

四川盆地水稻土有机碳与全氮的时空变异及影响因素研究^①

胡嗣佳^{1,2}, 邓欧平², 张世熔^{1,2*}, 邓良基², 张楚儿^{1,2}, 钟钦梅^{1,2}

(1 四川农业大学环境学院, 成都 611130; 2 四川农业大学资源学院, 成都 611130)

摘要: 利用全国第二次土壤普查数据与 2008 年采样数据对四川盆地水稻土有机碳和全氮的含量水平变化进行了研究。结果表明: 研究区 1982 年和 2008 年 3 种水稻土亚类有机碳含量均呈现潜育型水稻土显著高于淹育型和潜育型水稻土。研究区 1982 年 3 种水稻土亚类全氮含量呈现潜育型水稻土显著高于淹育型水稻土, 2008 年则为潜育型水稻土显著高于淹育型和潜育型水稻土。26 年间水稻土有机碳与全氮含量均增长明显, 且淹育型与潜育型两种水稻土的增长幅度高于潜育型水稻土。1982 年至 2008 年, 平坝、冲沟和坡脚稻田中有机碳及全氮含量增长明显, 且大致呈从平坝、冲沟到坡中上部递减; 冲积物和泥岩发育的水稻土有机碳及全氮因易于积累而含量更高; 质地黏重的土壤有机碳与全氮的含量较高, 同时也比质地偏轻的土壤更利于碳、氮的积累; 冬水田与稻-油轮作的农田土壤有机碳与全氮的含量与增长幅度显著高于稻-麦轮作田。

关键词: 四川盆地; 水稻土; 有机碳; 全氮; 时空变异; 影响因素

中图分类号: S158

农业土壤碳、氮库与全球碳、氮平衡以及气候变化密切相关^[1-3]。水稻土作为农业土壤的重要组成部分, 不仅有机碳储量较高, 固碳潜力也远高于旱地土壤^[1, 4]。因此研究水稻土有机碳、氮对正确认识农业土壤系统碳、氮的循环有重要意义^[5]。已有研究表明, 影响土壤有机碳与全氮变化的主要因素有气候、地形、土壤质地和人为管理措施等^[6-8]。吕国红等^[9]研究气候因子对辽宁耕地土壤有机碳、氮的影响结果表明, 碳、氮含量随气温下降与降水增加而增加。Córdova 等^[10]对土壤氮素的空间变异研究表明土壤质地与农田管理措施对氮素的积累有显著影响。目前, 我国对水稻土有机碳、氮的研究多集中在东部地区且多注重于对人为因素及单因素对其影响的研究^[11-14]。Huang 等^[15]对江苏如皋市稻田有机碳及全氮的时空变异的研究表明, 秸秆还田、有机肥的施用与种植作物结构对有机碳及全氮变化有显著影响。李文军等^[16]对洞庭湖双季稻水稻土有机碳、氮的研究表明无机肥与有机肥的配合施用更有利于土壤有机碳及全氮的积累。四川盆地自然条件与东部地区差异显著, 且地形复杂, 有独特的紫色土发育形成的水稻土, 也是中国最大的水稻产区之一。但微地形对该区域水稻土有机

碳、氮影响的研究, 以及分析多因素共同作用于水稻土有机碳及全氮的研究还鲜见系统报道。因此, 分析该区域微地形对水稻土有机碳、氮变异的影响能为科学管理稻田碳、氮库提供参考依据。

四川盆地位于我国西南腹地, 是我国四大盆地之一, 人口密度大, 土地垦殖率高, 水稻种植历史悠久, 是研究水稻土有机碳时空变异的典型地区。本研究选取宣汉、广安、安县、仁寿和长宁 5 个县, 分别位于四川盆地的东北部、东部、西北部、南部和东南部, 均为四川盆地水稻土分布的典型区域, 代表了四川盆地水稻土类型主要的分布地区。本文结合全国第二次土壤普查的数据, 研究近 26 年来四川盆地内水稻土中有机碳及全氮的变异特征, 并定量考察地形、母质、土壤质地及轮作制度等因子对其的影响程度, 以期为该地区水田碳密度的估算以及考量水田的固碳固氮潜力提供参考依据, 为科学管理耕地、促使区域碳、氮平衡和应对全球气候变化提供对策。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区为四川盆地, 地理位置介于 103°11′ ~

基金项目: 四川省科技支撑计划项目(2014NZ0044)资助。

* 通讯作者(rsz01@163.com)

作者简介: 胡嗣佳(1990—), 女, 四川成都人, 硕士研究生, 主要从事土壤碳循环研究。E-mail: hu_sijia@yeah.net

107°42'E, 28°53' ~ 32°23'N, 盆地底部面积约为 16 万 km², 海拔 200 ~ 750 m。区内气候温暖湿润, 为典型的亚热带季风气候。全年光热资源充足, 日照时数为 900 ~ 1 300 h, 年 10℃以上活动积温为 4 500 ~ 6 000℃, 各地年均温为 16 ~ 18℃。各地年均降水量为 1 000 ~ 1 300 mm, 降水集中在 6—8 月, 无霜期长达 280 ~ 350 天。区内地形四周高, 中间低, 以平原、丘陵地貌为主。成土母质主要为侏罗系蓬莱镇组、侏罗系沙溪庙组、白垩系城墙岩群紫色砂岩、泥岩以及近代河流冲积物。土壤类型主要为紫色土和水稻土, 其中水稻土约占研究区面积的 42%。土地利用方式以水田、旱地为主。农业生产多为一年两熟, 主要作物为水稻、小麦和玉米, 主要经济作物为油菜、棉花和柑橘。

1.2 供试土壤

1982 年土样信息来自全国第二次土壤普查数据, 2008 年土样采自四川盆地水稻土主要类型集中分布的宣汉、广安、安县、仁寿和长宁 5 个县的水稻田。按水稻土类型分类抽样的方法, 野外采取 0 ~ 20 cm 的表层耕地土壤, 并详细记录其成土母质、土壤质地、土壤类型和土地利用方式等信息, 共计 204 个样本。采集土样风干, 过 2 mm 筛备用。

1.3 分析方法

土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾外加加热法测定, 土壤全氮(STN)采用凯式定氮法测定。

1.4 数据处理

在 SPSS19.0 平台上进行单因素方差分析、相关回归分析及线性回归分析。

2 结果与讨论

2.1 1982—2008 年水稻土有机碳及全氮含量变化

研究区 1982 年水稻土有机碳含量呈潜育型水稻土与潜育型水稻土明显大于淹育型水稻土(表 1)。2008 年时潜育型水稻土显著高于潜育型水稻土与淹育型水稻土。1982 年至 2008 年, 淹育型水稻土有机碳含量增长 39.12%, 潜育型水稻土有机碳含量增长 40.66%, 涨幅显著大于潜育型水稻土(16.71%)。同时研究区 1982 年时潜育型水稻土全氮含量也显著大于淹育型水稻土(表 1, $P < 0.05$), 而潜育型水稻土与前两者差异均不显著($P > 0.05$)。2008 年时, 土壤全氮含量为潜育型水稻土显著高于淹育型、潜育型水稻土。它们的增长幅度同样为淹育型水稻土(21.46%)和潜育型水稻土(22.78%)明显大于潜育型水稻土(8.15%)。研究区不同亚类水稻土中有机碳与全氮的含量都有不同程度增长, 但全氮的积累速度整体上都低于有机碳。这与武俊喜等^[17]的研究表明, 的长江中下游平原稻田表土全氮在 1940 年至 2002 年间几乎没有积累的结论不同。两地稻田全氮积累量呈现差异的原因可能为稻田耕作、施肥制度的不同。

表 1 1982 年和 2008 年不同类型水稻土有机碳及全氮特征统计

Table 1 Descriptive statistical characteristics of soil organic carbon (SOC) and soil total nitrogen (STN) in different paddy soils in 1982 and 2008

项目	类型	年份	样本数	分布类型	最小值 (g/kg)	最大值 (g/kg)	平均值 (g/kg)	标准差 (g/kg)	偏度	峰度
有机碳	淹育型水稻土	1982	65	LN	5.41	24.36	9.80	3.14	2.21	7.37
		2008	95	LN	6.72	27.51	12.33	4.29	1.24	1.05
	潜育型水稻土	1982	57	LN	5.84	19.95	11.25	2.89	1.00	2.69
		2008	57	LN	5.81	20.36	13.13	3.26	0.19	-0.18
	潜育型水稻土	1982	52	LN	7.22	19.14	11.41	2.09	1.71	5.86
		2008	52	LN	8.13	30.08	16.04	4.28	1.08	1.82
全氮	淹育型水稻土	1982	65	LN	0.33	1.06	0.53	0.16	1.35	2.19
		2008	95	LN	0.21	1.49	0.70	0.26	0.48	0.19
	潜育型水稻土	1982	57	LN	0.32	1.12	0.58	0.16	1.20	2.67
		2008	57	LN	0.28	1.17	0.63	0.16	0.51	1.84
	潜育型水稻土	1982	52	LN	0.41	0.89	0.61	0.12	0.43	-0.76
		2008	52	LN	0.35	1.35	0.75	0.19	0.37	1.06

注: LN 代表对数正态分布, 下同。

2.2 水稻土有机碳及全氮在研究区内的水平变化

在 SPSS19.0 平台上采用单一样本 K-S 和描述性统计方法对土壤有机碳含量进行了正态分布检验, 结果表

明, 本研究采集的四川盆地 1982 年 174 个样本及 2008 年 204 个样本有机碳与全氮含量服从对数正态分布(表 2)。1982 年与 2008 年有机碳含量皆属于中等水平,

表 2 1982 年和 2008 年土壤有机碳和全氮含量特征统计
Table 2 Descriptive statistical characteristics of SOC and STN in 1982 and 2008

项目	年份	样本数	分布类型	最小值 (g/kg)	最大值 (g/kg)	平均值 (g/kg)	标准差 (g/kg)	偏度	峰度
有机碳	1982	174	LN	5.41	24.36	10.76	2.86	1.39	4.17
	2008	204	LN	5.81	30.08	13.50	4.29	0.92	1.36
全氮	1982	174	LN	0.32	1.12	0.57	0.15	0.96	1.39
	2008	204	LN	0.21	1.49	0.69	0.22	0.53	0.78

变异系数同为中等程度变异。1982 年与 2008 年土壤全氮含量也都为中等水平，变异系数都为中等程度变异。

从不同类型水稻土有机碳含量来看，1982 年与 2008 年水稻土有机碳含量的描述性统计与正态分布检验结果表明，淹育型、潜育型和潜育型水稻土有机碳含量皆为对数正态分布(表 1)。1982 年 3 种水稻土有机碳含量变异系数皆属于中等程度变异，同时淹育型水稻土有机碳含量的极差显著大于潜育型与潜育型水稻土。2008 年 3 种亚类水稻土有机碳含量变异系数皆属于中等程度变异，极差呈淹育型与潜育型水稻土显著大于潜育型水稻土。

从不同类型水稻土全氮含量来看，1982 年与 2008 年水稻土全氮含量的正态分布检验与描述特征统计表明，淹育型、潜育型和潜育型水稻土全氮含量

呈对数正态分布(表 1)。1982 年的 3 种水稻土全氮含量变异系数均为中等变异程度，全氮含量极差为淹育型与潜育型水稻土显著大于潜育型水稻土。2008 年时 3 种水稻土变异系数都属于中等程度变异，极差都较大但差别不明显。

从不同县域水稻土有机碳含量来看，1982 年与 2008 年其含量的描述性特征统计与正态分布检验结果表明，宣汉、广安、安县、仁寿和长宁 5 个县的水稻土有机碳含量皆为对数正态分布(表 3)。1982 年时 5 个县的水稻土有机碳含量的变异系数均呈中等程度变异；而长宁县水稻土有机碳含量极差较大，显著高于其他 4 个地区。2008 年时 5 个县的水稻土有机碳含量的变异系数均为中等程度变异；同时，仁寿的有机碳含量极差显著高于其他地区。

表 3 1982 年和 2008 年不同地区水稻土有机碳及全氮特征统计
Table 3 Descriptive statistical characteristics of SOC and STN in the paddy soils from different areas in 1982 and 2008

项目	地区	年份	样本数	分布类型	最小值 (g/kg)	最大值 (g/kg)	平均值 (g/kg)	标准差 (g/kg)	偏度	峰度
有机碳	宣汉	1982	33	LN	6.45	18.93	10.80	2.21	1.42	4.89
		2008	33	LN	6.72	25.30	12.18	3.40	1.64	5.98
	广安	1982	34	LN	5.41	19.95	10.65	3.20	0.96	1.91
		2008	34	LN	5.81	20.83	12.75	2.48	0.30	3.85
	安县	1982	37	LN	2.78	12.59	9.59	2.16	-0.95	1.20
		2008	57	LN	8.66	24.65	13.93	3.73	0.76	-0.10
	仁寿	1982	28	LN	6.03	19.95	10.86	2.67	1.14	3.92
		2008	28	LN	6.32	27.51	15.75	5.15	0.50	0.19
	长宁	1982	42	LN	5.48	24.36	10.99	3.84	1.43	2.81
		2008	52	LN	6.68	30.08	13.15	5.31	0.85	0.77
全氮	宣汉	1982	33	LN	0.40	1.06	0.63	0.14	0.75	1.35
		2008	33	LN	0.21	1.09	0.47	0.18	1.37	3.25
	广安	1982	34	LN	0.33	1.08	0.52	0.16	1.76	4.08
		2008	34	LN	0.41	1.09	0.67	0.14	0.77	1.75
	安县	1982	37	LN	0.32	0.82	0.54	0.15	0.47	-0.94
		2008	57	LN	0.51	1.27	0.78	0.16	0.77	0.76
	仁寿	1982	28	LN	0.34	0.86	0.57	0.11	0.31	0.84
		2008	28	LN	0.28	1.21	0.75	0.21	-0.21	0.53
	长宁	1982	42	LN	0.38	1.12	0.60	0.16	1.40	2.50
		2008	52	LN	0.34	1.49	0.72	0.26	1.02	1.01

从不同县域水稻土全氮含量来看,宣汉、广安、安岳、仁寿和长宁 5 个县的水稻土全氮含量都呈对数正态分布(表 3)。1982 年时宣汉、广安、安岳、仁寿和长宁 5 个县的水稻土全氮含量变异系数均属于中等程度变异。2008 年,5 个县的水稻土全氮含量同为中等程度变异。

2.3 水稻土有机碳和全氮变化的影响因素分析

2.3.1 微地形 地形通过影响光、热、水条件的分配从而影响土壤有机碳和氮素的含量^[18]。研究区地形跨度较大,样点在平坝至山地皆有分布,根据实际情况将研究区分为平坝、冲沟、坡脚、坡体中下部和坡体中上部 5 种微地貌类型(图 1)。单因素方差分析表明 1982 年研究区水稻土有机碳含量为冲沟与坡中下部显著大于平坝、坡脚,平坝、坡脚显著大于坡中上部(图 1, $P<0.05$); 2008 年研究区水稻土有机碳含量呈现冲沟和平坝显著大于坡脚、坡中下部与坡中上部(图 1, $P<0.05$)。26 年间有机碳含量在平坝、冲沟

和坡脚处增长明显,分别增加了 42.22%、40.15% 和 36.21%。方差分析表明 1982 年研究区水稻土全氮含量在不同微地形间差异不明显(图 1, $P>0.05$); 2008 年研究区水稻土全氮含量则呈平坝和冲沟显著大于坡脚,坡脚显著大于坡体中下部与坡体中上部($P<0.05$)。水稻土全氮含量在平坝处增长最为明显,为 33.58%,冲沟、坡脚处次之,分别为 23.86% 和 21.84%。研究表明,在平坝、冲沟和坡脚区更利于水稻土有机碳与全氮的积累。这与干旱地区耕地土壤有机碳及全氮在沟谷底部量最低^[19],以及森林土壤随海拔上升有机碳含量增加不同^[20]。四川盆地丘陵区冲沟是丘坡物质的堆积区,土壤颗粒组成中黏粒含量较高,因而土壤有机碳及全氮含量均高;而在丘陵坡地上坡度较大,水分条件较差,土壤有机质矿化作用较强且常年翻耕,有机碳和全氮易于随雨水流失,其含量相对较低^[21]。

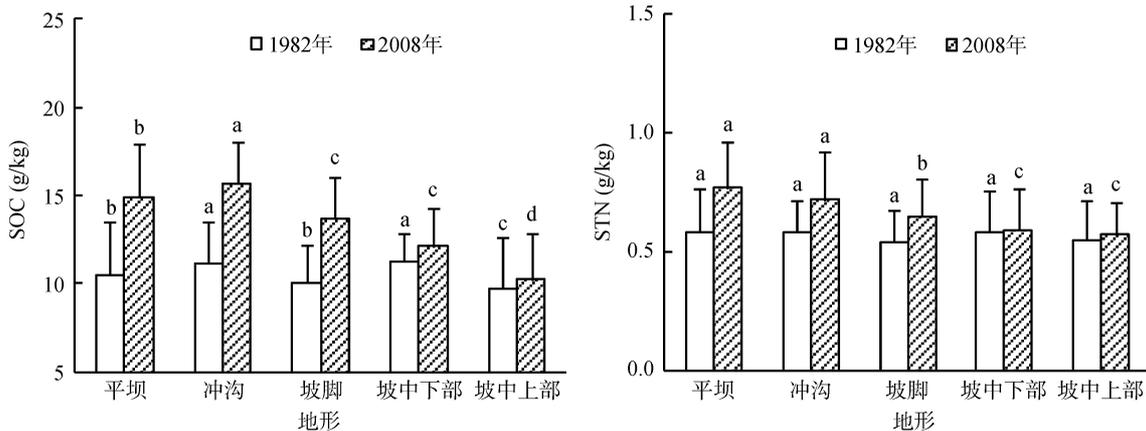


图 1 1982 年与 2008 年不同地形区土壤有机碳与全氮含量

Fig. 1 SOC and STN concentrations of the soils from different topographies in 1982 and 2008

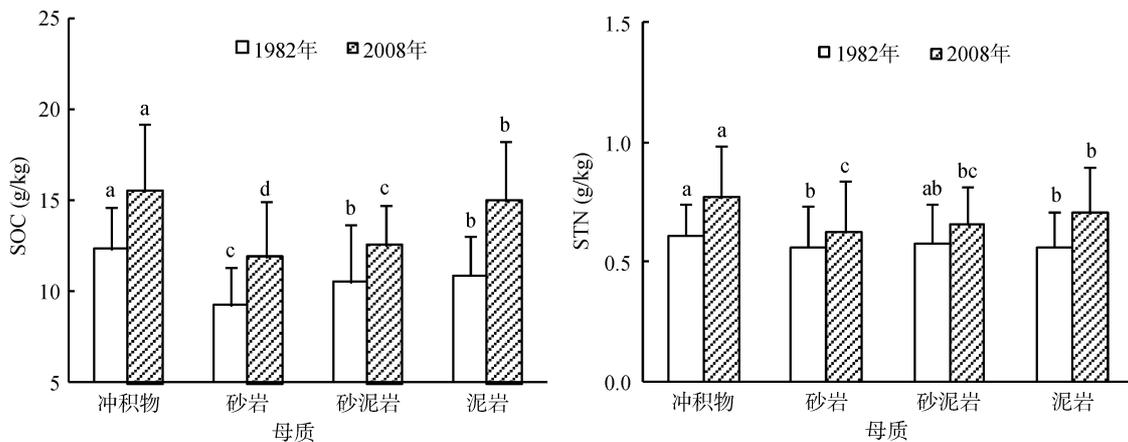


图 2 1982 年与 2008 年不同母质土壤有机碳与全氮含量

Fig. 2 SOC and STN concentrations of the soils with different parent materials in 1982 and 2006

2.3.2 母质 成土母质是土壤的基础,在根本上影响着土壤的理化性质,从而影响土壤有机碳与全氮的

含量分布^[22]。研究区的土壤母质以遂宁组、蓬莱组、沙溪庙组的紫红色泥岩、砂岩、砂泥岩、粉砂岩以及

近代河流冲积物为主。在此进一步将研究区的母质分为泥岩、砂岩、砂泥岩和冲洪积物母质。单因素方差分析表明,1982 年与 2008 年研究区水稻土有机碳含量皆为冲积物发育的土壤显著大于砂泥岩与泥岩(图 2),砂泥岩与泥岩显著大于砂岩($P<0.05$)。26 年间,4 种母质发育的土壤有机碳含量均有明显增长,冲积物与砂泥岩增长最多,分别为 26.03% 和 37.62%。方差分析表明,1982 年研究区水稻土全氮含量在不同母质下差别不大(图 2, $P>0.05$);而 2008 年水稻土全氮含量为冲积物显著大于砂岩、砂泥岩与泥岩($P<0.05$)。26 年间,泥岩与冲积物发育的土壤增长最多,分别为 27.13% 和 26.96%。这与其他研究结论基本一致^[23-24]。冲积物发育的土壤有机物丰富,土壤有机碳与氮素富集,而砂岩发育的土壤土质疏松,透气性强,有机碳与氮素易被矿化。泥岩发育的土壤一方面较为黏重,保水性好,有机碳与氮素的矿化作用弱,易积累;但黏重的土壤不易耕作,有机碳与氮素的输入较少,因此泥岩发育的土壤有机碳及全氮的含量和增长较少。

2.3.3 质地 土壤质地反映了通气透水状况,从而影响有机碳及氮素的矿化速度^[25]。研究区土壤质地

以中壤、重壤和黏土为主,轻壤、砂土与砂壤次之。单因素方差分析表明,研究区 1982 年水稻土有机碳含量呈重壤和黏土显著高于砂土、砂壤、轻壤和中壤(图 3),轻壤显著高于砂土($P<0.05$);2008 年水稻土有机碳则为重壤和黏土显著高于轻壤和中壤,而后者又显著高于砂壤,砂土则显著低于其他质地类型($P<0.05$)。1982 年至 2008 年土壤有机碳含量除砂土有所降低(-0.46%)外,其余增长明显,且不同质地间增量差别较小。方差分析表明研究区 1982 年水稻土全氮含量为重壤显著高于轻壤(图 3),轻壤则显著高于砂土($P<0.05$);2008 年全氮含量为重壤显著大于砂土、砂壤和轻壤,而与中壤和黏土差异不明显($P<0.05$)。26 年间,黏土中全氮含量增加最多,为 16.80%,显著高于其他几种质地的土壤;而其他几种土壤增量差别不显著。这与江苏农田土壤有机碳及全氮随土壤质地由黏至砂而降低的结论有一定差别^[26]。除砂土外,不同质地土壤有机碳的增长都明显大于全氮。这与地区间不同的施肥措施有关。对于土壤有机碳与氮素而言,重壤和黏土通气性差,土壤长期处于嫌气状态,更利于有机碳与氮素的积累与储存;而砂土透气性好,土壤中的有机碳与氮素易被矿化,积累较少。

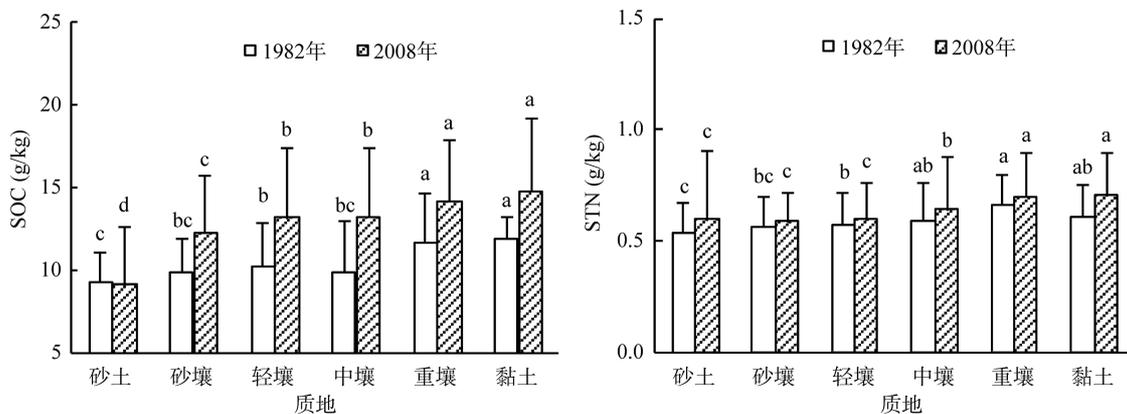


图 3 1982 年与 2008 年不同质地土壤有机碳与全氮含量

Fig. 3 SOC and STN concentrations of the soils with different textures in 1982 and 2008

2.3.4 轮作制度 轮作制度决定了土壤中碳的输入,同时影响生物活动,从而也对有机碳的输出有所影响^[27]。研究区水稻土上轮作制度为冬水田、稻-油轮作与稻-麦轮作。单因素方差表明,研究区 1982 年水稻土有机碳含量为冬水田与稻-麦轮作田显著高于稻-油轮作田(图 4, $P<0.05$);而 2008 年则为冬水田显著高于稻-油轮作田,稻-油轮作田显著高于稻-麦轮作田($P<0.05$)。26 年间稻-油轮作与冬水田有机碳含量增长明显,分别为 44.24% 与 36.86%,显著高于稻-麦轮作田(2.92%)。这与田康等^[28]对农田有机

碳变化速率进行研究得出的一年一熟制农田的有机碳积累小于一年两熟制结论有一定出入。这可能是不同地区的气候特别是降水差异对田间水气条件的影响不同而造成的。单因素方差分析表明 1982 年不同轮作制度下水稻土全氮含量差别不明显(图 4, $P>0.05$);2008 年则为冬水田与稻-油轮作田显著高于稻-麦轮作田($P<0.05$)。全氮含量增长呈稻-油轮作田(32.07%)显著大于冬水田(19.44%),显著大于稻-麦轮作田(12.63%)。由于冬水田在冬季关水,土壤长期处于嫌气条件,有机碳及氮素分解慢,易积累。

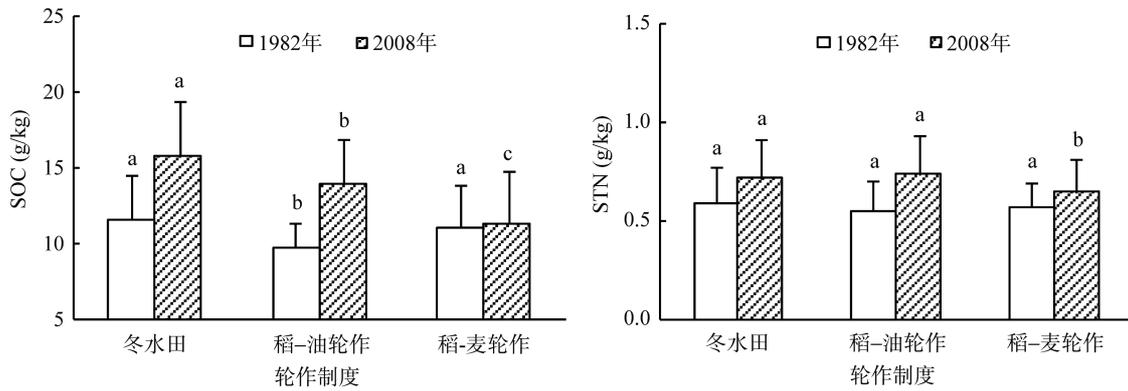


图 4 1982 年与 2008 年不同轮作制度土壤有机碳与全氮含量
Fig. 4 SOC and STN concentrations under the different rotation systems in 1982 and 2008

为定量观察各因子对土壤有机碳和全氮含量影响的差异,本研究将微地形、母质、质地及轮作方式 4 个因子分别设为 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 ,采用多元逐步回归分析,建立 1982 年和 2008 年水稻土有机碳、全氮与影响因子之间的逐步回归方程(表 4)。结果表明,在 1982 年,土壤有机碳含量的主要影响因素是母质,土壤全氮含量的主要影响因素是母质和质地。在 2008 年,土壤有机碳的主要影响因素是微地形、母

质和轮作方式,而土壤全氮的主要影响因素仅是微地形。这可能是由于 1982 年至 2008 年这 26 年间,长期耕作熟化和有机肥施用增加使母质对有机碳的影响减弱,而微地形和轮作方式的影响更加明显。同时,在这 26 年间,四川盆地水稻土施用氮肥量从 105 ~ 132 kg/hm² 增加至 180 ~ 232 kg/hm²,同比增长约 76%。这在部分程度上掩盖了母质、质地和轮作方式对土壤全氮含量的影响。

表 4 1982 年和 2008 年土壤有机碳及全氮与影响因素的逐步回归方程
Table 4 Stepwise regression equations of SOC and STN with influence factors in 1982 and 2008

项目	年份	方程	F	R ²	P
有机碳	1982	$y = 0.574X_2 + 9.027$	7.170	0.200	0.008
	2008	$y = 0.876X_1 + 0.514X_3 + 1.280X_4 + 6.118$	27.808	0.543	0.000
全氮	1982	$y = 0.042X_2 - 0.014X_3 + 0.504$	10.032	0.324	0.000
	2008	$y = 0.022X_1 + 0.622$	4.441	0.147	0.036

注: X_1 代表微地形, X_2 代表母质, X_3 代表质地, X_4 代表轮作方式。

2.4 土壤有机碳与全氮相关分析

土壤中的氮素影响微生物分解有机碳的速度,与有机碳含量密切相关。相关分析表明,研究区 1982 年与 2008 年土壤有机碳与全氮含量皆呈显著正相关 ($P < 0.05$)。1982 年淹育型水稻土和潜育型水稻土中有

机碳含量与土壤全氮的相关性较之潜育型水稻土更为显著(图 5)。2008 年淹育型水稻土中有机碳含量与土壤全氮的关系较之潜育型与潜育型更为显著(图 6),潜育型水稻土与潜育型水稻土因质地较为黏重,微生物活动比之淹育型水稻土较弱。此外,在 1982 年,淹育型、

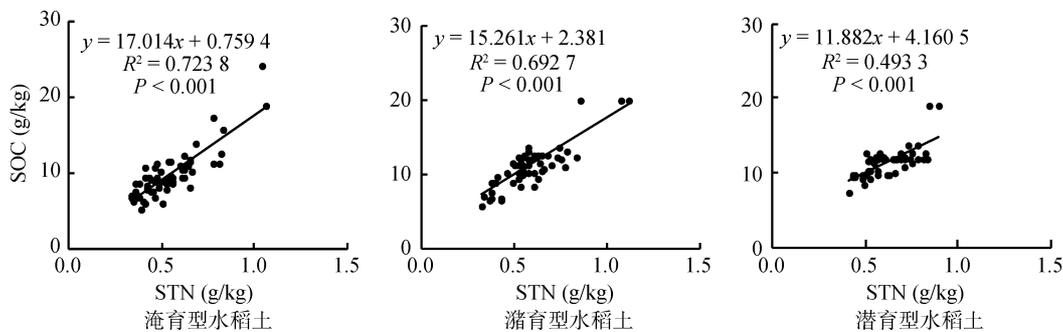


图 5 1982 年不同类型水稻土土壤有机碳与全氮关系
Fig. 5 Relationship between SOC and STN concentrations in different paddy soils in 1982

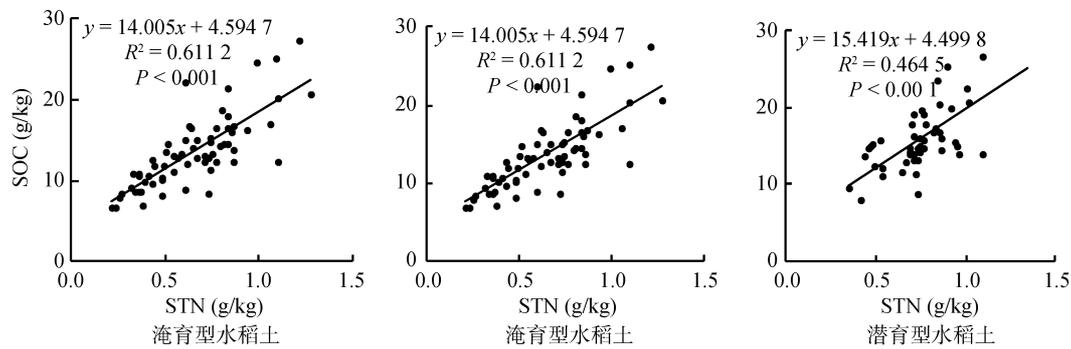


图 6 2008 年不同类型水稻土土壤有机碳与全氮关系

Fig. 6 Relationship between SOC and STN concentrations in different paddy soils in 2008

潜育型和潜育型水稻土碳氮比分别为 19.63、19.61 和 19.98。但在 2008 年其碳氮比分别为 21.94、21.58 和 22.45。26 年间土壤碳氮比增加主要是由于四川盆地在稻田中长期推行秸秆还田，增加了土壤有机碳的含量。

3 结论

1) 研究区水稻土有机碳含量呈对数正态分布，1982 年时潜育型与潜育型水稻土有机碳含量显著高于淹育型水稻土。2008 年时为潜育型水稻土显著高于淹育型与潜育型水稻土。1982—2008 年，潜育型水稻土有机碳含量增长最快，淹育型次之，而潜育型水稻土则显著低于前两者。

2) 研究区水稻土全氮含量呈对数正态分布，1982 年的潜育型水稻土全氮含量显著高于淹育型水稻土，而潜育型水稻土全氮含量居中。2008 年时全氮含量为潜育型水稻土显著高于淹育型与潜育型水稻土。1982—2008 年，土壤全氮含量的积累速度为潜育型与淹育型水稻土显著高于潜育型水稻土。

3) 研究区水稻土有机碳及全氮含量主要受地形、母质、土壤质地、轮作方式等因素的综合影响。从平坝、冲沟和坡脚处土壤有机碳、全氮含量与积累显著大于坡中下部以及坡中上部。冲积物与泥岩发育的土壤有机碳及全氮因易于累积而含量显著大于砂岩与砂泥岩。重壤与黏土有机碳、全氮的含量显著高于其他质地的土壤。冬水田与稻—油轮作田的有机碳及全氮含量与积累量都显著高于稻—麦轮作田。

参考文献：

- [1] 潘根兴, 李恋卿, 郑聚锋, 等. 土壤碳循环研究及中国稻田土壤固碳研究的进展与问题[J]. 土壤学报, 2008, (5): 901-914
- [2] Pan G, Smith P, Pan W. The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2009, 129(1-3): 344-348
- [3] 余涛, 杨忠芳, 侯青叶, 等. 我国主要农耕区水稻土有机碳含量分布及影响因素研究[J]. 地学前缘, 2011, (6): 11-19
- [4] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 778-783
- [5] Yang J, Gao W, Ren S. Long-term effects of combined application of chemical nitrogen with organic materials on crop yields, soil organic carbon and total nitrogen in fluvo-aquic soil[J]. Soil and Tillage Research, 2015, 151: 67-74
- [6] 贾树海, 李晓, 陈伟伟, 等. 黑龙江地区不同类型水稻土有机碳、氮含量及其密度研究[J]. 土壤通报, 2013, (3): 601-606
- [7] 朱静, 黄标, 孙维侠, 等. 长江三角洲典型地区农田土壤有机质的时空变异特征及其影响因素[J]. 土壤, 2006, (2): 158-165
- [8] Xiong X, Grunwald S, Myers D B, et al. Interaction effects of climate and land use/land cover change on soil organic carbon sequestration[J]. Science of The Total Environment, 2014, 493: 974-982
- [9] 吕国红, 王笑影, 张玉书, 等. 农田土壤碳氮及其与气象因子的关系[J]. 农业环境科学学报, 2010, (8): 1612-1617
- [10] Córdova C, Sohi S P, Lark R M, et al. Resolving the spatial variability of soil N using fractions of soil organic matter[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2012, 147: 66-72
- [11] Hermle S, Anken T, Leifeld J, et al. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions[J]. Soil and Tillage Research, 2008, 98(1): 94-105
- [12] 陈晓芬, 李忠佩, 刘明, 等. 不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳、氮分布和微生物生物量的影响[J]. 中国农业科学, 2013, (5): 950-960
- [13] 赵明松, 张甘霖, 吴运金, 等. 江苏省土壤有机质含量时空变异特征及驱动力研究[J]. 土壤学报, 2014, (3): 448-458
- [14] 马渝欣, 李徐生, 李德成, 等. 皖北平原蒙城县农田土壤有机碳空间变异及影响因素[J]. 土壤学报, 2014, (05): 1153-1159
- [15] Huang B, Sun W, Zhao Y, et al. Temporal and spatial variability of soil organic matter and total nitrogen in an

- agricultural ecosystem as affected by farming practices[J]. *Geoderma*, 2007, 139(3/4): 336–345
- [16] 李文军, 彭保发, 杨奇勇. 长期施肥对洞庭湖双季稻区水稻土有机碳、氮积累及其活性的影响[J]. *中国农业科学*, 2015, (3): 488–500
- [17] 武俊喜, 程序, 焦加国, 等. 1940-2002 年长江中下游平原乡村景观区域中土地利用覆被及其土壤有机碳储量变化[J]. *生态学报*, 2010, 30(6): 1397–1411
- [18] 李林海, 郜二虎, 梦梦, 等. 黄土高原小流域不同地形下土壤有机碳分布特征[J]. *生态学报*, 2013, (1): 179–187
- [19] 魏孝荣, 邵明安, 高建伦. 黄土高原沟壑区小流域土壤有机碳与环境因素的关系[J]. *环境科学*, 2008, 29(10): 2879–2884
- [20] 黄中秋, 傅伟军, 周国模, 等. 浙江省森林土壤有机碳密度空间变异特征及其影响因素[J]. *土壤学报*, 2014, 51(4): 405–411
- [21] 胡玉福, 邓良基, 张世熔, 等. 川中丘陵区典型小流域土壤氮素空间变异特征及影响因素研究[J]. *水土保持学报*, 2008, (3): 70–75
- [22] Eimil-Fraga C, Álvarez-Rodríguez E, Rodríguez-Soalleiro R, et al. Influence of parent material on the aluminium fractions in acidic soils under *Pinus pinaster* in Galicia (NW Spain)[J]. *Geoderma*, 2015, 255–256: 50–57
- [23] 赵锐锋, 张丽华, 赵海莉, 等. 黑河中游湿地土壤有机碳分布特征及其影响因素[J]. *地理科学*, 2013, (3): 363–370
- [24] 许信旺, 潘根兴, 曹志红, 等. 安徽省土壤有机碳空间差异及影响因素[J]. *地理研究*, 2007, 26(6): 1077–1086
- [25] Hu K, Wang S, Li H, et al. Spatial scaling effects on variability of soil organic matter and total nitrogen in suburban Beijing[J]. *Geoderma*, 2014, 226–227: 54–63
- [26] 邢喆, 黄标, 董成森, 等. 江苏省沭阳县农田土壤有机质和全氮的时空变异及其影响因素[J]. *土壤*, 2013, (3): 405–411
- [27] Gelaw A M, Singh B R, Lal R. Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a semi-arid watershed in Tigray, Northern Ethiopia[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2014, 188: 256–263
- [28] 田康, 赵永存, 邢喆, 等. 中国保护性耕作农田土壤有机碳变化速率研究——基于长期试验点的 Meta 分析[J]. *土壤学报*, 2013, 50(3): 433–440

Spatial-temporal Variability of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen in Paddy Soils in Sichuan Basin

HU Sijia^{1,2}, DENG Ouping², ZHANG Shirong^{1,2*}, DENG Liangji², ZHANG Chuer^{1,2}, ZHONG Qinmei^{1,2}
(1 College of Environment Science, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2 College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: Changes of the soil organic carbon (SOC) and soil total nitrogen (STN) concentrations in paddy soil of Sichuan Basin were studied using the data of the Second China National Soil Survey and the data of soil samples collected in 2008. The results showed that the SOC concentrations in gley paddy soils were obviously higher than these in both the submerged paddy soils and the waterlogged paddy soils in 1982 and 2008. However, the STN concentrations in the three types of paddy soils showed different trends. The STN concentrations in gley paddy soils in 1982 were higher than these in submerged paddy soils and higher than these in the other two soils in 2008. The concentrations of STN and SOC increased sharply in the past 26 years and the increasing amplitudes of STN and SOM in the submerged paddy soils and gley paddy soils were higher than these in the waterlogged paddy soils. From 1982 to 2008, the SOC and STN concentrations in plain area, gully and toe of slope increased obviously and the increasing amplitudes followed the order: plain area > upper part of slope. The concentrations of SOM and STN were higher in the paddy soils generated from alluvium and mudstone due to the easier accumulation of SOC and STN in the soils. The easier accumulation of SOM and STN in weight loam soils led to the higher concentrations the SOC and STN in the soils compared with light loam soils. The increasing amplitudes of SOC and STN in the soils of winter paddy yield and rice-rape rotation were obviously higher than these in the soils of rice-wheat rotation.

Key words: Sichuan Basin; Paddy soil; Soil organic carbon; Total nitrogen; Spatial-temporal variability; Influencing factors