需营养元素之首, 在植物元素组成百分比中名列第一, 且远远超过 NPK 的总和。然而长期以来, 化肥工业却鲜有以补碳为目的的产品。这一现状对作物养分平衡有怎样的影响? 靠天补碳是否能满足作物碳营养? 一般有机肥能否满足作物碳营养? 无论从学术上还是生产上, 都有必要对这些问题进行深入思考。

1 植物营养中碳短板的认识缺位

经典植物营养理论认定了 17 种必需元素, 其中碳、氢、氧这三种元素主要来源于二氧化碳和水, 一般在化肥工业中不予考虑。二氧化碳气肥虽有所涉及, 但多用于大棚, 难以在大田使用。化肥工业诞生至今 100 多年来, 除自然状态的二氧化碳外的碳肥研究、生产和应用基本上处于“有名无实”的状态, 在文献中查不到相关报道, 即在理论中有其名而肥料中缺其用。

这一现象源于对碳营养, 主要是有机碳营养的重大作用缺乏认识。有机碳营养是指水溶性高、易被植物吸收的有机碳化合物, 如糖、醇、酸(含氨基

酸)等, 即不仅有含氮的有机碳营养(如氨基酸), 还包括不含氮的碳营养。碳营养的重要性, 在于其提供构建植物体内各有机成分的必需成分——碳架, 包括链状、环状的各类碳架, 是植物合成糖类、蛋白质、氨基酸、酶、激素、信号传递物质的基础物质^[1]。

当今国内外许多与肥料相关的重大问题, 如平衡施肥、水体富营养化、农产品高产优质、提高肥料利用率等, 不仅与现有化肥产品提供的养分有关, 而且还与碳营养(有待于碳肥产品提供)有密切关系。目前大田碳营养的补充是一种靠大气二氧化碳的自然状态补充。多种元素实现了人工施肥, 碳却是唯一靠天补充的大量元素, 而这种自然补充远不能满足平衡的需要, 尤其是在化肥量大的情况下, 更是如此。一般有机肥是否可以作为人工补碳的有效途径呢? 有机肥含有大量的碳而有效性甚低, 水溶性一般小于 10%, 大都在 2% 左右, 而且难以被根系吸收。但生产上对长期以来存在的碳短板问题鲜有关注^[2-3]。

高等植物对有机物的吸收研究已有零星报道, 主要集中在作物对有机氮和有机磷营养的吸收与利用研究。诸多学者采用无菌栽培和同位素标记

* 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD11B05)、国家自然科学基金项目(41071162)和广东省教育部产学研结合项目(2011B090400358)资助

作者简介: 廖宗文(1947—), 男, 教授, 主要从事废物农用资源化和新型肥料研究工作。E-mail: zwliao@sohu.com

收稿日期: 2013-08-30; 收到修改稿日期: 2013-12-11

等研究方法,证实氨基酸、尿素等可直接被作物吸收^[4-7],且表明氨基酸等有机氮对作物的营养效应优于无机氮^[6-7]。孙羲和章永松^[8]研究发现有机肥和土壤中有机磷以肌醇六磷酸盐形式为主,通过无菌栽培,发现在等磷量条件下肌醇六磷酸对水稻的营养效果优于无机磷。这方面的研究均从氮或磷素营养的角度来开展,重点是氮或磷素的营养形态,而未注意到有机碳架,尤其是不含氮或不含磷的有机碳架进入植物体后的转化机制与作用机理。植物 GS/GOGAT 循环在同化氮时需不断补充碳架,有机营养(包括氨基酸)被植物吸收后,其碳架的营养功能和转化机制缺乏深入研究^[9]。

经典植物营养原理的最小因子律表达为木桶原理图,它形象地显示了营养元素短板对增产的重要性。但是碳在经典理论上虽有其名而在现有文献中的木桶图中却无其位。长期以来,人们仅依赖无机二氧化碳提供碳营养,却未考虑到在气态碳肥以外开发有机碳液肥及固态肥。可见,正是认识上的碳短板导致了实践中的植物营养的碳饥饿。

2 碳短板严重制约作物养分平衡

今天,随着化肥施用量的不断增大,碳短板更为突出,主要表现为以下三方面:(1)土壤肥力下降。有机质下降的后果是众所周知的,但是其中的有效碳(水溶碳、活性有机质)下降,更是值得关注的深层次原因。化肥的“胃口”越来越大,与土壤有效碳越来越低有关,亦即与土壤中碳短板越来越短有关。施用高效的有机碳肥,可望更快更好地改土并同时快速获得当季作物高产优质效果。(2)作物低产、劣质。这大都与碳短板有关,尤其是质量下降例如:口感差、维生素 C 低、硝酸盐含量高、不耐贮藏等均与有机碳缺乏而导致的养分不平衡——碳饥饿有关。(3)抗逆性低。作物对于寒、热、旱、涝等逆境均有一套内在基因的对应机制,但是若缺乏必需的信号物质及其传导、接收,则作物无法发挥其抗逆功能,而碳短板则使得抗逆信号物质产生、传导等受到抑制。同样对病虫害的抗御,作物的内在机制也需要克服碳短板才能充分发挥作用。碳短板导致的上述问题,通过补碳而实现碳与其他元素平衡是完全可以解决的,这方面已有一些成功的例子。如福建、广东、山西和内蒙古均有一些企业生产出水溶性很高的有机碳系列肥料,增产效果很明显。

碳是植物营养中的大量元素,碳在植物体内的含量范围为 24.95%~55.44%,平均为 43.63%^[10],远超大中微量元素之和达数倍之多!大量施用化肥需要考虑各养分元素之间的平衡,这也是测土配方施肥的目标。但是,在氮磷钾施肥大幅度增加的情况下,却没有考虑对碳的补充,使碳短板问题更为尖锐,平衡施肥的实际效果因而大打折扣。若能通过施肥补碳调整及优化植物营养平衡而消除碳饥饿,可以预计,现有平衡施肥的增产潜力将得到进一步大幅度提高。植物营养平衡中的碳平衡不仅是一个重大的植物营养理论问题,同时也为肥料新产品开发提供了一个新的技术制高点。

3 补碳的新途径及技术要点

3.1 补碳的新途径——有机碳肥

长期以来,作物依靠自然状态获得碳营养,这种靠天补碳仅能满足其需求的 1/5^[11-12],作物处于碳饥饿中。通过有机碳肥补碳,可以有效地消除碳饥饿而实现碳平衡。有机碳肥是指能够提供水溶性高、易被植物吸收的液体或固体有机碳营养的肥料,例如糖类及氨基酸等。有机碳肥可为液态、固态,是二氧化碳以外的补碳新途径,在实践中显示了突出的增产、优质、抗逆优势。就其有机形态、应用范围及条件而言,有机高效(水溶)碳肥较二氧化碳更为优越。

有机碳肥已经是有机态,无需消耗光能进行 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{有机碳}$ 这一反应,因而这部分节省的光合能可用于其他生化反应,制造其他必需物质,从而促进作物更好、更快地生长。此外,有机碳肥为液体或固体,使用较气态碳肥方便,可广泛用于大田及大棚。可以有效地消除碳短板对作物产量品质的抑制,从而使作物的高产优质跃升到一个新的台阶。目前,我国已经出现了一些有机碳肥的成功企业。其有机质的水溶性高达 50%~90%,是普通有机肥的 20 倍,从补充碳的角度而言,其肥效增强了 20 倍,仅用 5~10 kg 亩⁻¹(折合 75~150 kg hm²),即可获明显增产效果^[2,13]。

在生产实践中,基层农技人员和农民均有应用有机碳营养的经验,也反映了有机碳营养的重要性。例如山东农民在樱桃开花期喷施白糖,可使花期延长,授粉率提高。广东、山东的农民,对于受农药危害的作物(或受寒露风危害的水稻)喷施红糖也有良效。这与受害作物的光合作用受阻,碳水化

合物合成不足有关。喷糖可补充光合产物,因而可减轻药害或冷害。

3.2 有机碳肥生产技术要点

根据原料及加工技术的特点,有机碳肥的生产技术大致有三类:

(1)以发酵工业废液(酒精、味精、酵母)和生物质(蔗渣、秸秆)为原料,通过活化降解废液提高有机碳产物活性,对蔗渣则采取以厌氧为主的少翻堆技术,减少氧化导致二氧化碳损失,同时促进有机物分子降解为小分子提高其活性。

(2)以中药渣为原料,通过独特的与合成相反方向的逆反应,使有机物降解为小分子,但不彻底分解为 CO_2 和 H_2O ,以高活性小分子有机碳形式存在。该反应 4 小时内完成,水溶性达 90% 以上。

(3)以褐煤为原料,通过加碱反应生成腐植酸,产品的水溶性高、生理活性高。

4 思考与探索

基于有效碳营养的概念,对有机肥的作用、生产技术、有机碳营养的优点及养分平衡等方面深入思考,使我们对有机肥的认识获得新的提升,对有机肥,尤其是有机碳肥的技术创新有重要的促进作用。

4.1 对有机碳作用认识的深化

长期以来,一般有机肥的当季肥效不明显,其肥效主要是通过改土而慢慢显示出来。其实有机肥的肥效不一定是慢的。慢是因为其有效碳含量低,若提高其有效碳含量,肥效则快,尤其是化肥用量偏高情况下,有效碳可消除碳短板而恢复碳平衡,且见效快速。目前平衡施肥中缺乏对碳短板的认识和技术措施,若能改进,可收“四两拨千斤”之功,使平衡施肥的效果冲破碳短板的限制而更上一层楼。有机碳肥按化学类型大致可分 3 类:有机酸类,如乙酸、丙酸、氨基酸;糖类,如单糖、双糖、多糖;醇类,如乙醇、丙醇等。需要指出的是,由于缺乏有机碳营养这一概念,许多含氮的有机碳营养,如氨基酸营养液多标为有机氮,其肥效则归于有机氮的贡献。有机碳营养发挥了作用而得不到确认。这种概念的模糊妨碍了对有机碳营养的认识,使化肥工业未能在有机碳营养,尤其是无氮类有机碳(酸、醇等)营养的开发利用方面作出应有的贡献。有机碳包括了有机氮,有机氮必定属于有机碳,但有

机碳不一定是有机氮。氨基酸有机氮之外,还有非氮有机碳营养(糖、酸、醇等),对植物生长有重大作用,对有机碳作用认识的深化将使化肥科技创新提升到一个新的高度。

4.2 基于有效碳概念的有机肥生产技术

现有发酵技术以有机质中氮磷钾等养分元素的有效化为主要目标,而有机碳营养形态的有效化则未受关注。一般好氧发酵处理通过二氧化碳途径损失大部分有机碳。从有机碳的有效化考虑,应采取适当厌氧措施使有机质分解至小分子阶段即停止,不至于产生最终的二氧化碳排放,既节能又高效。

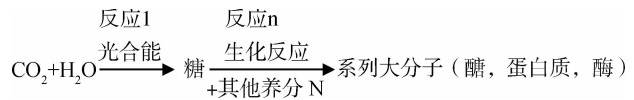
有机肥生产的主流技术是发酵,而最近西北农林科技大学刘存寿等^[15]研发成功的非生物发酵技术——逆反应技术,可保留大量的有机碳,避免了以二氧化碳形式排放的损失。该技术使大分子有机物迅速转化为可溶性有机碳,开拓了一条快速化工工艺生产高效水溶性碳的新途径。

4.3 有机营养与无机平衡的指标

国内外研究早已证实,小分子有机物如氨基酸、糖、维生素可被作物吸收^[5,7],但一直难以在平衡施肥中得以应用,其主要原因是有机物种类太多,远超 17 种营养元素,难以一一计算和调节其平衡。但我们可以从有机物的共同特征——碳链、碳环入手,将各种有机物均归纳为碳,以 C/N 为量化指标,则可实现以简驭繁,指导肥料生产及施用。试验结果表明 C/N 在 1 左右,通常有很好的效果^[16]。而且研究证明,有机与无机元素配合吸收,可大大提高养分有效性及生理功能。

4.4 有机碳肥具有节能、快速的优点

水溶性有机碳营养的优越性表现在,它跨越了从无机二氧化碳开始经过光合反应才生成有机物的过程,因而节约了光能、肥效快,而且便于在大田施用,这些突出的优点是二氧化碳肥所不能比拟的。显示有机碳的比较优势的反应示意式如下:



自然补碳途径从头(反应 1)开始,而有机碳肥补碳则跳过了反应 1,而进入后续的生化反应(反应 n)中。初始反应的光合能可节省下来而用于后续反应中。这在阴雨天光照不足时,更能显示有机碳肥的优点,如促长、抗病等。

5 结 论

在无机二氧化碳气态肥之外,开发非气态的有机碳肥以消除碳短板,意义重大,在改善碳营养、活化矿物养分及调控土壤微生态方面均有明显的效果^[17]。它不仅是肥料技术创新的重要制高点,而且是植物营养理论研究中富有生机的学术生长点。

参 考 文 献

- [1] 李唯. 植物生理学. 北京:高等教育出版社,2012
- [2] 李瑞波,吴少全. 生物腐植酸肥料生产与应用. 北京:化学工业出版社,2011
- [3] 李瑞波. 从有机碳营养的视角透视农作物现象. 磷肥与复肥,2013,28(5):4—7
- [4] McKee H S. Nitrogen metabolism in plants. Tonbridge, London: Oxford University Press,1962:126—138
- [5] Nasholm T, Huss-Danell K, Hogberg P. Uptake of organic nitrogen in the field by four agriculturally important plant species. Ecology,2000,81(4):1155—1161
- [6] 吴良欢,陶勤南. 水稻氨基酸态氮营养效应及其机理研究. 土壤学报,2000,37(4):464—473
- [7] 张夫道,孙羲. 氨基酸对水稻营养作用的研究. 中国农业科学,1984,17(5):61—66
- [8] 孙羲,章永松. 有机肥料和土壤中的有机磷对水稻的营养效果. 土壤学报,1992,29(4):365—369
- [9] 莫良玉,吴良欢,陶勤南. 高等植物 GS/GOGAT 循环研究进展. 植物营养与肥料学报,2001,7(2):223—231
- [10] 郑帷婕,包维楷,辜彬,等. 陆生高等植物碳含量及其特点. 生态学杂志,2007,26(3):307—313
- [11] 陈平平. 大气二氧化碳浓度升高对植物的影响. 生物学通报,2002,37(3):20—22
- [12] 杨连新,李世峰,王余龙,等. 开放式空气二氧化碳浓度增高对小麦产量形成的影响. 应用生态学报,2007,18(1):75—80
- [13] 操君喜,杨少海,彭智平,等. 喷施有机营养型专用叶面肥对叶菜产量和品质的影响. 广东农业科学,2007(2):8—10
- [14] 王华静,吴良欢,陶勤南. 有机营养肥料研究进展. 生态环境 2003,12(1):110—114
- [15] 刘存寿,同延安,朱渭兵,等. 利用天然有机物快速降解生产水溶性腐植酸肥料的方法:中国. CN101768019 B. 2012 - 12 - 26
- [16] 廖宗文. 工业废物的农用资源化:理论、技术和实践. 北京:中国环境科学出版社,1996:64
- [17] 廖宗文,刘可星,毛小云. 腐植酸的三大作用——有机营养、活化、微生态调控及其技术开发. 腐植酸,2012(6):1—4

(责任编辑:卢 萍)