

中国东部主要农田土壤有机碳库的 平衡与趋势分析*

李忠佩 林心雄 车玉萍

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要 根据田间测定的有机物料腐殖化系数和土壤有机碳矿化量结果, 以及统计测算的有机物质进入量, 分析了中国东部主要农业区农田土壤有机碳库的平衡状况, 并对其作为大气 CO₂ 的源汇功能进行了初步评价。结果表明, 各农业区农田土壤有机物料腐殖化系数的变化趋势为: 松嫩平原(作物秸秆 0.37, 作物根 0.47, 绿肥 0.26, 粪肥 0.54) > 红壤丘陵区(相应值为 0.28, 0.45, 0.25, 0.42) > 下辽河平原(相应值 0.35, 0.39, 0.22, 0.33) > 黄淮海平原(相应值 0.25, 0.32, 0.18, 0.27)。各区间的腐殖化系数并不随气候而呈规律性变异, 而主要是环境因子综合作用的结果, 特别是土壤性质有显著影响。现实有机物质进入量条件下, 各农业区农田土壤有机碳年形成量分别为: 松嫩平原 538.0 kg hm⁻², 下辽河平原 679.7 kg hm⁻², 黄淮海平原 760.7 kg hm⁻², 红壤丘陵区 1 059.7 kg hm⁻²; 农田土壤有机碳年矿化量分别为: 松嫩平原 905.3 kg hm⁻², 下辽河平原 723.5 kg hm⁻², 黄淮海平原 723.1 kg hm⁻², 红壤丘陵区 782.9 kg hm⁻²。因此, 松嫩平原黑土的有机碳库处于亏缺状态, 土壤有机碳含量还将下降, 并向大气释放 CO₂; 红壤水稻土的有机碳库处于盈余状态, 土壤有机碳含量还将不断提高, 是大气 CO₂ 的汇; 下辽河平原棕壤和黄淮海平原潮土的有机碳库基本保持平衡, 施用有机物料的主要作用在于改善养分循环水平。

关键词 东部, 农田土壤, 有机碳库, 平衡

中图分类号 S153.6

土壤有机碳库的循环与平衡状况是系统稳定性和持续性的重要标志, 与大气 CO₂ 含量变化也有密切关系^[1]。研究农田生态系统条件下土壤有机碳库平衡的状况和条件, 对于正确评价农田土壤的肥力及演变趋势, 调控有机物质的分配去向, 制订合理可行的保持农业持续发展的管理措施等都具有重要的理论与实践意义。

土壤有机碳库的平衡状况由土壤有机质形成量和矿化量的相对大小决定。在田间条件下, 这些过程受气候条件、土壤性质、利用方式、耕轮作制度等人为和自然诸多因素的综合影响^[2, 3], 有些因素的影响目前尚不十分明确^[4, 5], 特别是对于土壤有机碳的矿化量, 由于技术和实际操作上的局限性, 田间条件下的试验数据还较少^[6]。因此, 对于地域跨度较大的不同地区, 由于气候、土壤性质、作物种类以及人为活动的强度和频度等的显著差别, 有机物料分解转化的控制因子各异, 要正确确定田间条件下土壤有机质的形成量和矿化

* 国家自然科学基金重大项目(39899370)和国家重点基础研究规划项目(G1999011805)资助

收稿日期: 2001-09-04; 收到修改稿日期: 2001-11-30

量,评价土壤有机碳库的平衡状况,还需要进行进一步的试验研究。

中国东部地区从北到南,跨纬度 30 度,气候类型从温带、暖温带到亚热带,年均温从 1℃到近 20℃,年降雨量从 500mm 到近 2 000mm,土壤类型复杂,土壤性质差异巨大,耕作制度从一年一熟到一年三熟,轮作制度、作物品种以及管理水平等都有显著不同。各区域之间土壤有机质的形成量、矿化量以及土壤有机碳库的平衡状况可能有巨大差别,在土壤肥力的演变趋势及作为大气 CO₂ 的源汇功能上有显著不同的表现。目前,虽有一些土壤有机质分解积累的定点小区试验^[7,8],但由于大多是在控制条件下进行,试验处理比较单一,试验的时间较短,所得到的结果与区域状况可能有较大的差距,尚不能反映东部较大区域跨度上土壤有机碳库的平衡状况及变化特点。

本文通过试验研究,分析和评价中国东部主要农业类型区农田土壤有机碳库的循环和平衡状况,并对其在作为大气 CO₂ 源汇功能上的作用进行初步评估。

1 研究区域自然概况

所选定的四个研究区域,在地域跨度、气候、土壤、轮作制度和农作传统上都有显著特点,代表了中国东部地区主要的农业和土壤类型。各研究区域的自然和农业利用概况如表 1 所示。表 1 还列出了与有机碳循环转化关系最密切的气候和土壤性质条件。

表 1 研究区域的自然概况

Table 1 Natural conditions of the research areas

研究区域 Research area	纬度 Latitude (N)	气候 类型 Type of climate	年均温 Annual mean tempera- ture (℃)	年降 雨量 Annual mainfall (mm)	轮作制 Rotation system	典型农 田土壤 类型 Typical soil type in farmland	土壤 pH Soil pH	粘粒 (< 0.002mm) 含量 Clay (< 0.002mm) content (g kg ⁻¹)	粘土 矿物 Type of clay mineral
松嫩平原	45°~ 50°	温带半 湿润区	1~ 2	500~ 600	一年 一熟	黑土	5.5~ 6.5	300~ 350	水云母
下辽河平原	40°~ 43°	暖温带 半湿润 区	5~ 9	600~ 700	一年 一熟	棕壤	6~ 7	130~ 180	水云母、 蛭石
黄淮海平原	33°~ 38°	暖温带 半湿润 区	12~ 14	550~ 650	一年 两熟	潮土	8~ 9	100~ 150	水云母、 蒙皂石
红壤丘陵区	25°~ 30°	中亚热 带湿润 区	16~ 20	1 700~ 1 900	一年两 熟或三 熟	红壤性 水稻土	5~ 6	200~ 250	高岭石

2 材料与方法

要评价土壤有机碳库的平衡状况,就需获得一定时间段内土壤有机质的形成和矿化量。从农田生态系统的稳定性和农作周期性上来考虑,以一年的时间跨度确定各循环过程的参数是比较合适的。土

壤有机质的形成量由有机物料的进入量和分解速率决定, 有机物料碳在分解一年后的残留量称为腐殖化系数。土壤有机质矿化量由土壤有机质含量和矿化速率决定。

2.1 有机物料分解的腐殖化系数

腐殖化系数的测定常用砂滤管法或尼龙袋法进行^[9, 10]。在本项研究中, 北方地区(松嫩平原、下辽河平原、黄淮海平原)旱地主要用尼龙袋法, 南方地区(红壤丘陵区)水田主要用砂滤管法。有机物料的加量为 40g kg^{-1} 。称取相当于 100g 烘干重的风干土与相当于 4g 烘干重的物料, 充分混匀后装入尼龙袋或砂滤管内并封口。然后将尼龙袋或砂滤管埋入田间表土下 $5\sim 10\text{cm}$ 处。每一处理重复 3 次。腐解一年后, 按计划取出各处理砂滤管(或尼龙袋), 管内样品经低温烘干、磨细后, 供分析用。

2.2 土壤有机质矿化量

根据氮通量的质量平衡原理, 通过田间布置无氮肥区试验, 测定和估算土壤有机质的矿化量^[11]。在各研究区域里, 选择有代表性的田块, 布置施磷钾肥、不施氮肥的无氮肥小区试验, 小区面积 $30\sim 60\text{m}^2$ 。在一年的时间周期里, 按当地代表性轮作制度种植作物, 作物收获后, 测定各部位生物量和含氮量, 计算作物吸氮总量。再根据各地区降水、灌溉水、种子、作物非共生固氮等进入的氮量以及渗漏、径流、反硝化等损失的氮量对作物总吸氮量进行校正, 得到土壤有机氮的矿化量, 进而根据土壤有机碳/有机氮比值计算土壤有机碳的矿化量。由于作物生长在空间和时间上的波动性, 为使结果具有代表性, 需在不同年份和田块上进行多点试验, 试验个数至少 $5\sim 10$ 个。

2.3 有机物质的现实进入量估算

由于各区域在生产传统、作物种类和轮作制度以及生产力水平上的不同, 每年实际进入土壤的有机物质质量有明显差别, 际间也有极大的差异, 只能根据一般情况作出近似估算。

根茬量和秸秆还田量, 主要类型作物的籽实 秸秆 根茬量的比例为^[12]: 玉米, $1: 1.2: 0.35$; 小麦, $1: 1.4: 0.4$; 水稻, $1: 0.9: 0.3$ 。据此并参照农业统计年鉴的产量数据^[13], 计算各区平均的根茬量和秸秆量, 再根据各地对秸秆的实际利用情况, 计算秸秆还田量。

家畜粪肥按 1988~ 1998 年各地区牲畜饲养的数量^[13], 参照有关牲畜粪便年排放量数据计算排放总量^[14], 再按实际利用率为 70% ^[15], 并参照农业统计年鉴的耕地面积^[13], 计算单位耕地面积的粪肥进入量。其它如人粪尿、土杂肥、草木灰等, 或者实际进入大田的量很少, 或者由于各地积制过程的差异使其含碳量变化很大, 很难准确估计实际进入农田的总碳量。因此在进行计算时, 有机肥一项只考虑家畜粪肥。

北方冬季封冻季节, 绿肥不能生长; 南方近年绿肥面积仅占耕地的 20% 左右, 鲜草产量也很低, 每 hm^2 为 $4\ 500\sim 7\ 500\text{kg}$, 因此在估算有机物质的进入量时, 不考虑这部分结果。

2.4 分析方法

土壤和有机物料中的有机碳用丘林法^[16], 全氮用开氏法^[16]。

3 结果分析

3.1 农田土壤中主要有机物料的腐殖化系数

3.1.1 有机物料的腐殖化系数 不同地区气候、土壤和作物种类上的差异, 直接影响着有机物料的分解转化。试验结果表明(表 2), 不同种类的有机物料, 腐殖化系数的高低呈如下次序: 绿肥 < 作物秸秆 < 作物根或厩肥。而处于不同生物气候带的各研究区域, 由北往南, 腐殖化系数并不随气候而呈规律性的变异。作物残体地上和地下部分的腐殖化系数有明显差异, 反映了物料化学组成(木质素含量)对分解的影响; 同一作物残体的腐殖化系数, 在不同地区土壤中的变异, 则反映了各环境条件因子的综合作用。

在各研究区域农田土壤中测定得到的有机物料的腐殖化系数,是各种因素综合作用的结果。从总的情况来看,各研究区域农田土壤中有机物料的腐殖化系数变异有如下趋势:松嫩平原> 红壤丘陵区> 下辽河平原> 黄淮海平原。以往的研究认为红壤丘陵区由于水热条件丰富,有机物料的分解速率较快^[17]。但从目前已经获得的大量试验结果看,由于红壤粘粒含量高,酸度大等,极大地抑制了有机物料的分解^[8]。而松嫩平原的土壤,则还因气温低,有机物料的分解速率较慢。黄淮海平原与红壤丘陵区相比,虽然降雨量较少,年均温较低,但质地砂性、pH 中偏碱性的土壤条件适宜有机物料的分解转化^[18]。因此,可以看出,除了年均温很低的东北地区,中国东部其它地区农田土壤中有机物料的分解速率主要受土壤性质的影响。

在进行试验时,同一类型的物料包含不同的作物种类,如北方旱地作物的秸秆和根,包括玉米、高粱、小麦、大豆、小米等,因此,试验得到的腐殖化系数有个别结果偏离较大,但在一个区域里同一类型物料其腐殖化系数的变异系数在 20% 以下,表明物料虽来自不同作物,基本可以按秸秆、根、绿肥、粪肥归类,在同一类型区内,物料分解主要受土壤性质控制,通过多点试验可得到代表类型区的实际情况的结果。

表 2 各研究区域农田土壤中有机物料的腐殖化系数

Table 2 Humification coefficients of organic materials in arable soils of research areas

研究区域 Research area	作物秸秆 Crop straw		作物根 Crop roots		绿肥 Green manure		粪肥 Livestock manure	
	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean
松嫩平原	0.32~0.50	0.37±0.06	0.40~0.51	0.47±0.05	0.20~0.31	0.26±0.04	0.50~0.58	0.54±0.04
下辽河平原	0.27~0.49	0.35±0.06	0.26~0.53	0.39±0.09	0.16~0.37	0.22±0.08	0.18~0.40	0.33±0.06
黄淮海平原	0.19~0.30	0.25±0.04	0.23~0.39	0.32±0.07	0.16~0.20	0.18±0.02	0.26~0.29	0.27±0.02
红壤丘陵区	0.22~0.34	0.28±0.04	0.41~0.52	0.45±0.05	0.15~0.33	0.25±0.05	0.33~0.45	0.42±0.06

3.1.2 单位重量有机物料形成的土壤有机质量 在一年时间里,单位重量有机物料形成的土壤有机质量多少,取决于有机物料的含碳量及其腐殖化系数。从测定结果比较表明(李忠佩,未刊资料),不同有机物料的含碳量差异较大,但不同类型区之间同一类型有机物料的有机碳含量在一个较小的范围内变动,因此,根据实际测定结果,按作物秸秆、作物根、绿肥、粪肥归类求得有机碳平均含量,分别约为 430g kg^{-1} 、 350g kg^{-1} 、 420g kg^{-1} 、 360g kg^{-1} ,据此计算单位重量有机物料形成的土壤有机质量,结果见表 3。由于作物根、粪肥有机碳含量低于秸秆和绿肥,因此,单位作物根、粪肥、秸秆、绿肥腐解形成的土壤有机质量的差异要小于其本身腐殖化系数的差异。

表 3 每 100 kg 有机物料每年所能形成的土壤有机碳量(kg)

Table 3 Soil organic C(kg)annually formed from decomposition of 100kg organic materials

研究区域 Research area	作物秸秆 Crop straw		作物根 Crop roots		绿肥 Green manure		粪肥 Livestock manure	
	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean
	松嫩平原	13.8~ 21.5	15.9	14.0~ 17.9	16.5	8.4~ 13.0	10.9	18.0~ 20.9
下辽河平原	11.6~ 21.1	15.1	9.1~ 18.6	13.7	6.7~ 15.5	9.2	6.5~ 14.4	11.9
黄淮海平原	8.2~ 12.9	10.8	8.1~ 13.7	11.2	6.7~ 8.4	7.6	9.4~ 10.4	9.7
红壤丘陵区	9.5~ 14.6	12.0	14.4~ 18.2	15.8	6.3~ 13.9	10.5	11.9~ 16.2	15.1

3.2 农田土壤有机质的矿化量

为了对作物吸氮总量进行校正而获得有机氮的矿化量,需考虑除土壤有机氮矿化以外的其它来源和去向。降雨、非共生固氮、种子(秧苗)等带入的氮根据有关文献资料结果^[19~21],针对各类型区的具体情况而定。而根据有关资料^[16,19],灌溉水带入的氮大体和渗漏、径流、反硝化损失(或铵挥发)带走的氮相当。又从以往的试验结果(车玉萍,未刊资料),黄淮海平原上作物从土壤中吸收的氮有 48.7% 未知来源。此外,各类型区土壤固定态铵含量显著不同^[22,23],还需根据其占全氮比例计算有机 C/有机 N 比值。

在同一类型区里,作物年吸氮量的结果变异较大,最高值比最低值高出一倍以上。这是因为在一个区域内土壤有不同肥力水平和年际间作物长势差异的结果,根据多点试验测定结果并取其平均值是能符合实际的。

结果表明(表 4),中国东部主要农业类型区农田土壤有机碳年均矿化量有如下趋势:松嫩平原>红壤丘陵区>下辽河平原≥黄淮海平原。但从另一方面,松嫩平原黑土和红壤水稻土表层土壤的有机碳含量(分别为 27 g kg^{-1} 和 15 g kg^{-1} ,第二次土壤普查结果)显著高于下辽河平原棕壤和黄淮海平原潮土(分别为 9 g kg^{-1} 和 5 g kg^{-1} ,第二次土壤普查结果),因此,粗略计算各类型区农田土壤有机碳年均矿化率的变化趋势是:黄淮海平原(6.4%)>下辽河平原(3.6%)>红壤丘陵区(2.3%)>松嫩平原(1.5%)。这与有机物料在各类型区农田土壤中分解速率的变化趋势相同。

表 4 各研究区域农田土壤有机碳的矿化量

Table 4 The mineralization amount of organic carbon in arable soils of research areas

研究区域 Research area	典型作物 Typical crop	作物年吸 N 量 Annual amount of N uptaken by crop (kg hm^{-2})		土壤有机氮年 均矿化量 Annual amount of soil organic N	土壤有机 C/有机 N Ratio of soil organic C to organic N		土壤有机碳 年均矿化量 Annual amount of soil organic C
		范围 Range	平均 Mean	mineralization (kg hm^{-2})	范围 Range	平均 Mean	mineralization (kg hm^{-2})
		松嫩平原	玉米或小麦	68.6~ 136.8	100.6	73.6	10.6~ 14.3
下辽河平原	玉米或高粱	57.5~ 169.5	92.5	60.8	9.2~ 14.7	11.9	723.5
黄淮海平原	小麦 玉米	77.8~ 276.1	166.7	61.8	10.0~ 14.7	11.7	723.1
红壤丘陵区	双季稻	63.8~ 160.1	115.8	64.7	10.4~ 14.2	12.1	782.9

3.3 有机物质的进入量及土壤有机质形成量

3.3.1 根茬和秸秆量及现实可能还田量 根据近 10 年来产量结果和秸秆/籽粒比计算^[13], 松嫩平原玉米、小麦的年均秸秆量分别为 5 800(±949) kg hm⁻²和 3 527(±497) kg hm⁻², 当地一般将相当于小麦秸秆量的 30% 还田, 则现实可能还田秸秆量为 1 399(±217) kg hm⁻²; 玉米秸秆多作为生活燃料, 实际回到大田的量较少。下辽河平原玉米的年均秸秆量为 6 472(±1 182) kg hm⁻², 通过直接或间接还田的秸秆量约占秸秆总量的 25% 还田, 则现实可能还田秸秆量为 1 618(±296) kg hm⁻²。黄淮海平原玉米、小麦的年均秸秆量为 555(±535) kg hm⁻²和 5 264(±640) kg hm⁻², 根据实际情况, 该区一般直接或间接将小麦秸秆的 50% 还田, 因此, 现实可能还田秸秆量为 2 632(±320) kg hm⁻²。红壤丘陵的双季稻作区, 早晚两季稻的年均秸秆量为 8 828(±595) kg hm⁻², 该区传统上习惯将早稻秸秆的 50%~70% 回田作为晚稻的基肥, 因此, 现实可能还田秸秆量为 2 778(±178) kg hm⁻²。

根据籽实/根茬比例计算得到的根茬进入量为: 松嫩平原 1 350(±209) kg hm⁻², 下辽河平原 2 265(±414) kg hm⁻², 黄淮海平原 3 008(±339) kg hm⁻², 红壤丘陵区 2 943(±198) kg hm⁻²。

3.3.2 家畜粪肥的可能进入量 根据 1988~1998 年各类型区主要牲畜(牛、猪、羊)的存栏数和出栏数^[13], 参考有关牲畜粪便年排放量(干物质)结果^[14]: 牛为 819kg, 猪为 85.5kg, 马为 890.4kg, 按实际利用率为 70%^[15], 计算得到单位面积耕地上粪肥的年均进入量: 松嫩平原为 499(±168) kg hm⁻², 下辽河平原为 936(±229) kg hm⁻², 黄淮海平原为 1 517(±338) kg hm⁻², 红壤丘陵区为 2 091(±318) kg hm⁻²。

综上所述, 在现实条件下, 中国东部地区由于轮作制度、生产力水平、秸秆利用率以及家畜饲养量上的差异, 每年进入土壤的有机物质的数量在区域间的差异甚至可达到 2.5 倍以上, 从这一点上说, 人为活动是影响不同区域土壤有机质形成量差异的重要因素。

表 5 各研究区域农田土壤中有机物质的现实可能进入量

Table 5 Realistic input of organic matter to arable lands of research areas

研究区域 Research area	根茬年进入量 Annual amount of crop roots and stubble returned to soil (kg hm ⁻²)	秸秆量(kg hm ⁻²) Annual amount of crop straw		粪肥年进入量 Annual amount of livestock manure returned to soil (kg hm ⁻²)	有机物质年进入总量 Total amount of organic material annually returned to soil (kg hm ⁻²)
		秸秆总量 Total amount of crop straw	现实可能年进入量 Realistic amount of crop straw annually returned to soil		
松嫩平原	1 350±209	4 664±723	1 399±217	499±168	3 248±594
下辽河平原	2 265±414	6 472±1 182	1 618±296	936±229	4 819±939
黄淮海平原	3 008±339	10 419±1 175	2 632±320	1 517±338	7 157±997
红壤丘陵区	2 943±198	8 828±595	2 778±178	2 091±318	7 812±694

3.3.3 不同有机物质进入量方案下土壤有机质的年形成量 在田间情况下, 有机物质的进入量可能有三种情况: 一是将秸秆全部还田; 二是部分还田, 如上所述, 还田比例视各地情况而有很大不同; 另外一种情况是完全不施有机肥(包括秸秆和粪肥)。在中国农业发展不同阶段的施肥制度变革过程中, 曾出现过以上三种有机肥施用情况^[24, 25]; 而且, 目

前在各类型区的具体实践中, 也存在这三种情况^[26]。三种进入量方案下各类型区土壤有机质年形成量的结果列于表 6。结果表明, 秸秆全部还田和完全不施有机肥情况下, 红壤丘陵区土壤有机质的年形成量比松嫩平原高 69% 和 87%, 而现实进入量情况下, 对应值为 97%。这表明, 人为活动影响的有机物质分配对土壤有机质的形成量有显著作用。

表 6 不同有机物质进入量方案下土壤有机碳的年形成量及盈亏状况

Table 6 Soil organic C annually formed and the profit or loss of the C pool under different scenarios of input of organic materials in research areas(kg hm⁻²)

研究区域 Research area	秸秆全部还用(A) Returning all crop straw to soil	现实进入量(B) Realistic amount of organic matter annually returned to soil	完全不施有机肥 (C) No organic materials applied to soil	不同进入量方案下土壤有机碳库 的盈亏状况 ¹⁾ Profit or loss of soil organic carbon pool under different scenario of organic material input		
				A	B	C
松嫩平原	1 057.5 ± 181.5	538.0 ± 101.0	218.4 ± 33.8	152.2	-367.3	-686.9
下辽河平原	1 410.3 ± 264.5	679.7 ± 139.5	325.0 ± 59.4	686.8	-43.8	-398.5
黄淮海平原	1 597.8 ± 167.1	760.7 ± 104.5	330.3 ± 37.2	874.7	37.6	-392.8
红壤丘陵区	1 788.1 ± 147.2	1 059.7 ± 97.0	409.1 ± 27.5	1 005.2	276.8	-373.8

1) 指土壤有机质形成量与矿化量之差

4 讨论

4.1 中国东部主要农田土壤有机碳库的平衡状况及演变趋势

从试验结果的分析可知(表 6), 现实情况下, 下同类型区农田土壤有机碳库由于输入输出水平的差异, 其平衡状况明显不同。

北方黑土区, 虽然土壤有机质的矿化速率和有机物料的分解速率均较慢, 但由于本身土壤有机碳库的库量水平较高, 在现代农作条件下, 特别是在种植玉米等藁秆作物的情况下, 作物秸秆大量移出土壤系统, 导致有机质的形成量小于矿化量, 有机碳库呈亏缺状态。要使土壤有机碳库保持平衡, 则每年施入土壤的有机物质数量应该达到 4 225 kg hm⁻²(秸秆) 或 3 458 kg hm⁻²(粪肥), 该值相当于秸秆总量的 90%, 由于北方寒冷地区必需有相当比例的秸秆作为燃料, 因此要达到这样的秸秆还田量可能性不大, 预计在未来一定时间内土壤有机碳库仍处亏缺状态, 土壤有机碳含量呈下降趋势。

红壤地区土质粘重和酸度较高, 有机物料的分解速率和土壤有机质的矿化速率并不快, 而在双季稻作条件下, 根茬以及秸秆归还量较大, 土壤有机碳库呈盈余状态。粗略计算, 若按现在的有机物质进入量水平, 达到平衡状态时表层土壤有机碳含量平均为 19 g kg⁻¹, 比当前水平约高 25%。目前, 红壤旱地有机碳含量较低且长年得不到提高, 除了不合理利用导致侵蚀损失是重要因素外, 最根本的是因为管理利用水平低, 有机物质的进入量少所致。研究表明^[27], 一般旱地红壤目前有机物质的年进入量仅为 970~ 2 200 kg hm⁻²。因此, 寻求合理可行的提高有机物质进入量的措施, 是改善旱地红壤碳库循环水平和土壤肥力的根本途径。

下辽河平原和黄淮海平原,土壤有机碳库基本处于平衡状态,在现在施用量水平下,土壤有机碳含量将保持稳定。有机肥料施用的主要作用在于改善土壤的养分状况。

研究表明,黑土开垦利用的头 10 年,有机碳含量从 120 g kg^{-1} 降到 70 g kg^{-1} ; 20 ~ 30 年,降到 $40 \sim 50 \text{ g kg}^{-1}$; 开垦 50 年后,降到 $30 \sim 40 \text{ g kg}^{-1}$, 并进入基本稳定阶段^[28]; 这一动态变化进程从一方面说明黑土有机碳含量目前可能仍处下降阶段。而红壤丘陵区, 仅以江西省为例^[29], 第二次土壤普查与第一次土壤普查相比, 稻田土壤有机质含量提高了 11.3 g kg^{-1} , 虽然由于前后两次土壤普查在采样点和样品个数等上的不完全一致, 导致结果不一定完全可比, 但这种明显增加的趋势是肯定的。下辽河平原近期采样分析的结果与第二次土壤普查结果没有明显变化^[30, 31], 而黄淮海平原土壤有机质含量 30 年来基本保持稳定^[32]。所有这些都是不同类型区农田土壤有机碳库平衡状况的现实反映。

4.2 中国东部主要农田土壤作为大气 CO₂ 源汇的功能分析

从试验结果可以知道(表 6), 如果有机物料全部还田, 则所有类型区农田土壤的有机碳库均呈盈余状态。但土壤有机碳库能否继续增长并固持较多的大气 CO₂, 除取决于有机物质的进入量外, 还取决于土壤有机碳库的饱和状态。下辽河平原的棕壤和黄淮海平原的潮土, 粘粒含量较低, 对有机物质的保护能力较弱, 因此, 即使有机物质的归还量有很大的增加, 随之增加的可能只是进入大气的 CO₂, 土壤有机碳库增加的幅度有限。对河南封丘县的研究结果表明(车玉萍, 未刊资料), 1990 年耕地土壤有机物质的进入量比 1980 年增加了近一倍, 而同一时期土壤有机碳含量的增加量却十分有限。现实情况下, 近一二十年来黄淮海平原作物产量和农业生产水平有较大幅度提高, 但潮土有机质含量却保持相对稳定, 基本上是在 10 g kg^{-1} 左右。因此, 可以推断, 即使未来有机物质的进入量有较大幅度提高, 下辽河平原棕壤和黄淮海平原潮土的有机碳含量也将保持稳定, 土壤有机碳库处于平衡状态, 对大气 CO₂ 来说, 既不是源也不是汇。

松嫩平原黑土, 土壤有机碳库仍将处于亏缺状态, 土壤有机碳含量还会下降, 并向大气释放 CO₂。

而红壤水稻土, 粘粒含量高, 对有机物质的保护能力强^[33, 34], 在有机物质进入量增加的情况下, 土壤有机碳库可望还能有较大幅度的增长, 特别是旱地红壤, 目前的土壤有机碳库远未达到饱和水平。因此, 从现实和未来可能性分析, 红壤区土壤可能是大气 CO₂ 的汇, 通过本区土壤资源的合理利用, 包括瘠薄土壤的开垦利用以及中低产田地的改良, 将大幅度提高土壤固持大气 CO₂ 的能力, 对减缓大气 CO₂ 增高发挥重要作用⁸。

总之, 中国东部地区由于气候、土壤、作物轮作制度、农业生产水平以及传统的有机物质利用习惯上的差异, 区域水平上农田土壤有机碳库的循环和平衡状况明显不同, 应当有针对性地制定切实可行的有机物质分配和利用的具体措施, 保持和提高农田土壤有机碳库及养分的循环和平衡水平。

参 考 文 献

1. Mosier A R. Soil processes and global change. *Biology and fertility*, 1998, 27(3): 221~ 229
2. Parton W J, Schimel D S, Cole C V, *et al.* Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1987, 51: 1173~ 1179

3. 林心雄, 文启考, 程励励, 等. 土壤中有有机物质分解的控制因素研究. 土壤学报, 1995, 32(增刊2): 41~ 48
4. Jenkinson D S. Studies on the decomposition of plant materials in soils. V. the effects of plant cover and soil type on the loss of C from ^{14}C labelled ryegrass decomposing under field conditions. J. Soil Sci., 1977, 28: 424~ 434
5. Sun B, Lin X X. Effects of soil texture and CaCO_3 on turnover of organic materials in Chao soil. Pedosphere, 1993, 3(2): 133~ 144
6. Xu X C, Zhang J H, Tong G L, *et al.* Calculating by approximate method the amount required to increase soil fertility. In: Current Progress in Soil Research in People's Republic of China. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1986. 189~ 196
7. 车玉萍, 林心雄. 潮土中有有机物质的分解与腐殖质的积累. 核农学报, 1995, 9(2): 95~ 101
8. Li Z P, Cheng L L, Lin X X. Accumulation of organic matter in infertile red soils and its ecological importance. Pedosphere, 2000, 10(2): 149~ 158
9. 林心雄. 田间条件下植物残体分解速率(和腐殖化系数)的测定. 见: 文启考主编. 土壤有机质研究法. 北京: 农业出版社, 1984. 285~ 295
10. 林心雄, 吴顺龄, 车玉萍. 干旱和半干旱地区测定有机物分解速率的尼龙袋法. 土壤, 1992, 24(6): 315~ 318
11. 林心雄. 中国土壤有机质状况及管理. 见: 沈善敏主编. 中国土壤肥力. 北京, 中国农业出版社, 1998. 111~ 159
12. 沈善敏. 农业系统中碳与主要营养元素循环及中国农田土壤养分收支. 见: 沈善敏主编. 中国土壤肥力. 北京: 中国农业出版社, 1998. 57~ 110
13. 何康, 刘中一, 刘江主编. 中国农业统计年鉴(1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998). 北京: 农业出版社, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998. 14. 鲁如坤, 史陶均编著. 农业化学手册. 北京: 科学出版社, 1982
15. 鲁如坤. 江西省农田养分循环和平衡. 见: 中国科学院红壤生态实验站编. 红壤生态系统研究(第一集). 北京: 科学出版社, 1992. 27~ 32
16. 文启考主编. 土壤有机质研究法. 北京: 农业出版社, 1984
17. 李庆远主编. 中国红壤. 北京: 科学出版社, 1983
18. Van Veen J A, Ladd J N, Amato M. Turnover of carbon and nitrogen through the microbial biomass in a sandy loam and a clay soil incubated with ^{14}C U-glucose and ^{15}N $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ under different moisture regimes. Soil Biology and Biochemistry, 1985, 17: 747~ 756
19. 朱兆良, 文启考主编. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992
20. 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究. I. 农田养分支出参数. 土壤通报, 1996, 27(4): 145~ 151
21. 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究. II. 农田养分收入参数. 土壤通报, 1996, 27(4): 151~ 154
22. 李忠佩, 程励励, 文启考. 黄淮海平原土壤中的固定态铵. 土壤通报, 1992, 23(5) 200~ 202
23. 文启考, 程励励, 陈碧云. 我国土壤中的固定态铵. 土壤学报, 2000, 37(2): 145~ 156
24. 江苏省农林厅编. 江苏农业发展史略. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992
25. 赵其国. 我国现代农业发展中的若干问题. 土壤学报, 1997, 34(1): 1~ 9
26. 李忠佩, 唐永良, 石华, 等. 不同施肥制度下红壤稻田的养分循环与平衡. 中国农业科学, 1998, 31(1): 46~ 54
27. 李忠佩. 土壤有机碳库的变化. 见: 张桃林主编. 中国红壤退化机制与防治. 北京: 中国农业出版社, 1999. 73~ 75
28. 黑龙江省土地管理局, 黑龙江省土壤普查办公室编. 黑龙江土壤. 北京: 农业出版社, 1992
29. 江西省土地利用管理局, 江西省土壤普查办公室编. 江西土壤. 北京: 中国农业科技出版社, 1991
30. 黄文郁. 辽宁省土壤养分肥力状况及其调控. 见: 贾文锦, 李文科主编. 辽宁省第二次土壤普查专题研究文选. 沈阳: 辽宁大学出版社, 1990. 101~ 108
31. 张满珍, 雷永振, 赵凯. 辽宁省主要耕地土壤的肥力状况及吸附特性研究初报. 见: 刘作新主编. 迈向 21 世纪的土壤科学(辽宁卷). 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1999. 106~ 109

32. 曹志洪, 李仲林, 凌云霄. 土壤肥力特征和合理施肥. 见: 傅积平主编. 黄淮海平原区域治理技术体系研究. 北京: 科学出版社, 1987. 57~ 63
33. Pink L A, Allison F E. Maintenance of soil organic matter. III. Influence of green manures on the release of native soil carbon. *Soil Sci.*, 1951, 71: 67~ 75
34. Hassink J. Preservation of plant residues in soils differing in unsaturated protective capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1996, 60: 487~ 491

ANALYSIS FOR THE BALANCE OF ORGANIC CARBON POOLS AND THEIR TENDENCY IN TYPICAL ARABLE SOILS OF EASTERN CHINA

Li Zhong-pei Lin Xin-xiong Che Yu-ping

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Summary

Humification coefficients of organic materials and annual mineralization of soil organic carbon were determined in field experiments. Amounts of organic materials application were estimated by statistical data to analyze input and output of organic carbon pools in typical arable soils in important agricultural areas of Eastern China in order to evaluate preliminarily their functions as source or sink of atmospheric CO₂. Humification coefficients in arable soils of agricultural areas of Eastern China changed in the order: Songnen plain (crop straw 0.37, crop roots 0.47, green manure 0.26, livestock manure 0.54) > Red soil hilly region (with corresponding values of 0.28, 0.45, 0.25, 0.42) > Xialiaohe plain (values: 0.35, 0.39, 0.22, 0.33) > Huanghuaihai plain (values: 0.25, 0.32, 0.18, 0.27). Humification coefficient did not changed proportionately with temperature and rainfall and was multiply influenced by environmental factors, especially soil properties. Under realistic application of organic materials, Songnen plain, Xialiaohe plain, Huanghuaihai plain and Red soil hilly region would have a soil organic carbon formation annually of 538.0 kg hm⁻², 679.7 kg hm⁻², 760.7 kg hm⁻² and 1059.7 kg hm⁻². Annual mineralization amounts of soil organic carbon are 905.3 kg hm⁻², 723.5 kg hm⁻², 723.1 kg hm⁻² and 782.9 kg hm⁻², respectively. The C balance, calculated as the difference between input and output of soil organic carbon, suggested a deficit (decreasing organic C) in the arable soil of Songnen plain, an increasing organic C content in the paddy soil of Red soil hilly region, an equilibrium in arable soils of Xialiaohe and Huanghuaihai plains. These values determine their functions as source or sink of atmospheric CO₂.

Key words Eastern China, Arable soils, Organic carbon pool, Balance