

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

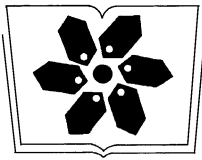
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第18期 Vol.31 No.18 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 18 期 2011 年 9 月 (半月刊)

目 次

高寒矮嵩草草甸冬季 CO ₂ 释放特征	吴 琴, 胡启武, 曹广民, 等 (5107)
开垦对绿洲农田碳氮累积及其与作物产量关系的影响	黄彩变, 曾凡江, 雷加强, 等 (5113)
施氮对几种草地植物生物量及其分配的影响	祁 瑜, 黄永梅, 王 艳, 等 (5121)
浙江天台山甜槠种群遗传结构的时空自相关分析	祁彩虹, 金则新, 李钧敏 (5130)
大兴安岭林区不同植被对冻土地温的影响	常晓丽, 金会军, 于少鹏, 等 (5138)
樟子松树轮不同组分的稳定碳同位素分析	商志远, 王 建, 崔明星, 等 (5148)
内蒙古不同类型草地叶面积指数遥感估算	柳艺博, 居为民, 朱高龙, 等 (5159)
杭州西湖北里湖荷叶枯落物分解及其对水环境的影响	史 绮, 焦 锋, 陈 莹, 等 (5171)
火干扰对小兴安岭落叶松-苔草沼泽温室气体排放的影响	于丽丽, 牟长城, 顾 韩, 等 (5180)
黄河中游连伯滩湿地景观格局变化	郭东罡, 上官铁梁, 白中科, 等 (5192)
黄土区次生植被恢复对土壤有机碳官能团的影响	李 婷, 赵世伟, 张 扬, 等 (5199)
我国东北土壤有机碳、无机碳含量与土壤理化性质的相关性	祖元刚, 李 冉, 王文杰, 等 (5207)
黄土旱塬裸地土壤呼吸特征及其影响因子	高会议, 郭胜利, 刘文兆 (5217)
宁南山区典型植物根际与非根际土壤微生物功能多样性	安韶山, 李国辉, 陈利顶 (5225)
岩溶山区和石漠化区表土孢粉组合的差异性——以重庆市南川区为例	郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友 (5235)
夏蜡梅及其主要伴生种叶的灰分含量和热值	金则新, 李钧敏, 马金娥 (5246)
苏柳 172 和垂柳对 Cu ²⁺ 的吸收特性及有机酸影响	陈彩虹, 刘治昆, 陈光才, 等 (5255)
导入 <i>TaNHX2</i> 基因提高了转基因普那菊苣的耐盐性	张丽君, 程林梅, 杜建中, 等 (5264)
空气湿度与土壤水分胁迫对紫花苜蓿叶表皮蜡质特性的影响	郭彦军, 倪 郁, 郭芸江, 等 (5273)
黄土高原旱塬区土壤贮水量对冬小麦产量的影响	邓振镛, 张 强, 王 强, 等 (5281)
咸阳地区近年苹果林地土壤含水量动态变化	赵景波, 周 旗, 陈宝群, 等 (5291)
苗药大果木姜子挥发油成分变化及其地理分布	张小波, 周 涛, 郭兰萍, 等 (5299)
环境因子对小球藻生长的影响及高产油培养条件的优化	丁彦聪, 高 群, 刘家尧, 等 (5307)
不同基质对北草蜥和中国石龙子运动表现的影响	林植华, 樊晓丽, 雷焕宗, 等 (5316)
安徽沿江浅水湖泊越冬水鸟群落的集团结构	陈锦云, 周立志 (5323)
黑胸散白蚁肠道共生锐滴虫目鞭毛虫的多样性分析与原位杂交鉴定	陈 文, 石 玉, 彭建新, 等 (5332)
基于熵权的珠江三角洲自然保护区综合评价	张林英, 徐颂军 (5341)
专论与综述	
中小尺度生态用地规划方法	荣冰凌, 李 栋, 谢映霞 (5351)
土地利用变化对土壤有机碳的影响研究进展	陈 朝, 吕昌河, 范 兰, 等 (5358)
海洋浮游植物与生物碳汇	孙 军 (5372)
多年冻土退化对湿地甲烷排放的影响研究进展	孙晓新, 宋长春, 王宪伟, 等 (5379)
生源要素有效性及生物因子对湿地土壤碳矿化的影响	张林海, 曾从盛, 仝 川 (5387)
生态网络分析方法研究综述	李中才, 徐俊艳, 吴昌友, 等 (5396)
研究简报	
不同群落中米氏冰草和羊草的年龄结构动态	金晓明, 艾 琳, 刘及东, 等 (5406)
主题分辨率对 NDVI 空间格局的影响	黄彩霞, 李小梅, 沙晋明 (5414)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-09



封面图说: 在树上嬉戏的大熊猫——大熊猫是中国的国宝, 自然分布狭窄, 数量极少, 世界上仅分布在中国的四川、陕西、甘肃三省的部分地区, 属第四纪冰川孑遗物种, 异常珍贵。被列为中国国家一级重点保护野生动物名录, 濒危野生动植物种国际贸易公约绝对保护的 CITES 附录一物种名录。瞧, 够得上“功夫熊猫”吧。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

祖元刚, 李冉, 王文杰, 苏冬雪, 王莹, 邱岭. 我国东北土壤有机碳、无机碳含量与土壤理化性质的相关性. 生态学报, 2011, 31(18): 5207-5216.
Zu Y G, Li R, Wang W J, Su D X, Wang Y, Qiu L. Soil organic and inorganic carbon contents in relation to soil physicochemical properties in northeastern China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(18): 5207-5216.

我国东北土壤有机碳、无机碳含量与 土壤理化性质的相关性

祖元刚, 李 冉, 王文杰*, 苏冬雪, 王 莹, 邱 岭

(东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室, 哈尔滨 150040)

摘要:根据黑龙江、吉林、辽宁省和内蒙古地区相关历史资料数据, 分析了我国东北表层土壤(0—50 cm)土壤相关理化性质与有机碳、无机碳的相关性, 得到如下结论: 土壤全氮、碱解氮、全磷、速效磷、速效钾、 K^+ 离子交换量、 Fe_2O_3 、 P_2O_5 、总孔隙度均与土壤有机碳含量呈显著正相关($R^2 = 0.10—0.94$, $n = 38—345$, $P < 0.0001$), 但与土壤无机碳含量则大多呈显著负相关($R^2 = 0.11—0.30$, $n = 37—122$, $P < 0.01$); 与此相反, 土壤 pH 值、容重与土壤有机碳呈负相关($R^2 = 0.36—0.42$, $n = 41—304$, $P < 0.0001$), 而与无机碳呈显著正相关($R^2 = 0.29—0.31$, $n = 39—125$, $P < 0.01$)。表层土壤有机碳、无机碳与土壤理化性质呈相反变化趋势的结果说明, 由于土壤利用方式变化所导致的土壤理化性质改变对土壤无机碳和有机碳可能具有相反影响。在研究土壤碳平衡过程中, 应该充分考虑这种关系所导致的相互补偿作用, 即有机碳的增加, 可能意味着无机碳的减少, 或者反之。目前研究中普遍忽略无机碳的变化, 可能导致生态系统碳收支计算显著偏差, 所获得的经验拟合方程有利于对我国东北地区土壤碳平衡研究产生的这种偏差进行粗略估计。

关键词: 中国东北; 土壤理化性质; 土壤有机碳; 土壤无机碳

Soil organic and inorganic carbon contents in relation to soil physicochemical properties in northeastern China

ZU Yuangang, LI Ran, WANG Wenjie*, SU Dongxue, WANG Yi, QIU Ling

Key Laboratory of Forest Plant Ecology, Ministry of Education, Northeast Forestry University Harbin, 150040, China

Abstract: Soil carbon includes two components of organic carbon (SOC) and inorganic carbon (SIC) and, the amount of SIC in the earth surface is about half of the SOC amount (1500Pg), showing its critical importance in global carbon balance although more studies are on SOC dynamics compared to SIC. Concurrent study on SIC and SOC will give a more detailed understanding on soil carbon budget than any study on either SOC or SIC alone. Based on the pooled data from Heilongjiang Province, Liaoning Province, Jilin Province and Inner Mongolia Autonomous Region in northeastern China, correlation analyses between variable soil physical-chemical properties and SOC content as well as SIC content were performed in order to find their possible functions in affecting those two components and the potential influence on soil carbon budget estimation in this paper. In general, a larger dataset for SOC (38 to 345 pairs) compared with those for SIC (36 to 122 pairs) was compiled in this paper owing to SIC data shortage. As shown by our results, significant and positive correlations were found between SOC and parameters of total nitrogen, available nitrogen, total phosphorus, available phosphorus, available potassium, exchangeable K^+ capacity, Fe_2O_3 , P_2O_5 , total soil porosity ($R^2 = 0.10—0.94$, $n = 38—345$, $P < 0.0001$), while those for SIC were of significant negative correlations ($R^2 = 0.11—0.30$, $n = 37—122$, $P < 0.01$) except available P

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(DL09CA17); 中国博士后基金(20080430126; 201003406); 黑龙江省博士后特别资助项目; 林业公益性行业科研专项(201104002-3)

收稿日期: 2010-10-31; 修订日期: 2011-05-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wjwang225@hotmail.com

and available K ($P > 0.05$, ns). Given that soil fertilization could affect soil carbon dynamics, this finding indicates that most parameters of soil fertility can contrarily affect the content of SIC and SOC. Furthermore, soil pH and bulk density showed negative correlations with SOC ($R^2 = 0.36-0.42$, $n = 41-304$, $P < 0.0001$), but they were positively correlated with SIC ($R^2 = 0.29-0.31$, $n = 39-125$, $P < 0.01$). As obviously manifested by these results, SOC and SIC in northeastern China were markedly correlated with most soil physical-chemical properties, but completely differed in the direction. Land utilization as well as soil management can largely affect soil physical-chemical properties and such changes have already been well-documented. For example, over 30% soil organic matter (SOM) has been lost during the long-term agricultural reclamations and recent studies also found tens of grams of SOC per square meter per year have been accumulated after the return of degraded farmland to forests in this region, but less information is available for SIC. The contrary tendencies of SIC with respect to SOC observed in this paper indicate that inclusion of SIC in the carbon balance calculation may offset the SOC change to some degree. Therefore, in future studies of soil carbon balance, we should pay more attention to the mutual compensatory effect between SOC and SIC, i. e., SOC increases may indicate SIC decreases, or *vice versa*, and concurrent measurement of SOC and SIC may improve the precision of carbon budget estimation. The empirical equations best-fitted from this study might be used to correct previous bias shown by the lack of SIC represented in former studies. However, this mutual compensatory effect between SIC and SOC will be more sound after long-term studies on permanent plots or well-designed fertilization experiments. Anyway, our results strongly suggest that the general neglect of SIC in current soil carbon research might produce an evident bias in calculation of total carbon budget; especially in some regions with high SIC content, such as the chernozem (a kind of black soil abundant in SIC) widespread in northeastern China.

Key Words: Northeastern China; soil physic-chemical properties; SOC; SIC

土壤是陆地生态系统中最大且周转时间最慢的碳库,它是由有机碳库和无机碳库两大部分组成,全球土壤有机碳(SOC)约为 1550 Pg,无机碳(SIC)约 750 Pg^[1]。土壤碳库的总量是大气碳库的 3 倍,生物碳库的 3.8 倍,成为地球表层最大的碳库,在全球碳循环中起着关键作用^[2]。与对土壤有机碳的研究相比,对土壤无机碳的研究较少,最近几年对其研究有增加趋势。如 Li 等定量估计了我国 1 m 土壤内有机碳和无机碳储量(88.3 Pg 和 77.9 Pg),认为陆地生态系统碳库主要存储于地下土壤,而通过管理降低或稳定土壤碳释放将对全球碳循环产生重要影响^[3]。Mi 等对我国土壤无机碳储量估计值为 53.3(6.3)Pg,而其中的一半集中在 0—50 cm 土壤中,林地土壤无机碳储量低于沙漠和农田土壤,显示植被类型对其影响显著^[4]。Wu 等对我国土壤无机碳储量估计为 55.3(10.7)Pg,耕作措施导致华北地区土壤 SIC 降低,但西北部以及东北松嫩平原的无机碳显著提高^[5]。上述这些研究显示出土壤无机碳的重要性,土地利用方式不仅可以显著影响土壤有机碳^[6-9],而且其对土壤无机碳的显著影响也不容忽视^[3-5]。由于同时研究土壤无机碳和有机碳的研究很少^[3],收集现有土壤有机碳、无机碳数据,并对其与土壤理化性质的相关性进行研究,将有利于人们科学理解土壤有机碳、无机碳的变化趋势。例如:如果土壤理化性质与土壤有机碳、无机碳变化呈现一致的变化趋势,则说明其对土壤有机碳和无机碳的影响相同,只考虑一种碳的变化,可能低估土壤碳储量的变化;反之,如果相关关系存在相反的变化趋势,则说明土壤理化性质对土壤有机碳和无机碳影响相反,只考虑一种碳的变化,将高估土壤碳储量的变化。

我国东北地区主要包括黑龙江、吉林、辽宁和内蒙古的东部地区^[6,10-11]。水热条件自东向西呈湿润、半湿润、半干旱、干旱和极干旱带状分布^[11]。作为世界三大黑土区之一,本区土壤以有机质含量高、土壤肥沃而著称,同时也有土壤有机碳含量低的土,如盐碱土^[12];此外该地区拥有大、小兴安岭和长白山脉,碳酸钙是主要基质组成之一,钙质土壤(如栗钙土)丰富,无机碳含量较高^[12]。前人已经对这些地区土壤理化性质,包括这种土壤性质包括,土壤氮、土壤碱解氮、土壤全 P 含量、土壤有效磷、土壤全 K 含量和土壤速效 K 和缓效 K,以

及土壤矿质组成如 CaO 、 K_2O 等和土壤 pH 值等^[4,8-9,13] 都进行了大量的剖面研究。我们通过这些丰富的现有文献数据,进行相关分析,来探讨土壤碳与其它土壤理化性质关系成为可能。

1 研究地点概况、数据收集与数据分析

1.1 研究地点概况与数据收集

研究地点位于中国东北,具体区域包括黑龙江、吉林、辽宁省和内蒙古地区东部,经度范围在东经 $118^{\circ}53'$ 至 $135^{\circ}05'$,纬度范围在北纬 $38^{\circ}43'$ 至 $53^{\circ}33'$ 。气候多属于暖温带和寒温带湿润、半湿润大陆性季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥。本区多属于湿润和半湿润地区,降雨量多在 400—800 mm,在南部辽宁最高降雨量达到 1100 mm,而在黑龙江省西南以及内蒙古部分地区降雨量小于 400 mm,属于半干旱地区^[6],本区土壤属于均腐土和淋溶土纲,属于土壤地球化学区的硅铝土区^[12]

本文所用数据主要来自《黑龙江土壤》^[6]、《吉林土壤》^[8]、《辽宁土壤》^[9] 以及《内蒙古土壤》^[13],涉及的土地使用类型包括草地、农田和森林。为了便于分析,本文中全部数据的土壤深度为 0—50 cm。提取的具体数据包括:土壤有机碳、土壤无机碳、土壤 pH 值、营养成分、矿物质成分、土壤交换性盐基、土壤物理性质(表 1)。进行相关分析的数据最少是 36 组数据,最多是 345 组数据,均达统计学大样本的要求,但是由于文献中对于土壤无机碳的数据报道较少,相关分析数据中土壤理化性质与有机碳的数据多于无机碳(表 1)。

表 1 主要土壤理化指标及其样本数
Table 1 Soil physico-chemical parameters used in this paper and their data numbers

理化指标 Parameters	数据个数 Data number	
	土壤有机碳 SOC	土壤无机碳 SIC
土壤 pH soil pH	303	114
全氮 Soil nitrogen	345	122
全磷 Soil phosphorus	321	120
碱解氮 Soil alkali-hydrolyzed nitrogen	203	36
速效磷 Soil available phosphorus	239	74
速效钾 Soil available potassium	232	74
Fe_2O_3	157	72
P_2O_5	132	61
K^+ 离子交换量 K^+ exchange capacity	129	69
容重 soil bulk density	41	39
总孔隙度 Soil porosity percentage	38	37

1.2 数据分析

为了了解中国东北三省以及内蒙古地区土壤有机碳和无机碳与土壤基本理化性质之间的相互关系,利用线性、指数和对数回归分析的方法土壤有机碳、土壤无机碳与土壤理化指标包括 pH 值、全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾、 Fe_2O_3 、 P_2O_5 、 K^+ 阳离子交换量、土壤容重和土壤孔隙度相关分析进行分析处理,相关性的显著性检验使用 SPSS 13.0 进行统计检验。当达到显著性时($P<0.05$),认为二者可能存在直接或者间接的相互影响,否则,不存在影响。在相关性达到显著的情况下,当有机碳、无机碳含量随土壤理化性质变化的趋势相反时,说明土壤理化性质对土壤有机碳、无机碳具有相反的影响;反之,则影响一致。为了进一步确认上述判断可靠性,同时采用了前人的固定样地研究^[14-15] 以及配对样地研究结果进行了进一步验证。

2 结果

2.1 土壤 pH 值、肥力指标对土壤有机碳和无机碳的影响

土壤有机碳和无机碳与土壤 pH 有明显的相关性并都呈现幂指数关系,其中土壤有机碳随着 pH 值的升高而下降,而无机碳则表现为上升(图 1)。根据拟合方程推算,当土壤更酸化时,单位 pH 值变化所引起的偏酸性土壤(pH 值 <7)有机碳变化量远高于碱性化土壤(pH 值 >7);而对无机碳的影响则刚刚相反,酸性条件下土壤无机碳变化很小,而在碱性条件下 pH 值单位变化引起的无机碳变化量很大。当以幂指数大小作为衡量变化速率时,有机碳减少速率-3.219 是无机碳增加速率 6.413 的一半左右,说明有机碳的减少,可能会

被无机碳的增加所弥补。

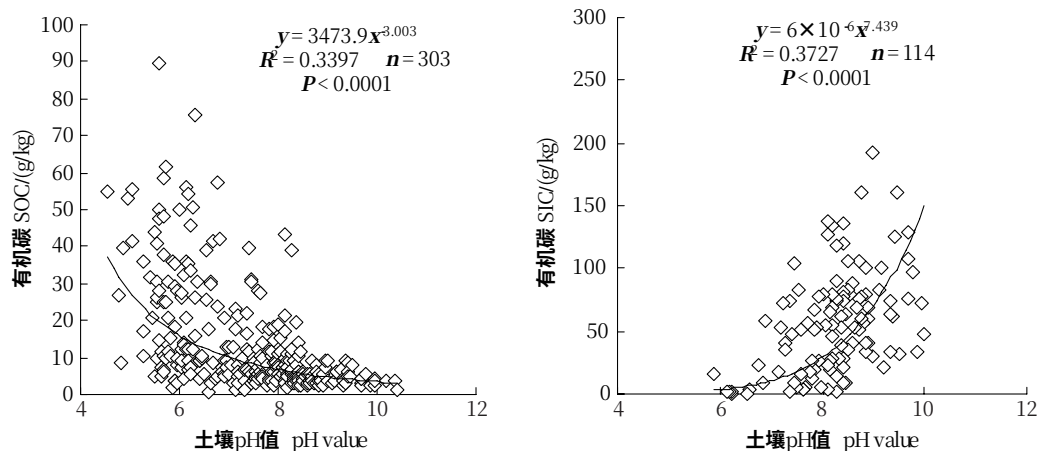


图1 土壤酸碱度与有机碳和无机碳的关系

Fig. 1 Soil pH value correlation with SOC and SIC

全氮和碱解氮与有机碳和无机碳均存在显著的相关性($P < 0.0001$),但是全氮和碱解氮与有机碳呈显著、线性正相关,而与无机碳则存在显著、指数负相关关系(图2)。土壤有机碳与全氮和碱解氮线性相关的斜率

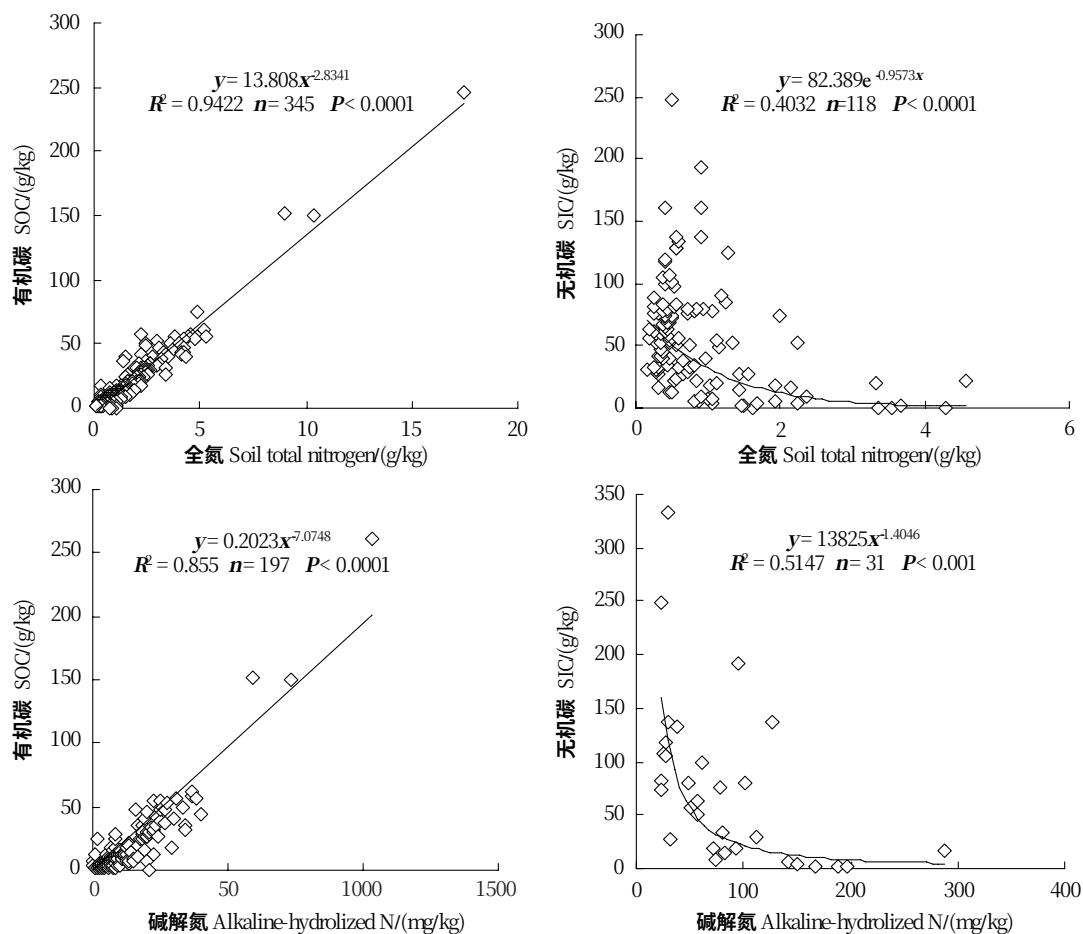


图2 土壤全氮和碱解氮含量与有机碳和无机碳含量的关系

Fig. 2 Soil total N and alkaline-hydrolyzed N correlation with SOC and SIC

分别为 13.81 g/g 和 0.2 g/mg, 意味在土壤中氮素提高 1 g/kg 以及碱解氮提高 1 mg/kg, 土壤有机碳相应提高的量为 13.81 g 和 0.2 g。无机碳随着它们的升高而降低并都呈指数关系, 意味着在全氮和碱解氮含量较低时, 单位变化量所导致的土壤无机碳变化量远高于较高肥力水平条件下, 这与有机碳的相应相关关系明显不同。例如: 当碱解氮在 10—100 mg/kg 的区间时无机碳下降的幅度从 544.58 g/kg 到 21.45 g/kg, 减少量高达 523.13 g/kg; 而当碱解氮从 200 mg/kg 增加相同的量 (290 mg/kg) 的区间时从 8.1 g/kg 到 4.81 g/kg, 降低量仅有 3.29 g/kg。有机碳和无机碳随土壤全 N 的变化与碱解氮的结果类似。

对于有机碳, 全磷和速效磷表现出类似的趋势, 即随着土壤磷含量的提高, 土壤有机碳含量呈现线性增加, 斜率分别为 17.04 g/g 和 1.06 g/mg。而对无机碳来讲, 全磷含量与无机碳不存在显著相关关系 ($P > 0.05$), 而速效磷与之相关性更高, 呈现指数下降的趋势 ($R^2 = 0.21, P < 0.0001$)。按照拟合方程从理论上计算, 当速效磷在 1—4 mg/kg 的区间时无机碳下降的幅度高达 157.62 g/kg, 而当速效磷在较高水平 (如 10 mg/kg) 变化相同的区间所影响的无机碳变化量仅为 4 g/kg, 显示在磷素缺乏的土壤条件下, 土壤磷素单位变化可能引起的土壤无机碳变化量远高于高磷素营养条件下的土壤, 这与土壤磷对有机碳的线性影响不同。

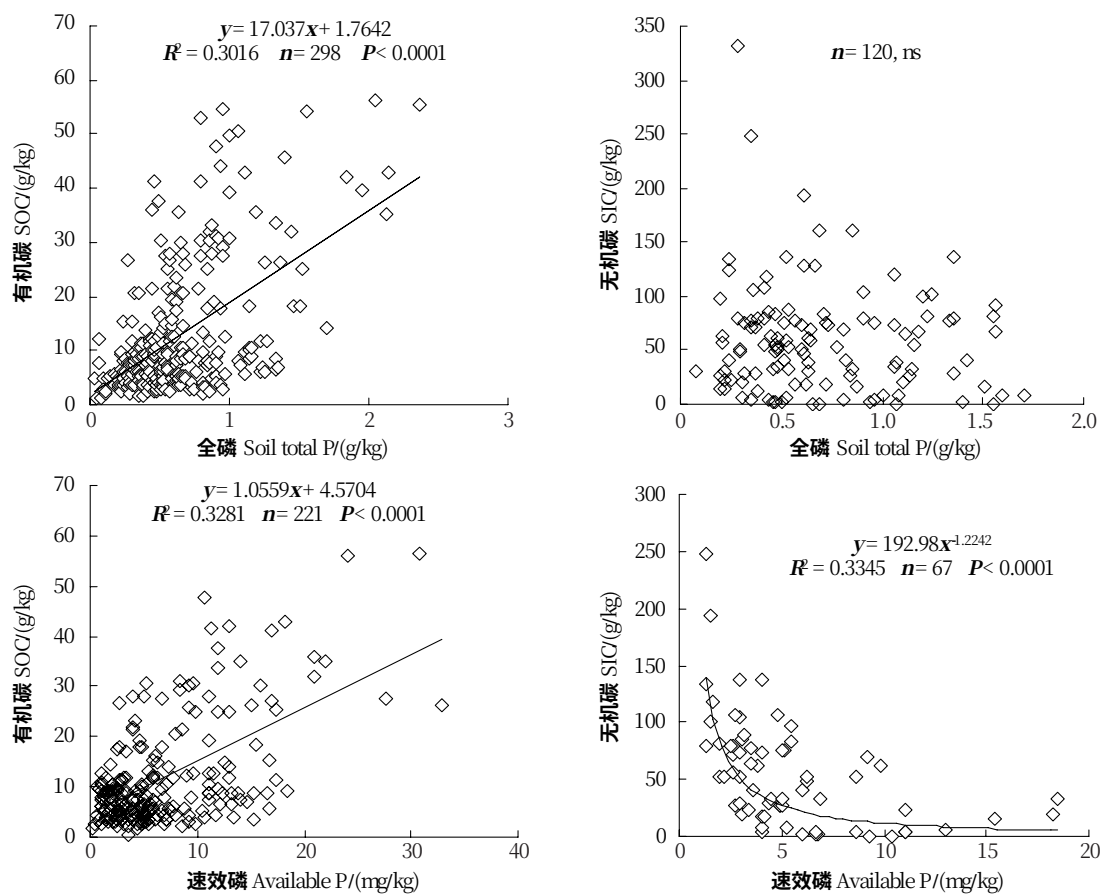


图3 土壤全磷和速效磷与有机碳和无机碳的关系

Fig. 3 Soil total P, available P correlation with SOC and SIC

速效钾含量与土壤有机碳含量呈现显著的线性正相关关系 ($R^2 = 0.3686, P < 0.0001$), 但是与无机碳相关性不明显 (图 4)。而全钾、缓效钾与土壤有机碳和无机碳含量相关关系均不明显 ($P < 0.05$)。有机碳和无机碳与 K^+ 离子交换量呈现着相反的相关性, 相关关系分别是 $R^2 = 0.26, P < 0.0001$ 和 $R^2 = 0.32, P = 0.001$ 。有机碳与 K^+ 离子交换量呈正相关, 它们的比率是 38.51 cmol/g, 而无机碳与 K^+ 离子交换量则呈对数负相关。

2.2 土壤矿物质成分与土壤有机碳、无机碳的关系

将土壤有机碳、无机碳与 10 种土壤中矿物质成分整理分析, 其中包括 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 K_2O 、 CaO 、 P_2O_5 、

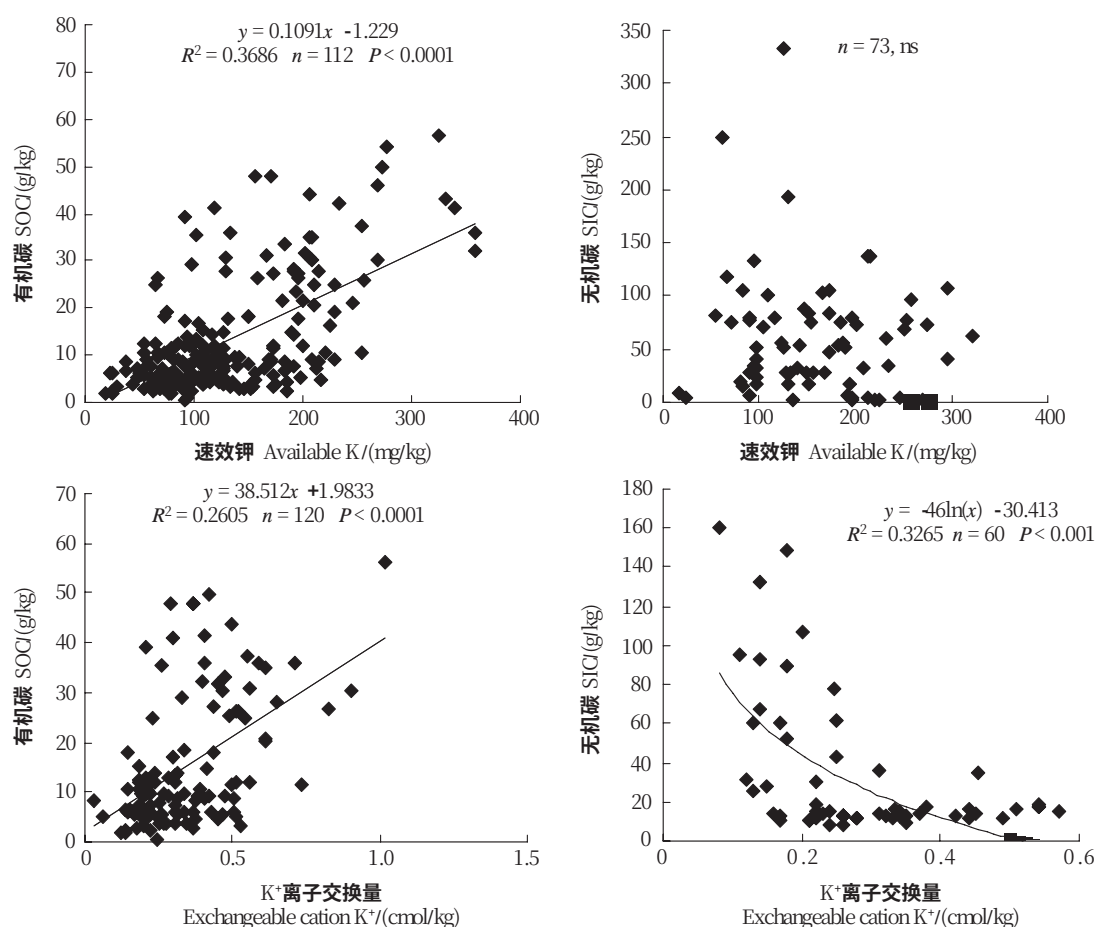


图4 土壤速效钾、K⁺离子交换量与有机碳和无机碳的关系

Fig. 4 Available K, exchangeable K⁺ capacity correlation with SOC and SIC

TiO₂、MnO₂、Na₂O、MgO。在这些成分中 Fe₂O₃、P₂O₅ 与土壤有机碳和土壤无机碳具有明显相关关系。而其它矿物质成分则与有机碳和无机碳相关性较差或无显著相关关系 ($P > 0.05$)。

有机碳和无机碳与土壤 Fe₂O₃ 含量呈现着相反的线性关系。有机碳与 Fe₂O₃ 呈现正相关,斜率是 0.41 g/g ($R^2 = 0.2, P < 0.0001$),而无机碳与 Fe₂O₃ 则呈现指数负相关关系 ($R^2 = 0.48, P = 0.001$)。有机碳与 P₂O₅ 呈现正相关它们的斜率是 14.57 g/g,而无机碳与 P₂O₅ 则呈现着负相关关系斜率为 -79.7 g/g。

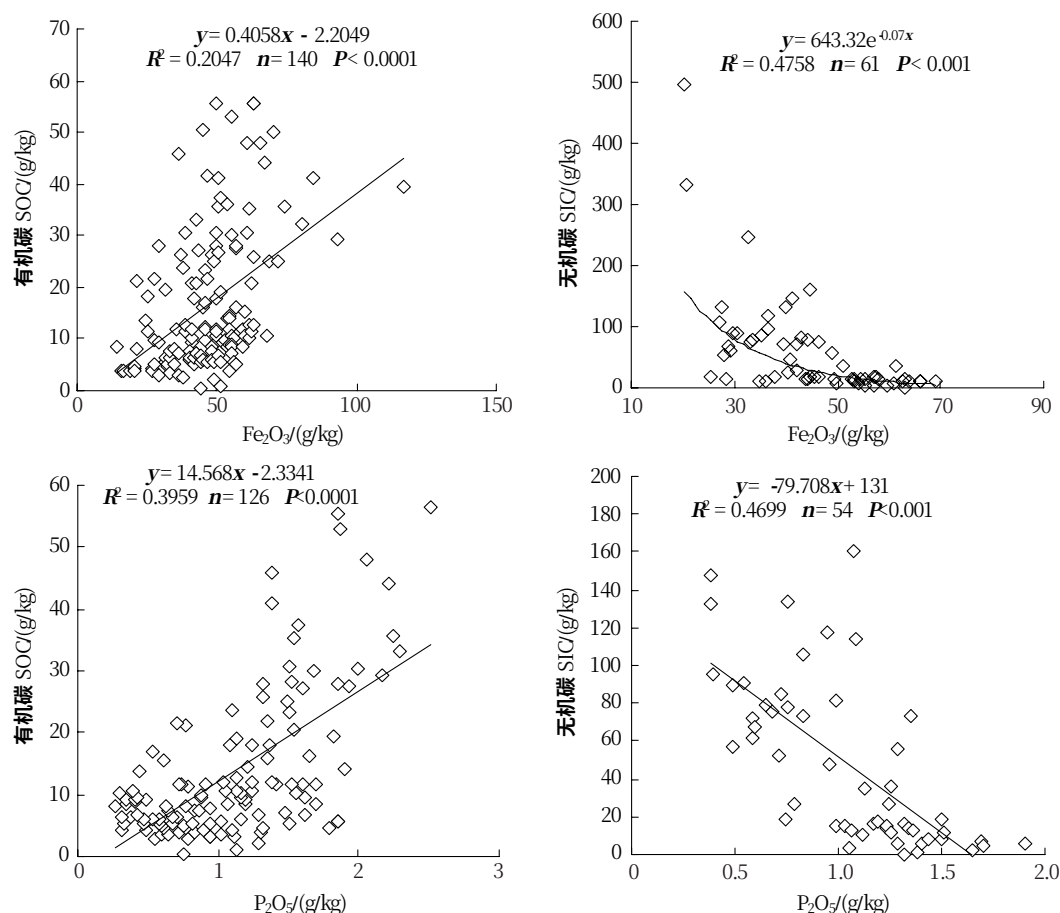
2.3 土壤物理性质与土壤有机碳、无机碳的关系

从对土壤物理性质与土壤有机碳、无机碳进行了整理分析,主要包括土壤粒径含量、土壤容重和土壤孔隙度。发现土壤粒径含量几乎与土壤有机碳和无机碳没有相关性,而其它却都有很好的相关性(图 6)。

土壤容重与有机碳和无机碳的相关性都很明显,但趋势相反。其中容重与土壤有机碳相关性 ($R^2 = 0.7, P < 0.0001$) 较无机碳相关关系高 ($R^2 = 0.43, P < 0.001$),而且前者正相关,而后者负相关。同样,土壤总孔隙度与有机碳呈正相关,斜率为 2.1 ($R^2 = 0.64, P < 0.0001$),而与无机碳则呈现指数负相关关系 ($R^2 = 0.38, P < 0.001$)。按照拟合公式计算,当土壤总孔隙度在 40%—45% 的区间时无机碳下降的幅度达到 68.08 g/kg,而当土壤总孔隙度较高时(如 55%),相同的变化区间仅仅引起 <6.7 g/kg 的土壤无机碳变化,这与有机碳的线性变化(x 轴相同变化引起 y 轴的变化量相同)不同。

3 讨论

我国东北地区是受全球变暖影响最严重的地区之一,土壤面临的问题包括更少降水和更高的温度,使得松嫩平原地区土壤盐碱化、荒漠化进程加剧^[16]。以往研究多关注土壤退化导致土壤有机碳显著降低、大量土

图5 土壤中矿质成分 Fe₂O₃、P₂O₅与有机碳和无机碳的关系Fig. 5 Mineral composition of Fe₂O₃, P₂O₅ correlation with SOC and SIC

壤中的有机质含量(SOM)矿化释放 CO₂到大气中去^[17-18],但是对无机碳的关注较少。从结果来看,在关注土壤有机碳变化的同时,需要进一步关注土壤无机碳的变化;土壤有机碳、无机碳含量与 pH 值呈现幂指数相关关系,但是前者是负相关,后者是正相关(图 1)。20 世纪 50—90 年代,松嫩平原盐碱地总面积增加了 133 万 hm²,重度盐碱地由 25% 增加到 31%^[19],而最近的研究表明,仅松嫩平原西部,50a 间 64% 的草地退化成盐碱地或被改成农田,平均每年减少 3.5 万 hm² 的草原^[20]。这一过程导致土壤 SOC 的大量减少,但是对无机碳的研究缺乏,导致尚很难估计无机碳的变化量,这一部分应该在今后的研究中给予重视。土壤在盐碱化、荒漠化过程中能够导致土壤无机碳的累积,在国内和国际上均得到证实。如 Xie 等^[21]对新疆内陆盐碱地的研究发现,土壤可能通过一种非生物的无机碳吸收过程固定碳,而且其规模相当大;Wohlfahrt 等^[22]的研究也发现美国荒漠化地区也存在较大的 C 吸收过程,而生物量累积过程很难对这一过程进行解释^[23],很可能存在无机碳固定过程。

以往对土壤有机碳与土壤养分关系的研究中,多认为土壤有机碳直接影响土壤养分供应,是土壤理化性质变化的原动力^[4,6-8,12,14]。实际上,现代农业、林业和草业的发展,已经使得土壤理化性质受到人为措施(如施肥、灌溉、农药)的影响,使得理化性质如何影响土壤碳组成成为现代土壤生态学研究的一个热点^[16]。如何从土壤碳截获角度对土壤进行管理是摆在科学家面前的难题^[1],其基础之一应该是了解土壤养分与土壤有机碳和无机碳的关系。对于土壤有机碳与理化性质研究较多,如土壤肥力、持水能力等与土壤有机质含量呈显著正相关关系^[11],而土壤有机碳增加,往往意味着土壤容重降低、土壤氮含量提高、pH 值降低和土壤离子强度增强^[2-3,14-15],本文有机碳相关结果与先前的这些报道一致,而本文对无机碳与土壤理化指标的相关性的

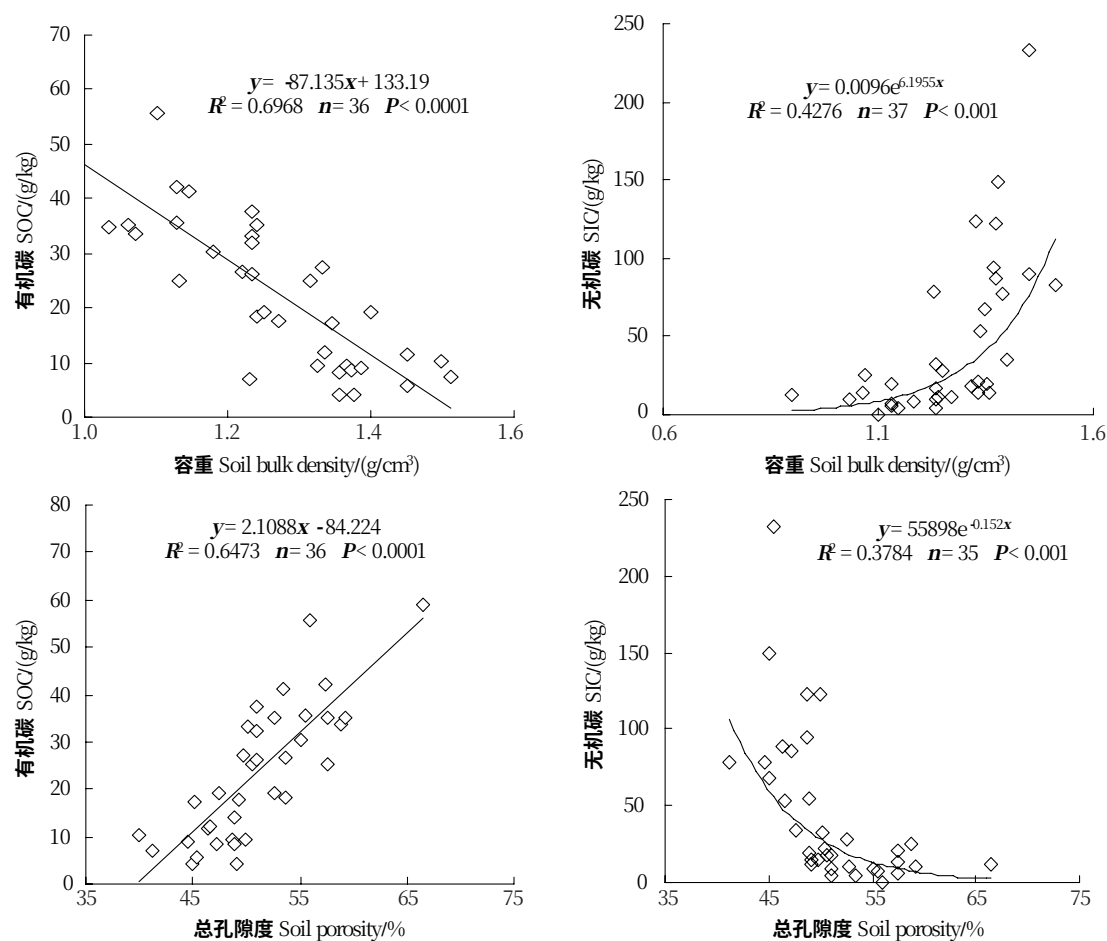


图6 土壤容重、孔隙度与有机碳和无机碳的关系

Fig. 6 Soil bulk density and soil porosity correlation with SOC and SIC

结果是对以往研究的补充。土壤营养成分,包括 N、P、K 以及各种矿质元素,与土壤有机碳和无机碳的相关性差异是本研究的另外一个重要发现:多数情况下,土壤营养成分与有机碳的关系往往和与无机碳的关系呈现相反的趋势。如土壤 N(全 N 和碱解氮)、土壤 P(全 P 和速效 P)、土壤 K(速效 K 和 K^+ 离子交换量)和土壤矿质含量(P_2O_5 和 Fe_2O_3)均与土壤有机碳呈现显著的正相关,而与无机碳则多呈现负相关(图 2—图 6)。这些相关关系的意义在于,可以为我国东北土壤碳(有机碳和无机碳)的变化历史及其将来农业生产进行经验分析。

建国 60 a 来对东北大面积的农田开垦已经导致土壤肥力包括 N、P、K 等营养成分的剧减^[24-25],上述土壤肥力与有机碳的显著正相关关系,可以反推出土壤有机碳储量发生显著下降。这已经被很多研究证实,东北土壤有机碳的减少量高达 30%,甚至更高^[6,8-9]。从土壤各指标与无机碳的显著负相关关系来看,上述有机碳减少过程中很可能伴随着土壤无机碳的提高。这种无机碳提高无疑会在一定程度上弥补有机碳的减少对区域碳平衡的影响。由于无机碳研究数据的匮乏,很难估计出这一开发过程中无机碳的变化,本研究的发现为将来深入研究奠定了基础。

在农业实践中,关于化肥和有机肥单施或配施条件下,有机碳和氮相互关系方面的研究较多^[26],氮沉降的施肥效应也会增加土壤有机碳的含量^[27],但其它营养成分与有机碳的相互关系并不多见,无机碳与土壤营养成分的关系更是寥寥无几。研究发现,在土壤施肥的过程中,在关注土壤肥力影响土壤有机碳的同时,需要关注其对无机碳的影响,否则所获得的土壤肥力影响土壤碳的指标很可能高估了施肥对土壤碳的影响程度。以往对其它土壤类型的研究支持这一点,如氮的硝化作用产生的酸根离子会与土壤中的碳酸钙发生反应,从

而有可降低土壤中的无机碳的含量^[28],而大量施用磷肥会抑制土壤无机碳的沉淀过程^[29-30]。

土壤物理性质不仅受到土壤有机碳含量的影响,而且受土壤矿物质组成的影响,特别是无机碳的影响。土壤有机质在其中的作用是促进形成大团聚体、形成更多的空隙,从而保持良好的土壤物理性质。Strong^[31]认为土壤总孔隙度与土壤有机碳有相关性,并且找到了土壤有机碳和<1.2 mm 土壤孔隙有着强大的正相关性,数据也同样印证了以上的说法(图6)。东北地区土壤表层中水云母含量最多^[32],东北土壤粘土矿物的组成主要属于蒙脱石型土^[33],这些矿物组成是形成土壤团聚体的基础,因此影响土壤物理性质。与有机碳相反,土壤无机碳与土壤容重呈正相关关系(图6)。这种土壤物理性质与土壤有机碳、无机碳的相关关系应该在今后的研究中给予足够的重视。

本文土壤理化性质对土壤有机碳、无机碳储量存在相反影响的结论,得出的依据是土壤各理化性质与土壤有机碳、无机碳存在负相关关系。这一结论正确与否需要长期固定样地数据的验证。Wu 等^[15]根据我国两次土壤普查数据发表的土壤有机碳、无机碳成果可以作为研究的一个例证。在黑龙江省东部地区土壤有机碳的损失量在-1—-4 kg C/m²,而无机碳变化量-0.5—+0.5 kg C/m²;而对于黑龙江省西部的松嫩平原地区,土壤有机碳的损失量在-4—-21 kg C/m²,土壤无机碳有明显的增加趋势,达到4—6 kg C/m²甚至更高^[16]。研究发现,落叶松林地与附近农田相比,0—40 cm 土壤有机碳储量增加 16%,而无机碳储量则减少 5%,而落叶松林地与皆伐迹地相比,表层 0—20 cm 土壤有机碳高出 22%,无机碳储量低 10% 左右。这些固定样地数据和配对样地的结果,可以证实上述推断的正确性。

4 结论

综合我国东北已经发表的土壤数据,发现土壤 pH 值、土壤 N(全 N 和碱解氮)、土壤 P(全 P 和速效 P)、土壤 K(速效 K 和 K⁺离子交换量)和土壤矿质含量(P₂O₅和 Fe₂O₃)均与土壤有机碳呈显著正相关,而与无机碳则多呈负相关。土壤容重和孔隙度与土壤有机碳和无机碳的关系也存在类似的相反关系。因此,在研究土壤碳平衡过程中,应该充分考虑这种关系所导致的相互补偿作用,即有机碳的增加,可能意味这无机碳的减少,或者反之。在我国东北地区考虑土壤碳变化时,仅仅考虑有机碳变化,很可能对土壤碳库变化造成较大偏差,需要对有机碳和无机碳同时考虑。

References:

- [1] Lal R, Kimble J M. Inorganic carbon and the global C cycle: research and development priorities // Lal R, Kimble J, Mtmet A, Eswaran H, Scharpenseel H, eds. Global Climate Change and Pedogenic Carbonate. New York: Lewis Publishers, 2000: 291-302.
- [2] Batjes N H. Total carbon and nitrogen in soils of the world. European Journal of Soil Science, 1996, 47(2): 151-163.
- [3] Li Z P, Han F X, Su Y, Zhang T L, Sun B, Monts D L, Plodinec M J. Assessment of soil organic and carbonate carbon storage in China. Geoderma, 2007, 138(1/2): 119-126.
- [4] Mi N, Wang S Q, Liu J Y, Yu G R, Zhang W J, Jobbágy E. Soil inorganic carbon storage pattern in China. Global Change Biology, 2008, 14(10): 2380-2387.
- [5] Wu H B, Guo Z T, Gao Q, Peng C H. Distribution of soil inorganic carbon storage and its changes due to agricultural land use activity in China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2009, 129(4): 413-421.
- [6] HLJTR (Soil Management Bureau and Soil Census Office of Heilongjiang Province, PR China). Soil of Heilongjiang Province. Beijing: China Agricultural Press, 1992: 4-821.
- [7] Fu C B, Wen G. Several issues on aridification in the northern china. Climate and Environmental Research, 2002, 7(1): 22-29.
- [8] Soil and Fertilizer Station of Jilin Province. The Soil of Jilin Province. Beijing: China Agricultural Press, 1992: 3-634.
- [9] Jia W J. The Soil of Liaoning Province. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1992: 10-1232.
- [10] Zhang W S, Wang W J, Li Y, Bu K, Yan Y C. Dynamics of hill slope soil erosion in the Sanjiang plain in the past 50 years. Resources Science, 2008, 30(6): 843-849.
- [11] Xv S P, Tao S, Cao J. Spatial structure pattern of soil pH, clay and organic matter contents in the inner mongolia area. Chinese Journal of Soil Science, 2001, 32(4): 145-148.
- [12] Gong Z T, Zhang G L, Chen Z C. Pedogenesis and Soil Taxonomy. Beijing: Science Press, 2007: 434-439.
- [13] Wang G G, Wu L G, Li S L, Cha X Z. The Soil of Inner Mongolia. Beijing: Science Press, 1994: 16-836.
- [14] Cao J H, Pan G X, Yuan D X. Simulation experiment on dissolution of calcite by citric and its karst importance. Carsologica Sinica, 2001, 20(1): 1-4.
- [15] Wu H B, Guo Z T, Peng C H. Land use induced changes of organic carbon storage in soils of China. Global Change Biology, 2003, 9(3):

305-315.

- [16] Wang X D, Zhang Y P, Lv J L, Fan X L. Effect of long term different fertilization on properties of soil organic matter and humic acids. *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33(2): 75-81.
- [17] Zheng Z F, Chen J H, Qi W. The character of climate variation of Hubei Province during recent 50 years. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2002, 22(3): 279-283.
- [18] Dinesh R, Chaudhuri S G, Ganeshamurthy A N, Dey C. Changes in soil microbial indices and their relationships following deforestation and cultivation in wet tropical forests. *Applied Soil Ecology*, 2003, 24(1): 17-26.
- [19] Peng S L. *Community Dynamics of Tropical Forests in South Asia*. Beijing: Science Press, 1996: 124-291.
- [20] Li X J, Li Q S, Wang Z C, Liu X T. A research on characteristics and rational exploitation of soda saline land in the western Songnen plain. *Research of Agricultural Modernization*, 2002, 23(5): 361-364.
- [21] Post W M, Emanuel W R, Zinke P J, Stangenberger A G. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, 1982, 298(5870): 156-159.
- [22] Xie J X, Li Y, Zhai C X, Li C H, Lan Z D. CO₂ absorption by alkaline soils and its implication to the global carbon cycle. *Environmental Geology*, 2008, 56(5): 953-961.
- [23] Wohlfahrt G, Fenstermaker L F, Arnone J A III. Large annual net ecosystem CO₂ uptake of a desert ecosystem. *Global Chang Biology*, 2008, 14(7): 1475-1487.
- [24] Stone R. Have desert researchers discovered a hidden loop in the carbon cycle?. *Science*, 2008, 320(5882): 1409-1410.
- [25] Wang G J. *Songnen Plain Agricultural Ecosystem Research*. Harbin: Harbin Engineering University Press, 1996: 157-171.
- [26] Yu L, Zhang B. The degradation situation of black soil in china and its prevention and counter measures. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2004, 18(1): 99-103.
- [27] Dou S, Jiang Y. The effect of application of organic materials on the properties of humic substances in organo-mineral complexes of soils II: Effect on humus composition and optical properties of humic acid. *Acta Pedologica Sinica*, 1988, 25(3): 252-261.
- [28] Nadelhoffer K J, Emmett B A, Gundersen P, Kjønaas O J, Koopmans C J, Schleppi P, Tietema A, Wright R F. Nitrogen deposition makes a minor contribution to carbon sequestration in temperate forests. *Nature*, 1998, 398(6723): 145-148.
- [29] Semhi K, Suchet P A, Clauer N, Probst J L. Impact of nitrogen fertilizers on the natural weathering-erosion processes and fluvial transport in the Garonne basin. *Applied Geochemistry*, 2000, 15(6): 865-878.
- [30] House W A, Donaldson L. Adsorption and coprecipitation of phosphate on calcite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1986, 112(2): 309-324.
- [31] Hartley, A M, House W A, Leadbeater B S C, Callow M E. The use of microelectrodes to study the precipitation of calcite phosphate upon algal biofilms. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1996, 183(2): 498-505.
- [32] Strong D T, De Wever H, Merckx R, Recous S. Spatial location of carbon decomposition in the soil pore system. *European Journal of Soil Science*, 2004, 55(4): 739-750.
- [33] Institute of Nanjing Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *China Soils*. Beijing: Science Press, 1980: 553-554.
- [34] Juan Y H, Wu Z J, Chen L J, Wang R, Gong L, Bao H J, Liu Y. Preliminary characterization of clay Northeast China minerals from four typical soils. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2010, 30(7): 1918-1921.

参考文献:

- [6] 黑龙江省土壤管理普查办公室. 黑龙江土壤. 北京: 中国农业出版社, 1992: 4-821.
- [7] 符淙斌, 温刚. 中国北方干旱化的几个问题. *气候与环境研究*, 2002, 7(1): 22-29.
- [8] 吉林省土壤肥料总站. 吉林土壤. 北京: 中国农业出版社, 1992: 3-634.
- [9] 贾文锦. 辽宁土壤. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992: 10-1232.
- [10] 张树文, 王文娟, 李颖, 卜坤, 闫业超. 近 50 年来三江平原土壤侵蚀动态分析. *资源科学*, 2008, 30(6): 843-849.
- [11] 徐尚平, 陶澍, 曹军. 内蒙古土壤 pH 值、粘粒和有机质含量的空间结构特. *土壤通报*, 2001, 32(4): 145-148.
- [12] 龚子同, 张甘霖, 陈志诚. 土壤发生与系统分类. 北京: 科学出版社, 2007: 434-439.
- [13] 王国光, 乌力更, 李绍良, 查显忠. 内蒙古土壤. 北京: 科学出版社, 1994: 16-836.
- [14] 曹建华, 潘根兴, 袁道先. 柠檬酸对石灰岩溶蚀动力模拟及岩溶意义. *中国岩溶*, 2001, 20(1): 1-4.
- [16] 王旭东, 张一平, 吕家珑, 樊小林. 长期不同施肥条件对土壤有机质及胡敏酸特性的影响. *中国农业科学*, 2000, 33(2): 75-81.
- [17] 郑柞芳, 陈家华, 祁文. 近 50 年湖北省气候变化特征分析. *气象科学*, 2002, 22(3): 279-283.
- [19] 彭少麟. 南亚热带森林群落动态学. 北京: 科学出版社, 1996: 124-291.
- [20] 李秀军, 李取生, 王志春, 刘兴土. 松嫩平原西部盐碱地特点及合理利用研究. *农业现代化研究*, 2002, 23: 361-364.
- [25] 王建国. 松嫩平原农业生态系统研究. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1996: 157-171.
- [26] 于磊, 张柏. 中国黑土退化现状与防治对策. *干旱区资源与环境*, 2004, 18(1): 99-103.
- [27] 窦森, 姜岩. 土壤施用有机物料后重组有机质变化规律的探讨 II: 对腐殖质组成以及腐殖酸的光学性能的研究. *土壤学报*, 1998, 25(3): 252-261.
- [33] 中国科学院南京土壤研究所. *中国土壤*. 北京: 科学出版社, 1978: 553-554.
- [34] 隽英华, 武志杰, 陈利军, 汪仁, 宫亮, 包红静, 刘艳. 东北 4 种典型土壤粘粒矿物的初步表征. *光谱学与光谱分析*, 2010, 30(7): 1918-1921.

CONTENTS

CO ₂ emission from an alpine <i>Kobresia humilis</i> meadow in winters	WU Qin, HU Qiwu, CAO Guangmin, et al (5107)
Effect of cultivation on soil organic carbon and total nitrogen accumulation in Cele oasis croplands and their relation to crop yield	HUANG Caibian, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al (5113)
Biomass and its allocation of four grassland species under different nitrogen levels	QI Yu, HUANG Yongmei, WANG Yan, et al (5121)
Small-scale spatial patterns of genetic structure in <i>Castanopsis eyrei</i> populations based on autocorrelation analysis in the Tiantai Mountain of Zhejiang Province	QI Caihong, JIN Zexin, LI Junmin (5130)
Influence of vegetation on frozen ground temperatures the forested area in the Da Xing'anling Mountains, Northeastern China	CHANG Xiaoli, JIN Huijun, YU Shaopeng, et al (5138)
Analysis of stable carbon isotopes in different components of tree rings of <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	SHANG Zhiyuan, WANG Jian, CUI Mingxing, et al (5148)
Retrieval of leaf area index for different grasslands in Inner Mongolia prairie using remote sensing data	LIU Yibo, JU Weimin, ZHU Gaolong, et al (5159)
Decomposition of lotus leaf litter and its effect on the aquatic environment of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake	SHI Qi, JIAO Feng, CHEN Ying, et al (5171)
Effects of fire disturbance on greenhouse gas emission from <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> forested wetlands in XiaoXing'an Mountains, Northeast China	YU Lili, MU Changcheng, GU Han, et al (5180)
Wetland landscape transition pattern of Lianbo Beach along the Middle Yellow River	GUO Donggang, SHANGGUAN Tieliang, BAI Zhongke, et al (5192)
Effect of revegetation on functional groups of soil organic carbon on the Loess Plateau	LI Ting, ZHAO Shiwei, ZHANG Yang, et al (5199)
Soil organic and inorganic carbon contents in relation to soil physicochemical properties in northeastern China	ZU Yuangang, LI Ran, WANG Wenjie, et al (5207)
Characteristics of soil respiration in fallow and its influencing factors at arid-highland of Loess Plateau	GAO Huiyi, GUO Shengli, LIU Wenzhao (5217)
Soil microbial functional diversity between rhizosphere and non- rhizosphere of typical plants in the hilly area of southern Nixia	AN Shaoshan, LI Guohui, CHEN Liding (5225)
Differences in the surface palynomorph assemblages on a karst mountain and rocky desertification areas: a case in Nanchuan District, Chongqing	HAO Xiudong, OUYANG Xuhong, XIE Shiyu (5235)
Ash content and caloric value in the leaves of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> and its accompanying species	JIN Zexin, LI Junmin, MA Jine (5246)
Uptake kinetic characteristics of Cu ²⁺ by <i>Salix jiangsuensis</i> CL J-172 and <i>Salix babylonica</i> Linn and the influence of organic acids	CHEN Caihong, LIU Zhikun, CHEN Guangcai, et al (5255)
Introduction of <i>TaNHX2</i> gene enhanced salt tolerance of transgenic puna chicory plants	ZHANG Lijun, CHENG Linmei, DU Jianzhong, et al (5264)
Effects of air humidity and soil water deficit on characteristics of leaf cuticular waxes in alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	GUO Yanjun, NI Yu, GUO Yunjiang, et al (5273)
Influence of water storage capacity on yield of winter wheat in dry farming area in the Loess Plateau	DENG Zhenyong, ZHANG Qiang, WANG Qiang, et al (5281)
Research of dynamic variation of moisture in apple orchard soil in the area of Xianyang in recent years	ZHAO Jingbo, ZHOU Qi, CHEN Baoqun, et al (5291)
Volatile oil contents correlate with geographical distribution patterns of the miao ethnic herb <i>Fructus Cinnamomi</i>	ZHANG Xiaobo, ZHOU Tao, GUO Lanping, et al (5299)
Effect of environmental factors on growth of <i>Chlorella</i> sp. and optimization of culture conditions for high oil production	DING Yancong, GAO Qun, LIU Jiayao, et al (5307)
The effects of substrates on locomotor performance of two sympatric lizards, <i>Takydromus septentrionalis</i> and <i>Plestiodon chinensis</i>	LIN Zhihua, FAN Xiaoli, LEI Huanzong, et al (5316)
Guild structure of wintering waterbird assemblages in shallow lakes along Yangtze River in Anhui Province, China	CHEN Jinyun, ZHOU Lizhi (5323)
Phylogenetic diversity analysis and <i>in situ</i> hybridization of symbiotic Oxymonad flagellates in the hindgut of <i>Reticulitermes chinensis</i> Snyder	CHEN Wen, SHI Yu, PENG Jianxin, et al (5332)
An entropy weight approach on the comprehensive evaluation of the Pearl River Delta Nature Reserve	ZHANG Linying, XU Songjun (5341)
Review and Monograph	
On planning method of mesoscale and microscale ecological land	RONG Bingling, LI Dong, XIE Yingxia (5351)
Effects of land use change on soil organic carbon: a review	CHEN Zhao, LÜ Changhe, FAN Lan, et al (5358)
Marine phytoplankton and biological carbon sink	SUN Jun (5372)
Effect of permafrost degradation on methane emission in wetlands: a review	SUN Xiaoxin, SONG Changchun, WANG Xianwei, et al (5379)
A review on the effects of biogenic elements and biological factors on wetland soil carbon mineralization	ZHANG Linhai, ZENG Congsheng, TONG Chuan (5387)
A review of studies using ecological network analysis	LI Zhongcai, Xu Junyan, WU Changyou, et al (5396)
Scientific Note	
Dynamics of age structures on <i>Agropyron michnoi</i> and <i>Leymus chinensis</i> in different communities	JIN Xiaoming, AI Lin, LIU Jidong, et al (5406)
The impact of thematic resolution on NDVI spatial pattern	HUANG Caixia, LI Xiaomei, SHA Jinming (5414)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 18 期 (2011 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 18 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元