

松嫩平原玉米带土壤碳氮比的时空变异特征

张春华¹, 王宗明^{2*}, 居为民¹, 任春颖²

(1. 南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210093; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

摘要:土壤碳氮比(C/N)是土壤质量的敏感指标,是衡量土壤 C、N 营养平衡状况的指标,它的演变趋势对土壤碳、氮循环有重要影响.通过野外调查、采样和分析,运用地统计学方法和 GIS 技术,探讨 1980~2005 年松嫩平原玉米带土壤 C/N 的时空变化规律.结果表明,1980 年和 2005 年土壤 C/N 的平均值分别为 10.56 和 12.30. 2 个时期土壤 C/N 的空间相关距离分别为 196.3 km 和 51.1 km,呈递减趋势,说明农田管理影响因素的作用在逐渐增强.过去 25 a 间,有 84.88% 的土壤面积的 C/N 呈上升趋势,以西部增加最为显著,德惠和九台市部分地区有所降低.对于不同的土地利用方式,旱田、水田、林地和草地土壤的 C/N 均呈上升趋势,其中以草地增加最为明显,从 1980 年的 10.03 ± 1.12 上升为 2005 年的 12.61 ± 0.87 ;旱田和水田土壤 C/N 均高于全国平均水平.土壤 C/N 的升高表明碳素的增加速度高于氮素,为保持 C/N 的稳定提高,今后的农业生产中在提高氮素投入水平的同时,应注重碳素的归还水平,大力推广秸秆还田和增施有机肥.

关键词:时空变异;土壤 C/N;碳氮循环;土地利用;松嫩平原玉米带

中图分类号:X144 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2011)05-1407-08

Spatial and Temporal Variability of Soil C/N Ratio in Songnen Plain Maize Belt

ZHANG Chun-hua¹, WANG Zong-ming², JU Wei-min¹, REN Chun-ying²

(1. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China)

Abstract: The C/N ratio of soils is a sensitive indicator of soil quality, and an indicator for assessing carbon and nitrogen nutrition balance of soils. Its variation is significant in reflecting the carbon and nitrogen cycling of soils. Based on field investigation, sample collection and analysis, and application of geostatistics and GIS technology, spatial and temporal variation of C/N ratio was analyzed and studied from 1980 to 2005 in Songnen Plain maize belt. The results indicated that the mean value of C/N ratio is 10.56 and 12.30 in 1980 and 2005, respectively. Spatial correlation distance of soil C/N ratio in two periods is 196.3 km and 51.1 km, showing a decreasing trend, which indicated that farming management factors were enhancing. In the past 25 years, 84.88% of soil C/N ratio was on rise with the highest value in the west of the study area, but parts of Dehui County and Jiutai County decreased. As for different land use types, soil C/N ratios in the upland, paddy land, forest and woodland and grassland showed upward trends, with the highest increase from 10.03 ± 1.12 in 1980 to 12.61 ± 0.87 in 2005 in grassland and higher in upland and paddy land than the national average. The increasing soil C/N ratio illustrated that soil carbon increased faster than nitrogen. To maintain the steady growth of soil C/N ratio, it is suggested that the return of carbon be paid more attention when the input of nitrogen, such as incorporating crop residues into soil and inputting more organic fertilizers into soils for future farming practices.

Key words: spatial and temporal variability; soil C/N ratio; carbon and nitrogen cycling; land use; Songnen Plain maize belt

土壤有机质和全氮是土壤质量中最为重要的指标,也是陆地土壤碳库和氮库的重要组成部分,它们不仅反映土壤肥力水平,也印证区域生态系统演变规律.它们之间的关系可以用土壤 C/N 来表示,即土壤有机碳含量($0.58 \times$ 土壤有机质含量)与全氮含量的比值,它是土壤质量的敏感指标,是衡量土壤 C、N 营养平衡状况的指标,它的演变趋势对土壤碳、氮循环有重要影响.土壤 C/N 通常被认为是土壤氮素矿化能力的标志,低的 C/N 可以加快微生物的分解和氮的矿化速率^[1].国内外已有许多学者结合地统计学方法研究了土壤有机质和全氮的时空变异特征,探讨了变异的原因,取得了丰富的研究成果^[2-8].

松嫩平原玉米带位于吉林省中部,是东北地区乃至国家重要的玉米生产基地.多年来,大面积连种玉米,种植结构单一,生态系统的能量转化和物质循环受到干扰,这些都会对土壤有机质和全氮的变化产生重要影响,进而影响其 C/N.目前国内外关于土壤碳氮关系的研究主要集中在碳氮总量及微生物碳氮间的关系上,但在区域尺度上研究土壤碳氮关系

收稿日期:2010-05-18;修订日期:2010-07-12

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-341);全球变化研究重大科学研究计划项目(2010CB950702);国家自然科学基金项目(40930527,40901096,40871187);吉林省科技发展计划项目(20080128)

作者简介:张春华(1984~),女,博士研究生,主要研究方向为资源环境遥感与 GIS 应用, E-mail: zchqs@126.com

* 通讯联系人, E-mail: zongmingwang@neigae.ac.cn

的时空演变以及土地利用变化的响应状况的研究还不多^[9],对于我国东北重要农业区土壤 C/N 的研究尚缺乏.为此,选择松嫩平原玉米带作为研究区,利用第二次土壤普查数据和 2003 ~ 2006 年定位采样数据,运用 GIS 技术和地统计学相结合的方法对近 25 年来土壤 C/N 的时空变化规律进行研究,以期为当地土壤质量演变趋势以及精确农业管理提供科学依据.

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

松嫩平原是北方春玉米的主要分布区,在这一带区域玉米种植主要分布在南起公主岭、长春、北起齐齐哈尔绥化一线,跨度约为北纬 $43.0^{\circ} \sim 47.0^{\circ}$,是我国的重点粮食生产基地和商品粮基地,玉米种植面积占耕地面积的 80% 左右,成为我国主导玉米种植区,玉米种植也是该区域农民收入的主要来源.本研究所选的松嫩平原玉米带位于北纬 $43^{\circ}11'27'' \sim 44^{\circ}55'$,东经 $124^{\circ}10'31'' \sim 126^{\circ}30'$ 之间,包括德惠、公主岭、九台、农安 4 个市县,土地总面积 $16\,423\text{ km}^2$ (图 1).地带性土壤为黑土和黑钙土;年平均降水量为 $480 \sim 600\text{ mm}$, $>10^{\circ}\text{C}$ 积温 $2\,850 \sim 3\,150^{\circ}\text{C}$,无霜期 $130 \sim 150\text{ d}$.该区域雨、热同季,夏季高温湿润,昼夜温差大,光、热资源丰富,土地平坦,土壤肥沃,非常适合玉米的生长发育,有利于玉米的高产稳产.如今,该地区已逐渐形成了我国以玉米为主的商品粮基地,得天独厚的自然条件和先进的玉米科学技术造就了闻名于世的玉米带^[10,11].

1.2 数据源

1.2.1 土壤普查数据

松嫩平原玉米带第二次全国土壤普查数据资料主要为 20 世纪 80 年代土壤普查办公室和 90 年代末吉林省土壤肥料总站出版或编制的书籍与手册,包括:《吉林土种志》^[12]、《吉林土壤》^[13]、《农安县土壤志》^[14]、《德惠县土壤志》^[15]、《九台县土壤志》^[16]、《公主岭市土壤志》^[17],共收集 382 个土壤剖面(图 2).数据类型分为描述性指标和数值型指标,描述性指标有土壤类型名称、土地利用类型、土壤剖面代码、采样地点;数值型指标包括发生层深度(cm)、全氮(%)和有有机质含量(%).吉林省全国第二次土壤普查时间为 1979 ~ 1982 年,界定为 1980 年.

1.2.2 土壤样品采集与分析

本研究采用的近期土壤性质实测数据来源于吉

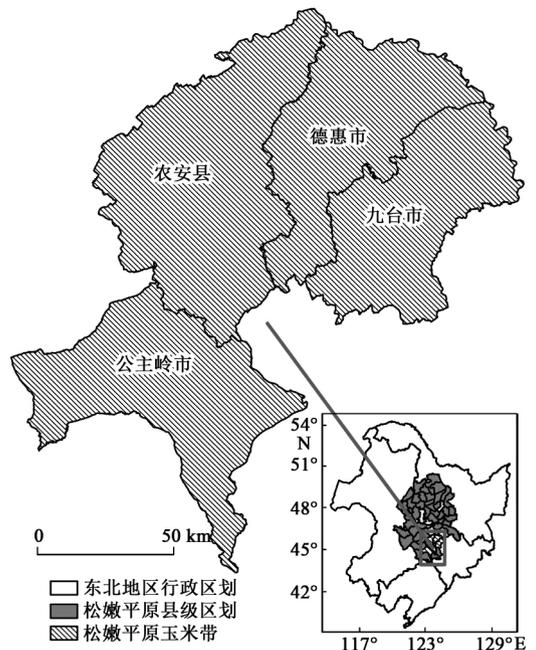


图 1 松嫩平原玉米带在东北地区的位置示意

Fig. 1 Location of Songnen Plain Maize Belt in Northeast China

林省土壤肥料总站于 2003 ~ 2006 年(界定为 2005 年)开展的县级耕地地力调查与质量评价项目工作成果.本研究选取了农安县、德惠市、九台市和公主岭市的土壤样本数据.研究中布点及采样方法遵循全国耕地地力调查与质量技术规程,为尽量避免施肥对样品的影响,统一在作物收获后取样.2003 ~ 2006 年,在研究区的主要农业用地上,兼顾代表性和均匀性,原则上每 10 km^2 取一个点,并参照全国第二次土壤普查农安县、德惠市、公主岭市和九台市土壤主剖面点位,选取了 1 460 个采样点(图 2).旱田和菜田的采样深度为 $0 \sim 20\text{ cm}$,水田的采样深度为 $0 \sim 15\text{ cm}$.2009 年 9 月初,在全国第二次土壤普查的主剖面点的基础上对林地、草地等其他土地利用类型进行采样,采样点数为 54 个(为方便进行分析,界定为 2005 年).取 $0 \sim 20\text{ cm}$ 的表层土壤,每一采样点周围取 3 个点,混合土样,四分法取样.土袋附带标签,记录采样点经纬度、地理位置、土地利用方式、土壤类型等.回到室内,将土壤样品进行风干、研磨、过 100 目筛.采用重铬酸钾外加热法测定土壤有机质含量,凯氏法测定全氮含量.

1.2.3 土地利用数据

考虑到土壤理化性质的获取时间分别为 1980 年和 2005 年,拟选择这 2 个年代作为土地利用变化分析的起止时间,但由于缺少 1980 年的遥感影像数

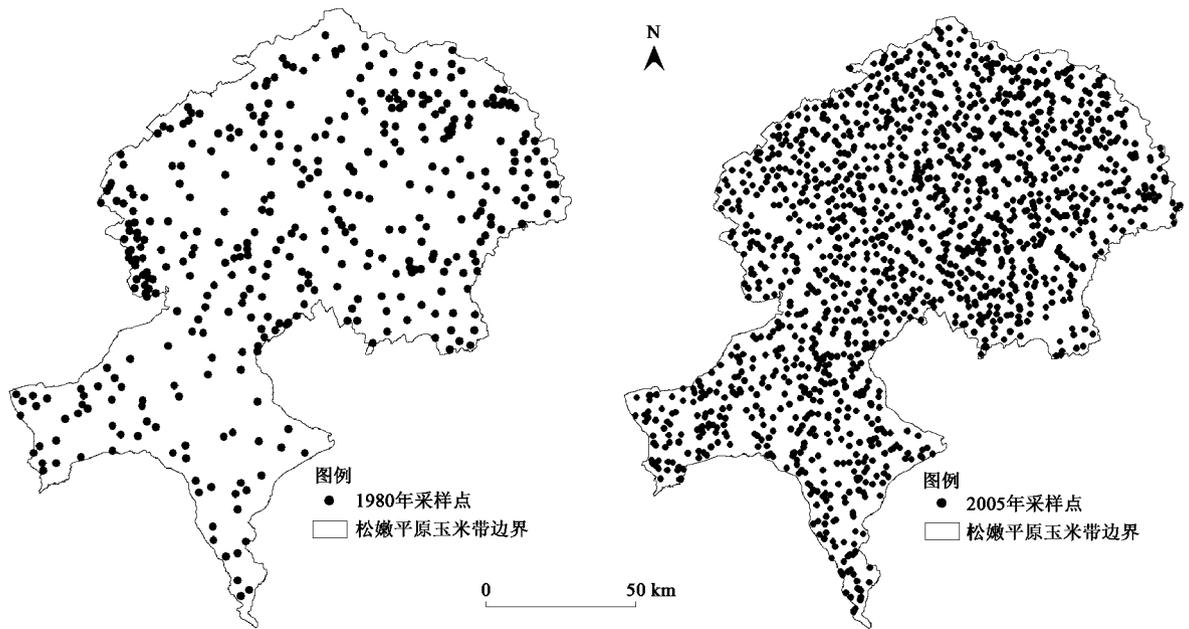


图2 松嫩平原玉米带 1980 年和 2005 年农田土壤剖面点分布示意

Fig. 2 Distribution maps of agricultural soil sampling sites in 1980 and 2005 in Songnen Plain maize belt

据,本研究改用东北地区 1986 年的土地利用矢量数据,该数据来自中国科学院资源环境科学数据中心沼泽湿地与东北数据分中心,源数据采自 TM 卫星遥感影像,空间分辨率为 30 m. 2005 年源数据为中巴卫星遥感数据,从中国资源卫星应用中心(China Centre for Resource Satellite Data and Applications)网站下载(<http://www.cresda.com/>),分辨率为 20 m. 覆盖整个松嫩平原玉米带需要 6 景影像,轨道号分别为 365/50、365/51、366/50、366/51、367/50、367/51. 影像的获取时间为 2005 年 9 月,影像上基本无云覆盖,清晰度较高.

通过对遥感影像进行预处理、几何纠正、图像镶嵌拼接和裁剪等工作,根据研究区特点和分析精度的要求,参照《土地利用现状调查技术规程》^[18]和《中国资源环境遥感宏观调查与动态研究》^[19],将研究区土地利用类型分为农田、林地、草地、水域、居民工矿用地和未利用地等 6 大类,其中农田分为旱田和水田,并建立土地利用数据库,数据以 Coverage 格式存储. 以上 1986 年和 2005 年土地利用矢量数据已经过地面考察和精度验证^[20]. 由于松嫩平原玉米带土地利用主要以耕地为主,1980 年和 2005 年土壤采样点的土地利用类型有旱田、水田、林地和草地,因此主要分析这 4 种土地利用类型的碳氮比变化.

1.3 数据统计与空间插值

采用域法识别异常值,即按标准方差的倍数来识别异常值,一般异常值定为样品均值加 3 倍均方差,然后用正常值最大值替代异常值^[21]. 统计分析采用统计软件 SPSS13.0 进行;所有的地统计学分析,半方差函数的计算及拟合模型的选择利用 Gamma Design Software 公司开发的 Geostatistics for Environmental Science 7.0 进行;估值和插值图的绘制应用 ESRI 公司开发的 ArcGIS9.2 软件进行.

2 结果与分析

2.1 土壤 C/N 的描述性统计特征

由于异常值的存在直接影响到半方差函数的计算和插值结果的精度,所以在进行半方差函数的计算前需进行异常值的识别. 采用平均值标准差法来对异常值进行处理,将进行异常值处理后的数据进行经典统计分析,分析结果见表 1.

陈彦^[22]通过计算得出,当偏度系数为 0,峰度系数的绝对值 < 3 时,土壤性质服从正态分布,并且这 2 个数据越接近于 0,数据的正态分布性越好,此时利用克里格插值的精度越高. 本研究根据此原则对偏度系数和峰度系数计算,最终确定 1980 年和 2005 年土壤 C/N 均为正态分布. 由表 1 和表 2 可以看出,2005 年的土壤 C/N 平均值显著高于 1980 年的平均值($p < 0.05$),从 1980 年(382 个)和 2005 年(1514 个)土壤采样点数据中选择 234 个样点进行

表 1 松嫩平原玉米带土壤 C/N 的描述性统计结果

Table 1 Descriptive statistical results of soil C/N ratio in 1980 and 2005 in Songnen Plain maize belt

年份	均值	最大值	最小值	标准差	变异系数/%	偏度系数	峰度系数	分布类型
1980	10.56	17.69	4.49	2.38	23.23	0.95	0.98	正态分布
2005	12.30	18.49	1.34	2.07	16.83	0.44	0.95	正态分布

配对比较,发现其中有 180 个土壤样点的 C/N 高于 1980 年土壤样本的对应样点,占总样点数(234 个)的 76.92%。2005 年土壤 C/N 的变异系数为 16.83%,小于 1980 年的,但 2 个时期土壤 C/N 的变异系数均属中等变异程度。

表 2 松嫩平原玉米带 1980 年和 2005 年土壤 C/N 的配对 t 检验¹⁾Table 2 Paired t test of soil C/N ratio in 1980 and 2005 in Songnen Plain maize belt

项目	样本数	平均值	t	Sig. (2-tailed)
1980 ~ 2005 C/N	234	-1.74	-9.12	0.000

1) $p < 0.05$

表 3 松嫩平原玉米带土壤 C/N 的半方差函数模型

Table 3 Semivariogram models of soil C/N ratio in Songnen Plain maize belt

年份	理论模型	块金值 C_0	基台值 $C_0 + C$	块金效应/%	变程/km	决定系数 R^2	残差 RSS
1980	Linear	5.386 4	5.386 43	100	196.3	0.363	13.4
2005	Spherical	3.250 0	7.94	40.1	51.1	0.867	1.96

表 3 中的 C_0 为块金值,代表随机变异的量,是指由实验误差和小于取样尺度上施肥、作物、管理水平等随机因素共同作用引起的变异。 $C_0 + C$ 为基台值,表示系统内总的变异。块金值与基台值之比表示空间变异性程度,又称作块金效应,该比值越高,说明由随机部分引起的空间变异性程度较大;相反,则由结构性因素引起的空间变异性程度较大;如果该比值接近 1,则该变量在整个尺度上具有很定的变异。按照区域化变量空间相关性程度的分级标准,当块金效应 $< 25\%$,变量具有强烈的空间自相关性;在 $25\% \sim 75\%$ 之间,变量具有中等的空间自相关性;而在 $> 75\%$ 时,变量空间相关性很弱,变异主要由随机变异组成,不适合采用空间插值的方法进行空间预测。变程即最大相关距离,表示某土壤养分观测值之间的距离大于该值时,说明它们之间是相互独立的;若小于该值时,则说明它们之间存在一定的空间自相关性。

由表 3 可见,1980 年土壤 C/N 服从线性模型,但用线性模拟对其模拟的决定系数 R^2 很低,残差 RSS 较大。2005 年土壤 C/N 服从球状模型,决定系数为 0.867,且模拟效果较好。这与 2 个时期土壤采样点数目有直接关系,郭旭东等^[23] 也发现,在中国北方大尺度下的遵化平原地区,1980 年 358 个土壤

2.2 土壤 C/N 的空间结构分析

由于研究中采样点是随机选取的,进行半方差分析时步长采用等间距分组的方法,步长为 6.69 km,距离范围的平均值作为计算半方差函数的值。以北向为主轴,南北-东西 2 个方向上计算等方向的变异函数,容忍角度为 22.5° 。半方差函数理论模型的最优选择用决定系数 R^2 来决定,并综合考虑 RSS(残差)、块金值和有效距离。本研究选用了线性和球状模型来描述土壤碳氮比的空间结构,结果见表 3。

采样点模拟的决定系数 R^2 要比 1999 年 124 个样点模拟的决定系数高得多。本研究中 2005 年土壤 C/N 的块金值比 1980 年有所降低。1980 年土壤 C/N 的空间相关性极弱,块金效应达到 100%,空间自相关距离为 196.3 km,不同空间尺度上空间变异程度比较小,属于纯块金效应;2005 年土壤 C/N 则具有中等的空间相关性,表明其空间变异主要由外在人为因素的作用形成的。随着时间的递增,变程逐渐递减,变程减小,表明 C/N 的空间相关范围减小,这表明人为活动对其影响越来越大,这和块金效应反映的结论是一致的。

2.3 土壤 C/N 的时空分布特征

利用 GS + 中拟合的半方差理论模型参数,在软件 ArcGIS9.2 的 Geostatistical Wizard 模块中选择 Kriging 插值方法对 2005 年的土壤 C/N 进行空间插值。为消除插值过程中随机性因素对插值内、外权重系数的影响,1980 年土壤 C/N 采用反距离权重法进行插值。绘制 2 个时期土壤 C/N 及近 25 年来 C/N 差值分布图(图 3)。

由图 3 可见,1980 ~ 2005 年,松嫩平原玉米带土壤 C/N 增加显著,表明碳素的增加速度明显高于氮素,这有利于土壤有机碳的固定。由图 3(a)可以看出,1980 年松嫩平原玉米带土壤 C/N 普遍较低,

介于 4.49 ~ 12.00 之间的占研究区土壤总面积的 90.89%, 以中部偏西最为明显. 九台市东部和德惠市部分地区土壤 C/N 相对较高, 土壤 C/N > 12.00 的地区主要分布于此. 2005 年与 1980 年相比 [图 3 (b)], 土壤 C/N 普遍升高, 以西部和九台市增加最为显著, C/N > 12.00 的地区面积增加十分明显, 占到 59.06%; < 11.00 的地区面积由 1980 年的 72.23% 降

低到 2005 年的 12.51%; 中部地区土壤 C/N 主要集中在 11.00 ~ 12.00 范围内; 而 C/N < 10.00 的主要分布于九台市的南部. 由图 3(c) 可以明显看出, 松嫩平原玉米带绝大部分地区的土壤 C/N 呈上升趋势. 经统计可知, C/N 增加的区域占研究区土壤面积的 84.88%, 以研究区西部增加最为显著, 德惠市和九台市部分地区土壤 C/N 有所降低.

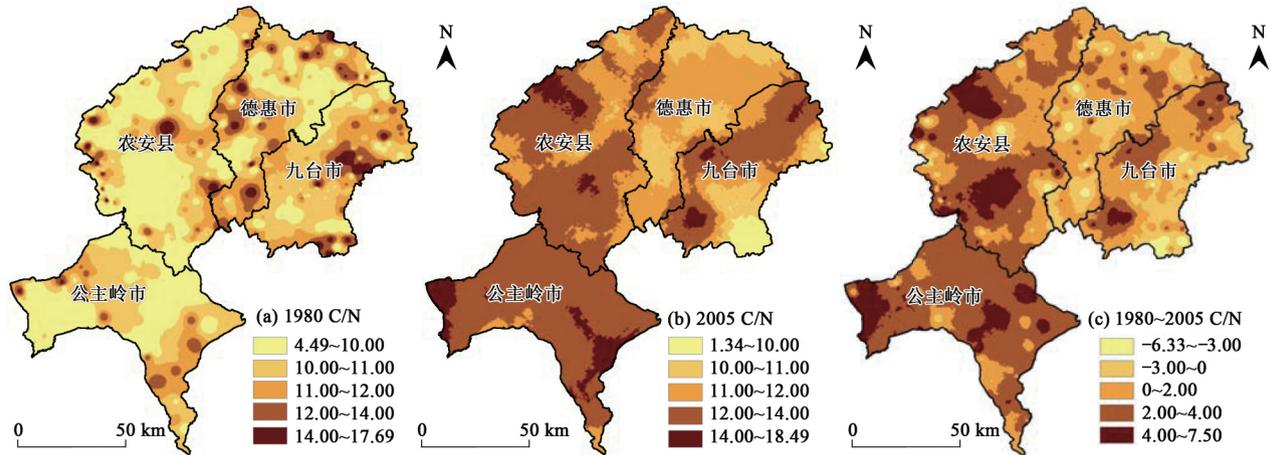


图 3 松嫩平原玉米带 1980 年和 2005 年土壤 C/N 分级图和 25 年来变化图

Fig. 3 Grade maps of soil C/N ratio in 1980 and 2005 and the changing map in last 25 years in Songnen Plain maize belt

3 讨论

3.1 土壤碳氮含量对土壤 C/N 的影响

20 世纪 70 年代前, 作物生产仅仅依赖于土壤的原始肥力和有限的有机肥; 20 世纪 70 ~ 80 年代期间, 化肥使用量增加 (特别是氮肥), 有机肥使用量下降, 同时开始利用杂交品种, 作物秸秆还田和根茬不还田. 自 1980 年以来, 土壤有机质和全氮均有不同程度的提高, 其原因一方面与大力推广秸秆还田有关, 尤其是 20 世纪 90 年代研究区推广实行全量机械还田技术, 使土壤有机质和养分逐渐提高; 另一方面与大量有机肥料与化学肥料的配合施用有关^[24]. 从图 4 可以看出, 自 20 世纪 80 年代以来, 松嫩平原玉米带农业生产中化肥使用量不断上升, 其各县市化肥使用量基本呈逐年增加趋势.

对 1980 年和 2005 年土壤有机碳和全氮含量一一对应进行相关分析, 得到线性方程如图 5 所示, 方程的斜率即土壤 C/N. 可以看出, 自第二次土壤普查至今 25 年来, 由于松嫩平原玉米带肥料施用、耕作、土地利用方式和农田管理措施等的改变, 松嫩平原玉米带土壤 C/N 从 1980 年的 10.18 上升为 2005 年的 11.95, 此结果与表 1 统计分析结果不一致, 是因为表 1 是进行异常值处理后的结果. 同时,

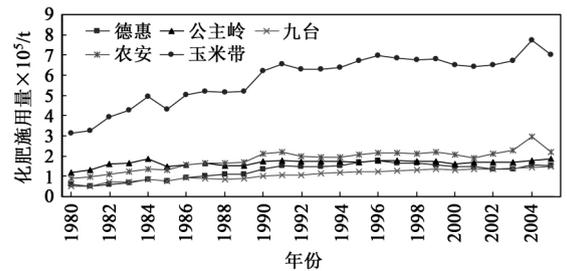


图 4 1980 ~ 2005 年松嫩平原玉米带及其各县市化肥施用量

Fig. 4 Application amount of fertilizer in Songnen Plain maize belt and four counties from 1980 to 2005

1980 年的土壤 C/N 较全国平均水平 10.2 略低^[25], 2005 年的土壤 C/N 较全国平均水平高 1.75. 由表 4 中土壤 C/N 与有机质、全氮含量的相关分析结果看出, 同一年份土壤 C/N 与有机质含量在 $p < 0.01$ 水平上极显著正相关, 与全氮含量极显著负相关, 表明土壤 C/N 的大小主要取决于有机质和全氮含量. 此结论与耿远波等^[26]所得结论土壤 C/N 与有机质和全氮含量呈显著正相关 (0.917^{**} , 0.777^{*}) 不一致, 也与白军红等^[27]所得结论土壤 C/N 与有机质含量的相关性很弱 (-0.273) 不一致, 这也进一步说明松嫩平原玉米带土壤与草原、湿地土壤 C/N 值对有机质及全氮含量的敏感性存在显著差异.

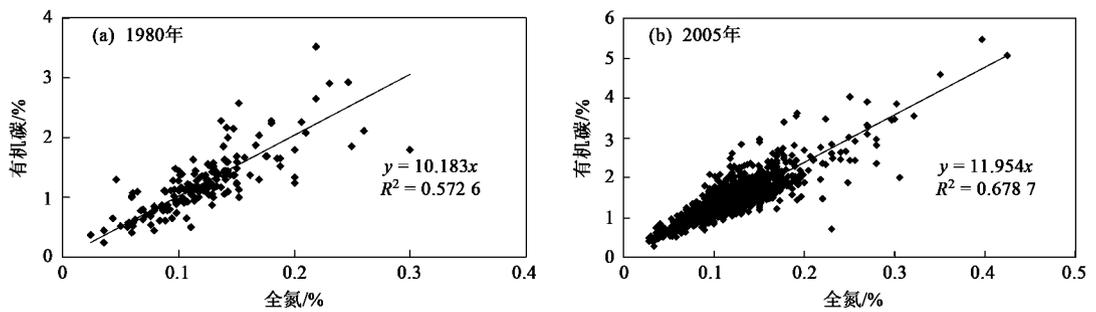


图5 1980年和2005年松嫩平原玉米带土壤C/N

Fig. 5 Soil C/N ratio in 1980 and 2005 in Songnen Plain maize belt

表4 松嫩平原玉米带土壤C/N与有机质、全氮含量的相关系数矩阵¹⁾

Table 4 Correlation coefficient matrix between soil C/N ratio and organic matter and total nitrogen contents

年份	1980-有机质	1980-全氮	2005-有机质	2005-全氮
1980	0.380 **	-0.273 **		
2005			0.176 **	-0.335 **

1) ** 显著性水平 $p < 0.01$ (双尾检验)

3.2 不同土地利用方式中的土壤C/N

将1980年和2005年松嫩平原玉米带土壤C/N的空间插值图与相应时期的土地利用类型图叠加,对2个年度的土壤C/N进行分类统计,计算出旱田、水田、林地和草地4种主要土地利用类型的土壤C/N的平均值(表5).由表5可以看出,1980~2005年间,旱田、水田、林地和草地的土壤C/N均呈上升趋势,其中以草地增加最为明显,从1980年的 10.03 ± 1.12 上升为2005年的 12.61 ± 0.87 ,这主要与草地土壤有机质含量显著增加有关.各主要土地利用类型的土壤C/N的变异系数均呈下降趋势,说明经过25 a的土地利用和管理方式的改变,土壤有机质和全氮含量逐渐趋向均一化,削弱了土

表5 松嫩平原玉米带主要土地利用类型的土壤C/N

Table 5 Soil C/N ratio in different land use types in Songnen Plain maize belt

土地利用类型	1980年				2005年			
	样点数	平均值	标准差	变异系数/%	样点数	平均值	标准差	变异系数/%
旱田	320	10.47	1.26	12.03	1308	12.43	1.12	9.01
水田	14	10.75	1.19	11.07	152	11.95	1.10	9.21
林地	26	10.96	1.32	12.07	41	11.65	1.30	11.19
草地	22	10.03	1.12	11.16	13	12.61	0.87	6.86

3.3 土壤C/N升高的环境意义

自1980年以来,松嫩平原玉米带农业管理措施在耕地地力和作物产量上均有较大幅度的提高,在部分黑土区耕层土壤有机质含量增加,而全氮平均

壤C/N的空间变异程度.

土壤C/N受地区水热条件影响较大,由于水田土壤有机碳通常高于旱田,其C/N前者高于后者.研究表明^[28],从全国水平来看,我国水田耕层土壤C/N值平均为10.8,旱田为9.9.松嫩平原玉米带1980年和2005年旱田土壤C/N分别为10.47和12.43,水田分别为10.75和11.95,均高于全国平均水平.1980年草地的土壤C/N最小,而到2005年其土壤C/N最大,为12.61,这与以往的研究结果较为一致^[29,30].草地土壤C/N迅速升高,主要与其合理的管理和保护有关,致使土壤有机质含量升高.而对于林地,其土壤C/N的变化刚好与草地相反,1980年林地的土壤C/N是4种主要土地利用类型中最大的,而到2005年变为最小,但其平均值比1980年上升了0.69个单位.土壤C/N越高,越不利于有机质分解,且水田的厌氧环境有利于有机碳保存,使得水田土壤有机碳含量可能比旱田土壤更稳定,同样的氮含量可以积累更多的有机碳.与其他土地利用方式相比,草地的土壤C/N也较高,因此,从土壤C/N值角度考虑,水田和草地更有利于有机碳的贮存,有利于增加土壤汇集碳氮的能力.

含量变化不大,出现C/N的升高,这与杨学明等^[24]的研究结果一致.1980~2005年松嫩平原玉米带土壤有机质含量增加显著,而全氮含量增加不显著,使土壤C/N比值升高,从1980年的10.56升高到

2005 年的 12.30, C/N 的升高对土壤微生物的活动能力有一定的限制作用, 使有机质和有机氮的分解矿化速度减慢, 土壤固定有机碳能力提高。

目前土壤碳氮关系研究主要集中于能否采取一定的措施提高土壤 C/N, 从而增加土壤有机碳的固定。土壤中有有机碳的分解受土壤微生物碳氮平衡的影响, 因此土壤 C/N 在很大程度上影响其分解速率。土壤氮素主要以有机氮的形式存在于有机质中, 在绝大多数情况下, 土壤有机碳与全氮之间有良好的相关性^[31-33]。随着表层土壤有机质含量的增加, 全氮含量也会增加, 加之越来越多氮肥的使用, 土壤 C/N 很有可能呈现降低趋势。李忠佩等^[34]对江西余江县 1980~2002 年高产水稻土的有机质和全氮进行研究, 发现有机质和全氮均有提高, 但 C/N 却发生明显的降低, 从 1980 年的 10.7 降到 2002 年的 9.1, 这对土壤环境十分不利。因此, 在追求高产的前提下, 碳氮的平衡投入是维持土壤碳氮耦合平衡的关键。

4 结论

(1) 1980 年和 2005 年松嫩平原玉米带表层土壤 C/N 的平均值分别为 10.56 和 12.30, 它们的空间相关距离分别为 196.3 km 和 51.1 km, 呈递减趋势, 说明随着机械化作业程度的提高, 耕作制度及管理水平的完善, 肥料施用量较为均匀, 一定程度上削弱或掩盖了内在因素的影响。1980 年松嫩平原玉米带土壤 C/N 普遍较低, 到 2005 年普遍升高。过去 25 年来, 松嫩平原玉米带有 84.88% 的土壤面积 C/N 呈上升趋势, 以西部增加最为显著。土壤 C/N 的大幅度升高, 与作物秸秆还田和大量化学肥料的施用有关, 致使土壤有机质和全氮含量不同程度的提高, 减缓了有机质的分解矿化速度, 有利于有机物质的积累, 提高土壤固碳能力。

(2) 在追求高产的前提下, 碳氮的平衡投入是维持土壤碳氮耦合平衡的关键, 有机质越高的地区, 随氮素投入水平的提高, 有机碳积累越困难, 容易引起 C/N 的降低。因此, 为保持土壤 C/N 的稳定提高, 在提高氮素投入水平的同时, 应注重碳氮的归还水平, 大力推广秸秆还田和增施有机肥。

(3) 1980~2005 年松嫩平原玉米带旱田、水田、林地和草地的土壤 C/N 均呈上升趋势, 其中以草地增加最为明显, 从 1980 年的 10.03 ± 1.12 上升为 2005 年的 12.61 ± 0.87 , 这主要与草地土壤有机质含量显著增加有关, 还与其合理的管理和保护有

关。2 个时期旱田和水田土壤 C/N 均高于全国平均水平。仅从土壤 C/N 值角度考虑, 水田和草地更有利于有机碳的贮存, 有利于增加土壤汇集碳氮的能力。

参考文献:

- [1] Gunther S, Holger K. Bulk soil C to N ratio as a simple measure of net N mineralization from stabilized soil organic matter in sandy arable soils [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, **35**: 629-632.
- [2] Hoskinson R L, Hess J R, Alessi R S. Temporal changes in the spatial variability of soil nutrients [A]. In: *Proceedings of 2nd European Conference on Precision Agriculture* [C]. Odense, Denmark: 1999. 61-70.
- [3] 陈浮, 蹇励杰, 曹慧, 等. 近 20 年太湖流域典型区土壤养分时空变化及驱动机理[J]. *土壤学报*, 2002, **39**(2): 236-245.
- [4] Sun B, Zhou S L, Zhao Q G. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China [J]. *Geoderma*, 2003, **115**: 85-99.
- [5] Evrendilek F, Celik I, Kilic S. Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forest, grassland, and cropland ecosystems in Turkey [J]. *Journal of Arid Environment*, 2004, **59**: 743-752.
- [6] 许文强, 罗格平, 陈曦, 等. 天山北坡绿洲土壤有机碳和养分时空变异特征[J]. *地理研究*, 2006, **25**(6): 59-62.
- [7] Huang B, Sun W X, Zhao Y C, *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**: 336-345.
- [8] Liu X M, Zhang W W, Zhang M H, *et al.* Spatio-temporal variations of soil nutrients influenced by an altered land tenure system in China [J]. *Geoderma*, 2009, **152**: 23-34.
- [9] 齐雁冰, 黄标, 顾志权, 等. 长江三角洲典型农田土壤碳氮比值的演变趋势及其环境意义[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2008, **27**(1): 50-56.
- [10] 吉林省地方志编纂委员会. 吉林省志(卷四-自然地理卷)[M]. 长春: 吉林人民出版社, 1992.
- [11] 齐晓宁, 王洋, 王其存, 等. 吉林玉米带的地位与发展前景[J]. *地理科学*, 2002, **22**(3): 379-384.
- [12] 吉林省土壤肥料总站. 吉林土种志[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1997.
- [13] 吉林省土壤肥料总站. 吉林土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [14] 吉林省农安县农业区划试点领导小组. 农安县土壤志[M]. 1980.
- [15] 德惠县土壤普查办公室. 德惠县土壤志[R]. 1984.
- [16] 九台县农业局, 九台县土壤普查办公室. 九台县土壤志[R]. 1985.
- [17] 公主岭市农业区划办, 公主岭市土壤普查办. 公主岭土壤志[R]. 1985.
- [18] GB/T 7929-1995, 土地利用现状调查技术规程[S].
- [19] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北

- 京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [20] 宋开山, 刘殿伟, 王宗明, 等. 1954 年以来三江平原土地利用变化及驱动力[J]. 地理学报, 2008, **63**(1): 93-104.
- [21] 王绍强, 朱松丽, 周成虎. 中国土壤土层厚度的空间变异性特征[J]. 地理研究, 2001, **20**(2): 161-170.
- [22] 陈彦. 绿洲农田土壤养分时空变异及精确分区管理研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2008.
- [23] 郭旭东, 傅伯杰, 陈利顶, 等. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征——变异函数与 Kriging 插值分析[J]. 地理学报, 2000, **55**(5): 555-566.
- [24] 杨学明, 张晓平, 方华军, 等. 20 年来部分黑土耕层有机质和全氮含量的变化[J]. 地理科学, 2004, **24**(6): 710-714.
- [25] 潘根兴, 李恋卿, 张旭辉, 等. 中国土壤有机碳库量与农业土壤碳固定动态的若干问题[J]. 地球科学进展, 2003, **18**(4): 609-618.
- [26] 耿远波, 章申, 董云社, 等. 草原土壤碳氮含量及其与温室气体通量的相关性[J]. 地理学报, 2001, **56**(1): 44-53.
- [27] 白军红, 邓伟, 张玉霞. 内蒙古乌兰泡湿地环带状植被区土壤有机质及全氮空间分异规律[J]. 湖泊科学, 2002, **14**(2): 145-151.
- [28] 许泉, 芮雯奕, 刘家龙, 等. 我国农田土壤碳氮耦合特征的区域差异[J]. 生态与农村环境学报, 2006, **22**(3): 57-60.
- [29] 刘守龙. 亚热带稻田土壤有机碳氮循环[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [30] Solomon D, Lehmann J W. Land use effects on soil organic matter properties of chromic luvisols in semi-arid northern Tanzania: carbon, nitrogen, lignin and carbohydrates [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2000, **78**: 203-213.
- [31] Lutze J L, Gifford R M. Nitrogen accumulation and distribution in *Danthonia richardsonii* swards in response to CO₂ and nitrogen supply over four years of growth [J]. Global Change Biology, 2000, **6**: 1-12.
- [32] Hu S, Chapin F S, Firestone M K, *et al.* Nitrogen limitation of microbial decomposition in a grassland under elevated CO₂ [J]. Nature, 2001, **409**: 188-191.
- [33] Schlesinger W H, Lichter J. Limited carbon storage in soil and litter of experimental forest plots under increased atmospheric CO₂ [J]. Nature, 2001, **411**: 466-468.
- [34] 李忠佩, 吴大付. 红壤水稻土有机碳库的平衡值确定及固碳潜力分析[J]. 土壤学报, 2006, **43**(1): 46-52.