

省域土壤有机碳空间分布的主控因子

——土壤类型与土地利用比较*

顾成军^{1,2,3} 史学正¹ 于东升¹ 徐胜祥¹ 孙维侠¹ 赵永存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 中国科学院大学,北京 100049)

(3 滁州学院国土信息工程系,安徽滁州 239000)

摘 要 基于河北省第二次全国土壤普查数据,运用方差分析和回归分析对比了河北省土壤类型和一级土地利用类型对 0~20 cm 深土壤有机碳空间分布的影响,探讨了省域土壤有机碳空间分布的主控因子。研究结果表明,土壤类型和土地利用是河北省表层土壤有机碳密度空间分布的重要影响因子。其中土壤类型对土壤有机碳密度空间分布的影响与土壤分类级别相关,土壤分类级别越低,对土壤有机碳密度空间变异的反映能力越大。与土壤类型相比,土地利用对表层土壤有机碳密度空间分异的解释能力要大于土类,但小于亚类和土属。为此,在省域尺度对土壤有机碳密度进行区域预测和估算时应将土地利用和土壤类型结合起来作为土壤有机碳空间分布的主控因子,优先考虑土地利用后,在相同土地利用类型内再尽量以低级土壤分类进行空间预测或估算。

关键词 河北省;土壤类型;土地利用;土壤有机碳;空间分布

中图分类号 S153.6 **文献标识码** A

土壤有机碳(SOC)是陆地最大的有机碳库^[1],在全球碳循环和农业生产中起着重要作用。但由于土壤有机碳受多种因素的影响,存在很大的空间变异性。因此研究区域土壤有机碳空间分布的主要关联因子,对于土壤有机碳的空间预测和碳库的精确估算有重要意义。

土壤类型是土壤有机碳空间分布的一个相关因子,全球和国家尺度的土壤有机碳研究中,多以土壤类型的图斑作为土壤有机碳的基本空间分布单元并结合一定深度的土壤剖面进行碳库估算^[1-3]。如 Batjes^[1] 基于 1:500 万的 FAO-UNESCO 世界土壤图和 4 353 个土壤剖面根据 0.5 经度 × 0.5 纬度的基本网格单元内土壤分类单元剖面平均土壤有机碳密度乘以土壤分类单元的面积估算出全球 0~100cm SOC 库为 1 462~1 548 Pg。Yu 等^[3] (基于中国 1:100 万的土壤数据库,按照土壤类型-GIS 连接方法将 7 292 个土壤剖面与 94 000 多个土壤类型的图斑相连接,最后通过求和统计估算了中国 SOC 储量为 89.14 Pg。但以土壤类型来反

映土壤有机碳空间分布时,未考虑到土地利用对土壤有机碳空间分布的影响。

而已有研究表明区域尺度上不同土地利用的土壤有机碳含量有明显差异^[4-6]。如 Chaplot 等^[4] 基于 1 407 个土壤剖面比较了老挝林地和耕地土壤有机碳密度,结果表明 0~30 cm 平均 SOC 密度林地(112.0 Mg hm⁻²)显著大于休耕地(109.2 Mg hm⁻²)和连续耕地(108.8 Mg hm⁻²)($p < 0.05$)。Chiti 等^[7] 基于主要来自 SIAS 的土壤数据研究意大利不同农业土地土壤有机碳的差异,发现 0~30 cm 平均土壤有机碳密度水稻地土壤(rice field soils)(63.3 ± 27.9 Mg hm⁻²)要显著高于可耕地土壤(the arable land soils)(53.1 ± 17.3 Mg hm⁻²)($p < 0.05$)。因此土地利用也能够反映 SOC 在区域空间上的分布和差异,是土壤有机碳空间分布的一个影响因子。

目前区域尺度如省域尺度上影响土壤有机碳空间分布的主要影响因子是土地利用,还是土壤类型尚不明确,以土壤类型法估算省域土壤有机碳库是否精确还存在着很大的不确定性。为此本研究

* 中国科学院战略性先导科技专项项目(XDA05050509)、国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2010CB950702)资助

† 通讯作者: E-mail: xzshi@issas.ac.cn

作者简介:顾成军(1978—),男,博士研究生,主要研究方向:土壤资源与遥感信息。E-mail: lacjg@163.com

收稿日期:2012-07-02;收到修改稿日期:2012-09-07

以中国河北省为研究区域,基于全国第二次土壤普查数据,运用方差分析和回归分析方法,比较土地利用和土壤类型对河北省 SOC 空间分布的影响大小,确定省域影响 SOC 空间分布的主控因子,为区域土壤有机碳的空间预测和碳库估算研究提供依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

河北省位于 $36^{\circ}03'N \sim 42^{\circ}40'N$, $113^{\circ}27'E \sim 119^{\circ}50'E$ 之间,总面积 18.6 万 km^2 。该省气候属温带大陆性季风气候,大部分地区四季分明。年平均气温 $0 \sim 13^{\circ}\text{C}$ 之间,自北向南升高。年平均降水量 $300 \sim 800 \text{ mm}$,地区分布不均匀。水热状况自东南

向西北呈现有规律的变化趋势。全省地势西北高,东南低。有高原、山地和平原三种地貌类型,分别占该省面积的 9.3% 、 49.5% 和 41.2% 。植被和土地利用上显示出不同地貌单元之间的明显差异性。高原主要是以多年生草本植物为主的温带草原,部分水分较好的地区分布有森林;山地主要是温带落叶阔叶林和灌草丛,宽阔平坦的盆地和谷地多辟为农田;平原主要是耕地,是该省粮棉的主产区。河北省土壤母质类型齐全,成土条件差异大,形成的土壤类型复杂繁多,共有 21 个土类,其中最典型的土壤有褐土、潮土、棕壤和栗钙土。土壤水平分布上具有从北到南的分布规律,依次为北方高原区的栗钙土带,中间山地丘陵区的棕壤和褐土地带,南方平原区的潮土带。

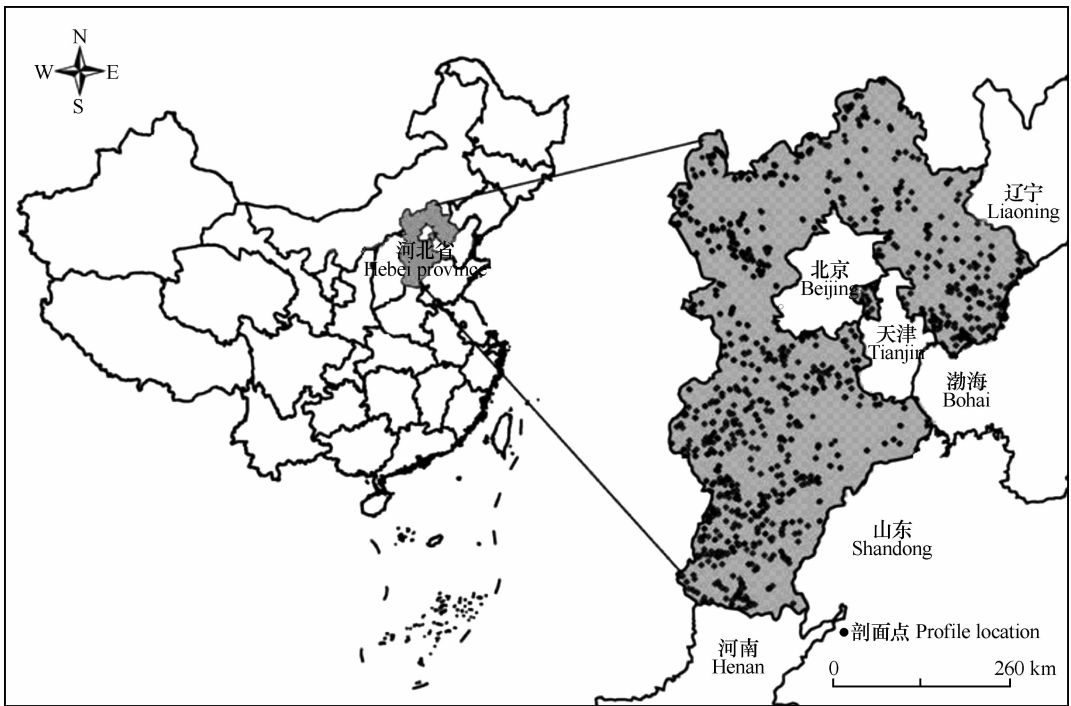


图 1 研究区域和土壤剖面点位置

Fig. 1 Geographic locations of the study area and soil profiles

1.2 资料来源

土地利用空间数据来自中国科学院资源环境科学数据中心提供的 20 世纪 80 年代 1:10 万河北省土地利用数据库 (<http://www.resdc.cn/dataResource/dataResource.asp>)。本研究考虑一级分类,一级类型为耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民用地和未利用地六大类。由河北省 1:50 万土壤图^[8],通过 GIS 技术形成数字化图。该图基本制图单元为土属,图例单元为中国土壤发生学分类^[9],分为 21 个土类、56 个亚类和 147 个土属。

土壤剖面数据来自第二次全国土壤普查^[10],包括《中国土种志》、《河北土种志》和河北省地级市土种志,共计典型土壤剖面 925 个。所有土壤剖面信息均包括剖面地理位置、土壤类型、母质类型、剖面描述、土层划分、土层厚度、有机质含量等。根据剖面土地利用和植被覆盖描述确定土壤剖面的土地利用类型。

1.3 土壤类型和土地利用选择

由于河北省土壤类型众多,而且面积较小的土壤类型土壤剖面数也较少,所以为便于分析,本研

究主要根据河北省 1:50 万数字化土壤图上土壤类型的面积大小和土壤剖面数不少于 5 个对土壤类型进行了筛选。其中土类和亚类按照土壤类型面积大于河北省面积的 1%,土属按照土壤类型大于河北省面积的 0.05%,尽可能地用主要的土壤类型反映出河北省土壤有机碳的空间分布。共选择了 7 个土类、15 个亚类和 26 个土属,分别占到河北省总面积的 94.16%、88.79% 和 73.17%。

1:10 万土地利用数据库统计表明河北省一级土地利用类型以耕地、林地和草地为主,分别占到 52.71%、19.58% 和 18.14%,这三类土地利用共占河北省总面积的 90.43%,是河北省最主要的土地利用类型。为便于讨论,本研究主要选择耕地、林地和草地三类土地利用进行分析。

1.4 土壤有机碳密度估算方法

本文只估算 0~20 cm 深的土壤有机碳密度,选择这一深度是因为 0~20 cm 是最容易受到土地利用影响的土层^[11-12],土壤有机碳密度 SOCD 的计算公式如下:

$$SOCD_D = \sum_{i=1}^n \frac{(1 - \delta_i\%) \times \rho_i \times C_i \times T_i}{100} \quad (1)$$

式中,SOCD_D(kg m⁻²)代表厚度为 D 土层的 SOC 密度;n 为土层数; $\delta_i\%$ 为第 i 层 >2mm 砾石含量; ρ_i (g cm⁻³)为第 i 层土壤容重; C_i (g kg⁻¹)为第 i 层 SOC 含量,由土壤有机质含量乘以 0.58(Bemmelen 转换系数)得到^[13];T_i(cm)为第 i 层土层厚度。剖面没有容重记载的采用孙维侠等^[14]的方法。

1.5 统计方法

统计分析是在 SPSS13.0 进行的。采用方差

分析和回归分析,研究土壤类型和土地利用对 SOC 密度的影响。由于土壤类型和土地利用为多分类变量,进行回归分析时采用哑变量(Dummy variable)为其赋值^[15]。以上分析要求因变量呈正态分布。由于剖面点土壤有机碳密度呈正偏态分布,而且部分剖面土壤有机碳密度数值小于 1,为避免负数,将土壤有机碳密度乘以 10 再取对数,经对数变化近于正态分布后再进行分析。其中回归分析是通过比较各回归方程的调整判定系数 R²_{adj},来判定影响因子对 SOC 密度空间变异程度的独立解释能力。

2 结果与讨论

根据所收集的 925 个土壤剖面统计,河北省 0~20 cm 土壤有机碳密度最小值和最大值分别为 0.09 kg m⁻²和 25.4 kg m⁻²,平均土壤有机碳密度 2.45 kg m⁻²,变异系数达 94.3%,为高度变异。

2.1 不同土壤类型土壤有机碳密度差异

河北省主要土壤类型的平均土壤有机碳密度和变异系数见表 1,不同土壤类型的平均土壤有机碳密度不同。主要的七个土类中,以棕壤平均土壤有机碳密度最大,为 5.57 kg m⁻²,其次为栗钙土、褐土、粗骨土、栗褐土和潮土,石质土最小,仅为 1.25 kg m⁻²,平均土壤有机碳密度最大值和最小值相差达到 4.46 倍。土类内土壤有机碳密度的变异系数变化范围为 47.7%~79.1%,平均变异系数为 65.7%,虽然也为高度变异,但要小于河北省土壤有机碳密度的变异系数。

表 1 主要土类土壤有机碳密度统计

Table 1 Statistics of SOC densities of soils in main soil groups

土类 Soil group	剖面数 Profile number	最小值 Min ——(kg m ⁻²)——	最大值 Max	平均值 Mean	变异系数 CV(%)
褐土 Cinnamon soils	267	0.17	9.77	2.09	67.6
潮土 Fluvo-aquic soils	222	0.13	4.69	1.54	47.7
棕壤 Brown earths	65	0.37	16.50	5.57	77.5
栗钙土 Castanozems	70	1.10	13.65	3.74	55.4
粗骨土 Skeletal soils	25	0.35	6.26	2.06	67.9
栗褐土 Castano-cinnamon soils	24	0.19	4.92	1.82	65
石质土 Lithosols	13	0.20	3.40	1.25	79.1

与土类相比,不同亚类和土属间平均土壤有机碳密度相差很大(表 2)。亚类中平均土壤有机碳密度最大值的棕壤(6.88 kg m⁻²)是最小值脱潮土

(1.38 kg m⁻²)的 4.99 倍,大于主要土类之间的差异。而土属中平均土壤有机碳的密度最大的粗散状棕壤(9.94 kg m⁻²)是最小值砂质潮土(0.44 kg m⁻²)的

22.59 倍,要远远高于土类和亚类土壤类型间平均土壤有机碳密度的差异。但土壤类型内土壤有机碳密度的变异系数变化却相反。亚类和土属内土壤有机碳密度的变异系数变化范围分别为 30.5%~77.4% 和 20.2%~80.2%,平均变异系

数为 51.2% 和 43.8%,要小于土类土壤有机碳密度的变异系数。三个土壤分类级别相比,土壤分类级别越低,土壤类型内土壤有机碳密度的变异系数越小,而土壤类型间平均土壤有机碳密度的差异越大。

表 2 主要亚类和土属平均土壤有机碳密度和变异系数

Table 2 Mean SOC density and variation coefficient of soils in main subgroups and soil families

亚类 Subgroup	剖面数 Profile number	平均值 Mean (kg m^{-2})	变异系数 CV. (%)	土属 Soil family	剖面数 Profile number	平均值 Mean (kg m^{-2})	变异系数 CV. (%)
潮褐土 Aquic cinnamon soils	57	1.61	34.0	壤性洪冲积潮褐土 Loamy-dilluvic aquic cinnamon soils	24	1.70	28.1
				砂壤质洪冲积潮褐土 Loamy-sand dilluvic aquic cinnamon soils	5	1.22	21.0
石灰性褐土 Calcic cinnamon soils	68	1.76	44.5	黄土状石灰性褐土 Loess-like calcic cinnamon soils	10	1.74	46.1
				壤性洪冲积石灰性褐土 Loamy-dilluvic calcic cinnamon soils	18	1.77	50.2
				粗散状石灰性褐土 Rough and loose calcic cinnamon soils	5	1.31	32.7
				灰质石灰性褐土 Grey calcic cinnamon soils	9	2.02	30.3
淋溶褐土 Leached Cinnamon soils	64	3.17	70.3	粗散状淋溶褐土 Rough and loose leached cinnamon soils	8	3.90	80.2
				灰质淋溶褐土 Grey leached cinnamon soils	7	5.05	46.8
				壤性洪冲积淋溶褐土 Loamy-dilluvic leached cinnamon soils	8	2.38	47.4
				黄土状淋溶褐土 Loess-like leached cinnamon soils	6	1.53	32.9
褐土性土 Weakly developed cinnamon soils	46	1.89	63.8	粗散状褐土性土 Rough and loose weakly developed cinnamon soils	7	1.77	53.4
				灰质褐土性土 Grey weakly developed cinnamon soils	9	2.43	73.3
				黄土状褐土 Loess-like cinnamon soils	6	1.35	20.2
				壤质潮土 Loamy fluvo-aquic soils	39	1.65	32.3
潮土 Fluvo-aquic soils	98	1.48	46.0	砂壤质潮土 Loamy-sand fluvo-aquic soils	12	1.06	25.5
				壤性非石灰性潮土 Loamy and non calcic fluvo-aquic soils	7	1.46	34.6
				粘性潮土 Viscous fluvo-aquic soils	12	2.10	32.5
				砂质潮土 Sandy fluvo-aquic soils	8	0.44	68.5

续表

亚类 Subgroup	剖面数 Profile number	平均值 Mean (kg m^{-2})	变异系数 CV. (%)	土属 Soil family	剖面数 Profile number	平均值 Mean (kg m^{-2})	变异系数 CV. (%)
盐化潮土 Salinized fluvo-aquic soils	55	1.61	46.9	氯化物盐化潮土 Chloride salinized fluvo-aquic soils	29	1.67	50.8
脱潮土 Demoisted fluvo-aquic soils	31	1.38	43.3	硫酸盐盐化潮土 Sulphate salinized fluvo-aquic soils	21	1.42	38.0
棕壤 Brown earths	44	6.88	66.1	壤性脱潮土 Loamy demoisted fluvo-aquic soils	20	1.58	32.6
棕壤性土 Weakly developed brown earths	17	3.15	60.3	粗散状棕壤 Rough and loose brown earths	7	9.94	53.4
栗钙土 Castanozems	16	3.28	30.5	灰质棕壤 Grey brown earths	6	7.48	68.2
暗栗钙土 Dark castanozems	11	5.60	41.9	粗散状棕壤性土 Rough and loose weakly developed brown earths	6	2.16	68.8
酸性粗骨土 Acid skeletal soils	6	1.53	52.0	壤性洪冲积栗钙土 Loamy-dilluvic castanozems	5	3.34	33.1
钙质粗骨土 Calcic skeletal soils	6	2.60	77.4	壤性洪冲积栗褐土 Loamy-dilluvic castano-cinnamon soils	8	1.41	38.4
栗褐土 Castano-cinnamon soils	24	1.82	65.0				
钙质石质土 Calcis lithosols	5	1.49	44.5				

2.2 不同土地利用土壤有机碳密度差异

河北省主要土地利用平均土壤有机碳密度和变异系数见表3,三种土地利用平均土壤有机碳密度以林地最大 6.32 kg m^{-2} ,其次是草地 2.94 kg m^{-2} ,耕

地最小为 1.69 kg m^{-2} 。土地利用类型内土壤有机碳密度变异系数分别为 70.1%、69.7% 和 47.3%,平均变异系数为 62.39%,小于河北省土壤有机碳密度的变异系数。

表3 主要土地利用类型土壤有机碳密度统计

Table 3 Statistics of SOC densities of soils under main types of land use

土地利用 Land use	剖面数 Profile number	最小值 Min (kg m^{-2})	最大值 Max (kg m^{-2})	平均值 Mean (kg m^{-2})	变异系数 CV (%)
耕地 Cropland	443	0.13	6.46	1.69	47.34
林地 Forestland	55	0.17	16.50	6.32	70.09
草地 Grassland	177	0.19	13.65	2.94	69.73

2.3 土壤类型和土地利用对土壤有机碳密度空间分布的影响

表4 方差分析结果表明不同土壤类型和土地利用间平均土壤有机碳密度有显著差异 ($p < 0.001$),说明土壤类型和土地利用对土壤有机碳密度有显

著影响,因此土壤类型和土地利用能够反映出土壤有机碳密度在空间上的分布和变化,是土壤有机碳密度空间变异的两个影响因子。

但土壤类型和土地利用对河北省土壤有机碳密度空间变异的影响大小有差异。表5 回归分析结

果表明土壤类型对土壤有机碳密度空间变异的独立解释程度与土壤分类级别相关。土类对土壤有机碳密度空间变异的独立解释能力为 30.2%，而亚类和土属对土壤有机碳密度空间变异的独立解释能力分别为 44.1% 和 55.8%，大于土类。三个土壤分类等级相比较，土壤分类等级越低，对土壤有机碳密度空间变异的反映能力越大。土地利用对土壤有机碳密度空间变异的独立解释能力为 35.8%，与土壤类型相比，土地利用对土壤有机碳密度空间变异的解释能力要大于土类，但小于亚类和土属。

表 4 不同土壤类型和土地利用的土壤有机碳密度方差分析结果

Table 4 Variance analysis of SOC densities of soils different in soil type and in land use

类别 Classification	F	总自由度 Total degrees of freedom	<i>P</i>
土类 Soil group	50.49	685	<0.001
亚类 Subgroup	31.22	537	<0.001
土属 Soil family	16.24	302	<0.001
土地利用 Land use	86.89	674	<0.001

表 5 土壤类型和土地利用对土壤有机碳密度回归分析结果

Table 5 Regression analysis of SOC densities of soils with soil type and land use

类别 Classification	<i>r</i>	<i>R</i> ²	<i>R</i> _{adj} ²
土类 soil group	0.555	0.308	0.302 *
亚类 Soil subgroup	0.675	0.455	0.441 *
土属 Soil family	0.771	0.594	0.558 *
土地利用 Land use	0.600	0.360	0.358 *

注：* 表示回归方程显著性的检验结果 $p < 0.001$ ，说明方程极其显著 Note: * indicate regression equation were very significant at $p < 0.001$

2.4 省域土壤有机碳密度空间分布的主控因子

土壤有机碳空间变异与空间尺度有很大关系。土壤有机碳空间变异系数一般会随着空间幅度的增大而增大^[16-17]。而在不同空间尺度上，土壤有机碳空间分布的主要影响因子也往往不同^[18-19]。河北省土壤有机碳密度空间变异系数为 94.3%，说明省域尺度土壤有机碳密度空间变异很大。这一数值同时也高于东北黑土区平均省域土壤有机碳空间变异系数 71.9%^[17]，这主要与河北省有更复杂的地形和土地利用条件相关，因此探寻省域尺度土

壤有机碳空间分布的主控因子，对于土壤有机碳空间分布的准确预测是很重要的。

同类土壤经常具有相似影响土壤碳蓄积的调控因素^[20]，土壤类型因而能够反映土壤有机碳的空间分布格局^[21]。河北省土壤类型能够独立解释土壤有机碳密度空间变异的 30.2%~55.8%，说明土壤类型是省域尺度土壤有机碳空间变异的一个非常重要的关联因子。土壤类型对土壤有机碳密度空间变异的影响大小还与土壤分类级别相关，土壤分类级别越低，对土壤有机碳密度空间变异的解释能力越大。这与其他人的研究结果也相一致，如张忠启^[22]对江西余江县的研究表明土属对土壤有机碳的独立解释能力为 41.4%，大于亚类和土类的 25.3% 和 25.0%，Bell 和 Worrall^[23]对英国纽卡斯尔南部 (55 km²) 的研究也表明土系对土壤有机碳的预测能力为 48.69%，要大于土类的 16.18%。因此省域尺度对土壤有机碳密度空间分布进行预测时，必须要考虑到土壤类型对土壤有机碳空间变异的影响，如果以土壤类型来对土壤有机碳空间分布进行预测时，应该尽量以低级别的土壤分类如土属作为土壤有机碳的基本空间分布单元。

土地利用通过有机质输入对土壤有机碳的蓄积有重要作用^[24]。从已有研究来看，土地利用对土壤有机碳空间分异的影响存在很大空间尺度的差异。如 Bell 和 Worrall^[23]对英国纽卡斯尔南部 (55 km²) 的研究表明，土地利用对土壤有机碳空间预测能力为 45.25%。而张忠启^[22]对江西余江县的研究表明土地利用对土壤有机碳含量变异的独立解释能力为 32.3%。河北省土地利用对土壤有机碳空间变异的解释能力要小于 Bell 的研究结果，但仍然可以达到 35.8%，说明在省域尺度上，土地利用也是土壤有机碳密度空间分异的一个非常重要的影响因子。

从土壤类型和土地利用对比来看，河北省土地利用对土壤有机碳密度空间变异的解释能力要大于土类，但要小于亚类和土属。因此在省域尺度上，如果以单因子反映和预测土壤有机碳密度的空间分布时，低级土壤分类亚类或土属要比土地利用更准确。但从河北省土壤类型对土壤有机碳密度空间分异的解释能力大小来看，即使是低级土壤分类的土属，也仅达到 55.8%，反映能力还不是很，土壤类型内平均变异系数为 43.8%，仍然存在很大的空间变异。而土地利用对土壤有机碳密度空间变异解释能力虽然相对要低，但却可以达到

35.8%。因此省域尺度上应该将土壤类型和土地利用结合起来,共同作为土壤有机碳密度空间分布和变化的主控因子,以提高对土壤有机碳密度空间分异的反映能力。考虑到土地利用对土壤有机碳密度空间分异的影响要大于土类,所以在用土壤类型和土地利用来反映土壤有机碳密度空间分布或进行空间预测时,应该优先考虑土地利用,在同一土地利用内,再尽量用低级别土壤分类如土属来反映土壤有机碳密度的空间分布。

3 结 论

土壤类型和土地利用是影响省域尺度表层土壤有机碳密度空间分布的两个重要的影响因子。其中土壤类型对土壤有机碳密度空间变异的影响与土壤分类级别相关,土壤分类级别越低,对土壤有机碳密度空间变异的反映能力就越大。与土壤类型相比较,土地利用对土壤有机碳密度空间变异的反映能力要大于土类,但小于亚类和土属。因此省域尺度上应该以土壤类型和土地利用结合起来作为土壤有机碳密度空间分异的主控因子,在对土壤有机碳密度进行空间预测和碳库估算时,优先考虑土地利用后再考虑土壤类型,尤其是低级土壤分类的土壤类型。

参 考 文 献

- [1] Batjes N H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 1996, 47(2): 151—163
- [2] Eswaran H, van den Berg E, Reich P. Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci Soc Am J*, 1993, 57: 192—194
- [3] Yu D S, Shi X Z, Wang H J, et al. Regional patterns of soil organic carbon stocks in China. *Journal of Environmental Management*, 2007, 85(3): 680—689
- [4] Chaplot V, Bouahom B, Valentin C. Soil organic carbon stocks in Laos: Spatial variations and controlling factors. *Global Change Biology*, 2009, 16:1380—1393
- [5] David A, White II, Welty B A, et al. Vegetation controls on soil organic carbon dynamics in an arid, hyperthermic ecosystem. *Geoderma*, 2009, 150(1/2):214—223
- [6] Zhang M, Zhang X K, Liang W J, et al. Distribution of soil organic carbon fractions along the altitudinal gradient in Changbai mountain, China. *Pedosphere*, 2011, 21(5): 615—620
- [7] Chiti T, Gardin L, Perugini L, et al. Soil organic carbon stock assessment for the different cropland land uses in Italy. *Biol Fertil Soils*, 2012, 48(1): 9—17
- [8] 河北省土壤普查办公室. 1:500 000 河北省土壤图. 北京:中国农业出版社, 1990. Soil Survey Office of Hebei Province. 1:500 000 soil map of Hebei Province (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1990
- [9] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京:中国农业出版社, 1998. National Soil Survey Office. Soils of China (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1998
- [10] 全国土壤普查办公室. 中国土种志: 第四卷. 北京:中国农业出版社, 1995. Soil Survey Office of China. Soil species of China: Volume IV (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1995
- [11] Cheng H H, Kimble J M. Characterization of soil organic carbon pools //Lal R, Kimble J M, Follett R F, et al. Assessment methods for soil carbon. London: Lewis, 2001:117—129
- [12] Kimble J M, Grossman R B, Samson Liebig S E. Methodology for sampling and preparation for soil carbon determinations //Lal R, Kimble J M, Follett R F, et al. Assessment methods for soil carbon. London: Lewis, 2001: 15—29
- [13] 文启孝. 土壤有机质研究方法. 北京:农业出版社, 1984. Wen Q X. Study methods of soil organic matter (In Chinese). Beijing: Agriculture press, 1984
- [14] 孙维侠, 史学正, 于东升. 土壤有机碳的剖面分布特征及其密度的估算方法研究. *土壤*, 2003, 35(3): 236—241. Sun W X, Shi X Z, Yu D S. Distribution pattern and density calculation of soil organic carbon in profile (In Chinese). *Soils*, 2003, 35(3):236—241
- [15] 李丽霞, 郜艳晖, 张瑛. 哑变量在统计分析中的应用. *数理医药学杂志*, 2006, 19(1): 51—53. Li L X, Gao Y H, Zhang Y. The application of dummy variable in statistics analysis (In Chinese). *Journal of Mathematical Medicine*, 2006, 19(1): 51—53
- [16] Conant R T, Paustian K. Spatial variability of soil organic carbon in grasslands: Implications for detecting change at different scales. *Environmental Pollution*, 2002, 116:127—135
- [17] Wang D D, Shi X Z, Lu X X, et al. Response of soil organic carbon spatial variability to the expansion of scale in the uplands of Northeast China. *Geoderma*, 2010, 154(3/4):302—310
- [18] Hao X, Kravchenko A N. Management practice effects on surface soil total carbon: Differences along a textural gradient. *American Society of Agronomy*, 2007, 99(1):18—26
- [19] Homann P S, Sollins P, Chappell H N, et al. Soil organic carbon in a mountainous, forested region: Relation to site characteristics. *Soil Sci Soc Am J*, 1995, 59(5):1468—1475
- [20] Kern J S. Spatial patterns of soil organic carbon in the contiguous United States. *Soil Sci Soc Am J*, 1994, 58(2):439—455
- [21] Franzmeier D P, Lemme G D, Miles R J. Organic carbon in soils of North Central United States. *Soil Sci Soc Am J*, 1985, 49: 702—708
- [22] 张忠启. 样点布置模式及密度对揭示土壤有机碳空间变异的影响. 南京:中国科学院南京土壤研究所, 2010. Zhang Z Q. Effect of sampling point allocation and density on detecting spatial variability of soil organic carbon in the Red Soil region of China (In Chinese). Nanjing: Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, 2010
- [23] Bell M J, Worrall F. Estimating a region's soil organic carbon

baseline: The undervalued role of land management. *Geoderma*, 2009, 152(1/2):74—84

[24] Pandey C B, Singh G B, Singh S K, et al. Soil nitrogen and mi-

crobial biomass carbon dynamics in native forests and derived agricultural land uses in a humid tropical climate of India. *Plant and Soil*, 2010, 333(1/2):453—467

MAIN FACTOR CONTROLLING SOC SPATIAL DISTRIBUTION AT THE PROVINCE SCALE AS AFFECTED BY SOIL TYPE AND LAND USE

Gu Chengjun^{1,2,3} Shi Xuezheng^{1†} Yu Dongsheng¹ Xu Shengxiang¹ Sun Weixia¹ Zhao Yongcun¹

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

(2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

(3 *Geographic Information and Tourism College, Chuzhou University, Chuzhou, Anhui 239000, China*)

Abstract Effects of soil type and type of first-class land use on spatial distribution of SOC at the depth of 0 ~ 20 cm in Hebei Province were explored based on the data of Hebei Province of the Second National Soil Survey and using variance analysis and regression analysis. It was found that they were the major factors controlling SOC spatial distribution. The effect of soil type was related with soil classification. Soils in lower soil categories of the soil classification were more capable of reflecting SOC spatial distribution. Land use explained SOC spatial distribution better than soil type at the soil group level, but not at the soil subgroup and soil family levels. Therefore, it is advisable to use soil type and land use in combination as main controlling factors in predicting or assessing SOC spatial distribution at the provincial scale, giving prior consideration to land use, then to soil type in the lower categories of soil classification under the same land use.

Key words Hebei Province; Soil type; Land use; SOC; Spatial distribution

(责任编辑:檀满枝)