

不同耕作措施下江苏省稻田土壤固碳潜力的模拟研究^①

徐胜祥^{1,2}, 史学正^{1,2}, 赵永存^{1,2*}, 于东升^{1,2}, 王世航^{1,2}, 辛景树³, 任意³

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3 全国农业技术推广服务中心, 北京 100026)

摘要: 以江苏省稻田为对象, 整合 DNDC 和 1:100 万土壤数据库, 以土壤图斑为基本模拟单元, 定量估算少耕、免耕和综合措施(少耕 + 30% 秸秆还田)下江苏省稻田土壤的固碳潜力(0~30 cm)。模拟结果表明: 相对于传统耕作, 采用少耕、免耕和少耕 + 30% 秸秆还田均可明显地增加稻田 SOC 的积累, 其在 2009—2050 年间的固碳潜力分别为 24.5、47.7 和 43.8 Tg。免耕和少耕 + 30% 秸秆还田条件下稻田固碳速率大约是少耕的 2 倍。结合实际情况, 少耕 + 30% 秸秆还田将是最可行的固碳措施之一。

关键词: DNDC 模型; 土壤有机碳; 水稻土; 固碳潜力; 江苏省

中图分类号: S154.3

近年来, 随着大气 CO₂ 浓度急剧升高, 农田土壤固碳研究已经成为国际全球变化研究的一个重要热点^[1-2]。水稻土作为一种特殊利用方式下形成的人为耕作土壤, 由于长期处于淹水状态而具有较高的固碳能力^[2-3]。然而稻田土壤有机碳(SOC)动态变化不但受自然因素, 如温度、降水和作物类型的影响, 而且很大程度上受人类耕种、施肥、灌溉等农业耕作管理措施的影响。大量研究表明^[4-7]: 采用少、免耕以及秸秆还田等耕作措施可以有效增加 SOC 水平, 减少农田土壤的 CO₂ 净排放。中国水稻种植面积和产量分别约占世界水稻的 19% 和 28%^[8], 因此, 不同耕作措施下稻田土壤固碳研究对于缓解全球气候变暖趋势和保证国家粮食安全具有双重的积极意义。

然而碳在土壤中的一系列生物地球化学演化过程是一个复杂的非线性系统。在区域尺度上定量预测 SOC 储量的时空变化, 基于过程的土壤有机质周转模型是必需的。其中 DNDC (DeNitrification- DeComposition, 反硝化-分解) 模型已在包括中国在内的 20 多个国家得到应用和验证, 其在农田生态系统 SOC 模拟方面较为成熟^[9-10]。我国很多学者借助该模型在区域尺度上开展了不同耕作方式对农田土壤固碳潜力影响的研究工作^[9-12]。例如, 邱建军等^[11]利用 DNDC 和区

域数据库模拟了 1998 年东北三省耕地在不同农田管理措施下 SOC 含量变化特征, 结果表明: 在现行农作制度下 SOC 库处于严重的负平衡, 增加秸秆还田比例和采取免耕均可有效地增加 SOC 的积累。Zhang 等^[12]整合 DNDC 与陕西省农业生态数据库探讨了耕作管理对土壤碳储量的影响, 模拟结果显示: 将作物秸秆还田率从当前的 15% 提高到 50% 可使陕西农田土壤从大气 CO₂ 源转变为汇。此外, 王淑芳等^[9]利用第二次土壤普查资料, 研究了密云水库上游地区农田 SOC 储量及变化。DNDC 情景分析表明: 将秸秆还田比例由现在的 15% 提高到 50%, 该地区固碳量增幅高达 125.6%; 采取免耕方式, 该地区农田 SOC 年累积量将增加 0.7%。尽管这些研究结果提出了区域未来农田 SOC 的长期变化及保护措施, 证明了 DNDC 模拟方法是可行的, 但在区域模拟中他们一般采用县为最小模拟单元。模型运行某一县时, 均以土壤性状的最高和最低本底值分别模拟 2 次, 取其平均值来表达 SOC 变化。而由于土壤是一个不均匀的三维结构体, 在空间上呈现复杂的镶嵌性, 且受气候、土质、植被和人类活动等生态驱动力的影响, 土壤碳密度存在极大的空间变异性^[13]。因此, 在区域模拟中以县为模拟单元会对模拟结果造成较大的不确定性。

^①基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q1-07 和 KZCX2-EW-QN404)、中国科学院战略性先导科技专项项目(XDA05050509)和国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2010CB950702)资助。

* 通讯作者(yezhao@issas.ac.cn)

作者简介: 徐胜祥(1979—), 男, 湖北武汉人, 博士研究生, 主要从事土壤资源管理和陆地生态系统碳循环模拟研究。E-mail: sxxu@issas.ac.cn

江苏省稻作历史悠久, 稻作类型多样且生产水平较高, 是全国水稻主产省之一, 也是我国高产高投入农业发达的地区, 近 20 年来无论是轮作制和土壤耕作都发生了明显变化^[14]。但目前对江苏省稻田在不同耕作措施下土壤固碳潜力的研究主要是在田块尺度上进行^[15-17], 而在区域尺度上的研究较少。为此, 本研究通过应用 DNDC 模型和 1:100 万土壤数据库, 以土壤图斑为基本模拟单元, 定量模拟少耕、免耕等措施下江苏省稻田土壤的固碳潜力, 旨在为计算区域温室气体减排潜力和选择合适的固碳措施等提供数据资料和理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

江苏省 (30°45'~35°7' N, 116°22'~121°5' E) 地处东南沿海, 主要由黄淮海平原和长江三角洲所构成 (图 1)。陆地面积 10.2 万 km², 约 74% 属于海拔 20 m 以下的平原。本省位居中纬度, 气候温和湿润, 雨量充沛, 属于北亚热带和暖温带季风气候。多年平均气温 13°C~16°C, 年平均降水量在 800~1200 mm 之间, 其分布趋势是由西北向东南依次递增。江苏省水稻种植始于 6000 年之前, 水稻土分布广泛, 总面积约 3.7 万 km², 占全省耕地面积的 79%^[18]。全省水稻土主要发育于潮土、黄褐土、沼泽土、盐土、砂姜黑土等多种母土, 亚类可划分为潜育型、渗育型、脱潜型、淹育型、漂洗型、潜育型和盐渍型 7 类。种植制度多为小麦 (或油菜)、晚稻一年二熟制, 是全国重要的商品粮生产基地之一。

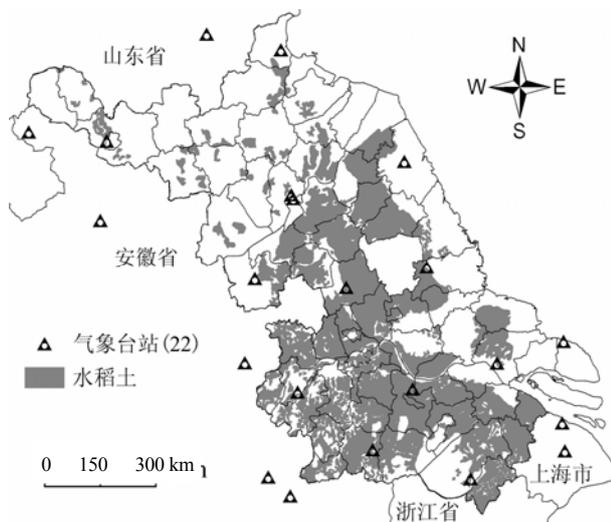


图 1 江苏省水稻土及 22 个气象台站分布图

Fig. 1 Distribution of paddy soils in Jiangsu Province and 22 weather stations

1.2 DNDC 模型简介及验证

DNDC 是模拟和预测陆地生态系统碳和氮生物地球化学循环的机理模型, 也是目前国际上最为成功的模拟土壤有机质周转的生物地球化学模型之一^[5, 9]。自 1989 年问世以来, 该模型在各国科学家的科研实践中不断地扩充和改进, 从最初的模拟旱地生态系统发展成模拟湿地生态系统 (水田) 生物化学过程的动态模型, 如模拟 CH₄ 排放^[19]。DNDC 模型以日为时间步长单位, 由 6 个子模型构成, 分别模拟土壤气候、农作物生长、有机质分解、硝化、反硝化和发酵过程, 描述土壤有机质的产生、分解和转化, 最后给出 SOC 各组分动态含量和 CO₂、N₂O、CH₄、NO、N₂ 等温室气体通量^[20]。其中, 分解子模型将土壤碳库分成 4 个具有不同分解速率的子库: 植物残体 (凋落物)、易分解及难分解腐殖质和微生物生物量。每个子库的日分解速率可根据子库大小、比分解速率、土壤黏土成分、C/N 比、土壤温湿度等估算。某一子库的 SOC 分解后会分配到另一个子库, 并以 CO₂ 形式流失部分碳。溶解有机碳在分解过程中形成, 并可由土壤微生物直接分解。

DNDC 模型已经在亚洲得到了广泛的验证, 其对稻田生态系统碳、氮循环的模拟比较理想^[19, 21]。而对于模拟江苏省稻田的固碳潜力, 笔者^[22]选取了宜兴、吴江、南京和兴化 4 个稻田土壤长期定位点 (6~20 年) 的 SOC 实测值与模型模拟的结果进行了比较, 其相关性系数均达到了 0.70 以上, 表明 DNDC 模型能够较好地模拟该地区的 SOC 动态变化。

1.3 区域数据库建立

采用地理信息系统 (GIS) 技术, 将研究区气象要素值、土壤属性、作物以及耕作管理数据录入 DNDC 特定要求的数据表中, 建立以县为组织单元的江苏省稻田生态系统 GIS 数据库。该数据库由以下数据集组成:

(1) 气象数据: 来源于中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn/index.jsp>), 包括江苏省及其周边地区 22 个气象台站 1980—2008 年的逐日气象资料 (图 1), 无气象台站的县/市在模拟时采取就近共享原则。

(2) 土壤数据: 土壤图斑空间数据库包含 701 个水稻土图斑, 其来源于中国 1:100 万土壤数据库^[23]。模型运行以水稻土图斑为基本模拟单元, 其中每一图斑均具有一套土壤属性数据 (0~10 cm), 例如, 土壤初始 SOC 含量、黏粒含量、土壤体积质量和 pH 值等。

(3) 作物数据: 包括江苏省两种典型轮作系统 (冬

小麦-水稻和油菜-水稻)中各作物的生理参数、播种期、收获期、最大产量等,来源于田间调查及文献资料。各类作物播种面积、逐年氮肥施用量、牲畜头数和农业人口等数据来源于各县/市统计年鉴。

(4)耕作管理数据:假定作物残茬的15%留在稻田中,农家肥使用量分别取按牲畜头数和农业人口数计算的排泄物量的20%和10%。耕作方式按现有常规耕作制度:在水稻生长阶段间歇性灌水(浅灌)为主,烤田1次;每年耕作2次。

1.4 情景分析

为预测不同耕作措施对江苏省稻田2009—2050年间SOC储量及固碳潜力的影响,本研究设计了1个基础对照处理(传统耕作)和3种变更的耕作措施:少耕、免耕和综合措施(少耕+30%秸秆还田)。其中传统耕作处理代表当前实际耕作条件,即保持2008年耕作及施肥条件不变。同时假定这4种耕作管理措施从2009年起100%应用于全省稻田。通过对比变更的耕作措施与传统耕作条件下SOC动态的差别,定量研究耕作措施改变对全省稻田固碳潜力的区域效应,并通过ArcGIS制图技术分析不同耕作措施下稻田固碳潜力的空间差异。为消除模拟过程中初始输入参数可能带来的不确定性,所有情景均首先执行1980—2008年的模拟运行以获得相同的基底值,然后使用相同的气候、土壤和作物数据模拟2009—2050年间SOC动态。其中后42年的气候是1999—2008年气候的重复,稻田SOC库和固碳潜力等都是基于0~30cm土层厚度。

2 结果与分析

2.1 不同耕作措施对江苏稻田土壤有机碳库及固碳潜力的影响

农田土壤碳含量会受到许多因素的影响,农业耕作措施变化的影响是非常重要的,而且是主要的。DNDC模拟结果表明(图2):传统耕作条件下,稻田

SOC库保持相对稳定的平衡状态,而采用少耕、免耕和少耕+30%秸秆还田均可明显地增加SOC的积累。相对于传统耕作,采用少耕、免耕和少耕+30%秸秆还田的固碳潜力在2009—2020年间分别为15.5、26.1和26.7 Tg;在2009—2050年间则分别为24.5、47.7和43.8 Tg(表1)。其中,采用免耕和少耕+30%秸秆还田比少耕更能增加SOC储量,免耕和少耕+30%秸秆还田条件下SOC的增加量大约是少耕的2倍。少免耕不同程度增加土壤有机碳储量的原因可能与其降低稻田的耕作强度有关。传统耕作下,翻耕导致了土壤结构的破坏以及频繁的干/湿循环,使本来受到团聚体保护的SOC得以暴露,导致土壤中碳矿化速率提高,加速了土壤碳的释放。少免耕则减少了因耕作带来的对土壤的翻动,因而深层土壤接触空气的机会减少,土壤原有有机质的氧化和矿化减弱,同时也避免了土壤中富含碳的大团聚体破坏;另外,残留于田间或覆盖的秸秆等有机物料的降解也使得归还到土壤中的SOC数量增多^[24-25]。

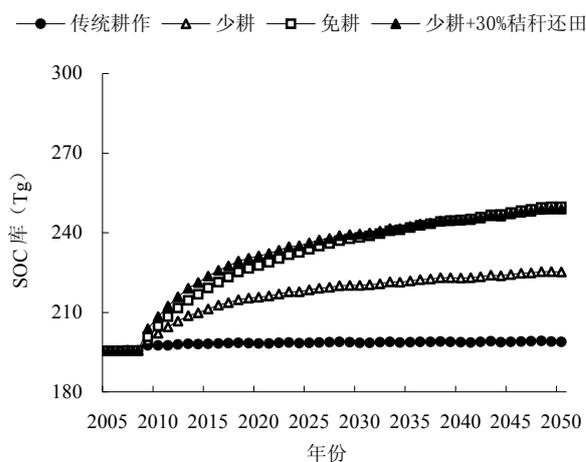


图2 不同耕作措施下江苏省稻田SOC库年变化

Fig. 2 Annual changes in SOC stocks for Jiangsu Province's paddy soils under different scenarios

表1 不同耕作措施下江苏省稻田的平均固碳速率及总固碳潜力

Table 1 The average annual carbon sequestration rates and total carbon sequestration potential from paddy fields under different tillage practices

耕作措施	2009—2020年		2009—2050年	
	固碳潜力(Tg)	固碳速率(Tg/a)	固碳潜力(Tg)	固碳速率(Tg/a)
少耕	15.5	1.29	24.5	0.58
免耕	26.1	2.18	47.7	1.14
少耕+30%秸秆还田	26.7	2.23	43.8	1.04

农田 SOC 的平衡过程是一个渐变的过程, 改变耕作措施对 SOC 含量影响的长期效应也截然不同。改变的 3 种耕作措施在整个模拟 42 年间的平均固碳速率仅为前 12 年间的 45% ~ 52%; 免耕措施在 42 年间的平均固碳速率高于少耕 + 30% 秸秆还田, 然而其在前 12 年间的平均固碳速率却低于少耕 + 30% 秸秆还田 (表 1)。大量研究表明, 农田土壤对碳的固持存在着一个最大的饱和容量, 即耕作方式转变导致的碳累积效应只在一段时间内有效^[1-2]。图 1 中 3 种改变的耕作措施下土壤碳的累积速率先快后慢, 最终趋向一个碳累积速率为零的稳定状态, 但不同耕作措施到达平衡状态所需的时间不同, 免耕下土壤固碳的有效期远高于其他管理下。此外, 不同耕作措施下 SOC 含量的差别与农田耕种制度和生态环境条件决定的 SOC 输入和输出

之间的平衡有关, 而在环境影响因子中初始 SOC 含量是影响土壤碳年平均变化的最敏感因素^[12-13]。从模拟的 SOC 含量与初始 SOC 含量之间的回归直线方程来看 (图 3), 初始 SOC 含量能够解释 84% 以上的由不同耕作措施引起的 SOC 含量的差异, 而不同措施对 SOC 积累的贡献大小可通过直线方程的截距的大小来表征 (少耕 + 30% 秸秆还田 > 免耕 > 少耕 > 传统耕作)。

尽管免耕措施具有较大的固碳潜力 (表 1), 但是稻田长期实施免耕会出现土壤紧实度增加、表层有机质和植物养分富集、病虫害严重等问题^[26]。加大秸秆还田不仅可以增加 SOC 储量和养分含量, 而且还能减少由于秸秆就地焚烧导致的碳损失和减轻大气污染, 具有明显的环境效益。近年来, 江苏省政府大力

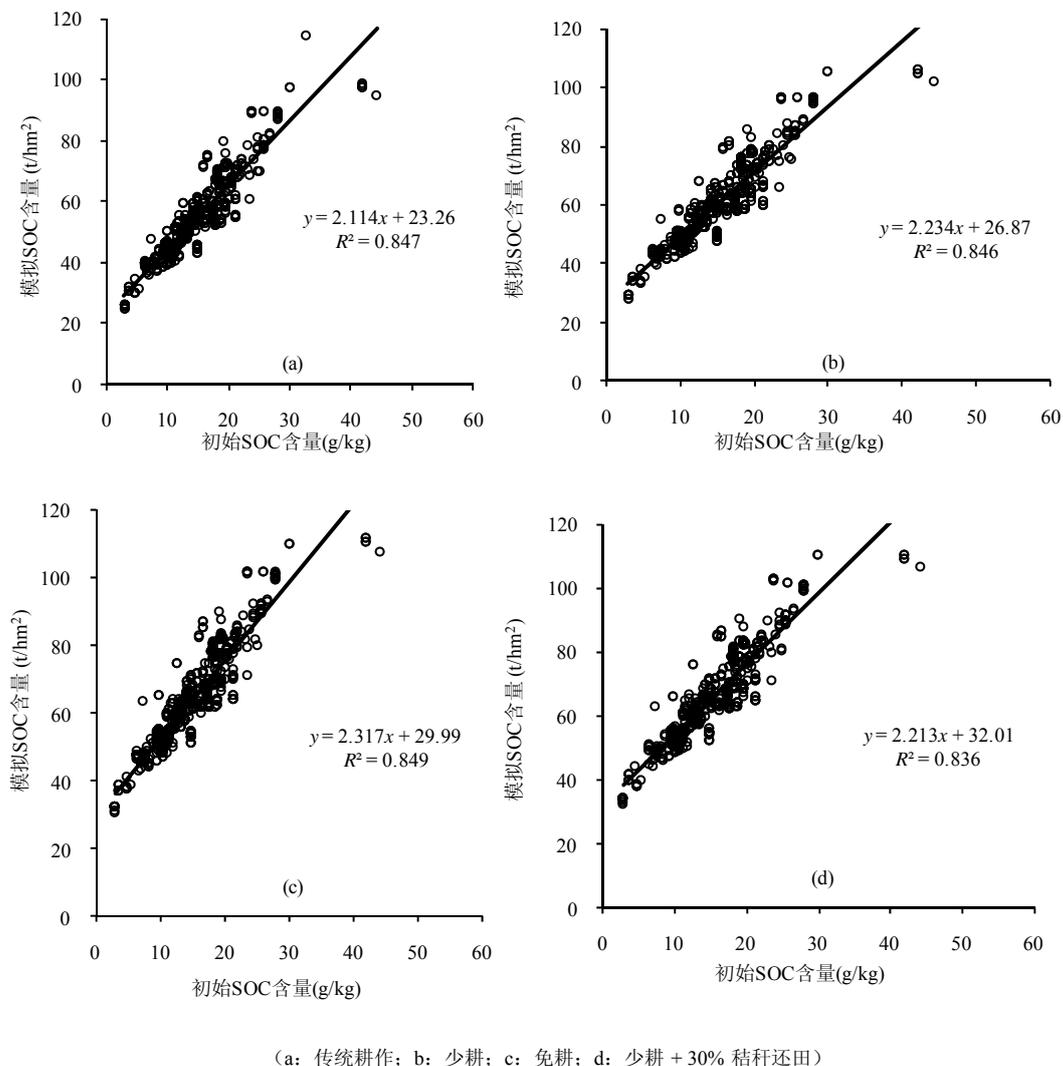


图 3 不同耕作措施下江苏省稻田的平均 SOC 含量 (2009—2050 年) 与初始 SOC 含量间的关系 ($n=701$)

Fig. 3 The relationship between modeled average (2009—2050) and initial SOC contents from paddy fields under different tillage practices

推行秸秆还田措施，预计到 2012 年底全省稻麦秸秆机 + 30% 秸秆还田在实践中将是最可行的固碳措施之一。该措施在技术上并不是非常困难，当前主要是让农民充分认识到这些措施，并持之以恒地实施。

2.2 江苏稻田固碳潜力的分布格局

由于农田 SOC 动态易受不同气候区、土壤类型和作物系统等的影 响，因此耕作措施对农田土壤固碳潜力的影响存在较大的空间变异性。从空间分布上看，江苏省稻田初始 SOC 含量的空间变化范围为 2.6 ~ 41.6 g/kg。在苏南的太湖地区 SOC 含量较高，如句容、溧水、高淳、溧阳、常熟、昆山和吴江等县/市，达 30 g/kg 以上（图 4a）。在少耕、免耕和少耕 + 30% 秸秆还田措施下，江苏省稻田在 2009—2050 年间的固碳潜力具有较明显的地区差异，其空间变化范围分别为 76.2 ~ 316.7、197.1 ~ 629.9 和 193.2 ~ 541.9 kg/(hm²·a)。从稻田固碳潜力的分布范围来看，少耕条件下 91.5%

机械化全量还田面积占总面积的 35% 以上。因此，少耕的稻田分布在 100 ~ 200 kg/(hm²·a)（图 4b）；免耕和少耕 + 30% 秸秆两种措施下稻田则主要分布在 200 ~ 300 和 300 ~ 400 kg/(hm²·a)，前者在这两个区间所占面积比例分别为 26.5% 和 63.0%（图 4c），后者分别为 77.0% 和 20.8%（图 4d）。总体趋势上，不同耕作措施下苏南地区稻田土壤固碳潜力高于其他地区。这是因为：土壤在含碳量很低的情况下，经过耕种，会获得少量的碳；SOC 含量高的地区其土壤肥力也较高，稻田作物的根系和残茬的数量和质量较高，因而有机质的输入较多，土壤碳密度较高^[13]。

不同耕作措施下稻田固碳潜力的空间分析可作为制定区域固碳规划及政策的有效工具之一。对于 SOC 含量较低的地区，应当采用合适的地力培肥措施，例如配方施肥、秸秆还田和有机肥施用等，使之固定更多的碳在土壤中。

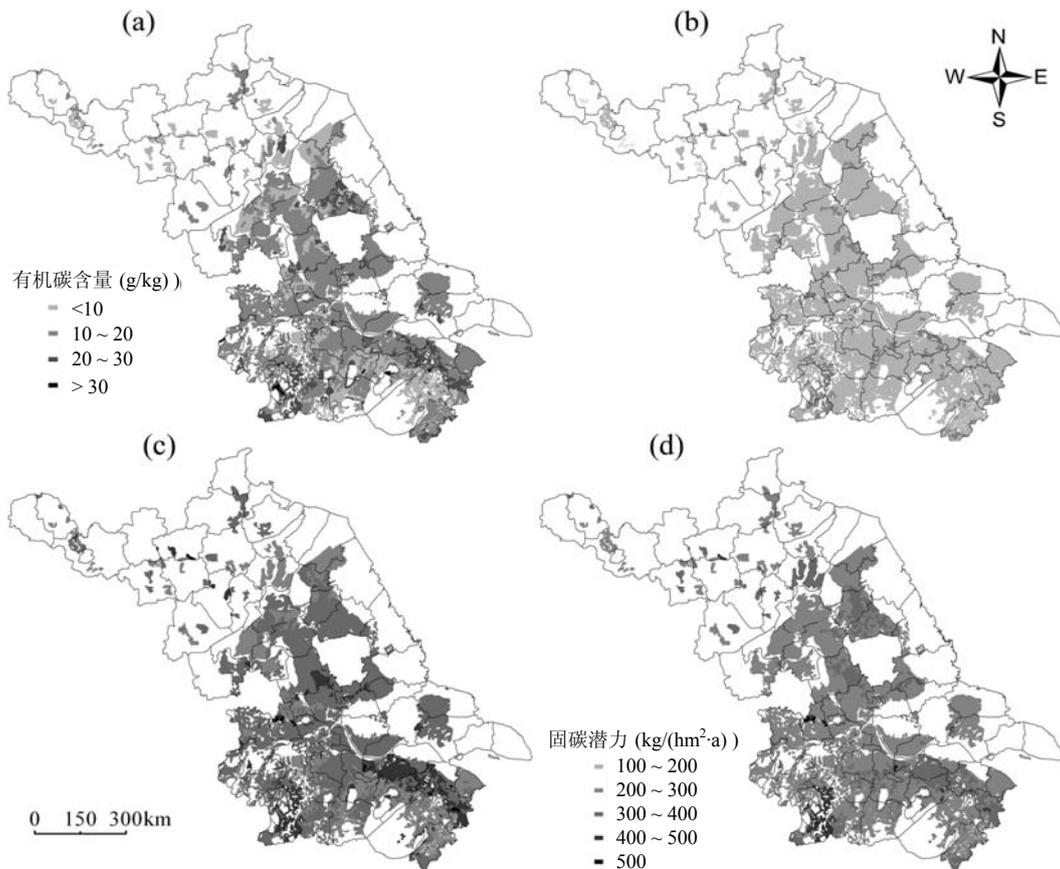


图 4 江苏省稻田初始有机碳含量 (a) 和不同耕作措施下 (b: 少耕; c: 免耕; d: 少耕 + 30% 秸秆还田) 模拟 42 年的江苏省稻田的平均固碳潜力分布图

Fig. 4 Spatial patterns of initial SOC contents (a) and average annual carbon sequestration potential from paddy fields under different tillage practices from paddy fields (b, reduced tillage; c, no-tillage; d, combined tillage of reduced tillage and increasing crop residue return to 30%)

2.3 不确定性分析

先前基于县的区域模拟为降低不确定性通常根据最敏感因子分析法,对各县内每一作物类型均以土壤性状的最高和最低本底值分别运行 2 次,产生一个年度 SOC 变化的范围值, SOC 变化的真实值被认为以较大机率包含在这一范围之内^[12, 20]。本研究以土壤图斑作为最小模拟单元,其中每一图斑均具有一套土壤属性数据,运行时只产生一个唯一的年度 SOC 变化值。因此本研究模拟结果精度较高,但依然存在着一定的误差,其来源主要有以下 4 个方面。其一是使用的土壤数据库的制图尺度略显粗糙,对于研究区——江苏省稻田来说,1:100 万尺度的土壤图斑数据库的平均空间分辨率大约为每个图斑 55 hm²,而土壤数据的详细程度是保证地球生物化学模型模拟精度的重要因子。其二是未来气候变化预测的不确定性,本研究利用 1999—2008 年间 10 年的气象数据来驱动模型对今后 42 年的模拟,其中,既没有考虑全球气候变化的因素,也未考虑极端气候事件的影响。其三是统计资料的准确度,区域模拟中,作物播种面积、逐年氮肥施用量、牲畜头数和农业人口等统计资料是以县/市为单位收集得到的,但经调查和从统计局获取的资料与实际有一定的偏差,因而误差是在所难免的^[9]。最后,传统耕作处理假定保持 2008 年耕作及施肥条件不变,没有考虑未来作物产量、施肥量增加带来的影响。这部分输入参数应尽可能根据过去几十年变化趋势估算未来的可能预测值,或通过实地调查生物量、秸秆还田的基础上,进行农田区域生物还田量的详细估算;同时结合有机肥料施入量,建立不同作物的农田有机物质投入量估算模式,为 DNDC 模型设定不同固碳措施的可实施情景。随着人们对农田土壤固碳机理认识的不断深入,区域参数数据库的逐步完善,模型预测的准确度和精度将随之不断提高。

3 结论

基于过程的模型结合 GIS 数据库能够在管理措施改变条件下土壤碳和氮生物化学循环中发挥重要的作用,该模型不断发展对于亚洲或世界其他地区的稻作农业将是集中努力的方向。本研究以土壤图斑为基本模拟单元,在 1:100 万土壤数据库的支持下,运用 DNDC 区域模型模拟少耕、免耕和少耕 + 30% 秸秆还田措施下江苏省稻田的固碳潜力。模拟结果表明:在目前的耕作制度下江苏稻田 SOC 库处于相对的平衡状态;采用少耕、免耕和少耕 + 30% 秸秆还田均可明显地增加 SOC 的积累,这些耕作措施下在 2009—2020

年间的固碳潜力分别为 15.5、26.1 和 26.7 Tg; 在 2009—2050 年间则分别为 24.5、47.7 和 43.8 Tg。结合当前实际情况,少耕 + 30% 秸秆还田将是最可行的固碳措施之一。此外,使用土壤图斑作为基本模拟单元是可行的,而且详细的土壤数据对提高地球生物化学模型模拟精度是非常必要的。

参考文献:

- [1] Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 2004, 123: 1-22
- [2] 潘根兴,李恋卿,郑聚锋,张旭辉,周萍. 土壤碳循环研究及中国稻田土壤固碳研究的进展与问题. *土壤学报*, 2008, 45(5): 901-914
- [3] Song GH, Li LQ, Pan GX, Zhang Q. Topsoil organic carbon storage of China and its loss by cultivation. *Biogeochemistry*, 2005, 74: 47-62
- [4] Huang S, Sun YN, Rui WY, Liu WR, Zhang WJ. Long-term effect of no-tillage on soil organic carbon fractions in a continuous maize cropping system of Northeast China. *Pedosphere*, 2010, 20(3): 285-292
- [5] Luo ZK, Wang E, Sun OJ. Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: A review and synthesis. *Geoderma*, 2010, 155: 211-223
- [6] Mishra U, Ussiri DAN, Lal R. Tillage effects on soil organic carbon storage and dynamics in Corn Belt of Ohio USA. *Soil & Tillage Research*, 2010, 107: 88-96
- [7] 金峰,杨浩,赵其国. 土壤有机碳储量及影响因素研究进展. *土壤*, 2000, 32(1): 11-17
- [8] FAOSTAT. FAO Statistical databases[DB/OL]. 2008, [2011-3-10]. <http://faostat.fao.org/site/348/default.aspx>
- [9] 王淑芳,王效科,欧阳志云. 密云水库上游地区农田土壤有机碳储量及变化模拟. *生态环境学报*, 2009, 18(5): 1 923-1 928
- [10] 韩冰,王效科,欧阳志云,曹志强,邹德乙. 辽宁省农田土壤碳库分布及变化的模拟分析. *生态学报*, 2003, 23(7): 1 321-1 327
- [11] Qiu JJ, Wang LG, Tang HJ, Li H, Li CS. Studies on the situation of soil organic carbon storage in croplands in Northeast of China. *Agricultural Sciences in China*, 2005, 4(1): 101-105
- [12] Zhang F, LI CS, Wu H. Modeling impacts of management alternatives on soil carbon storage of farmland in Northwest China. *Biogeosciences*, 2006, 3: 451-466
- [13] 解宪丽,孙波,潘贤章. 红壤丘陵区土壤有机碳储量模拟. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(9): 146-152
- [14] 全国农业技术推广服务中心,中国农科院农业资源与区划所.

- 耕地质量演变趋势研究—国家级耕地土壤监测数据整编. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008
- [15] 徐阳春, 沈其荣, 雷宝坤, 储国良, 王全洪. 水旱轮作下长期免耕和施用有机肥对土壤某些肥力性状的影响. 应用生态学报, 2000, 11(4): 549-552
- [16] 段华平, 牛永志, 李凤博, 卞新民. 耕作方式和秸秆还田对直播稻产量及稻田土壤碳固定的影响. 江苏农业学报, 2009, 25(3): 706-708
- [17] Rui WY, Zhang WJ. Effect size and duration of recommended management practices on carbon sequestration in paddy field in Yangtze Delta Plain of China: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2010, 135: 199-205
- [18] 江苏省土壤普查办公室. 江苏土壤. 北京: 中国农业出版社, 1995: 232-240
- [19] Fumoto T, Yanagihara T, Saito T, Yagi K. Assessment of the methane mitigation potentials of alternative water regimes in rice fields using a process-based biogeochemistry model. *Global Change Biology*, 2010, 16: 1 847-1 859
- [20] Li CS, Frolking S, Harriss R. Modeling carbon biogeochemical in agricultural soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 1994, 8(3): 237-254
- [21] Babu YJ, Li CS, Frolking S, Nayak DR, Adhya TK. Field validation of DNDC model for methane and nitrous oxide emissions from rice-based production systems of India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2006, 74: 157-174
- [22] Xu SX, Shi XZ, Zhao YC, Yu DS, Wang SH, Zhang LM, Li CS, Tan MZ. Modeling carbon dynamics in paddy soils in Jiangsu Province of China with soil databases differing in spatial resolution. *Pedosphere*, 2011, 21(6): 696-705
- [23] Shi XZ, Yu DS, Warner ED, Pan XZ, Petersen GW, Gong ZT, Weindorf DC. Soil database of 1:1,000,000 digital soil survey and reference system of the Chinese Genetic Soil Classification System. *Soil Survey Horizons*, 2004, 45: 111-148
- [24] 赵其国, 周健民, 沈仁芳, 滕应. 面向不断变化世界, 创新未来土壤科学—第19届世界土壤学大会综合报道. 土壤, 2010, 42(5): 681-695
- [25] 戴珏, 胡君利, 林先贵, 朱安宁, 尹睿, 张华勇, 王俊华. 免耕对潮土不同粒级团聚体有机碳含量及微生物碳代谢活性的影响. 土壤学报, 2010, 47(5): 923-930
- [26] 吴文革, 张玉海, 汪新国, 杨惠成, 郑乐娅, 闫川. 水稻少免耕栽培研究进展. 土壤, 2008, 40(5): 712-718

Simulation of Carbon Sequestration Potential from Paddy Fields in Jiangsu Province Under Different Tillage Practices

XU Sheng-xiang^{1,2}, SHI Xue-zheng^{1,2}, ZHAO Yong-cun^{1,2}, YU Dong-sheng^{1,2}, WANG Shi-hang^{1,2}, XIN Jing-shu³, REN Yi³

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 National Center for Agriculture Technology Extension and Service, Beijing 100026, China)

Abstract: In this study a soil polygon-based modeling method was developed by integrating DNDC with a 1:1,000,000 soil database to quantify C sequestration potential from paddy fields in Jiangsu Province under reduced tillage, no-tillage, and combined tillage (i.e., reduced tillage and increasing crop residue return to 30%). The results indicated that C sequestration potential under modeled tillage practices significantly increased compared to the conventional tillage, and was estimated to be 24.5, 47.7 and 43.8 Tg between 2009 and 2050 under reduced tillage, no-tillage, and combined tillage, respectively. The C sequestration rate under no-tillage, and combined tillage was nearly 2 times higher than under reduced tillage. In view of actual situation, the combined tillage will be one of the most realistic tillage of C sequestration for paddy fields in Jiangsu Province.

Key words: DNDC model, Soil organic carbon, Paddy soils, Carbon sequestration potential, Jiangsu Province