

不同比例尺农田土壤碳库模拟的最佳栅格单元分辨率*

倪元龙^{1,2} 于东升^{1,2†} 张黎明³ 史学正^{1,2}

(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 福建农林大学资源与环境学院,福州 350002)

摘要 基于太湖地区 1:50 000、1:1 000 000、1:14 000 000 三种比例尺土壤矢量图斑单元以及通过上述矢量图斑单元转换生成的不同分辨率的栅格单元,在 1982 年水稻土土壤有机碳库的基础上,利用 DNDC (Denitrification-Decomposition) 模型模拟了 2000 年水稻土表层(0~20 cm)土壤有机碳库,对比分析了不同分辨率栅格单元与 3 种比例尺矢量图斑单元的水稻土类型数量、面积、表层土壤有机碳储量以及有机碳密度的变化特征,并以矢量图斑单元获得的这 4 个指标结果为基准,用相对变异百分数(VIV)来判别基于三种比例尺 DNDC 模型模拟的最佳栅格单元分辨率。结果表明,在 4 个指标的 |VIV| < 1% 前提下,基于 1:50 000、1:1 000 000、1:14 000 000 三种比例尺的最佳栅格模拟单元分辨率分别为 0.2 km × 0.2 km、2 km × 2 km、17 km × 17 km,既能保证模型模拟过程中的精度要求,又可以避免数据冗余,提高模拟效率。建立的土壤碳库模拟研究的比例尺与其最佳栅格单元分辨率对应转换关系,对区域土壤碳模拟研究具有重要参考价值。

关键词 土壤有机碳库;栅格分辨率;制图比例尺;DNDC 模型;水稻土

中图分类号 K90

文献标识码 A

土壤碳库是陆地生态系统的重要碳库之一,其碳储量约为陆地植被碳库的 3 倍^[1],约为全球大气碳库的 2 倍^[2]。由于,土壤碳库的库容较大,其微小变化都会对全球气候产生较大的影响。土壤碳库包括土壤有机碳库和无机碳库,由于土壤无机碳库很少变动,对全球碳循环研究的意义不大^[3],因此,土壤有机碳库及其变动被视为影响大气 CO₂ 浓度变化的重要因素^[4],准确估算土壤有机碳储量及其动态变化成为研究全球碳循环的重要内容^[5]。

模型方法可以较准确地模拟区域和全球土壤有机碳的时空格局^[6],国际上比较著名的土壤有机碳模型主要包括 RothC、Century 和 DNDC (Denitrification-Decomposition) 模型等,其中 DNDC 模型以比较可靠的模拟结果和简单的参数输入被广泛应用^[7]。Xu 等基于 1:1 000 000 土壤数据库不同空间分辨率数据单元,利用 DNDC 模型模拟了江苏省水

稻土有机碳动态变化^[8];邱建军等在 GIS 区域数据库支持下,利用 DNDC 模型研究了东北三省地区土壤有机碳储量状况及其在现行农田管理措施下的变化特征^[9];Tang 等基于 1:14 000 000 土壤图属性数据,应用 DNDC 模型估算了我国农田土壤有机碳储量^[10]。在模型模拟过程中,不同研究者因研究区域大小不同,所采用研究比例尺度有很大不同,涵盖了从小到大的诸多比例尺^[8-10]。

栅格单元由于数据结构简单,便于进行空间分析和空间模拟,在土壤有机碳库研究中得到了广泛的应用。而在土壤有机碳库模拟研究中采用栅格单元,将研究区离散化为性质均一的研究单元,有利于提高模拟精度^[11-12],因此,栅格单元在土壤有机碳库模拟研究中更多被采用^[13]。杨茹玮等基于 1:50 000 土壤矢量图斑单元转成的分辨率为 100 m × 100 m 栅格单元,利用 Agro-C 模型模拟了无锡市

* 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2010CB950702)、中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050507)、国家自然科学基金项目(40921061)资助

† 通讯作者,E-mail: dshyu@issas.ac.cn

作者简介:倪元龙(1987—),男,硕士研究生,主要研究方向为地理信息系统和土壤资源遥感。E-mail: niyuanlong000123@126.com

收稿日期:2013-03-19;收到修改稿日期:2013-06-21

和常州市 1985—2000 年 16 年间水稻土有机碳动态变化^[14];于永强等基于 1:1 000 000 土壤矢量图斑单元转换成的分辨率为 10 km × 10 km 栅格单元,利用农田土壤有机碳动态模拟模型模拟了华东地区 1980—2000 年农田土壤有机碳时空变化^[6];沈雨等基于江苏省 1:4 000 000 土壤矢量图斑单元转成的分辨率为 2 km × 2 km 栅格单元,利用模型模拟了江苏省农田土壤有机碳含量的分布现状及未来变化趋势^[15]。这些研究采用的栅格单元多是通过矢量图斑单元转换而来^[6,14-15],在数据转换过程中,所引起的尺度(即栅格单元分辨率)问题受到了广泛的关注^[16-17]。崔步礼等以库布齐沙漠地区的 2003 年 1:100 000 的矢量数据为例,转换尺度以 10 m 为起点,200 m 为终点,10 m 为间隔,讨论了斑块面积、周长、斑块数量对不同尺度及不同转换方法的响应,结果表明,30 m 大小的转换尺度为最佳尺度^[16]。白燕等基于 2005 年四川省 1:250 000 土地覆被矢量数据,在 0.6 ~ 30 km 16 个尺度上进行栅格化,并对面积精度损失进行评估,研究表明了在对四川省 1:250 000 土地覆被数据进行面积最大值法栅格化时,适宜尺度域最好不要超过 0.8 km^[17]。栅格单元分辨率一方面直接影响到数据精度和模拟结果的准确性,另一方面也直接关系到数据冗余和工作量。栅格单元分辨率过小,会概化重要的属性信息,模拟结果会产生误差;栅格单元分辨率过大,会产生数据冗余,大大降低模拟效率^[13]。因此,在模型模拟过程中选择合适栅格单元分辨率,既能保证数据精度要求,又能避免数据冗余,减少工作中的资源浪费,是值得我们研究的重要问题。

当前对矢量图斑单元到栅格单元转化过程中尺度效应的研究,大部分均是基于特定的比例尺^[16-17],本研究则基于 1:50 000、1:1 000 000、1:14 000 000 三种比例尺土壤矢量图斑单元及由这 3 种比例尺矢量图斑单元转换得到的不同分辨率的栅格单元,利用 DNDC 模型分别模拟了 2000 年太湖地区水稻土的土壤有机碳库,通过对基于栅格单元和矢量图斑单元模拟结果的对比分析,寻找基于这 3 种比例尺上模型模拟的最佳模拟栅格单元分辨率,并尝试提出制图比例尺与最佳栅格单元分辨率的对应关系,以期为区域土壤碳库模拟研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

太湖地区位于东经 118°50′ ~ 121°54′、北纬 29°56′ ~ 32°16′,面积约 3.65 × 10⁴ km²(图 1),包括江苏省镇江、常州、无锡和苏州,浙江省嘉兴、湖州和杭州市的一部分,以及整个上海市,共 37 个县(市)。该区以平原为主,地形特点为周边高、中间低。气候温暖潮湿,光照充足,干湿季分明,年均温在 16℃左右,年均降水量 1 100 ~ 1 400 mm,属于北亚热带湿润季风气候^[19]。该地区土壤类型以水稻土、潮土、红壤为主,约占总面积的 90%,其中水稻土分布最为广泛,总面积为 2.32 × 10⁴ km²,占该地区土壤总面积的 66%。水稻土亚类包括渗育型水稻土、漂洗型水稻土、脱潜型水稻土、淹育型水稻土、潜育型水稻土和潜育型水稻土,是长江中下游水稻土区中的一个典型地区^[20]。

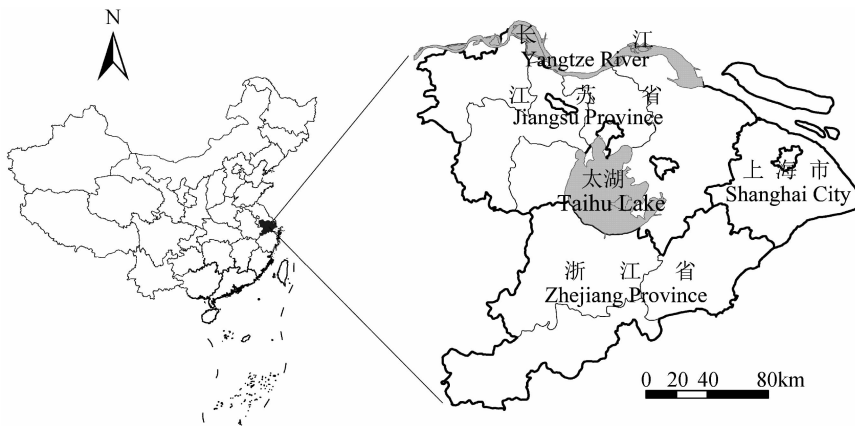


图 1 太湖地区地理位置图

Fig. 1 Location of the Taihu Lake region

1.2 数据基础与处理

本研究以全国第二次土壤普查数据资料(1982年)经数字化加工形成的太湖地区 1:50 000、1:1 000 000、1:14 000 000 三种比例尺的土壤矢量图斑单元及由它们分别转换得到的不同分辨率栅格单元,作为模型模拟单元。其中,1:50 000 土壤矢量图斑单元的图斑数为 52 034 个,采用了 1 107 个土壤剖面的土壤属性数据,基本制图单元为土种;1:1 000 000、1:14 000 000 土壤矢量图斑单元的图斑数分别为 967 个和 8 个,分别采用了 49 个土壤剖面的属性数据,基本制图单元分别为土属和亚类。土壤制图单元是表示图斑内容的单位,以土壤分类系统的各级分类单元为基础。制图单元中土壤的分类级别根据制图目的、调查对象、制图比例尺及其最小图斑面积所能包含的内容确定。一般情况下,比例尺越小,基本制图单元中土壤的分类级别越高。土壤属性数据包括了黏粒含量、石砾含量、pH、容重、有机质含量等模型模拟需要的属性项。土壤剖面属性数据和空间矢量图斑的连接采用“土壤类型 GIS 连接法”^[20]。

栅格单元是利用 ArcGIS 9.0 软件中的 Conversion Tools 模块,通过这 3 种比例尺矢量图斑单元分别转换获得的,栅格化方法采用常用的面积最大值法^[21],将各属性进行栅格化,然后进行叠加。根据在土壤制图上,图中能表达和显示最小图斑一般为 2 mm × 2 mm^[22],来确定不同比例尺矢量图斑单元向栅格单元转换时的初始栅格单元分辨率,即用比例尺的分母乘以成图最小图斑边长 2 mm 来确定初始栅格单元分辨率;在初始栅格单元分辨率基础上,逐渐增大栅格大小,通过栅格单元与矢量图斑单元研究结果的对比,直到找到和确定最佳栅格单元分辨率为止。其中 1:14 000 000 比例尺的数据转换情况比较特殊,在初始栅格大小基础上采取了先逐渐增大、后再逐渐减小的方式,最终确定最佳栅格单元分辨率。由于篇幅限制,本文仅列举部分变化较明显的的数据以及那些能将变化趋势很好表达出来的数据。

1.3 DNDC 模型模拟及检验

DNDC 模型是美国 NEW Hampshire 大学发展起来的,目标是模拟农业生态系统中碳和氮的生物地球化学循环,时间步长以日为单位,是目前国际上最为成功的模拟生物地球化学循环的模型之一^[23-24]。模型由 6 个子模型构成,分别模拟土壤气候、农作物生长、有机质分解、硝化、反硝化和发酵

过程,最后给出土壤有机碳各组分动态含量及 CO₂、N₂O、CH₄、NO 和 N₂ 等温室气体通量。该模型是对土壤碳、氮循环过程全面描述的机理模型,适用于点位和区域尺度的各种气候带的农业生态系统模型。模型模拟过程中输入的参数主要有土壤参数和农田管理措施等其他参数,其中土壤参数主要包括黏粒含量、初始有机碳含量、pH 等,其他参数主要包括农作物管理措施、气象数据等,如逐日气象数据、氮肥施用量、秸秆还田比例、轮作制度。除土壤参数外,模型模拟的其他输入参数、参数设置以及结果验证见参考文献[25]。

本研究以 1982 年土壤有机碳库为基础,基于上述 3 种比例尺的土壤矢量图斑单元及由此转换得到的不同分辨率栅格单元,利用 DNDC 模型分别模拟了 2000 年太湖地区水稻土的土壤有机碳库,模拟时间段为 19 a(1982—2000 年)。在不同尺度单元模拟过程中,除土壤属性参数外,其他输入参数均相同,如气候参数、农田管理参数等。

1.3.1 统计与分析方法 基于矢量图斑单元或栅格单元分别计算水稻土土壤类型数目(STN)、水稻土面积(AREA, km²)、表层(0~20 cm)土壤有机碳储量(SOCS, Tg)及平均土壤有机碳密度(ASOCD, kg m⁻²)。

$$SOCS = \sum (SOCD_i \times AREA_i) \quad (1)$$

$$AREA = \sum AREA_i \quad (2)$$

$$ASOCD = SOCS / AREA \quad (3)$$

式中,SOCD_{*i*}为每个矢量图斑或栅格单元的土壤有机碳密度模拟结果(kg m⁻²);AREA_{*i*}为每个矢量图斑或栅格单元的面积(km²);*i*为矢量图斑或栅格单元的个数。

1.3.2 最佳栅格单元分辨率判别 用指标相对变异百分数(VIV)来反映由某一比例尺矢量图斑单元转成不同分辨率栅格单元时,上述 4 个指标(AREA、SOCS、ASOCD、STN)的变化情况,并以此来判定该比例尺的矢量图斑单元与其转换而来的栅格单元模拟精度的一致性^[26]。

$$VIV = \frac{IV(A) - IV(B)}{IV(A)} \times 100\% \quad (4)$$

式中,IV(A)为矢量图斑的指标值,IV(B)为相应栅格单元的指标值。

当所有指标 |VIV| < 1%,且栅格单元尺寸达到最大时,则认为该栅格单元分辨率为相应比例尺模拟时的最佳栅格单元分辨率^[13,27]。

利用 3 种比例尺矢量图斑单元和相应最佳分辨

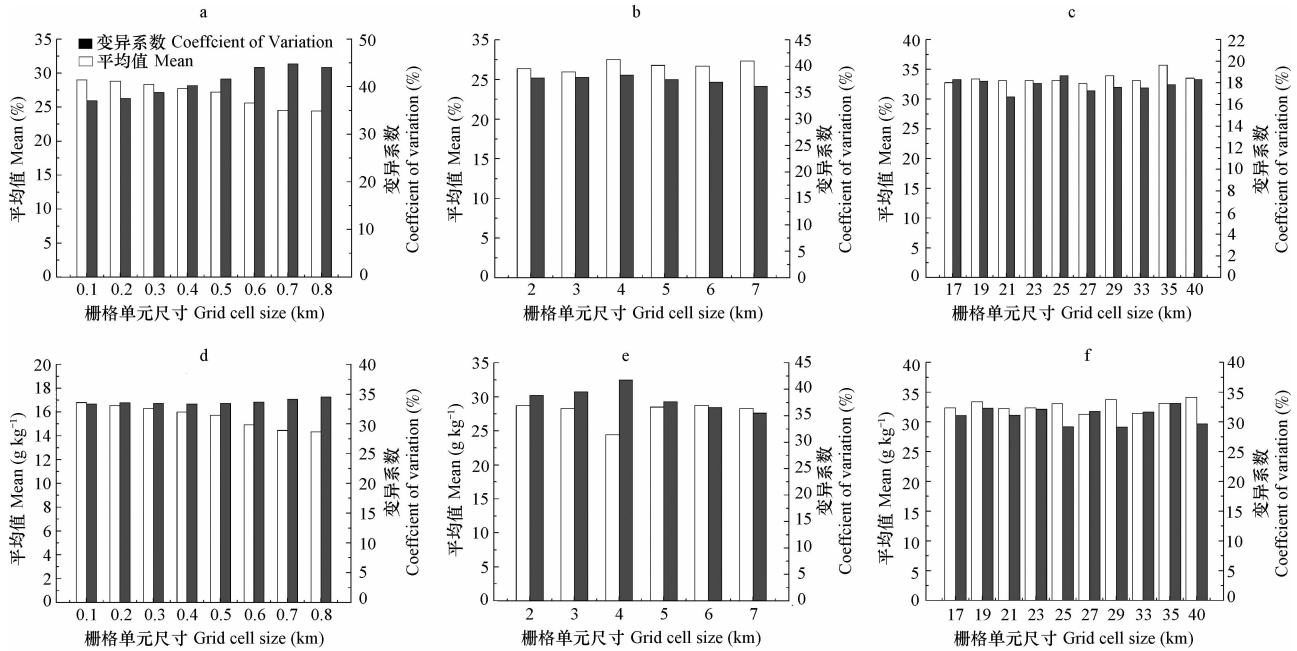
率栅格单元模拟得到的 1982—2000 年 19 a 间太湖地区水稻土 SOCD 变化量的空间分布特征以及 SOCS 的变化量来验证最佳栅格分辨率是否正确,如果基于矢量图斑单元和相应的最佳栅格单元分辨率得到的 SOCD 变化量的空间分布特征相同,同时两者之间的 SOCS 的变化量的 $|VIV| < 1\%$, 则认为最佳栅格分辨率是正确的。

2 结果与讨论

2.1 模型输入参数随栅格单元分辨率变化的空间变异特征

模型输入参数包含土壤黏粒含量、pH、初始有机碳含量、容重等 4 个参数,本文以土壤黏粒含量、初始有机碳含量为例,说明 3 种比例尺下模型输入参数随栅格单元分辨率的变化特征。

在 3 种比例尺度下,不同分辨率栅格单元的黏粒含量、初始有机碳含量的平均值与变异系数均有很大的差异。随着栅格单元尺寸的增大,在 1:50 000 比例尺上,黏粒含量、初始有机碳含量的平均值均呈现递减的趋势,变异系数则基本呈现递增的趋势(图 2a、图 2d);而在 1:1 000 000 比例尺上,黏粒含量、初始有机碳含量的平均值均无明显变化趋势,变化范围分别为 26.0% ~ 27.3%、24.5 ~ 28.8 g kg⁻¹,变异系数恰都呈现先增大后减小的趋势(图 2b、图 2e);对于 1:14 000 000 比例尺,黏粒含量及初始有机碳含量随着栅格单元尺寸的变化较为复杂,黏粒含量的平均值和变异系数变化范围分别为 32.1% ~ 35.7%、16.7% ~ 19.2% (图 2c),初始有机碳含量的平均值和变异系数的变化范围分别为 31.2 ~ 34.5 g kg⁻¹、29.1% ~ 33.1% (图 2f)。



注: a, b 和 c 分别为 1:50 000、1:1 000 000、1:14 000 000 比例尺下黏粒含量随栅格单元分辨率的变化特征; d, e 和 f 分别为 1:50 000、1:1 000 000、1:14 000 000 比例尺下初始有机碳含量随栅格单元分辨率的变化特征 Note: a, b and c represents the variation of soil clay content with grid unit resolution, on the 1:50 000, 1:1 000 000 and 1:14 000 000 map scale, respectively; d, e and f represents the variation of the initial soil organic carbon content with grid unit resolution on the 1:50 000, 1:1 000 000 and 1:14 000 000 map scale, respectively

图 2 太湖地区 3 种比例尺下土壤黏粒含量、初始有机碳含量随栅格单元分辨率的变化特征

Fig. 2 Variations of soil clay content and initial soil organic carbon content with grid unit resolution and scale of the map of the Taihu Lake region of China

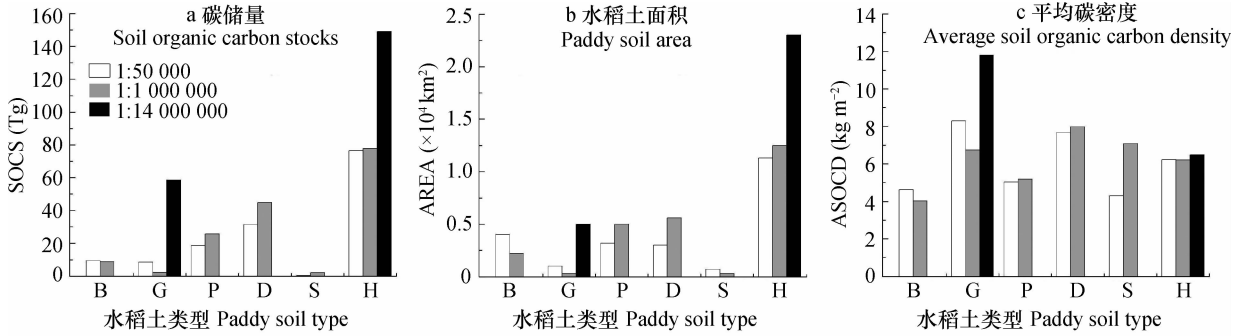
2.2 不同比例尺的水稻土表层土壤有机碳库模拟结果

基于 3 种比例尺土壤矢量图斑单元模拟研究获得的 2000 年太湖地区水稻土表层的 STN、AREA、SOCS 和 ASOCD, 均存在差异。1:50 000、1:1 000 000、1:14 000 000 三种比例尺 SOCS 模拟结果分别为 144.8、161.2、207.7 Tg, AREA 分别为

2.32×10^4 、 2.59×10^4 、 2.80×10^4 km², ASOCD 分别为 6.24、6.24、7.42 kg m⁻², 水稻土亚类数目分别为 6、6、2。其中, 1:50 000 比例尺与 1:14 000 000 比例尺的 SOCS 模拟结果相差约 63 Tg, 显然, 土壤碳库模拟研究的比例尺对土壤有机碳库的模拟结果产生了重大影响^[28]。

从水稻土亚类的土壤有机碳库模拟结果(图3)来看,SOCS(图3a)、AREA(图3b)、ASOCD(图3c),在不同比例尺上均存在着差异。在1:14 000 000比

例尺上,潜育型水稻土和潜育型水稻土的 SOCS、AREA 以及 ASOCD 高于其他 2 个尺度(图3),这主要是由于土壤制图过程中图斑概化造成的。



注: B.漂洗型水稻土; G.潜育型水稻土; P.渗育型水稻土; D.脱潜型水稻土; S.淹育型水稻土; H.潜育型水稻土。Note: B. Bleached paddy soil; G. Gleyed paddy soil; P. Percogenic paddy soil; D. Degleyed paddy soil; S. Submergenic paddy soil; H. Hydromorphic paddy soil

图3 基于3种比例尺太湖地区土壤矢量图斑模拟的水稻土亚类土壤有机碳库

Fig.3 Modeling of soil organic carbon pools in paddy soil subgroups as affected by scale of the soil map of the Taihu Lake region of China

2.3 不同比例尺度的模拟结果随栅格单元分辨率的变化特征

在1:50 000比例尺度上,随着栅格单元分辨率降低或栅格单元尺寸增大,SOCS、AREA、ASOCD、STN各指标|VIV|均呈现增大的趋势(图4a)。当栅格单元尺寸≤0.2 km时,各项指标的|VIV|<1%;当栅格单元尺寸为0.3 km时,除SOCS外的其余各指标|VIV|<1%;当栅格单元尺寸为0.5 km时,除ASOCD外,其余各项指标的|VIV|>1%;当栅格单元尺寸>0.5 km时,各项指标的|VIV|>1%(图4a)。因此,基于1:50 000比例尺模拟的最佳栅格单元分辨率为0.2 km×0.2 km。

在1:1 000 000比例尺度上,随着栅格单元尺寸增大,SOCS、AREA这2个指标的|VIV|呈现增大趋势,而STN和ASOCD这2个指标的|VIV|的变

化不十分明显。当栅格单元尺寸≤2 km时,各项指标的|VIV|<1%;当栅格单元尺寸>2 km时,除ASOCD、STN外,其余指标的|VIV|>1%(图4b)。所以,基于1:1 000 000比例尺模拟的最佳栅格单元分辨率为2 km×2 km。

不同分辨率栅格单元模拟结果,在1:14 000 000比例尺度上波动性很大,变化情况复杂。当栅格单元尺寸≤17 km时,各个指标的|VIV|<1%;当栅格单元尺寸>17 km时,多数指标的|VIV|>1%。当栅格单元尺寸>28 km时,随着栅格单元尺寸增大,AREA和SOCS的|VIV|总体呈现增大的趋势(图4c)。由于1:14 000 000比例尺土壤图斑高度概化,整个研究区域只有8个图斑,在生成不同分辨率栅格单元后的模拟结果变化情况较为特殊。可以认定,基于1:14 000 000比例尺模拟的最佳栅格单元分辨率为17 km×17 km。

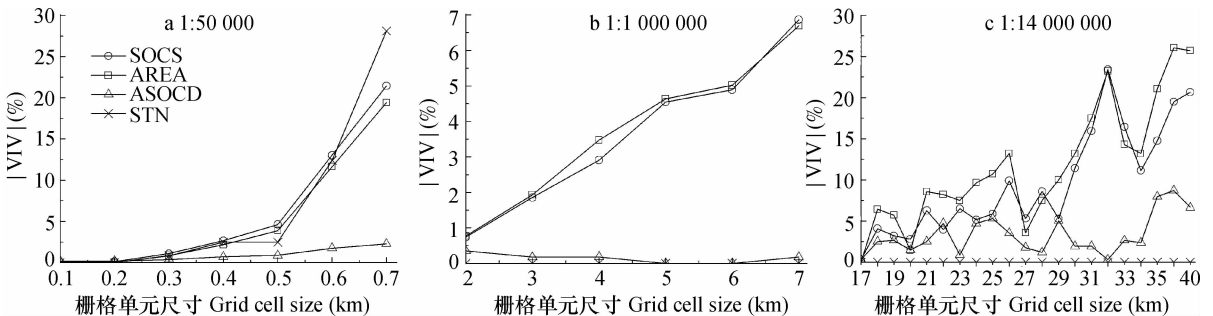


图4 太湖地区3种比例尺不同分辨率栅格单元各指标相对变异系数(VIV)变化情况

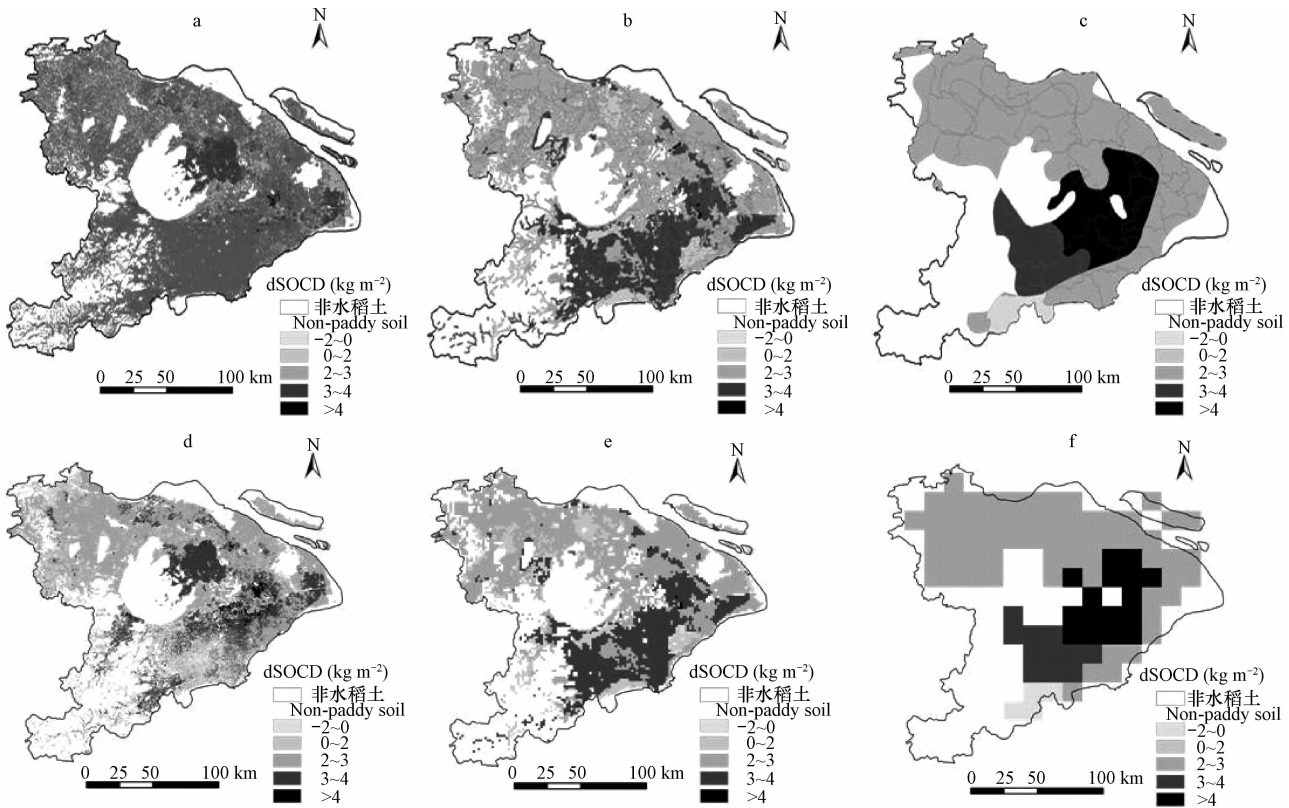
Fig.4 VIV (Variation of an index value) of various indices of grid units different in resolution as affected by scale of the soil map of the Taihu Lake region of China

于永强等^[6]在模拟研究华东地区农田土壤有机碳的变化时,与本研究采用了同样的数据和转换方法,将 1:1 000 000 土壤矢量图斑单元转成分辨率为 10 km × 10 km 的栅格单元,与本研究得到的 2 km × 2 km 最佳分辨率相比,虽然避免了数据冗余,大幅度减少工作量,但研究结果的准确性受到了很大的影响。同样在 1:14 000 000 比例尺下,基于最佳栅格单元分辨 17 km × 17 km 得到的土壤碳储量模拟结果与基于矢量图斑单元得到的结果相差仅为 0.29%,而基于初始栅格单元分辨率 28 km × 28 km 得到的碳储量模拟结果与矢量图斑单元得到的结果相差约为 8.59%,研究结果的准确性同样受到了很大的影响。

2.4 农田土壤碳库模拟的最佳栅格单元分辨率验证

基于 3 种比例尺的矢量图斑单元和其相应的最佳栅格单元分辨率得到的 1982—2000 年太湖地区水稻土 SOCD 变化量 (dSOCD) 空间分布特征,通过比较发现完全相同 (图 5)。以 1:1 000 00 比例尺为例进行说明:1:1 000 00 比例尺的最佳栅格分辨率单元得

到的 dSOCD 在 -2 ~ 0 kg m⁻² 之间的区域主要分布在上海市和嘉善县;变化量在 0 ~ 2 kg m⁻² 之间的区域主要分布在武进市、嘉善县、江阴市、长兴县、余杭市;变化量在 2 ~ 3 kg m⁻² 之间的部分在整个太湖地区大面积分布;变化量在 3 ~ 4 kg m⁻² 之间的区域主要分布在长兴县、余杭市、嘉善县、上海市辖区;变化量 > 4 kg m⁻² 之间的区域主要在上海市辖区、张家港市有零星分布。这与 1:1 000 00 比例尺的矢量图斑单元模拟得到相同水稻土 SOCD 变化区间的主要分布区域完全一致 (图 5b、图 5e)。同时,基于矢量图斑单元得到的 1982—2000 年太湖地区 1:50 000、1:1 000 000、1:14 000 000 三种比例尺 SOCS 变化量分别为 61.69、65.75、95.28 Tg,基于最佳栅格单元分辨率得到的 3 种比例尺 SOCS 变化量分别为 61.66、65.42、94.54 Tg,3 种比例尺矢量图斑单元和相应的最佳栅格单元分辨率的 SOCS 变化量的 |VIV| 分别为 0.05%、0.50%、0.78%,均小于 1%。显然,三种比例尺模型模拟的最佳栅格分辨率是正确的。



注: a、b、c 分别为 1:1 50 000、1:1 000 000、1:14 000 000 三种比例尺度下基于矢量图斑单元的水稻土有机碳密度变量 (dSOCD) 分布特征; d、e、f 分别为相应比例尺度下基于最佳栅格单元分辨率的水稻土有机碳密度变量 (dSOCD) 分布特征
 Note: a, b and c represents the distribution of paddy soil organic carbon density (dSOCD) from the year 1982 to 2000 based on the soil vector patch on the 1:50 000, 1:1 000 000, 1:14 000 000 map scales, respectively; d, e and f represents the distribution of dSOCD from the year 1982 to 2000 based on the optimal grid resolutions on the corresponding map scales, respectively

图 5 三种比例尺度下基于矢量图斑单元和最佳栅格单元分辨率的 1982—2000 年水稻土有机碳密度变量 (dSOCD) 分布
 Fig. 5 Distribution of paddy soil organic carbon density (dSOCD) during the period from the year 1982 to 2000 based on the soil vector patch units and the optimal grid unit resolutions on the three map scales, separately

本研究区域太湖地区水网密布,城镇企业繁多,土地利用复杂多样,空间变换频度不亚于山地丘陵区,也远较高原以及其他平原地区高。土地利用空间变换频度,制约着栅格单元内部变异性,影响栅格单元最佳分辨率高低;空间变换频度越高,最佳栅格分辨率也相应越高。另一方面,本研究采用的基础数据,即 1:50 000、1:1 000 000 和 1:14 000 000 比例尺土壤图(矢量化数据),是在全国第二次土壤普查工作中采用全国统一土壤制图标准绘制成的标准图件,与其他行政区相应比例尺度土壤图件的制图精度基本一致,数据转换过程中不会因地区不同而产生精度上的差异。因此,虽然上述研究结果基于特定研究区域,但对其他地区的土壤碳库模拟研究,也应具有重要参考价值以及适用性。同时,有学者研究表明^[16],在数据转换过程中不同数据转换方法得到的图斑面积、周长等会存在差异,进而影响到研究结果的准确性,本研究仅采用最为常用的数据转换方式,其他数据转换方法是否对结果产生影响,究竟能产生多大影响,还有待进一步研究。

3 结 论

本研究基于 1:50 000、1:1 000 000、1:14 000 000 三种比例尺土壤矢量图斑单元及由这三种比例尺矢量图斑单元转换得到的不同分辨率的栅格单元,利用 DNDC 模型分别模拟了 2000 年太湖地区水稻土土壤有机碳库。结果表明,土壤矢量图斑单元比例尺以及栅格单元分辨率对土壤有机碳库的模拟结果产生重大影响。通过比较矢量图斑单元与不同分辨率栅格单元模拟得到的土壤有机碳库结果之间的相对差异,得到 1:50 000、1:1 000 000、1:14 000 000 三种比例尺模型模拟的最佳栅格单元分辨率分别为 0.2 km×0.2 km、2 km×2 km、17 km×17 km,对最佳栅格单元分辨率的合理性验证结果表明,基于本研究得到的 3 种比例尺模型模拟的最佳栅格分辨率是科学合理的。

参 考 文 献

- [1] Schlesinger W H. Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soils. *Nature*, 1990, 348 (15): 232—234
- [2] Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 2004, 123 (1/2): 1—22
- [3] 解宪丽,孙波,周慧珍,等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析. *土壤学报*, 2004, 41 (1): 35—43. Jie X L, Sun B, Zhou H Z, et al. Organic carbon density and storage in soils of China and spatial analysis (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41 (1): 35—43
- [4] Houghton R A. The global carbon cycle. *Science*, 1988, 241 (4874): 1736, 2316—2320
- [5] 陈增文,陈光水,钟羨芳,等. 基于高光谱遥感的土壤有机碳含量估算研究进展. *亚热带资源与环境学报*, 2009, 4 (1): 78—87. Chen Z W, Chen G S, Zhong X F, et al. Review on estimations of soil organic carbon content based on hyperspectral measurements (In Chinese). *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2009, 4 (1): 78—87
- [6] 于永强,黄耀,张稳,等. 华东地区农田土壤有机碳时空格局动态模拟研究. *地理与地理信息科学*, 2007, 23 (1): 97—100. Yu Y Q, Huang Y, Zhang W, et al. Modeling farmland soil organic carbon dynamics in Eastern China: Spatio-temporal pattern (In Chinese). *Geography and Geo-Information Science*, 2007, 23 (1): 97—100
- [7] 王立刚,邱建军,马永良,等. 应用 DNDC 模型分析施肥与翻耕方式对土壤有机碳含量的长期影响. *中国农业大学学报*, 2004, 9 (6): 15—19. Wang L G, Qiu J J, Ma Y L, et al. Apply DNDC model to analysis long-term effect of soil organic carbon content under different fertilization and plough mode (In Chinese). *Journal of China Agricultural University*, 2004, 9 (6): 15—19
- [8] Xu S X, Shi X Z, Zhao Y C, et al. Modeling carbon dynamics in paddy soil in Jiangsu Province of China with soil databases differing in spatial resolution. *Pedosphere*, 2011, 21 (6): 696—705
- [9] 邱建军,王立刚,唐华俊,等. 东北三省耕地土壤有机碳储量变化的模拟研究. *中国农业科学*, 2004, 37 (8): 1166—1171. Qiu J J, Wang L G, Tang H J, et al. Study on the situation of soil organic carbon storage in arable lands in Northeast China (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37 (8): 1166—1171
- [10] Tang H J, Qiu J J, Ranst E V, et al. Estimations of soil organic carbon storage in cropland of China based on DNDC model. *Geoderma*, 2006, 134 (1/2): 200—206
- [11] Huang Y, Zhang W, Zheng X, et al. Modeling methane emission from rice paddies with various agricultural practices. *Journal of Geophysical Research*, 2004, 109: D08113: 1—12
- [12] 朱大威,黄耀,金之庆,等. 基于模型和 GIS 的江苏省氮肥施用适宜性分析—以 2000 年为例. *中国农业科学*, 2008, 41 (5): 1373—1382. Zhu D W, Huang Y, Jin Z Q, et al. Nitrogen management evaluated by models combined with GIS—A case study of Jiangsu croplands in 2000 (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41 (5): 1373—1382
- [13] Yu D S, Yang H, Shi X Z, et al. Effects of soil spatial resolution on quantifying CH₄ and N₂O emissions from rice fields in the Tai Lake region of China by DNDC model. *Global Biogeochemical Cycles*, 2010, 25 (2): 1—8, GB2004, doi: 10.1029/2010GB003825
- [14] 杨茹玮,徐琪,史学正,等. 水稻土有机碳区域尺度的演变

- 模拟研究. 安徽农学通报, 2009, 15(13): 126—128. Yang R W, Xu Q, Shi X Z, et al. The research of paddy soil organic carbon simulation at regional scale (In Chinese). *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2009, 15(13): 126—128
- [15] 沈雨, 黄耀, 宗良纲, 等. 基于模型和 GIS 的江苏省农田土壤有机碳变化研究. 中国农业科学, 2003, 36(11): 1312—1317. Shen Y, Huang Y, Zong L G, et al. Simulation and prediction of soil organic carbon dynamics in Jiangsu province based on model and GIS techniques (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(11): 1312—1317
- [16] 崔步礼, 常学礼, 左登华, 等. 沙地景观中矢量数据栅格化方法及尺度效应. 生态学报, 2009, 29(5): 2463—2472. Cui B L, Chang X L, Zuo D H, et al. Rasterizing vector data and its scaling effect for a sand landscape (In Chinese). *Acta Ecological Sinica*, 2009, 29(5): 2463—2472
- [17] 白燕, 廖顺宝, 孙九林. 栅格化属性精度损失的评估方法及其尺度效应分析—以四川省 1:25 万土地覆被数据为例. 地理学报, 2011, 66(5): 709—717. Bai Y, Liao S B, Sun J L. Evaluating methods and scale effects of attribute information loss in rasterization: A case study of 1:250 000 land cover data of Sichuan (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(5): 709—717
- [18] 徐琪, 陆彦椿, 刘元昌. 中国太湖地区水稻土. 上海: 上海科学技术出版社, 1980. Xu Q, Lu Y C, Liu Y C. The paddy soil of Taihu region in China (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1980
- [19] 李庆逵. 中国水稻土. 北京: 科学出版社, 1992. Li Q K. Paddy soils of China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1992
- [20] Shi X Z, Yu D S, Warner E D, et al. Soil database of 1:1 000 000 digital soil survey and reference system of the Chinese genetic soil classification system. *Soil Survey Horizons*, 2004, 45(4): 129—136
- [21] 常学礼, 赵文智, 李秀梅, 等. 基于生态服务价值的张掖绿洲生态安全评价. 自然资源学报, 2010, 25(3): 396—406. Chang X L, Zhao W Z, Li X M, et al. Ecological security assessment based on the ecosystem service value in Zhangye oasis (In Chinese). *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(3): 396—406
- [22] 肖飞, 张百平, 凌峰, 等. 基于 DEM 的地貌实体单元自动提取方法. 地理研究, 2008, 27(2): 459—466. Xiao F, Zhang B P, Ling F, et al. DEM based auto-extraction of geomorphic units (In Chinese). *Geographical Research*, 2008, 27(2): 459—466
- [23] Li C S, Froking S, Froking T A. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 2. Model applications. *Journal of Geophysical Research*, 1992, 97(D9): 9777—9783
- [24] Li C S, Froking S, Harriss R. Modeling carbon biogeochemistry in agricultural soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 1994, 8(3): 237—254
- [25] 张黎明. 太湖地区水稻土有机碳演变模拟的尺度效应研究. 南京: 南京农业大学研究生院, 2009. Zhang L M. Scale effects of dynamic simulation of paddy soil organic carbon in Tai Lake region (In Chinese). Nanjing: Graduate School of Nanjing Agricultural University, 2009
- [26] 倪元龙, 于东升, 张黎明, 等. 土壤碳库研究中土壤数据从矢量到栅格的等精度转换. 地理研究, 2012, 31(6): 980—986. Ni Y L, Yu D S, Zhang L M, et al. Study on the transformation from vector to raster for soil data with identical data precision in the estimation of soil organic carbon stocks (In Chinese). *Geographical Research*, 2012, 31(6): 980—986
- [27] Whitmore A P, Gunnewiek K H, Crocker G J, et al. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the Verberne/MOTOR model. *Geoderma*, 1997, 81(1/2): 137—151
- [28] Zhao Y C, Shi X Z, Weindorf D C, et al. Map scale effects on soil organic carbon stock estimation in North China. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 70(4): 1377—1386

OPTIMAL RESOLUTION OF GRID UNITS OF SIMULATED PADDY SOIL ORGANIC CARBON POOLS OF VARIOUS SCALES

Ni Yuanlong^{1,2} Yu Dongsheng^{1,2†} Zhang Liming³ Shi Xuezheng^{1,2}

(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 College of Resource and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract Based on the vector patch units of the 1:50 000, 1:1 000 000 and 1:14 000 000 soil maps of the Tai Lake region and the grid units, different in resolution, derived from the above mentioned vector patch units, and the 1982 paddy soil organic carbon pool of the region as well, soil organic carbon pool in the surface layer (0 ~ 20 cm) of paddy fields in the region of the year of 2000 was simulated using the DNDC model. And comparison analysis was done of variations of number of soil types, area of each soil type, soil organic carbon storage in the surface layer and soil organic carbon density relative to grid units different in resolution and vector patch units different in scale. The 4 indices derived from the

vector patch units were set as benchmarks and the relative variability (VIV, %) used to discriminate optimal resolutions of grid units simulated based on the DNDC models of different scales. Results show that the optimal resolution of the simulated grid units converted from the vector patch units of the 3 different scales is 0.2 km × 0.2 km, 2 km × 2 km and 17 km × 17 km, separately, on the premises that all the four indices are less than 1% in VIV. The optimal resolution of grid units can not only meet the requirement for precision in simulation, but also avoid data redundancy and waste of resources. Relationships established between the scales of the soil organic carbon simulation researches and the optimal resolutions of grid units are of great reference value to the researches on modeling of soil organic carbon pool on a regional scale.

Key words Soil organic carbon pool; Grid resolution; Mapping scale; DNDC model; Paddy soil

(责任编辑:汪枳生)