

不同土地利用方式下三江平原东北部土壤有机碳和全氮分布规律^①

王书伟^{1,2}, 颜晓元¹, 林静慧¹, 夏永秋¹, 孙磊³, 胡玉婷¹, 廖千家骅¹

(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 黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所, 哈尔滨 150086)

摘要: 三江平原是我国最大的湿地。经过 50 多年开发, 到 2005 年, 湿地面积缩小为 95.9 万 hm^2 , 耕地面积达到 556.9 万 hm^2 , 三江平原由湿地环境变成农田土壤环境后对土壤 C、N 分布规律产生明显影响。本文利用在全国采集的 1 400 个典型农田剖面数据(其中在此研究区域有 53 个剖面), 系统分析了不同土地利用方式下三江平原东北部土壤有机 C 和全 N 的分布规律。三江平原东北部典型农田 0~20 cm 土壤有机 C 和全 N 的平均含量是 22.7 g/kg 和 1.84 g/kg, 20~100 cm 平均含量为 13.0 g/kg 和 1.08 g/kg, 不同土壤类型和种植作物下土壤有机 C 和全 N 分布没有显著性差异 ($p>0.05$)。与第二次土壤普查时三江平原东北部典型剖面土壤有机 C 和全 N 数据进行比较发现, 0~20 cm 有机 C 和全 N 含量呈现下降趋势, 而 20~100 cm 呈现增加趋势。

关键词: 三江平原; 碳氮; 分布规律

中图分类号: S153

目前, 我国学者从湿地 C、N 储量、循环, 土壤营养元素及温室气体排放等诸多方面对三江平原做了详细的研究, 如石福臣等^[1]研究了三江平原两类型典型湿地(毛果苔草沼泽和芦苇沼泽)沉积物剖面有机 C、全 N 的分布特征与积累现状; 刘景双等^[2]以三江平原腹地挠力河、别拉洪河、浓江河流域天然沼泽湿地为研究对象, 并以湿地开垦后的农田为对照, 研究了沼泽湿地不同层次土壤中有有机 C 含量的垂直分布特征; 于君宝等^[3]采用冬季采样、现场分层的方法, 系统地研究了三江平原河床-河漫滩型泥炭地和谷底洼地型泥炭地中常量营养元素 N、P、Mg、Ca、Fe 和微量营养元素 Cu、Zn、Mn、B 的垂直分布特征; 刘吉平等^[4]以三江平原环型湿地作为研究对象, 对其环带状植被区湿地土壤的有机 C、全 N、全 P 和全 K 的空间分布规律进行了初步研究。然而, 三江平原的耕地面积从 1949 年的 78.6 万 hm^2 增加到 1994 年的 452.24 万 hm^2 ; 而占三江平原地区平原部分面积 81% 的 534.5 万 hm^2 的沼泽和沼泽化湿地, 到 1994 年仅剩下 104.06 万 hm^2 ^[5], 根据宋开山等^[6]利用 Landset TM 遥感影像的解译结果, 到 2005 年三江平原耕地面积达到 556.9

万 hm^2 , 而湿地面积缩小为 95.9 万 hm^2 。

①基金项目: 中国科学院创新项目(kzcxz-yw-312)资助。

作者简介: 王书伟(1983—), 男, 山东新泰人, 硕士研究生, 主要从事 GIS 应用及

swwang@issas.ac.cn swwang@issas.ac.cn

人们对三江平原土地利用方式由湿地变成农田产生的一系列环境效应进行了详细研究, 如邹元春等^[8]以三江平原不同开垦年限的湿地土壤为对象, 研究了土壤全 Fe 含量时空变化趋势; 闫敏华等^[9]研究了 45 年来三江平原大面积开荒, 由于湿地转变成农田给气候带来的变化, 发现三江平原年平均气温的变化总趋势是上升趋势, 年平均气温 45 年上升 1.2~2.3°C; 宋长春等^[10]研究了沼泽湿地经过人为垦荒变成农田后对 CH_4 、 N_2O 等温室气体的排放影响; 孙志高等^[11]对三江平原不同土地利用方式下土壤 N 库及储量变化进行了比较研究, 湿地开垦初期, 0~10 cm 和 10~20 cm 土层的全 N 含量及储量均呈骤减变化, 分别下降 78.56%、73.89% 和 42.38%、40.91%, 之后递减幅度降低, 在 8~21 年后趋于平缓; 袁兆华等^[12]对三江平原不同耕作年限的湿地土壤(0~20 cm)进行了环境累积效应分析; 国志兴等^[13]基于 1980、1985、1990、1995 年的

①基金项目: 中国科学院创新项目(kzcxz-yw-312)资助。

①基金项目: 中国科学院创新项目(kzcxz-yw-312)资助。

作者简介: 王书伟(1983—), 男, 山东新泰人, 硕士研究生, 主要从事 GIS 应用及资源环境和遥感信息, 碳氮循环与全球变化研究。E-mail:

swwang@issas.ac.cn swwang@issas.ac.cn

①基金项目: 中国科学院创新项目(kzcxz-yw-312)资助。

作者简介: 王书伟(1983—), 男, 山东新泰人, 硕士研究生, 主要从事 GIS 应用及资源环境和遥感信息, 碳氮循环与全球变化研究。E-mail:

纪初三江平原农田生产力时间动态和空间分异特征，结果显示，2000—2005 年三江平原旱田和水田净初级生产力分别下降了 7.2% 和 9.2%。通过已有的研究发现，湿地土壤环境变成农田土壤环境后，土壤中的 C、N 含量出现下降的趋势，其农田初级生产力也表现一定的下降趋势。然而现有的研究中重点讨论了土地利用方式转变后，土壤 C、N 垂直分布特征和变化规律^[14]，对三江平原土地利用方式变化后，水平空间上 C、N 变化研究的较少，并且对影响 C、N 分布的综合因素研究相对较少。基于此，本文重点讨论了三江平原东北部由湿地土壤环境变成农田土壤环境后，土壤有机 C 和全 N 的水平空间和垂直分布特征及历史变化规律。

1 研究区域和方法

1.1 研究区域

三江平原是我国最大的沼泽分布区，是广义的

东北平原的一部分。北纬位于 45°01' ~ 48°27'56" N

130°13' ~ 135°05'26" E，位于中国东北角，包括佳木斯市、鹤岗市、双鸭山市、七台河市和鸡西市等所属的 21 个县（市），总面积约 10.89 万 km²。本研究区域是三江平原东北角部分，包括绥滨、富锦、宝清、密山、虎林、饶河、同江、抚远等 8 个县市，总面积 5.2 万 km²（图 1）。三江平原属温带湿润、半湿润大陆性季风气候，全年日照时数 2 400 ~ 2 500 h，1 月均温 -21℃ ~ -18℃，7 月均温 21℃ ~ 22℃，无霜期 120 ~ 140 天，冻结期长达 7 ~ 8 个月，最大冻深 1.5 ~ 2.1 m，年降水量 500 ~ 650 mm，75% ~ 85% 集中在 6—10 月。土壤类型主要有黑土、白浆土、草甸土、沼泽土等，而以草甸土和沼泽土分布最广。上世纪 50 年代以来，我国对三江平原进行了大规模的开发，由北大荒变成了北大仓，是我国重要的商品粮基地，但同时也造成了生态系统的破坏。三江平原作为最近 50 多年来受人为影响最严重的区域，其生态系统，土壤理化性质和土壤 C 库的变化规律一直是人们研究的重点。

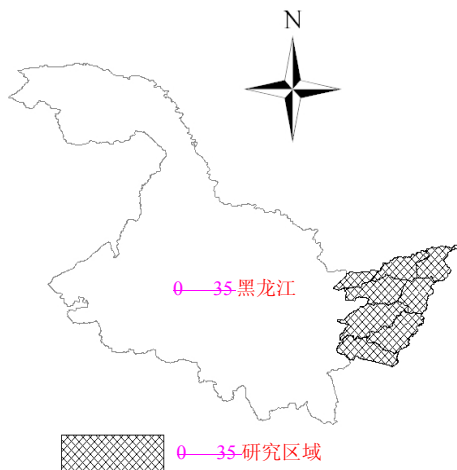


图 1 三江平原研究区域位置

Fig. 1 Location of research district in SanJiang pPlain

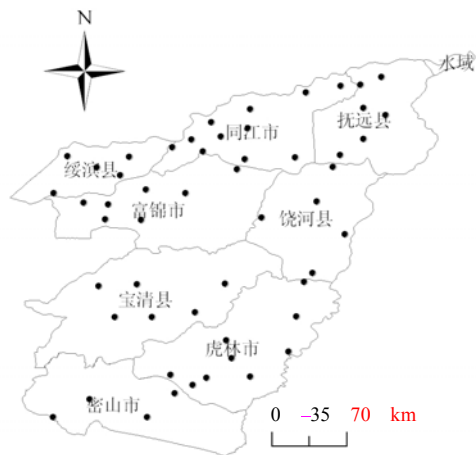


图 2 三江平原研究区域采样点分布图

Fig. 2 Distribution of sampling sites

1.2 数据获取

本研究在全国共取了 1 400 个农田典型土壤剖面，剖面分 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 100 cm 两层采集，其中黑龙江采集了 129 个典型土壤剖面，本研究区域三江平原东北部采样点数为 53 个，占黑龙江

总采样点的 41.1%（图 2），每个采样点都为当地基本农田，不会因为城镇发展等原因改变土地利用方式。重点分析了土壤有机质、全 N、全 P、全 K、碱解 N、速效 P、速效 K、pH 等土壤理化性质^[15]。有机 C 含量由有机质乘以 Bemmelen 换算系数 0.58 得到

[16-17]。第二次土壤普查数据是由中国科学院南京土壤研究所土壤分中心提供。数据的统计分析制图采用 SPSS13.0 及 ArcInfo9.2 完成。

2 结果与分析

2.1 三江平原东北部土壤有机碳 C 和全氮 N 分布情况

以县级为最小单元,分析了三江平原东北部 8 个县市的 0~20 cm 和 20~100 cm 有机 C 和全 N 的总体分布情况(图 3)。从整个分布区域来看,三江平原东北部没有明显的空间分布规律,每个县市在 0~20 cm 和 20~100 cm 土壤剖面有机 C 和全 N 都有较高值和较低值分布,其中有机 C 和全 N 低值区域出现在绥滨县,5 个采样点的 0~20 cm 和 20~100 cm 有机 C 和全 N 值都很小;土壤有机 C 和全 N 分布一致性很强,并且呈显著相关性($R^2=0.94$),在 0~20 cm 土壤剖面有机 C 和全 N 高值区域主要出现在饶河县、虎林市和宝清市这 3 个地方;在 20~100 cm 土壤剖面,有机 C 高值出现在饶河县、虎林市和抚远县,全 N 高值区域出现在饶河县、富锦市和同江市。表 1 和表 2

是对 8 个县市的 0~20 cm 和 20~100 cm 土壤有机 C 和全 N 的基本统计分析,从表中可以看出,饶河县不论是在 0~20 cm 土壤剖面还是在 20~100 cm 土壤剖面,其有机 C 和全 N 变异系数最大,达到强空间变异水平,可以推断饶河县有机 C 和全 N 空间特性强,土壤有机 C 和全 N 数据更趋向于离散;抚远县有 6 个采样点,土壤有机 C 和全 N 也达到了强变异水平;富锦市有 7 个采样点,在 0~20 cm 和 20~100 cm 有机 C 和全 N 值最趋于一致,其变异系数最小,除 0~20 cm 土壤有机 C 为弱变异性,其他为中等变异水平;同江市有 11 个采样点,为样点数最多的点,其 0~20 cm 和 20~100 cm 土壤有机 C 和全 N 的值都为中等变异水平。我们对三江平原东北部这 53 个采样点的有机 C 和全 N 数值进行统一均值分析,得出 0~20 cm 土壤剖面有机 C 和全 N 的平均含量为 22.7 g/kg 和 1.84 g/kg, 20~100 cm 土壤剖面有机 C 和全 N 平均含量为 13.0 g/kg 和 1.08 g/kg。

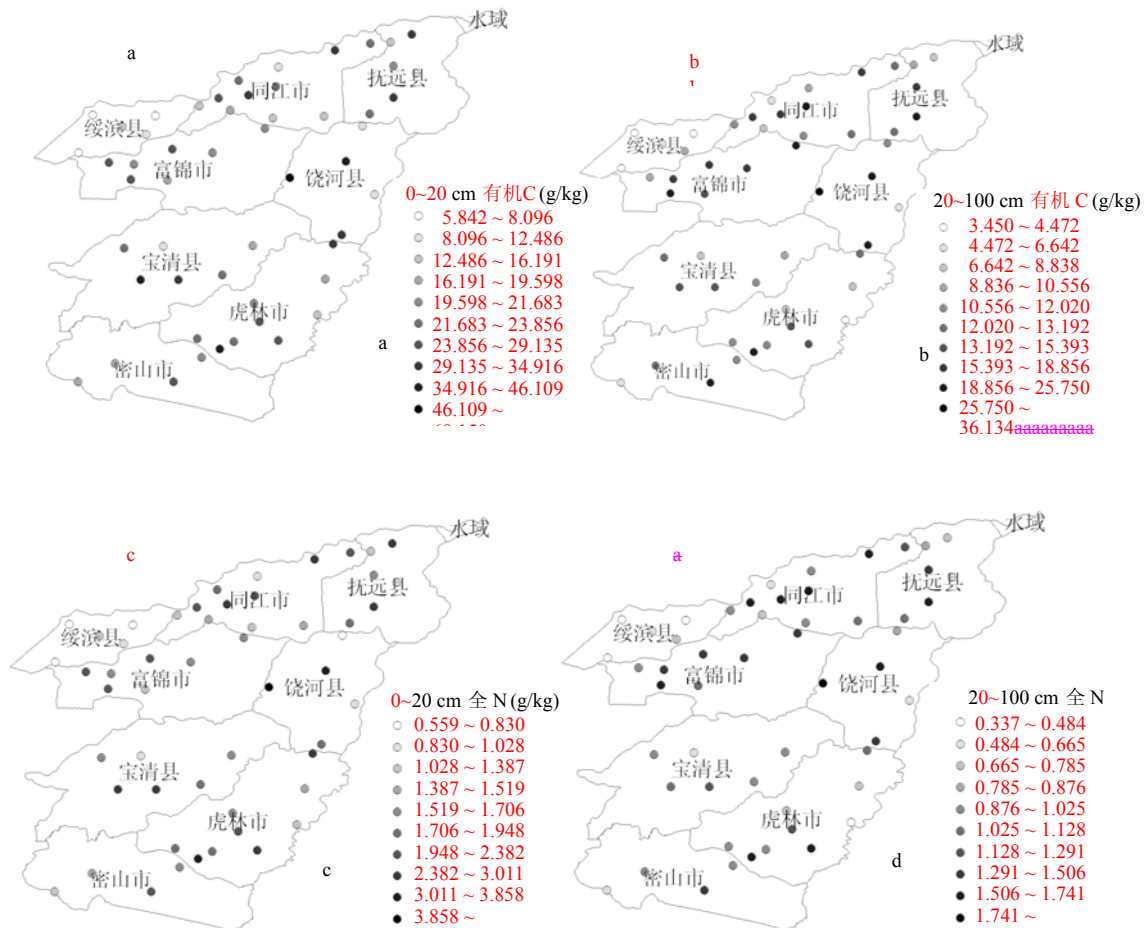


图 3 三江平原东北部 0~20 cm 和 20~100 cm 土壤剖面有机 C 和全 N 分布情况

Fig. 3 Distributions of soil organic carbon and total nitrogen at 0~20 cm and 20~100 cm soil depths in northeast of Sanjiang Plain

表 1 三江平原东北部 0~20 cm 土壤剖面有机 C 和全 N 统计分析

Table 1 Descriptive statistics of SOC and TN at 0~20 cm soil depth in northeast of Sanjiang Plain

区域	样本数	有机 C (g/kg)					全 N (g/kg)				
		最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数 (%)	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数 (%)
宝清县	6	12.21	39.65	25.00	9.77	39.1	1.01	3.01	1.97	0.71	36.33
抚远县	6	10.33	34.92	23.04	10.02	43.5	0.92	2.72	1.82	0.68	37.49
富锦市	7	17.37	25.26	22.19	2.93	13.2	1.34	2.38	1.86	0.37	19.70
虎林市	9	16.12	41.01	25.30	7.66	30.3	1.35	3.43	2.13	0.68	31.86
密山市	4	17.28	29.13	21.62	5.18	24.0	1.33	2.36	1.72	0.45	26.14
饶河县	5	9.78	68.15	33.99	24.60	72.4	0.70	5.08	2.51	1.89	75.46
绥滨县	5	5.84	13.27	9.47	3.24	34.2	0.56	1.16	0.88	0.23	26.05
同江市	11	10.01	31.72	21.08	6.66	31.6	0.98	2.60	1.80	0.52	29.05

表 2 三江平原东北部 20~100 cm 土壤剖面有机 C 和全 N 统计分析

Table 2 Descriptive statistics of SOC and TN at 20~100 cm soil depth in northeast of Sanjiang Plain

区域	样本数	有机 C (g/kg)					全 N (g/kg)				
		最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数 (%)	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数 (%)
宝清县	6	8.01	15.39	12.02	2.95	24.55	0.67	1.20	0.98	0.18	18.00
抚远县	6	5.80	19.93	12.23	5.25	42.90	0.58	1.65	1.05	0.41	38.93
富锦市	7	9.89	19.71	16.46	3.42	20.75	1.00	1.74	1.37	0.24	17.90
虎林市	9	4.13	21.82	11.94	5.11	42.82	0.48	1.68	1.07	0.40	37.11
密山市	4	5.99	19.55	12.64	5.55	43.93	0.57	1.51	1.02	0.38	37.68
饶河县	5	5.70	36.13	19.97	11.87	59.45	0.52	2.84	1.47	0.90	61.10
绥滨县	5	3.45	9.20	5.33	2.38	44.60	0.34	0.79	0.51	0.19	38.18
同江市	11	6.64	19.48	13.50	4.61	34.16	0.60	1.70	1.19	0.38	32.24

2.2 3.2 不同因素对三江平原东北部土壤有机碳和全氮

分布的影响

三江平原东北部主要的土壤类型有黑土、白浆土、草甸土、沼泽土等，不同土壤类型理化性质差异是造成了有机 C、全 N 空间分布差异的自然因素，但此研究区域又是人为影响比较明显的地方，其主要种植的作物有水稻、大豆、玉米等，不同的土地利用方式下，人为因素又对有机 C 和全 N 分布的差异造成影响，自然因素和人为因素对有机 C 和全 N 分布的差异影响如何也是值得我们进一步去探究。

2.2.1 不同土壤类型下土壤有机 C 和全 N 分布的差异 此研究区域包括暗棕壤、白浆土、草甸土、黑土、沼泽土等主要土壤类型。表 3 是对各土壤类

型 0~20 cm 和 20~100 cm 土壤有机 C 和全 N 的基本统计分析。在 0~20 cm 土壤剖面，白浆土的有机 C 和全 N 变异系数最大，达到强变异水平；暗棕壤土壤类型下有机 C 和全 N 含量最高；除黑土有机 C 和全 N 为中等以下变异性外，其他土壤类型下的有机 C 和全 N 都达到强变异性。在 20~100 cm 土壤剖面，不同土壤类型下的有机 C 和全 N 分布特征与 0~20 cm 下有机 C 和全 N 分布特征一致，并且 0~20cm 和 20~100cm 有机 C 之间线性相关性很好， $R^2=0.76$ ，而全 N 之间的相关性比较弱。对各种土壤类型有机 C 和全 N 进行方差统计分析，发现不同土壤类型有机 C 及全 N 差异达不到显著水平($p > 0.05$)。

2.2.2 不同土地利用方式下土壤有机 C 和全 N 分

布特征 土地利用方式的变化是影响全球陆地 C、N 循环的重要因素之一^[18], 许信旺等^[19]研究了不同土地利用方式对表层土壤有机 C 密度的影响, 得出有机 C 密度的大小顺序为: 林地>水稻土耕层>旱地。三江平原是我国重要的大豆、水稻、玉米产地, 所以所采集的典型剖面中, 分别有 31 个、16 个、5 个采样点

是在种植大豆、水稻、玉米作物的土壤上采集, 仅有 1 个点是在种植南瓜的土壤上采集 (表 4), 故此点不做分析, 得到不同土地利用方式下 0~20 cm 土壤有

表 3 当前不同土壤类型下 0~20 cm 土壤剖面有机 C 和全 N 统计分析

Table 3 Descriptive statistics of SOC and TN at 0~20 cm soil depth under different soil types

土壤类型	样本数	0~20 cm						20~100 cm					
		有机 C (g/kg)			全 N (g/kg)			有机 C (g/kg)			全 N (g/kg)		
		平均值	标准差	变异系数	平均值	标准差	变异系数	平均值	标准差	变异系数	平均值	标准差	变异系数
		系(%)			系(%)			系(%)			系(%)		
暗棕壤	4	29.5	12.6	42.6	2.17	0.91	42.05	14.8	8.3	56.1	1.02	0.37	36.16
白浆土	24	24.5	12.5	50.8	1.98	0.91	45.91	14.0	6.7	48.0	1.18	0.51	42.89
草甸土	15	20.0	9.2	46.0	1.69	0.80	47.55	11.3	5.1	44.8	1.00	0.44	43.39
黑土	3	23.0	1.7	7.3	1.91	0.41	21.60	13.3	3.8	28.9	1.12	0.22	19.23
沼泽土	7	18.8	8.2	43.9	1.62	0.66	40.54	12.6	6.8	53.7	1.08	0.54	49.48

机 C 大小比 3.2.2 不同土地利用方式下土壤有机 C 和全 N 分布特征——土地利用方式的变化是影响全球陆地 C、N 循环的重要因素之一^[18], 许信旺^[19]研究了不同土地利用方式对表层土壤有机 C 密度的影响, 得出有机 C 密度的大小顺序为: 林地>水稻土耕层>旱地。三江平原是我国重要的大豆、水稻、玉米产地, 所以所采集的典型剖面中, 分别有 31 个、16 个、5 个采样点是在种植大豆、水稻、玉米作物的土壤上采集, 仅有 1 个点是在种植南瓜的土壤上采集 (表 4), 故此点不做分析, 得到不同土地利用方式下 0~20 cm 土壤有机 C 大小比较为: 大豆>玉米>水稻, 而不同土地利用方式下 20~100 cm 土壤有机 C 大小比较为: 水稻>玉米>大豆。不同土地利用方式下 0~20 cm 土壤全 N 分布大小比较为: 大豆>玉米>水稻, 其结果与 0~20 cm 土壤有机 C 分布结果一致, 并且 20~100 cm 土壤全 N 分布特征与有机 C 也一致。分别对不同土地利用类型下 0~20 cm 和 20~100 cm 土壤有机 C 及全 N 均值之间进行方差分析, 不同土地利用方式下有机 C、全 N 之间差异性达不到显著水平 ($p>0.05$)。

表 4 不同区域各作物类型样本数

Table 4 Sample sizes of different crops in different regions

区域	样本数	作物类型			
		大豆	水稻	玉米	南瓜
宝清县	6	6	-	-	-
抚远县	6	5	1	-	-
富锦市	7	5	2	-	-
虎林市	9	3	5	-	1
密山市	4	1	2	1	-
饶河县	5	3	1	1	-
绥滨县	5	4	-	1	-
同江市	11	4	5	2	-
总计	53	31	16	5	1

注: “-”表示无此作物样本点。

2.2.3

3.2.3 不同海拔高度对土壤有机 C 和全 N 分布影响

3.2.3 在三江平原东北部 53 个采样点海拔高度中, 海拔最低的位于抚远县, 为 39 m, 海拔最高的位于密山市, 为 134 m, 土壤类型分别为白浆土和草甸土, 53 个采样点的平均海拔高度为 67 m。为了方便研究不同海拔高度对有机 C 和全 N 分布的影响, 我们把 39~134 m 海拔高度范围以 10 m 为最小分类距离, 分为 5 类, 其中第 5 类海拔高度为 >90 m。通过对这 5 类海拔高度下有机 C 和全 N 含量比较分析可以发现 (图 4), 三江平原东北部 0~20 cm 土壤剖面, 在 30~50 m 和 50~60 m 海拔高度之间的有机 C 分布值几乎一致, 分别为 19.9 g/kg 和

20.2 g/kg, 70~90 m 海拔之间的有机 C 含量值最高为 32.6 g/kg, 除 >90 m 的海拔高度外, 其有机 C 分布值与其他各海拔高度的分布值达到差异显著性 ($p < 0.05$)。0~20 cm 土壤剖面全 N 在各海拔范围下分布特征与有机 C 分布特征一致, 在 39~50 m, 50~60 m 和 60~70 m 3 个海拔段内, 其值没有显著性差异 ($p > 0.05$), 海拔 >90 m 的全 N 值为 1.84 g/kg, 其值高于海拔区间在 39~70 cm 的全 N 值, 与 0~20 cm 土壤剖面有机 C 分布一样, 全 N 分布值最高出现在海拔 70~90 cm, 其值达到 2.56 g/kg。

三江平原东北部 20~100 cm 土壤剖面 (图 5), 在 60~70 m 的海拔高度下有机 C 含量值最小为 7.2 g/kg, 有机 C 含量值最大还是出现在 70~90 m 的海拔高度段内, 其值为 15.3 g/kg, 海拔 >90 m 的有机 C 含量值处

于第二高值, 其与 70~90 cm 差异比 0~20 cm 土壤剖面下的差异更小 ($p = 0.769$), 分布在海拔高度 60~70 m 之间的有机 C 值除与分布在 39~50 m 没有显著性差异外, 与剩余 3 个海拔区间的有机 C 值呈显著差异 ($p < 0.05$)。20~100 cm 土壤剖面全 N 含量值与有机 C 一致, 其最低值也出现在海拔 60~70 m 之间, 为 0.66 g/kg, 高值区域也出现在 >70 m 海拔范围内。

三江平原湿地经过大面积开垦已经有数十年的历史了, 土壤环境由湿地环境变成农田耕种环境, 势必使地下水环境也发生改变。从上面分析可以看出, 不论是 0~20 cm 还是 20~100 cm 土壤剖面, 有机 C 和全 N 在 60~70 m 海拔高度分布值最小, 可以推断, 在海拔 60~70 m 之间, 地下水位的活跃最为频繁, 使

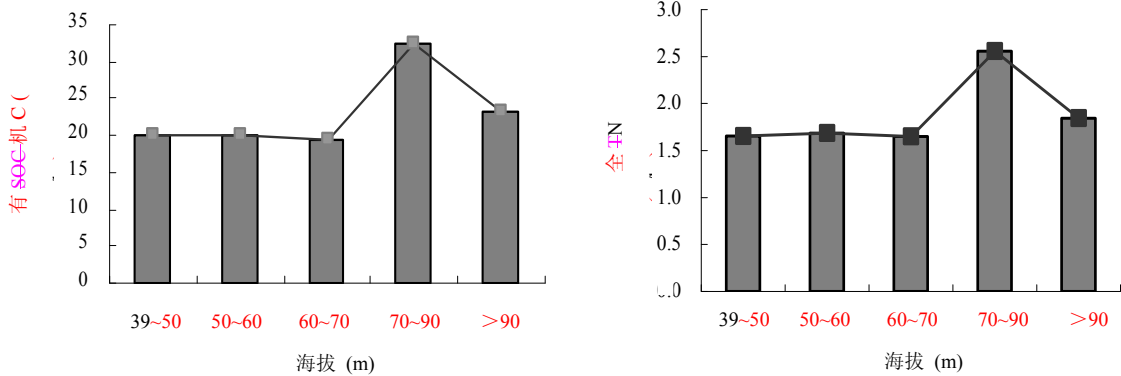


图 4 三江平原东北部不同海拔高度下 0~20cm 土壤剖面有机 C 和全 N 分布规律

Fig. 4 Distributions of soil organic carbon and total nitrogen at 0-20cm soil depth under different altitudes in northeast of Sanjiang Plain

三江平原东北部 20~100cm 土壤剖面 (图 5), 在 60~70m 的海拔高度下有机 C 含量值最小为 7.2g/kg, 有机 C 含量值最大还是出现在 70~90m 的海拔高度段内, 其值为 15.3g/kg, 海拔 >90m 的有机 C 含量值处于第二高值, 其与 70~90cm 差异比 0~20cm 土壤剖面下的差异更小 ($p = 0.769$), 分布在海拔高度 60~70m

之间的有机 C 值除与分布在 39~50m 没有显著性差异外, 与剩余 3 个海拔区间的有机 C 值呈显著差异 ($p < 0.05$)。20~100cm 土壤剖面全 N 含量值与有机 C 一致, 其最低值也出现在海拔 60~70m 之间, 为 0.66g/kg, 高值区域也出现在 >70m 海拔范围内。

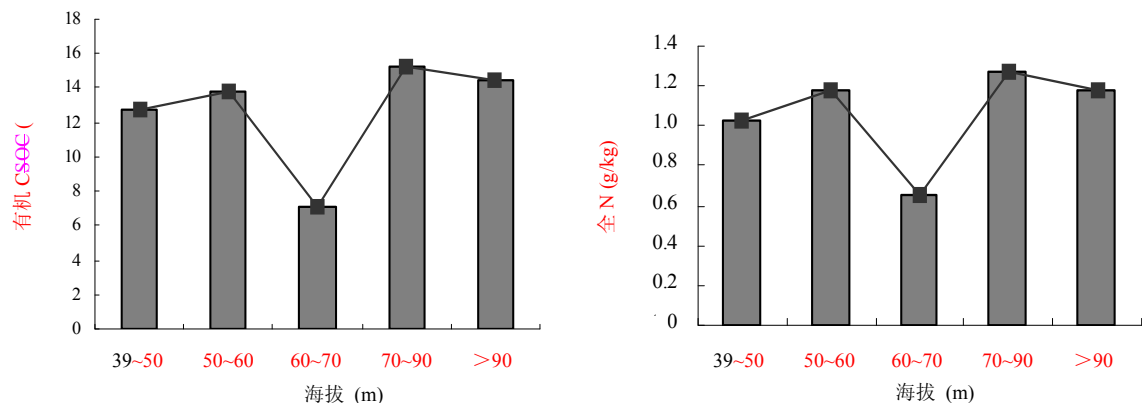


图 5 三江平原东北部不同海拔高度下 20~100 cm 土壤剖面有机 C 和全 N 分布规律

Fig. 5 Distributions of soil organic carbon and total nitrogen at 20-100cm soil depth under different altitudes in northeast of Sanjiang Plain

土壤处于干湿交替环境之下。有文献研究报道^[20]，土壤处于干湿交替（即好气-嫌气交替）的状态，一方面加速了土壤中有机的分解和矿化，而有机质的分解和矿化又在一定程度上导致土壤养分淋失、含量下降、土层变薄，并进而使土壤结构、土壤保肥供肥性能等均发生相应变化；另一方面，土壤在干湿交替的环境下，也加速了土壤中养分的淋溶，从而导致土壤养分含量下降。（一方面和另一方面不是一个意思吗？）

2.2.4 不同种植作物产量对土壤有机 C 和全 N 分布的影响 土壤质量反映土壤基础的生产能力，明显影响作物的产量，而土壤有机 C 和全 N 是评价土壤质量的最重要指标因子，所以土壤有机 C 和全 N 的含量对作物高产有重要作用。近几年，国内不少学者^[21-25]在区域尺度上在土壤基础地力对作物产量的影响方面

19.7% ($n = 54$)。土壤基础地力和作物产量是一个相互影响的过程，也可以通过作物产量来衡量土壤营养元素的变化特征。由于三江平原东北部土壤样品的采集是在前茬作物收割完后马上进行的，所以基于此，我们研究了不同作物产量下，土壤有机 C 和全 N 的分布变化特征（图 6）。三江平原东北部典型农田作物大豆、水稻、玉米的平均产量分别为 1 626 kg/hm² ($n = 28$)，7 909 kg/hm² ($n = 16$)，5 406 kg/hm² ($n = 4$)。随着大豆产量的增加，0~20 cm 和 20~100 cm 土壤剖面的土壤有机 C 和全 N 含量呈现增加趋势，这可能与大豆是一种固 N 植物有关，大豆自身能利用空气中的 N 合成生长所需要的 N 素，减少了对土壤中 N 素的吸收利用，并且 N 素输入的增加会刺激植物生长，提高生产力，增加土壤中 C 蓄积量；随着产

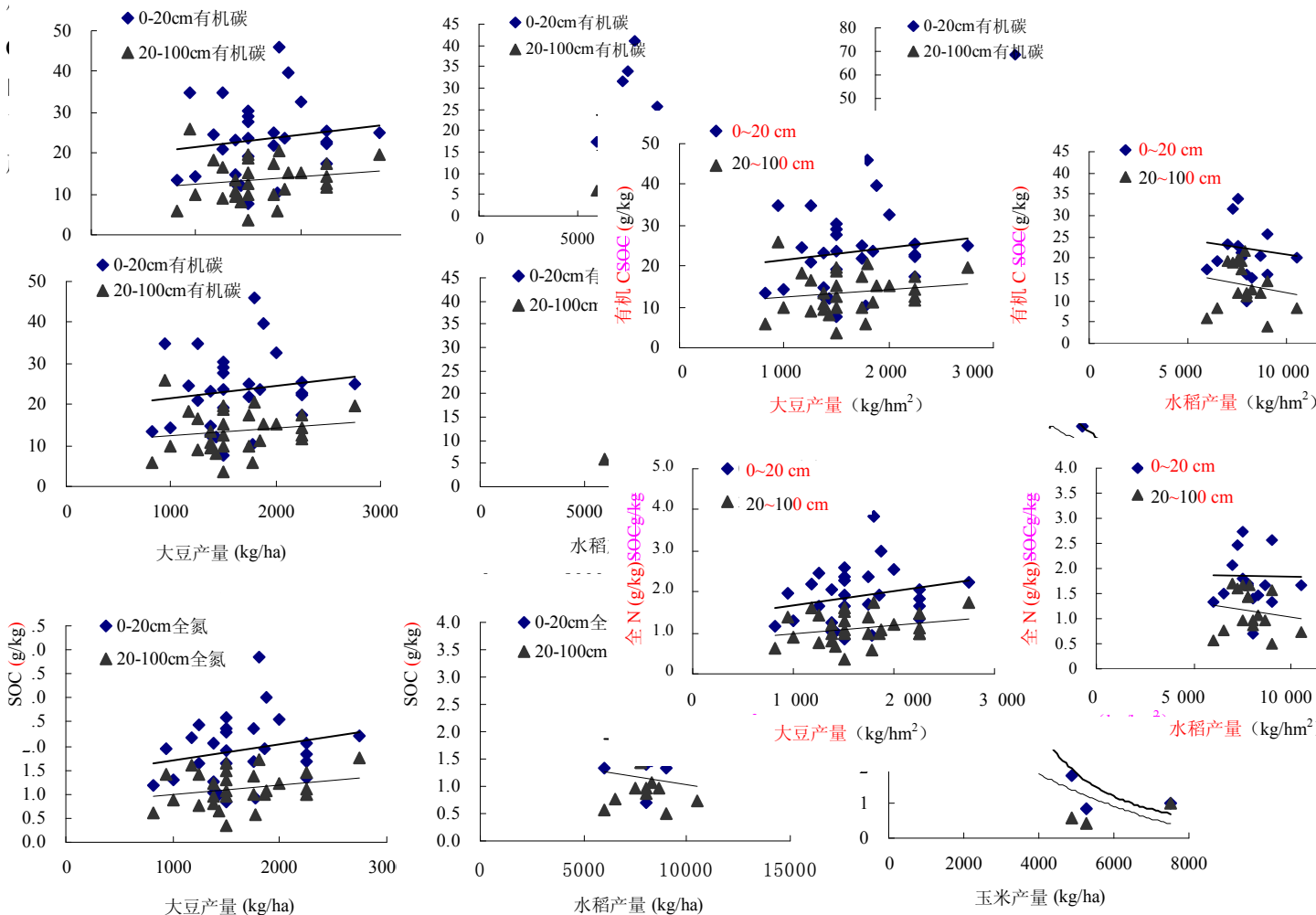


图 6 三江平原东北部不同作物产量对 0~20 cm 和 20~100 cm 土壤剖面有机 C 和全 N 分布影响

Fig. 6 Distributions of soil organic carbon and total nitrogen under different crop yields in northeast of Sanjiang Plain

2.3 图 6 三江平原东北部不同作物产量对 0~20cm 土壤剖面有机 C 和全 N 分布影响

Fig.6—Distributions of soil organic carbon and total nitrogen under different crop yields in northeast of Sanjiang plain

3.3 三江平原东北部土壤有机 C 和全 N 历史变化规律

三江平原经过大规模的开发已经有 50 多年的历史, 其中有文献^[12]报道了不同开垦年限对土壤有机 C 和全 N 的影响, 发现开垦 15 年后有机质下降了 72.96%^[12]。为了探讨三江平原由湿地环境变成农田土壤环境, 农田土壤有机 C 和全 N 到底如何变化? 本文选取了第二次土壤普查三江平原 8 个县市的典型土壤剖面数据, 与本次采集的典型农田土壤剖面数据进行比较, 对三江平原东北部土壤有机 C 和全 N 的变化规律进行了分析。

图 7 是对第二次土壤普查 32 个典型剖面 0~20 cm 和 20~100 cm 土壤有机 C 和全 N 含量与当前土壤样品进行的对比分析。第二次土壤普查的土壤类型中, 沼泽土有机 C 和全 N 含量最高, 变异系数也最大, 达到强变异水平, 在 0~20 cm 土壤有机 C 和全 N 含量分别为 152.1 g/kg 和 10.24 g/kg, 是湿地环境中具有代表性的和高有机 C 和全 N 含量土壤类型, 反映了湿地土壤肥沃性和高 C 含量的特征^[29]; 0~20 cm 土壤剖面中, 白浆土的有机 C 和全 N 含量值最小, 仅为 18.3 g/kg 和 1.86 g/kg, 草甸土的有机 C 和全 N 变异系数最小, 为中等变异水平, 暗棕壤、草甸土和褐土有机 C 和全 N 含量都达到强变异水平; 20~100 cm 土壤剖面中, 水稻土的有机 C 含量最小, 而白浆土的全 N 含量最小, 除水稻土有机 C 和全 N 为中等变异水平外, 其他土壤类型都达到强变异水平。对第二次

土壤普查时各个土壤类型下不同土地利用方式有机 C 和全 N 比较发现, 0~20 cm 土壤剖面, 有机 C 含量依次是: 草木沼泽>草甸>疏林和草甸>林地>农田, 全 N 含量依次是: 草木沼泽>草甸>林地>农田>疏林和草甸; 20~100 cm 土壤剖面, 有机 C 含量与 0~20 cm 的含量一致, 而全 N 含量依次是: 草木沼泽>草甸>疏林和草甸>林地>农田。

对第二次土壤普查和当前土壤剖面这两个时期近 30 年的土壤有机 C 和全 N 含量进行 T 检验, 0~20 cm 土壤剖面, 两时期的暗棕壤、白浆土和黑土 3 种土壤类型有机 C 和全 N 没有显著性差异 ($p>0.05$), 草甸土和沼泽土的有机 C 和全 N 达到显著性差异 ($p<0.05$); 20~100 cm 土壤剖面, 除白浆土的有机 C 和全 N 能达到显著性差异外 ($p<0.05$), 其余土壤类型达不到差异显著性 ($p>0.05$)。从图 7 中对比看出, 在 0~20 cm 土壤剖面, 除白浆土外, 第二次土壤普查时各土壤类型有机 C 和全 N 含量值都高于当前土壤样品值; 而在 20~100 cm 土壤剖面, 除沼泽土外, 当前土壤样品各土壤类型的有机 C 和全 N 含量值都大于第二次土壤普查时相应土壤类型下的值, 从土地利用类型上来看, 除水稻土采自农田土壤外, 第二次土壤普查时的土壤样品大多采自非农田土壤, 而当前土壤样品全部采自农田土壤, 从中可以发现, 三江平原东北部由湿地环境转变成农田环境, 人为耕作对表层土壤产生了显著影响, 使有机 C 和全 N 含量下降, 然而在农田耕作过程中, 由于有机肥和化学肥料的施用, 使 20~100 cm 土壤有机 C 和全 N 含量有增加趋势。沼泽土有机 C 和全 N 含量明显减少, 分别下降了 91.4% 和 72.2%, 这可能是沼泽土水分状况发生变化, 并在高强度人为耕作下土壤养分大量消耗, 基础地力下降等原因造成的。

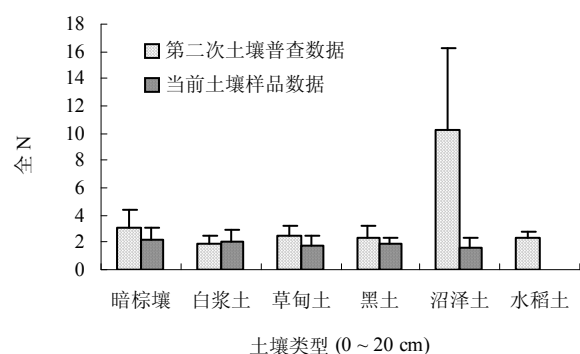
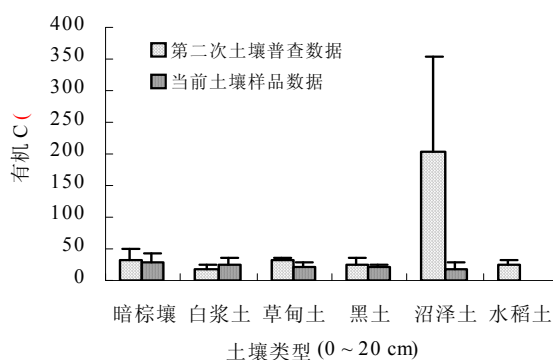


图 7 不同时期土壤有机 C 和全 N 比较

Fig. 7 Comparison of organic carbon and total nitrogen in topsoils between different periods

3 结论

(1) 三江平原东北部 8 个县市的土壤有机 C 和全 N 分布一致性很强, 并且有机 C 和全 N 呈显著相关性 ($R^2=0.94$), 在 0~20 cm 土壤剖面有机 C 和全 N 高值区域主要出现在饶河县、虎林市和宝清市这 3 个地方; 在 20~100 cm 土壤剖面, 有机 C 高值出现在饶河县、虎林市和抚远县, 全 N 高值区域出现在饶河县、富锦市和同江市。0~20 cm 土壤剖面有机 C 和全 N 的平均含量为 22.7 g/kg 和 1.84 g/kg, 20~100 cm 土壤剖面有机 C 和全 N 平均含量为 13.0 g/kg 和 1.08 g/kg。

(2) 三江平原东北部 0~20cm 和 20~100cm 土壤剖面有机 C 之间线性相关性很好, $R^2=0.76$ ($n=?$), 然而两土壤剖面全 N 之间的相关性比较弱。对三江平原各种土壤类型下有机 C 及全 N 含量进行单向方差统计分析得到不同土壤类型下有机 C 及全 N 含量之间差异达不到显著水平 ($p>0.05$)。

对不同土地利用方式下有机 C 和全 N 分布特征进行了比较, 得到耕层 0~20 cm 土壤有机 C 大小顺序为: 大豆>玉米>水稻, 全 N 分布大小顺序为: 大豆>玉米>水稻; 而不同土地利用方式下 20~100 cm 土壤剖面有机 C 大小顺序为: 水稻>玉米>大豆, 全 N 分布特征与有机 C 一致。分别对不同土地利用类型下 0~20 cm 和 20~100 cm 土壤有机 C 和全 N

均值进行方差分析比较, 不同土地利用方式下有机 C, 全 N 之间差异性达不到显著 ($p>0.05$)。

不同海拔高度下有机 C 和全 N 分布特征: 0~20 cm 土壤剖面, 在海拔 70~90 m 之间的有机 C 含量值最高为 32.6 g/kg, 除>90 m 的海拔高度外, 其有机 C 含量与其他各海拔高度的含量达到差异显著性 ($p<0.05$)。0~20 cm 土壤剖面全 N 含量在 39~50 m, 50~60 m 和 60~70 m 3 个海拔段内没有显著性差异 ($p>0.05$), 其最高值出现在海拔 70~90 cm, 其值达到 2.56 g/kg。20~100 cm 土壤剖面土壤有机 C 在 60~70 m 海拔高度下有机 C 含量最小, 为 7.2 g/kg, 最大值同样出现在 70~90 m 海拔高度内, 为 15.3 g/kg, 海拔>90 m 的有机 C 含量处于第二高值, 其与海拔 70~90 cm 的差异比 0~20 cm 土壤剖面下的差异更小 ($p=0.769$)。20~100 cm 土壤剖面土壤全 N 含量与有机 C 一致, 其最低值也出现在海拔 60~70 m 之间, 为 0.655 g/kg, 高值区域也出现在>70 m 海拔范围内。

(3) 对三江平原东北部第二次土壤普查有机 C 和全 N 含量与当前土壤样品进行了对比分析, 0~20 cm 土壤剖面, 两时期的暗棕壤、白浆土和黑土 3 种土壤类型有机 C 和全 N 没有显著性差异 ($p>0.05$), 草甸土和沼泽土的有机 C 和全 N 达到显著性差异 ($p<0.05$), 除白浆土外, 各土壤类型有机 C 和全 N 含量呈现下降趋势; 20~100 cm 土壤剖面, 除白浆土两时期有机 C 及全 N 含量之间达到显著性差异外 ($p<$

0.05), 其余各土壤类型达不到差异显著性 ($p>0.05$), 除沼泽土外, 各土壤类有机 C 和全 N 含量呈现增加趋势。

致谢: 感谢中国科学院南京土壤研究所土壤分中心提供第二次土壤普查数据。

参考文献:

- [1] 石福臣, 李瑞利, 王绍强, Sasa Kaichiro. 三江平原典型湿地土壤剖面有机碳及全氮分布与积累特征. 应用生态学报, 2007, 18(7): 1425-1431
- [2] 刘景双, 杨继松, 于君宝, 王金达. 三江平原沼泽湿地土壤有机碳的垂直分布特征研究. 水土保持学报, 2003, 17(3): 5-7
- [3] 于君宝, 王金达, 刘景双. 三江平原泥炭中营养元素垂直分布特征. 应用生态学报, 2004, 15(2): 265-268
- [4] 刘吉平, 吕宪国, 杨青, 郗敏. 三江平原环型湿地土壤养分的空间分布规律. 土壤学报, 2006, 43(2): 247-255
- [5] 陈宜瑜. 中国湿地研究. 长春: 吉林科学技术出版社, 1995: 108-117
- [6] 宋开山, 刘殿伟, 王宗明, 张柏, 金翠, 李方, 刘焕军. 1954 年以来三江平原土地利用变化及驱动力. 地理学报, 2008, 63(1): 93-104
- [7] Liu ZG, Ma XH. Effect of Reclamation on Soil Environment in Sanjiang Plain. Pedosphere, 1997, 7(1): 73-78
- [8] 邹元春, 吕宪国, 姜明. 不同开垦年限湿地土壤铁变化特征研究. 环境科学, 2008, 29(3): 814-818
- [9] 闫敏华, 邓伟, 马学慧. 大面积开荒扰动下的三江平原近 45 年气候变化. 地理学报, 2001, 56(2): 159-170
- [10] 宋长春, 王毅勇, 王跃思, 赵志春. 人类活动影响下淡水沼泽湿地温室气体排放变化. 地理科学, 2006, 26(1): 82-86
- [11] 孙志高, 刘景双, 李新华. 三江平原不同土地利用方式下土壤氮库的变化特征. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(3): 270-274
- [12] 袁兆华, 吕宪国, 周嘉. 三江平原旱田耕作对湿地土壤理化性质的累积影响初探. 湿地科学, 2006, 4(2): 133-137
- [13] 国志兴, 王宗明, 刘殿伟, 宋开山, 宋长春. 三江平原农田生产力时空特征分析. 农业工程学报, 2009, 25(1): 249-253
- [14] Woodmansee RG, Duncan DA. Nitrogen and phosphorus dynamics and budgets in annual grasslands. Ecology, 1980, 61(4): 893-904
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [16] 王绍强, 朱松丽. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析. 地理学报, 2000, 55(5): 533-544
- [17] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳库//王庚辰, 温玉璞. 温室气体浓度和排放监测及相关过程. 北京: 中国环境科学出版社, 1996: 109-128
- [18] Eswaran H, Reich F, Kimble JM. Global soil carbon stocks. USA: Lewis Publishes, 1999: 15-26
- [19] 许信旺, 潘根兴, 后鹏程. 不同土地利用对表层土壤有机碳密度的影响. 水土保持学报, 2005, 19(6): 193-200
- [20] 曾希柏, 黄雪夏, 刘子刚, 李莲芳, 杨佳波. 种植年限对三江平原农田土壤剖面性质及碳、氮含量的影响. 中国农业科学, 2006, 39(6): 1186-1195
- [21] 胡少宜. 漳州市水稻土的地力贡献率初探. 土壤, 1992, 24(1): 46-47
- [22] 王洪波. 农用土地分等定级中土壤有效系数求算研究—以河北省蠡县为例. 河北: 河北农业大学, 2001
- [23] 张爱君, 张明普, 张洪源. 土壤基础肥力对夏玉米养分吸收和产量的影响. 玉米科学, 1999, 7(2): 71-74
- [24] 黄德明, 徐建铭, 徐秋明. 北京郊区小麦测土施肥技术的研究—推荐施肥中目标产量的估测. 华北农学报, 1987(3): 61-65
- [25] 田秀平, 薛菁芳, 韩晓日. 长期耕作和施肥对白浆土氮素矿化的影响. 土壤, 2007, 39 (2): 314-317
- [26] 汤勇华, 黄耀. 中国大陆主要粮食作物地力贡献率及其影响因素的统计分析. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1283-1289
- [27] 潘根兴, 赵其国, 蔡祖聪. 《京都议定书》生效后我国耕地土壤碳循环研究若干问题. 中国科学-科学前沿, 2005(2): 12-18
- [28] 全国土壤普查办公室. 中国土种志(第二卷). 北京: 中国农业出版社, 1994
- [29] 赵其国, 史学正, 等. 土壤资源概论, 北京: 科学出版社, 2007

Distributions of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Under Different Land Uses —in Northeast of Sanjiang Plain

WANG Shu-wei^{1,2}, YAN Xiao-yuan¹, LIN Jing-hui¹, XIA Yong-qiu¹, SUN Lei³, HU Yu-ting¹, LIAO Qian Jia-hua¹

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

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 Soil and Fertilizer & Environment and Resource, Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: Sanjiang Plain is the biggest wetland in China, however through about 50-year development, the wetland area reduced to 959 000 hm² while the cultivated area increased to 5 569 000 hm² in 2005, which caused obvious influences on the distributions of soil organic carbon and total nitrogen. So using the data of 1 400 typical profiles (53 representative profiles in Sanjiang Plain), we analyze the distributions of soil organic carbon and total nitrogen under different land uses in the northeast of Sanjiang Plain. The mean contents of soil organic carbon and total nitrogen at 0-20cm and 20-100cm soil depths of typical cropland are 22.7g/kg, 1.84g/kg and 13.0g/kg, 1.08g/kg respectively, however, the distributions of soil organic carbon and total nitrogen at 0-20cm and 20-100cm soil depths under different soil types and crops do not show significant differences ($p > 0.05$). Compared with the corresponding data collected in the 2nd soil survey in 1980s, both soil organic carbon and total nitrogen show the declining tendency at 0-20cm soil depths and the increasing tendency at 20-100cm soil depth.

Key words: Sanjiang Plain, Soil organic carbon and total nitrogen, Distribution rule