

水稻种植对沿海滩涂土壤有机碳及碳库管理指数的影响

张 蛟^{1*}, 崔士友¹, 胡帅栋², 翟彩娇¹, 汪 波¹

(1. 江苏沿江地区农业科学研究所, 江苏 南通 226541; 2. 浙江农林大学, 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 临安 311300)

摘 要: 研究沿海滩涂种植水稻对土壤有机碳和碳库管理指数的影响, 探讨滩涂稻田土壤有机碳与盐分变化之间的相关关系, 将为评价沿海滩涂稻田土壤质量变化提供科学依据。2016年水稻收获后, 在江苏沿海滩涂如东方凌垦区, 设置种稻0年(CK, 0-Y)、种稻1年(1-Y)和种稻4年(4-Y)田块处理进行土壤采样, 测定土壤盐分、土壤有机碳(SOC)及活性有机碳(AOC), 并计算碳库指数(CPI)、碳库活度指数(AI)和碳库管理指数(CMI)。结果表明:(1)与CK相比, 1-Y和4-Y田块在0~10、10~20和20~30 cm土层盐分均显著降低, 且1-Y和4-Y田块在各土层分别降低了94.38%和92.77%、86.57%和85.94%、77.48%和77.91% ($P<0.05$), 同时1-Y和4-Y田块之间盐分在0~30 cm土层均没有显著的差异 ($P>0.05$); (2)1-Y和4-Y田块在0~10、10~20和20~30 cm土层有机碳均显著提高, 且各层分别提高了36.11%和69.17%、37.64%和69.20%、36.42%和57.50% ($P<0.05$); 1-Y和4-Y田块在各土层活性有机碳也均显著提高, 且各层分别提高了85.63%和101.20%、89.26%和110.04%, 158.70%和243.59% ($P<0.05$); (3)沿海滩涂种植水稻后对CPI、AI和CPMI提高均有明显的积极作用, 且相比1-Y田块, 4-Y田块的稻田耕层0~30 cm的CPI和CPMI均有一定的提高; (4)沿海滩涂稻田0~30 cm土层中, 土壤盐分与有机碳及活性有机碳之间均具有极显著的幂函数相关 ($P<0.01$)。可见, 沿海滩涂种植水稻后能降低稻田土壤盐分, 提高土壤有机碳、活性有机碳及碳库管理指数, 进而改善沿海滩涂稻田土壤质量和提高土壤肥力。

关键词: 沿海滩涂; 稻田; 活性有机碳; 碳库管理指数; 土壤质量

种稻改良盐碱地是古今传承的科学方法, 盐碱地种稻“于改良于利用”, 是劳动人民的伟大贡献^[1]。近几年, 盐碱地水稻高产高效栽培技术研究已成为有关滩涂沿海农业开发的热点问题。江苏省农科院王才林研究员指出, 沿海滩涂进行水稻种植, 形成特殊水环境具有淋溶压盐降盐和平衡土壤肥力等生态效应, 有助于盐碱地土壤的持续改良。而且水稻非常适合机械化收种和规模经营, 与沿海滩涂人烟稀少、劳动力短缺的特点正好吻合^[2]。然而, 沿海滩涂进行水稻栽培过程中, 经常面临着土壤盐分变化快、易返盐等盐害问题和土壤肥力低下的问题^[3-5]。因此, 在沿海滩涂发展稻田过程中,

进行滩涂稻田土壤盐分和土壤质量评价具有重要意义。

土壤有机碳含量及其动态平衡是反映土壤质量或健康的重要指标, 直接影响土壤肥力和作物产量的高低^[6-8]。前人研究报道稻田土壤有机碳含量随开发年限的增加而增加, 有机碳含量的增加速度随着开发年限的增加逐渐减少^[6], 同时种植年限较长水稻土上种植的水稻产量比较高^[9-10]。尽管前人已对稻田有机碳含量变化及积累特征进行了不少研究, 但关于沿海滩涂围垦区稻田生态系统有机碳变化特别是活性有机碳变化的研究还未见报道。

土壤活性有机碳作为土壤有机碳中最活跃的部分, 在土壤中移动快、稳定性差、易矿化和易于被植物和土壤微生物利用^[11-13]。以往用于表征土壤活性有机碳的方法与指标较多, 如微生物量碳(MBC)、水溶性有机碳(DOC)、易氧化有机碳(ROC)、颗粒态有机碳(POC)等, 其中可被0.333 mol/L高锰酸钾氧化的易氧化有机碳基本上可代表土壤中可被微生物利用有机碳的总量^[14-15]。

收稿日期: 2019-05-08; 录用日期: 2019-06-07

基金项目: 国家科技支撑计划(2015BAD01B03); 江苏省重点研发计划(现代农业)(BE2015337); 南通市科技项目(JC2019150); 南通市第五期226人才培养工程项目(NT201722620); 沿江所所青年基金[YJ(2019)004]。

作者简介: 张蛟(1987-), 男, 陕西渭南人, 硕士, 助理研究员, 主要从事滩涂土壤养分循环、滩涂改良与开发利用研究工作。E-mail: zhangjiao0609@126.com。同时为通讯作者。

另外, 活性有机碳与有机碳总量的比值可以指示土壤有机碳的活性, 在一定程度上可表征土壤有机碳的氧化稳定性^[16]。评价土壤质量或健康时, 不仅与土壤有机碳的含量有关, 而且与土壤有机碳的活性有着密切的关系。因此, 笔者对滩涂围垦区稻田生态系统展开土壤有机碳、活性有机碳及碳库管理指数的研究, 这对更准确评价滩涂围垦区稻田土壤质量变化, 进而科学可持续地利用滩涂土壤资源具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况与采样设计

试验区位于江苏如东县滩涂线方凌垦区(32° 35' 47" N, 120° 55' 6" E), 为2010年新围垦潮上带滩涂, 地下水位约1.2 ~ 1.5 m, 土质为中壤土, 土壤类型为滨海盐土, 盐离子主要以Na⁺、Cl⁻为主。近10年来, 年平均气温为15.1℃, 年平均日照2 136 h, 全年无霜期225 d, 年均降水量1 042 mm, 降水相对集中在6 ~ 9月, 占到全年总降水量的55% ~ 80%。2013年开始第一期水稻种植, 大约5.3 hm², 种植水稻前利用淡水或微咸水洗盐3 ~ 5次, 使表层土壤水分饱和和下盐分维持在3 g/kg以下; 2016年进行第二期水稻种植, 大约6 hm²。同时, 水稻收获后均采用全量秸秆还田方式。水稻种植田间管理按照当地常规施肥和病虫害管理进行, 其中基肥施用复合肥(N 15%, P₂O₅ 15%, K₂O 15%)约750 kg/hm², 分蘖肥施用尿素150 ~ 180 kg/hm²及穗肥施用尿素180 ~ 225 kg/hm²。

1.2 试验设计与采样

2016年11月水稻收获后, 对第一期(种稻4年, 4-Y, 水稻产量大约6 000 ~ 6 750 kg/hm²)和第二期(种稻1年, 1-Y, 水稻产量大约4 500 ~ 5 250 kg/hm²)土壤0 ~ 10、10 ~ 20和20 ~ 30 cm土壤分层采样, 并对邻近未进行利用滩涂荒地作为对照(CK, 0-Y)进行土壤采样, 每个种植年限选取4个试验田块, 多点采样混合样品, 带回实验室测定土壤盐分、pH值、有机碳以及活性有机碳, 并计算滩涂稻田碳库管理指数(CPMI)、碳库指数(CPI)、碳库活度指数(AI)及碳库活度(A)等指标。

1.3 土壤测定与方法

土壤盐分、pH值、水分和有机碳(SOC)分别采用电导率法(土水比1:5)、pH计法(土水比

1:5)、烘干法、重铬酸钾-外加热法, 以上方法均参照鲁如坤著作^[17]。土壤易氧化有机碳采用333 mmol/L高锰酸钾氧化法测定^[18]。具体步骤: 称取过0.25 mm筛的风干土样约1.5 g于100 mL离心管中, 加入333 mmol/L KMnO₄ 25 mL, 在室温条件下振荡1 h, 2 000 r/min离心5 min, 取清液用去离子水按1:250稀释, 在分光光度计565 nm波长处进行比色。由不加土壤的空白与土壤样品的吸光率之差, 计算出高锰酸钾浓度的变化, 进而计算出氧化的碳量(即活性有机碳)。碳库管理指数(CPMI)是表征土壤碳库变化的指标^[14, 18]。计算公式为: 碳库管理指数(CPMI)(%) = 碳库指数(CPI) × 碳库活度指数(AI) × 100。其中, 碳库指数(CPI) = 样品总有机碳含量(g/kg) / 参考土壤总有机碳含量(g/kg); 碳库活度指数(AI) = 样品碳库活度(A) / 参考土壤碳库活度; 碳库活度(A) = 土壤活性有机碳含量(AOC)(g/kg) / 土壤非活性有机碳含量(NAOC)(g/kg)。总有机碳与活性有机碳的差值为非活性有机碳。本文中碳库管理指数计算中的活性有机碳(AOC)是指易氧化有机碳, 并以对照滩涂荒地土壤为参照土壤。

1.4 数据分析

利用Excel 2003和DPS 7.05软件进行数据分析与作图, 采取随机区组单因素方差分析(One-way ANOVA), LSD法进行多重比较($P < 0.05$)。根据建立盐分含量(Y_s)和 $EC_{1:5}$ (X_{EC})之间的拟合方程 $Y_s = 0.174 X_{EC}^2 + 2.959 X_{EC} - 0.110$ ($n = 36$, $R^2 = 0.993$, $P < 0.01$), 本研究中盐分含量均为测定 $EC_{1:5}$ 后, 根据以上方程计算得出。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限对滩涂稻田土壤盐分的影响

由表1可知, 水稻收获后, 与未进行利用滩涂荒地(对照, CK)相比, 无论是第1年种植水稻(1-Y)还是第4年种植水稻(4-Y)的田块, 在0 ~ 10、10 ~ 20和20 ~ 30 cm土层盐分均显著降低, 而且1-Y田块各土层盐分分别降低了94.38%、86.57%和77.48% ($P < 0.05$), 4-Y田块各土层盐分分别降低了92.77%、85.94%和77.91% ($P < 0.05$); 然而, 1-Y和4-Y的滩涂稻田土壤盐分在0 ~ 30 cm土层均没有显著性的差异($P > 0.05$)。同时, 在滩涂CK田块, 在0 ~ 10、10 ~ 20和20 ~ 30 cm土层盐分呈现出依次降低趋势, 而在种植水稻

(1-Y 和 4-Y) 田块中在 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层呈现出依次升高的趋势。

表 1 不同种植年限对沿海滩涂稻田土壤盐分的影响 (g/kg)

处理	土层 (cm)		
	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30
CK	9.204 ± 1.410 a	5.020 ± 0.594 a	3.201 ± 0.317 a
1-Y	0.517 ± 0.093 b	0.674 ± 0.125 b	0.721 ± 0.154 b
4-Y	0.665 ± 0.209 b	0.706 ± 0.075 b	0.707 ± 0.103 b

注: 同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

2.2 不同种植年限对滩涂稻田土壤有机碳和活性有机碳的影响

由表 2 可知, 与 CK 田块相比, 在 1-Y 和 4-Y 田块, 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层有机碳含量均显著提高, 且各层分别提高了 36.11% 和 69.17%、37.64% 和 69.20%、36.42% 和 57.50% ($P < 0.05$); 在 1-Y 和 4-Y 田块, 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层活性有机碳含量也均显著提高, 且各层分别提高了 85.63% 和 101.20%、89.26% 和 110.04%, 158.70% 和 243.59% ($P < 0.05$); 同时, 4-Y 田块各土层中的土壤有机碳和活性有机碳含量均显著高于 1-Y 田块。另外, 无论是 CK 田块还是种植水稻 (1-Y 和 4-Y) 的田块, 在 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层有机碳和活性有机碳含量均呈现出逐渐降低的趋势。

表 2 不同种植年限对沿海滩涂稻田土壤

有机碳和活性有机碳含量的影响 (g/kg)

项目	处理	土层 (cm)		
		0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30
土壤活性	CK	1.496 ± 0.061 c	1.434 ± 0.121 c	0.741 ± 0.015 c
有机碳	1-Y	2.777 ± 0.068 b	2.714 ± 0.097 b	1.917 ± 0.087 b
	4-Y	3.010 ± 0.099 a	3.012 ± 0.156 a	2.546 ± 0.090 a
土壤	CK	5.189 ± 0.039 c	5.168 ± 0.100 c	5.094 ± 0.083 c
	1-Y	7.063 ± 0.125 b	7.113 ± 0.336 b	6.949 ± 0.137 b
	4-Y	8.778 ± 0.285 a	8.744 ± 0.174 a	8.023 ± 0.086 a

2.3 不同种植年限对滩涂稻田土壤碳库管理指数的影响

由表 3 可知, 沿海滩涂围垦区种植水稻后对提高土壤碳库指数 (CPI)、碳库活度指数 (AI) 和碳库管理指数 (CPMI) 均具有积极的意义。与 CK 田块相比, 1-Y 田块在 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层 CPI 分别提高了 36.10%、37.60% 和 36.40%, AI 分别提高了 59.90%、60.70% 和 123.90%, CPMI 分别提高了 117.71%、121.10% 和 205.51%; 4-Y 田块在 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层 CPI 分别提高了 69.20%、69.20% 和 57.50%, AI 分别提高了 28.80%、36.80% 和 173.20%, CPMI 分别提高了 117.94%、131.47% 和 330.33%。相比 1-Y 田块, 4-Y 田块的稻田耕层 0 ~ 30 cm 的土壤碳库指数和碳库管理指数均有不同程度的提高, 这说明沿海滩涂发展稻田种植后, 短期内随着种植年限的逐渐增长, 有利于改善滩涂土壤质量, 提高土壤肥力。

表 3 不同种植年限对沿海滩涂稻田土壤碳库管理指数的影响

土层 (cm)	处理	非活性有机碳 (g/kg)	碳库指数	碳库活度	碳库活度指数	碳库管理指数
0 ~ 10	CK	3.693	1.000	0.405	1.000	100.00
	1 Y	4.287	1.361	0.648	1.599	217.71
	4 Y	5.768	1.692	0.522	1.288	217.94
10 ~ 20	CK	3.734	1.000	0.384	1.000	100.00
	1 Y	4.399	1.376	0.617	1.607	221.10
	4 Y	5.731	1.692	0.526	1.368	231.47
20 ~ 30	CK	4.353	1.000	0.170	1.000	100.00
	1 Y	5.031	1.364	0.381	2.239	305.51
	4 Y	5.477	1.575	0.465	2.732	430.33

2.4 沿海滩涂稻田土壤盐分与土壤有机碳和活性有机碳变化之间的相关关系

从图 1 可知, 沿海滩涂种植水稻后, 在 0 ~ 30 cm 土层中, 土壤盐分与有机碳之间具有极显著

的幂函数相关关系 ($P < 0.01$), 同时土壤盐分与活性有机碳之间也具有极显著的幂函数相关关系 ($P < 0.01$)。另外, 笔者对沿海滩涂稻田土壤有机碳和活性有机碳分配比例关系分析表明, 土壤有机碳

含量 (Y) 与活性有机碳 (X) 分配比例之间呈显著的正相关 ($P < 0.01$), 其一元线性回归方程为: $Y = 1.635X + 3.333$, $R^2 = 0.815$, $n = 36$ 。

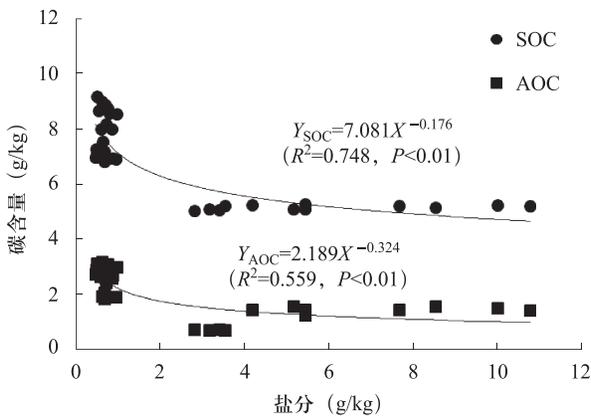


图1 沿海滩涂稻田土壤有机碳和活性有机碳与盐分之间的相关关系

3 讨论

3.1 沿海滩涂种植水稻对土壤盐分、土壤有机碳和活性有机碳的影响

水稻种植是改良盐碱地传统的科学方法。有研究表明, 在盐碱地种植水稻, 短期内可以改善土壤 pH 值和电导率等土壤性状^[3, 19-20]。本研究也发现, 与未利用滩涂荒地相比, 沿海滩涂种植水稻后, 稻田耕层土壤盐分显著降低, 同时种植水稻可以改变土壤盐分的垂直分布规律, 表现为水稻收获后盐分自上而下依次升高的趋势。出现这些结果的可能原因主要是沿海滩涂荒地种植水稻时, 水稻生长期间稻田不断补充淡水资源或微咸水资源, 以保持水稻的正常需水要求; 而充足的淡水或微咸水灌溉不仅可以起到洗盐作用和稀释表层土壤盐分浓度的作用, 也可以起到控盐压盐的作用, 进而使土壤耕层土壤盐分降低, 且土壤盐分在水稻种植期间盐分随着水分运动向下运移^[3-4, 20]。

土壤有机碳主要会受到土地利用变化、农艺措施管理、自然与人为干扰影响呈现较强的动态变化, 其中土地利用方式的转变对土壤有机碳的影响具有关键作用^[11-12, 21-22]。本研究结果发现, 沿海滩涂种植水稻可以显著提高稻田耕层土壤有机碳含量和活性有机碳含量 (表 2), 且随着水稻种植年限的增加, 耕层土壤有机碳含量逐渐增加, 这与前人在稻田中有关土壤有机碳的研究结果一致^[6, 23]。例如汤洁等^[6]研究发现稻田土壤有机碳

含量随着开发年限的增加而增加, 有机碳含量的增加速度随着开发年限的增加逐渐减少; 蔡家艳等^[23]在鄱阳湖围垦区的稻田研究中也发现, 表层土壤有机碳随着围垦年限具有显著增加的趋势, 且表层土壤有机碳显著高于底层土壤。同时, 本研究结果也发现, 沿海滩涂围垦区土壤活性有机碳与其有机碳含量具有显著的正相关 ($P < 0.01$), 表明土壤活性有机碳可用于表征该区域土壤碳库的变化大小, 这与巫芯宇等^[16]的研究发现一致。另外, 本研究还发现, 沿海滩涂种植水稻后, 土壤盐分与有机碳及活性有机碳之间均具有极显著的幂函数相关关系 ($P < 0.01$), 这与 Su 等^[13]在盐碱湿地中的研究结果相似。这些研究结果说明在一定范围内, 随着沿海滩涂发展稻田土壤盐分逐渐降低, 土壤有机碳和活性有机碳含量均会逐渐增加, 同时若滩涂土壤表层盐分不断累积将不利于滩涂土壤有机碳的积累^[11, 13, 24]。因此, 在进行研究滩涂地区土壤有机碳平衡和农田土壤肥力改善时, 需要综合考虑滩涂土壤降盐及控盐的问题。

3.2 沿海滩涂种植水稻对土壤碳库管理指数的影响

前人研究表明, 活性有机碳含量与土壤碳库管理指数 (CPMI) 之间具有密切的相关性, 同时水稻产量与活性有机碳含量和碳库管理指数均存在极显著的相关性^[25]。CPMI 结合了土壤碳库指标和土壤碳库活度指标, 既可以反映外界管理措施对土壤有机碳总量的影响, 也反映了土壤有机碳组分的变化情况, 所以能够较全面和动态地反映外界条件对土壤有机碳性质的影响^[26-29]。本研究结果表明, 沿海滩涂围垦区发展种植水稻后可以显著提高土壤碳库指数、碳库活度指数和碳库管理指数, 且连续种植 4 年水稻的稻田比新垦第 1 年种植水稻稻田耕层土壤碳库指数和碳库管理指数均有不同程度的提高。这些与吴崇书等^[15]的研究结果相似, 他们在滨海地区研究发现, 随着滨海盐土围垦区随着种植农作物年限的增加其土壤碳库管理指数逐渐增加。同时, 研究表明滩涂围垦后的农业活动类型与方式是滩涂开发后影响土壤有机碳变化的核心要素, 远远高于自然滩涂中的自然主导因子^[30]。因此, 我们得出结论, 沿海滩涂发展稻田种植后, 随着种植年限的逐渐增长和一系列农艺措施的进行, 将有利于改善滩涂土壤质量, 提高土壤肥力。

4 结论

在江苏沿海滩涂围垦地区展开水稻种植对滩涂土壤有机碳及碳库管理指数影响的试验研究, 得出以下结论: (1) 沿海滩涂地区发展水稻种植, 第1年种植可以显著降低稻田耕层土壤盐分, 但随着种植年限的增加, 土壤盐分没有显著地降低趋势; (2) 发展水稻种植可以显著增加滩涂稻田耕层土壤有机碳和活性有机碳含量, 且连续种植4年水稻较种植1年显著增加; (3) 沿海滩涂发展水稻种植对土壤碳库指数、碳库活度指数和碳库管理指数提高均有显著的积极作用。总之, 沿海滩涂发展水稻种植后, 有利于降低滩涂土壤盐分、改善滩涂土壤质量和提高土壤肥力。

参考文献:

- [1] 黎立群, 董汉章, 王遵亲. 南疆种稻改良盐土的问题 [J]. 土壤学报, 1980, 17 (4): 365-373.
- [2] 中国3 000万亩沿海滩涂将成为后备粮仓 [EB/OL]. <http://news.aveb.com.cn/20141202/578737208.shtml>, 2014-12-02.
- [3] 王相平, 杨劲松, 姚荣江, 等. 微咸水灌溉对苏北海涂水稻产量及土壤盐分分布的影响 [J]. 灌溉排水学报, 2014, 33 (2): 107-109.
- [4] 王相平, 杨劲松, 姚荣江, 等. 苏北滩涂水稻微咸水灌溉模式及土壤盐分动态变化 [J]. 农业工程学报, 2014, 30 (7): 54-63.
- [5] 俞海平, 郭彬, 傅庆林, 等. 滨海盐土肥盐耦合对水稻产量及肥料利用率的影响 [J]. 浙江农业学报, 2016, 28 (7): 1193-1199.
- [6] 汤洁, 张雯辉, 李昭阳, 等. 吉林前郭水田土壤有机碳垂直分布规律和储量研究 [J]. 环境科学, 2013, 34 (7): 2788-2792.
- [7] 候晓静, 杨劲松, 王相平, 等. 不同施肥方式下滩涂围垦农田土壤有机碳及团聚体有机碳的分布 [J]. 土壤学报, 2015, 52 (4): 818-827.
- [8] 刘鑫, 窦森, 李长龙, 等. 开垦年限对稻田土壤腐殖质组成和胡敏酸结构特征的影响 [J]. 土壤学报, 2016, 53 (1): 137-145.
- [9] 胡君利, 林先贵, 尹睿, 等. 浙江慈溪不同利用年限水稻土主要微生物过程强度的比较 [J]. 环境科学学报, 2008, 28 (1): 174-179.
- [10] 朱利群, 杨敏芳, 徐敏轮, 等. 不同施肥措施对我国南方稻田表土有机碳含量及固碳持续时间的影响 [J]. 应用生态学报, 2012, 23 (1): 87-95.
- [11] Liu W, Su Y, Yang R, et al. Land use effects on soil organic carbon, nitrogen and salinity in saline-alkaline wetland [J]. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 2010, 2 (3): 263-270.
- [12] Wong V N L, Greene R S B, Dalal R C, et al. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: a review [J]. *Soil Use and Management*, 2010, 26 (1): 2-11.
- [13] Su Y, Liu T, Wang X, et al. Salinity effects on soil organic carbon and its labile fractions, and nematode communities in irrigated farmlands in an arid region, northwestern China [J]. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 2016, 8 (1): 46-53.
- [14] 沈宏, 曹志洪, 胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应 [J]. 生态学杂志, 1999, 18 (3): 33-39.
- [15] 吴崇书, 谢国雄, 章明奎. 农艺措施与土地利用方式转变对土壤碳库管理指数的影响 [J]. 浙江农业学报, 2015, 27 (4): 611-617.
- [16] 巫芯宇, 廖和平, 杨伟. 耕作方式对稻田土壤有机碳与易氧化有机碳的影响 [J]. 农机化研究, 2013, (1): 184-188.
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [18] Blair G J, Lefroy R, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems [J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1995, 46 (7): 393-406.
- [19] 董起广, 何振嘉, 高红贝, 等. 沿黄地区盐碱地种植水稻土壤理化性质的比较 [J]. 植物资源与环境学报, 2017, 26 (2): 110-112.
- [20] 张蛟, 翟彩娇, 崔士友. 微咸水灌溉滩涂稻田盐分动态及其水稻产量表现 [J]. 江苏农业学报, 2018, 34 (4): 799-803.
- [21] 孔樟良. 利用方式转变对水稻土活性有机碳及碳库管理指数的影响 [J]. 土壤通报, 2016, 47 (2): 371-377.
- [22] Setia R, Gottschalk P, Smith P, et al. Soil salinity decreases global soil organic carbon stocks [J]. *Science of the Total Environment*, 2013, 465: 267-272.
- [23] 蔡家艳, 吴琴, 钟欣孜, 等. 鄱阳湖区不同围垦年限稻田土壤碳氮变化 [J]. 生态学杂志, 2016, 35 (8): 2009-2013.
- [24] Morrissey E M, Gillespie J L, Morina J C, et al. Salinity affects microbial activity and soil organic matter content in tidal wetlands [J]. *Global Change Biology*, 2014, 20 (4): 1351-1362.
- [25] 杨滨娟, 黄国勤, 兰延, 等. 施氮和冬种绿肥对土壤活性有机碳及碳库管理指数的影响 [J]. 应用生态学报, 2014, 25 (10): 2907-2913.
- [26] 沈宏, 曹志洪, 徐志红. 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响 [J]. 土壤学报, 2000, 37 (2): 166-173.
- [27] 郭宝华, 范少辉, 杜满义, 等. 土地利用方式对土壤活性碳库和碳库管理指数的影响 [J]. 生态学杂志, 2014, 33 (3): 723-728.
- [28] 彭华, 纪雄辉, 吴家梅, 等. 不同稻草还田模式下双季稻土壤有机碳及碳库管理指数研究 [J]. 生态环境学报, 2016, 25 (4): 563-568.
- [29] 王改玲, 李立科, 郝明德. 长期施肥和秸秆覆盖土壤活性有机质及碳库管理指数变化 [J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23 (1): 20-26.
- [30] 李建国, 袁冯伟, 赵冬萍, 等. 滨海滩涂土壤有机碳演变驱动因子框架 [J]. 地理科学, 2018, 38 (4): 580-589.

Effects of rice cultivation on soil organic carbon and carbon pool management index in coastal areas

ZHANG Jiao^{1*}, CUI Shi-you¹, HU Shuai-dong², ZHAI Cai-jiao¹, WANG Bo¹ (1. Jiangsu Yanjiang Institute of Agricultural Sciences, Nantong Jiangsu 226541; 2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang A & F University, Lin'an Zhejiang 311300)

Abstracts: Effects of rice cultivation on soil organic carbon and carbon pool management index and changes in the relationship between soil organic carbon and salinity were investigated to provide scientific basis for evaluating the changes in soil quality in the paddy fields of coastal areas. A field experiment including 0 year's field (CK, 0-Y), 1 year's field (1-Y) and 4 year's field (4-Y) for planting rice was conducted in coastal areas in Rudong, Jiangsu Province. After the rice harvest in 2016, the soil samples of representative fields were collected for determining soil salinity, soil organic carbon (SOC) and active organic carbon (AOC) and calculating carbon pool index (CPI), carbon pool activity index (AI) and carbon pool management index (CPMI) at soil depth of 0 ~ 10, 10 ~ 20 and 20 ~ 30 cm. Results showed that: (1) Compared with CK plots, soil salinity at soil depth of 0 ~ 30 cm declined significantly in 1-Y and 4-Y plots ($P < 0.05$) and soil salinity at soil depth of 0 ~ 10, 10 ~ 20 and 20 ~ 30 cm were decreased by 94.38% and 92.77%, 86.57% and 85.94%, 77.48% and 77.91%, respectively, in 1-Y and 4-Y plots, but had no significant differences between 1-Y and 4-Y plots at soil depth of 0 ~ 30 cm ($P > 0.05$); (2) Soil organic carbon at soil depth of 0 ~ 30 cm increased significantly in 1-Y and 4-Y plots ($P < 0.05$) and soil organic carbon at soil depth of 0 ~ 10, 10 ~ 20 and 20 ~ 30 cm increased by 36.11% and 69.17%, 37.64% and 69.20%, 36.42% and 57.50%, respectively, in 1-Y and 4-Y plots; soil organic carbon at soil depth of 0 ~ 30 cm also increased significantly in 1-Y and 4-Y plots ($P < 0.05$) and soil organic carbon at soil depth of 0 ~ 10, 10 ~ 20 and 20 ~ 30 cm increased by 85.63% and 101.20%, 89.26% and 110.04%, 158.70% and 243.59%, respectively, in 1-Y and 4-Y plots; (3) The cultivation of rice had significantly positive impacts on the increase of CPI, AI and CPMI in coastal areas, and the CPI and CPMI at soil depth of 0 ~ 30 cm had a certain increase in 4-Y plots compared with 1-Y plots; (4) Soil salinity had significant power functions correlation with soil organic carbon and active organic carbon at depth of 0 ~ 30 cm in the paddy fields of coastal areas ($P < 0.01$). In a word, the cultivation of rice could reduce soil salinity, and increase soil organic carbon, active organic carbon and carbon pool management index, and then improve soil quality and soil fertility in the paddy fields of coastal areas.

Key words: coastal areas; paddy fields; active organic carbon; carbon pool management index; soil quality