

# 根际沉积碳研究进展

李小丽

(河南省封丘县农业综合开发办公室, 封丘 453300)

**摘要:** 根际碳沉积在农田碳循环中起重要作用, 不仅是维持根系呼吸消耗的重要组成成分, 同时在植物根际碳消耗中占有相当大的比重。植物根际碳的沉积来源于植物残体的分解以及植物生育期内根际碳的释放, 根际碳的沉积是土壤有机质的主要来源, 根际碳沉积测定方法主要是同位素示踪技术。

**关键词:** 根际; 碳; 沉积

中图分类号: X53      文献标识码: A      文章编号: 1002-2767(2008)06-0171-03

## Research Advance of Rhizosphere Deposited Carbon

LI Xiao-li

(Integrated Agricultural Development Office of Fengqiu County in Henan Province, Fengqiu 453300)

**Abstract:** The rhizosphere deposited carbon plays a significant role in carbon cycle of field land. It is not only the important compositions to maintain consume of root respiration, but also accounts for sizable proportion in plant rhizosphere carbon consume. The rhizosphere deposited carbon come from decompositon of plant residue and re-lease of rhizosphere carbon during plant grow period. The rhizosphere deposited carbon is primary source of soil or-ganic matter. The determine method of rhizosphere deposited carbon is mainly isotope tracer technique.

**Key words:** rhizosphere; carbon; deposition

碳循环是农田生态系统最基本的生态过程, 受人为作用的强烈影响和调控, 人为作用对农田生态系统的稳定性、生产力及其环境效应具有关键性的影响<sup>[1-2]</sup>。农田生态系统土壤有机碳含量不仅是决定土壤肥力的关键因素和不可或缺的土壤肥力指标, 而且还与全球碳循环密切相关, 增加土壤有机碳储量以增加对大气 CO<sub>2</sub> 的固定是全球大气 CO<sub>2</sub> 收集的重要途径之一<sup>[3]</sup>。

### 1 根际沉积碳在农田生态系统中的作用

根际碳沉积在农田碳循环中起重要作用, 植物根系通过各种形式将输入到根部的有机、无机化合物释放到周围土壤, 形成根际沉积, 这是植物与土壤间界面交换的一种重要过程<sup>[4]</sup>。根际碳的沉积不仅会引起土壤化学、物理和生物特性的改变, 而且直接关系到土壤呼吸及 CH<sub>4</sub> 排放等过程。根际释放的有机物质影响着植物的根际环境, 并通过根际微生物的利用转化, 影响着植物—土壤间的碳循环过程, 形成了联系植物、土壤及微生物的桥梁, 深入认识这

些问题对于生态系统的可持续管理具有重要意义。同时, 认识和调控根际碳沉积的流量和方向对于提高作物耐旱性、增加作物产量及建立根际环境中碳的合理分配模式, 促进农田的可持续管理也具有重要作用。近年来, 根际沉积在陆地生态系统中的作用研究已有大量报道<sup>[5-9]</sup>, 但关于施肥对根际碳沉积周转过程的研究十分有限。因此, 本项目就长期定量施肥条件下, 对根际沉积的碳进行深入研究, 为揭示农田长期施肥条件下根际沉积的碳在植物—大气—土壤系统中的作用和分配比例及碳循环和转化机制提供科学依据。

根际碳沉积不仅是维持根系呼吸消耗的重要组成成分, 同时在植物根际碳消耗中占有相当大的比重。根际是植物、土壤和微生物及其环境相互作用的中心, 是植物和土壤环境之间物质和能量交换最活跃的区域。因此, 植物根际沉积作为植物—土壤系统中的物质流、信息流及能量流, 可直接或间接地影响植物营养状况、植物生理调节过程和微生物活性, 从而影响植物体内的碳周转。

### 2 根际沉积碳的来源

土壤呼吸主要由土壤微生物和根系产生<sup>[10]</sup>。土壤微生物呼吸和根系呼吸主要是土壤中生物代谢

收稿日期: 2008-05-21  
作者简介: 李小丽(1980-), 女, 河南省封丘人, 试验师, 从事农田土壤碳循环方面研究。E-mail: lixiaoli758695@126.com.

作用的结果,微生物作用下的土壤有机质分解是由微生物呼吸作用产生的。植物根际碳的沉积来源于植物残体的分解以及植物生育期内根际碳的释放,根际碳的沉积是土壤有机质的主要来源。根际碳的沉积不仅为微生物活动提供能源,而且对土壤物理、化学和生物学性质都有深刻影响。目前,根际碳沉积物的产生主要为根边缘细胞的脱落;粘液层粘液的分泌;根际可溶物的被动扩散和根表皮、皮层细胞的衰老等。不同的根际沉积数量和组成影响土壤呼吸强度的变化,而且根际碳沉积物的分配还受大气 $\text{CO}_2$ 浓度升高、温度、土壤质地、施肥等因素影响,根际碳沉积的变化间接地影响了土壤微生物的呼吸<sup>[11-15]</sup>。根系呼吸有很强的季节性变化,采用同位素示踪技术研究表明,根际呼吸占土壤总呼吸的19%~80%。不同的根际碳沉积分配影响了根系呼吸的比例,进而影响了土壤总呼吸。

### 3 根际沉积碳的研究方法

20世纪80年代以来,许多学者对植物—土壤系统中碳的分配进行了研究。其中同位素技术的应用能够有效地阐明碳在植物和土壤之间的流通,并进一步研究地下碳的动态变化和土壤碳储量的微小迁移与转换,评价并量化新老土壤有机碳对碳储量的相对贡献<sup>[14, 16-17]</sup>。迄今为止,已有3种同位素示踪技术用于测定植物转运到土壤中的碳量,分别为:脉冲标记、连续标记和 $^{13}\text{C}$ 自然丰度。脉冲和连续标记可以用 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}$ 、 $^{14}\text{C}$ 标记植株地上部,然后测定转运到地下部的碳同化物。在植物整个生育期内脉冲标记仅标记一次,而连续标记则需经历较长的时间,从第一片叶标记至收获。自然丰度法是通过测定不同光合类型植物其同化物的 $^{13}\text{C}$ 和 $^{13}\text{C}$ 丰度来研究土壤碳的含量,可以测定大田环境下根际碳沉积的量。

Merbach等采用高压灭菌的基质培养植物,结果发现,3d内小麦和紫花苜蓿约有86%和64%的根源 $^{14}\text{C}$ 被根际微生物呼吸消耗,而土壤存留的 $^{14}\text{C}$ 约占光合固定 $^{14}\text{C}$ 的2.5%和5.2%。研究了玉米中的碳分配,结果发现,土壤存留的 $^{14}\text{C}$ 占光合固定的 $^{14}\text{C}$ 的4.0%,仅1.9%的根源 $^{14}\text{C}$ 被根际微生物呼吸消耗。对油菜的研究发现,有35%~51%的根源 $^{14}\text{C}$ 被微生物呼吸消耗;微生物呼吸占土壤 $^{14}\text{C}$ 呼吸的5.6%,在得出的结果范围内(微生物呼吸占土壤 $^{14}\text{C}$ 呼吸的4%~9%),研究发现,0.9%~6.8%的根源 $^{14}\text{C}$ 被微生物呼吸消耗;在小麦生长期,15%~39%的净 $^{14}\text{C}$ 同化物转移至地下部,其中35%~48%被根系和根际微生物所消耗。在多年生雀麦草的实验研究中,转移至地下部的净 $^{14}\text{C}$ 同化物高达56%~69%,其中52%~62%集中在根系,24%~31%被根系呼吸消耗,13%~21%存留在土壤中。然而,由于研究手段和方法的限制,微生物呼吸在根际呼吸中所占的比例变化较大,约为5%~85%<sup>[13-18]</sup>。Warembourg等在对小麦同化物脉冲标

记后发现地下部呼吸活动有两个峰,第一个峰是由根呼吸所引起,第二个峰可能是由根分泌物中的微生物呼吸引起的。同时,Nguyen等观察到玉米根际呼吸碳活动存在两个峰,而Todorovic等认为第二个峰的出现是在无菌条件下,而且其与根呼吸有关,第二个峰的存在是由于初期光照时储存的碳水化合物被根和微生物利用。在植物 $^{14}\text{C}$ 示踪脉冲标记之前,以未标记的 $^{14}\text{C}$ —葡萄糖作为土壤基质,他们假设附加的 $^{14}\text{C}$ —葡萄糖能够稀释根源 $^{14}\text{C}$ 的微生物呼吸,采用这种同位素稀释法测得培养3周的小麦的根呼吸为41%,根际微生物呼吸为59%;其不足之处在于植物同化物的分配时间仅为4h,因而其 $^{14}\text{C}$ 根呼吸和根际沉积不完全<sup>[21]</sup>。

土壤有机质在土壤生态系统功能中起着关键作用,被认为是全球范围的重要 $\text{CO}_2$ 汇。植物残体及其根系分泌物是土壤有机质的重要来源。有试验表明,在26d的生长中,玉米输送到地下的碳大约为 $4\text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,根系分泌物可以分布到距离根外10mm处;植物营养生长期释放到土壤的有机碳可占光合作用固定碳的20%<sup>[7]</sup>。在植物生长过程中,土壤有机质一方面矿化分解,另一方面由于植物残体和根系分泌物的转化,形成新的有机质。新的有机质形成量超过土壤有机质的矿化量时,土壤成为 $\text{CO}_2$ 汇,同时由于土壤有机质组成的改变,对土壤肥力产生影响。

虽然放射性同位素 $^{14}\text{C}$ 标记方法克服了传统方法的不足,但实验周期较长、且只能标记平均存留时间短的有机质组分,由于人们对其放射性的关注意识增加,进入80年代以来,研究者趋于使用稳定性同位素 $^{13}\text{C}$ 进行标记<sup>[2, 23]</sup>。虽然 $^{13}\text{C}$ 标记技术相对来说还较年轻,但从已有有限的研究资料来看其优越性已经显示出来。 $\delta^{13}\text{C}$ 方法是近年来用于农田碳循环研究的一种新方法,该方法除了具有 $^{14}\text{C}$ 标记法的优点外,还具有无放射性、相对经济、在实验地采样后直接进行研究等特殊优点。 $\delta^{13}\text{C}$ 自然丰度技术也有不足之处,材料 $\delta^{13}\text{C}$ 含量较低, $\text{C}_3$ 植物植株 $\delta^{13}\text{C}$ 自然丰度平均为-2.6‰, $\text{C}_4$ 植物为-1.2‰,其灵敏度以及结果的重现性等远比不上 $^{13}\text{C}$ 标记技术<sup>[24-25]</sup>。 $^{13}\text{C}$ 标记技术,除了具有 $^{14}\text{C}$ 标记方法和 $\delta^{13}\text{C}$ 方法优点外,不足之处是研究成本较高,所以人们很少采用 $^{13}\text{C}$ 标记技术来研究土壤有机质。沈其荣等认为,如果用 $^{13}\text{C}$ 标记来研究农田碳循环,这将对阐明土壤碳转化过程及土壤肥力演变过程带来新的技术革命。

#### 参考文献:

- [1] Gregorich E G, Ellert B H, Monreal C M. Turnover of soil organic matter and storage of corn residue carbon estimated from natural  $^{13}\text{C}$ [J]. Canada Journal of Soil Science, 1995, 75: 161-167.
- [2] Schlesinger W H. Carbon balance in terrestrial detritus[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1997, 8: 51-81.

- [3] Fang C, Moncrieff J B, Gholz H L, et al. Soil CO<sub>2</sub> efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation[ J ]. Plant and Soil, 1998, 12: 135-146.
- [4] Tinker P B, Nye P. Solute movement in the Rhizosphere [ M ]. Oxford: Oxford University Press, 2000.
- [5] Cud EA, Truelove B. The Rhizosphere[ M ]. New York: Springer Verlag, 1986.
- [6] Farrar J F, Jones D L. The control of carbon acquisition by roots[ J ]. New Phytol, 2000, 147: 43-53.
- [7] Hanson P J, Edwards N T, Garten C T, et al. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observation[ J ]. Biogeochemistry, 2000, 48: 115-146.
- [8] Lerouge P. Symbiotic host-specificity between leguminous plants and rhizobia is determined by substituted and acylated glucosamine oligosaccharide signals[ J ]. Glycobiology, 1999 (4): 127-134.
- [9] Merbach W, Mirus E, Knof G, et al. Release of carbon and nitrogen compounds by plant roots and their possible ecological importance[ J ]. J Plant Nutr Soil Sci., 1999, 162: 373-383.
- [10] 贾内瑞, 周广胜, 王凤玉, 等. 土壤微生物与根系呼吸作用影响因素分析[ J ]. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1547-1552.
- [11] Berntson G M, Bazzaz F A. Belowground positive and negative feedbacks on CO<sub>2</sub> growth enhancement[ J ]. Plant Soil, 1996, 187: 119-131.
- [12] Groleau-Renaud V, Plantureux S, Guchert A. Influence of plant morphology on root exudation of maize subjected to mechanical impedance in hydroponic conditions[ J ]. Plant soil, 1998, 201: 231-239.
- [13] 杨兰芳, 蔡祖聪. 玉米生长和施氮水平对土壤有机碳更新的影响[ J ]. 环境科学学报, 2006, 26(2): 280-286.
- [14] Keith H, Oades J M, Martin J K. Input of carbon to soil from wheat plants[ J ]. Soil Biol Biochem, 1986, 18: 445-449.
- [15] Wood C W, Wesfall D G, Peterson G A. Soil carbon and nitrogen changes on initiation of no-till cropping systems[ J ]. Soil Sci Soc Am J, 1991, 55: 470-476.
- [16] Kuzyakov Y, Kretschmar A, Stahr K. Contribution of Lolium perenne rhizodeposition to carbon turnover of pasture soil. [ J ]. Plant Soil, 1999, 213: 127-136.
- [17] Swinnen J, Van veen J A, Merckx R. <sup>14</sup>C pulse-labelling of field-grown spring wheat: An evaluation of its use in rhizosphere carbon budget estimations[ J ]. Soil Biol Biochem, 1994, 26: 161-170.
- [18] Merbach W, Knof G, Augstin J, et al. Eco-physiology interrelations between plant and soil[ M ]. //Muhle H, Ckayse S. Reaction Behavior of Agrarian Ecological Systems of Homogeneous Areas. Leipzig: Teubner Verlag, 1996: 198-207.
- [19] Warembourg F R, Billes G. Estimating carbon transfers in the plant rhizosphere[ M ]. //Harley J L, Russel R S, eds. The Soil-Root Interface. London: Academic Press, 1979: 183-196.
- [20] Todorovic C, Nguyen C, Robin C, et al. Root and microbial involvement in the kinetics of <sup>14</sup>C-partitioning to rhizosphere respiration after a pulse labelling of maize assimilates[ J ]. Plant Soil, 2001, 215: 179-189.
- [21] Nguyen C, Todorovic C, Robin C, et al. Continuous monitoring of rhizosphere respiration after labelling of plant shoots with <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>[ J ]. Plant Soil, 1999, 212: 191-201.
- [22] Balesdent J, Marloti A, Guillet B. Natural <sup>13</sup>C abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics[ J ]. Soil Biol Biochem, 1987, 19: 25-30.
- [23] 朱书法, 刘丛强, 陶发祥. <sup>δ13</sup>C 方法在土壤有机质研究中的应用[ J ]. 土壤学报, 2005, 42(3): 495-503.
- [24] 沈其荣, 殷士学, 杨超光, 等. <sup>13</sup>C 标记技术在土壤和植物营养研究中的应用[ J ]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(1): 98-105.
- [25] 于贵瑞, 王绍强, 陈泮勤, 等. 碳同位素技术在土壤碳循环研究中的应用[ M ]. 地球科学进展, 2005, 20(5): 568-577.

## TFC 系列土壤化肥速测仪

### QSY 凯氏定氮仪

北京强盛分析仪器制造中心是国家投资、团中央创办的高新技术企业(0120663F), 中心技术力量雄厚, 产品自 1993 年至今一直被列入农业部推广项目。

仪器每次可同时测试多个样品, 几滴药水十几分钟即可快速测定土壤、肥料、植株中氮、磷、钾、有机质、酸碱度、可溶性盐、腐质酸含量, 识字即可操作, 成本不到一元钱, 田间地头随处可用。2004 年最新开发的 203 系列产品, 大屏幕液晶中文菜单显示操作流程、测试状态、测试结果, 可直接打印测试数据; 仪器留有“升级”串行接口, “升级”后可以与计算机连接, 并安装《土壤测试及配方施肥系统》软件, 在计算机上对几十种农作物进行配方施肥计算, 将结果存档、打印、发送电子邮件, 实现信息化管理。另有 TFC-ZNS 型、1B 系列土肥测试仪。

凯氏定氮仪采用国际通用凯氏法主要测定土壤植株中氮含量。

该中心设有技术培训部, 专家咨询热线, 常年免费讲授测土配肥技术, 随到随学, 有专人负责售后服务。产品终身维修, 自售出之日起一年内有质量问题以旧换新。

通讯地址: 北京市前门东大街前门外国语学校内

(团中央大楼西侧)

办公地址: 北京市前门东大街甲 12 号

邮编: 100051 网址: www.qstry.com

电话: (010)67033803 67025912

传真: (010)65114456

