

徐洪文, 卢妍. 土壤碳矿化及活性有机碳影响因子研究进展[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(10): 4-7.

土壤碳矿化及活性有机碳影响因子研究进展

徐洪文, 卢妍

(淮阴师范学院城市与环境学院, 江苏淮安 223300)

摘要: 碳矿化是土壤中重要的生物化学过程, 直接影响土壤碳库向大气的排放量, 与全球气候变化密切相关。土壤活性有机碳周转较快, 对干扰的反应比较敏感, 常作为评价土壤碳库微小变化的有效指标, 在陆地碳循环研究中具有非常重要的作用。本文对土壤碳矿化和活性有机碳的影响因子研究进展作了简要概述, 旨在为正确理解全球变化背景下的土壤碳循环过程与机理提供理论参考。

关键词: 土壤; 碳矿化; 活性有机碳; 影响因子

中图分类号: S153.6⁺2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)10-0004-03

随着气候变暖成为与社会经济可持续发展以及资源和环境保护密切相关的全球性重大问题^[1], 土壤有机碳的动态变化也已经成为近年来陆地生态系统碳循环和全球气候变化研究中的热点^[2-3]。土壤有机碳库的矿化是土壤中重要的生物化学过程, 直接关系到土壤中养分元素的释放、温室气体的形成以及土壤质量的保持等, 同时影响到土壤碳向大气的排放量, 进而与全球气候变化密切相关^[4-5]。另外, 由于土壤活性有机碳周转较快, 对干扰的反应比较敏感, 故土壤活性有机碳也常作为评价土壤碳库微小变化的有效指标。开展有机碳矿化和活性有机碳的影响因子研究, 对于深入了解土壤碳循环对环境变化响应机理具有重要的现实意义。

1 土壤碳矿化影响因子研究进展

随着陆地碳循环机制及其对全球气候变化的影响逐渐受到科学界的重视, 土壤有机碳矿化影响因子已成为研究热点, 相关研究主要集中在土壤水分、温度、养分输入、土壤耕作制度等方面。第一, 温湿条件。土壤含水量是土壤有机碳矿化的主要影响因子之一。土壤含水量适度提高不仅可以提高微生物的活性, 也可以增加土壤微生物的数量, 从而加快土壤有机碳的矿化速度。土壤有机碳的矿化同样明显受到土壤温度的影响^[6-8], 白洁冰等研究发现温度对高寒草甸和高寒湿地土壤碳矿化影响显著, 而高寒草原土壤碳矿化速率与温度间未呈现明显的函数关系, 但不同温度间的土壤碳矿化速率存在显著差异^[9]。第二, 耕作制度。免耕、少耕对土壤碳库变化的影响一直是国内外研究的热点问题。Hernanz 等认为经过长期耕作后, 免耕处理的土壤有机碳含量明显高于传统翻耕^[10], 而 Al-Kaisi 等则认为免耕和翻耕处理土壤有机碳储量差异不显著^[11]。由此可见, 不同环境条件下土壤-植物根

际体系中碳素特征会有很大变化, 所以还需要进一步探讨土壤-植物根际体系中碳素循环的内在机理以及在外界影响下的变化规律^[12]。第三, 养分输入。有机肥的施入可以显著提高土壤微生物量碳含量^[13], 而且还能提高土壤中水溶性有机碳的生物有效性。低剂量的氮素输入没有对高寒湿地和高寒草甸土壤碳矿化产生影响, 但是显著增加了高寒草原土壤的碳矿化。说明氮素输入对土壤碳矿化的影响存在生态系统类型间的差异^[9]。第四, 丛枝菌根。菌根真菌不仅吸收利用植物光合固定的碳源, 同时也是将碳源从植物传输到土壤的重要载体^[14-16]。菌根真菌以生物量形式固定的碳源在自然生态系统中起到了重要的碳汇功能。另外, 菌根真菌还具有降解有机碳的功能, 在营养匮乏或光合能力减弱的环境条件下, 丛枝菌根真菌能够采取降解土壤有机质作为自身生长营养需求的生存策略^[17-18]。因此, 菌根真菌在土壤碳代谢中的任何变化都将对土壤碳平衡产生重大影响。

2 土壤活性碳影响因子研究进展

土壤活性有机碳库是指在一定的时空条件下, 受植物、微生物影响强烈, 对植物、微生物来说活性比较高的那一部分土壤碳素。其含量高低直接影响土壤微生物的活性, 进而影响温室气体的排放。水溶性有机碳、微生物量碳、土壤易矿化碳等均属于土壤活性有机碳的表征形态。

2.1 易氧化有机碳

易氧化有机碳是土壤中易被氧化且活性较高的有机碳, 对土壤碳库平衡和土壤化学、生物学稳定性维持具有重要的意义。目前国内外关于土壤易氧化有机碳影响因子的研究报道较少, 主要集中在施肥、土地利用和土壤湿度等方面。研究表明长期施用有机肥和氮磷钾配施都能够提高土壤中易氧化有机碳的含量。施用氮磷或氮磷钾肥可以显著提高潮棕壤土易氧化有机碳含量^[19], 施用化肥(氮、氮磷和氮磷钾)同样可以显著增加棕壤土耕作层易氧化有机碳的含量。

可通过改变地表凋落物和根系分泌物的数量及化学组成性质而影响土壤易氧化碳含量的变化。在林地利用方面, 王国兵等研究发现, 土地利用变化显著影响了土壤易氧化碳的空间分布特征, 但对土壤易氧化碳的季节波动没有显著影响^[20]。刘正刚等发现由天然林土地利用类型到人工土地利

收稿日期: 2014-01-24

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41301314, 41201559); 江苏省自然科学基金(编号: BK2011412)。

作者简介: 徐洪文(1979—), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 博士, 副教授, 主要研究方向为环境生态。E-mail: hongwen_xu@163.com。

通信作者: 卢妍, 黑龙江齐齐哈尔人, 博士, 副教授, 主要研究方向为环境变化与物质循环。E-mail: yanyan0451_0451@163.com。

用类型,土壤有机碳和易氧化态碳的含量明显下降^[21]。除此之外,随着间伐强度的增大,林地土壤易氧化碳含量也会显著提高^[22]。在农田利用方面,在西部黄土高原黄绵土区,采用免耕结合秸秆覆盖的保护性耕作措施有利于土壤总有机碳和易氧化有机碳含量的提高^[23-24]。王莹等则认为土壤易氧化碳含量表现出春夏季节大于冬季^[25],这归因于春夏季节植物进入生长期,为土壤微生物提供了足够的易分解的新鲜有机质。

土壤湿度较高的环境有利于活性有机碳的累积。高湿度环境能够抑制土壤中大部分微生物的活性,从而提高土壤中易氧化碳的积累,且间接对植物根系和耗氧微生物的活动产生抑制,降低土壤有机碳的分解速率,使得更多的活性碳积聚在土壤中^[26]。

2.2 微生物量碳

施用化肥、秸秆还田及有机肥化肥配合施用可以显著提高土壤微生物量碳的含量^[27]。马晓霞等研究发现施肥处理可以不同程度提高土壤微生物量碳的含量^[28],可能因为施用有机物质能为微生物提供充足的碳源,促进微生物的大量生长。而任卫东等指明了平衡施肥的重要性,长期平衡施肥能有效增加植物根际和非根际土壤微生物量碳的含量,但不平衡施肥对土壤微生物量碳含量无明显作用^[29]。董博等认为单施有机肥,尤以农家肥对土壤微生物量碳的影响最大^[30],且随着有机肥用量的增加土壤微生物量碳含量增加^[31]。而有机肥与其他肥料的配合施用也逐渐受到人们的广泛关注。有机肥与化肥配合施用不仅有利于植物的生长,增加微生物量碳的含量,而且还能改善土壤结构^[32],混施对提高土壤中微生物量碳的作用较单纯施用化肥更为显著^[33-34],鸡粪与有机肥配施同样能够提高土壤微生物量碳的含量^[35]。

除气候和土壤等环境因素外,土地利用方式是影响土壤微生物量碳的重要因子之一。赵先丽等研究发现,土地利用方式对土壤微生物量有显著影响,其中土壤微生物量碳依次为森林>湿地>稻田>旱地>果园>草地^[36]。也有研究表明:不同土地利用方式下土壤微生物量碳表现为果园、林地高于农田和草地,这可能是由于林地和果园每年地表有大量的凋落物,为微生物提供了丰富的碳源,同时也保持了表层土壤水分含量,更有利于土壤微生物的生长^[37]。从不同农业用地方式来看,微生物量碳含量差异显著,具体表现为:粮田>菜地>林地^[38]。董博等研究发现短期免耕对土壤微生物量碳含量有明显增加的现象^[39]。陈英等研究发现秸秆覆盖耕翻土壤微生物量碳含量高于常规耕翻^[40],这是由于作物秸秆为微生物增殖提供大量碳源,微生物利用碳源物质进行自我繁殖,将有机秸秆中的碳同化为微生物量碳^[41]。

除此之外,土壤温度和含水量均对土壤微生物量碳累积产生一定的影响,但已有研究发现不同生态系统及地区土壤微生物量碳和温度及含量的相关性并不一致^[42]。

2.3 水溶性有机碳

土壤水溶性有机碳主要包括溶解在土壤溶液中不同种类的低分子量有机质,以及以胶体状悬浮于土壤溶液中的大分子有机质。施肥对土壤水溶性有机碳的含量有很大影响。盛卫星等的研究表明,施用化肥特别是超量施用化肥显著增加板栗(*Castanea mollissima*)林土壤水溶性有机碳的含

量^[43]。李永夫等也发现了化肥显著提高毛竹林土壤水溶性有机碳含量的规律^[44-45]。温度主要通过影响微生物活性进而对土壤水溶性有机碳的分解起调节作用,随着土壤温度升高,水溶性有机碳的含量也不断提高,所以夏季土壤中水溶性有机碳的含量高于冬季,而且这种现象在实验室可控条件下更为明显。冻融作用由于能够增加土壤水溶性有机碳的淋溶损失,所以同样可以提高土壤中水溶性有机碳的含量^[46]。

土壤可溶性有机碳作为土壤中最活跃的组分之一,对土地利用及其变化的响应更为迅速和敏感。王明慧等发现土地利用方式对土壤水溶性有机碳的影响并未达到显著水平^[47]。张金波等则认为土地开垦耕作是导致土壤水溶性有机碳含量降低的主要原因,并且也会降低土壤水溶性有机碳的质量^[48]。昌维贵等通过分析认为农耕地土壤水溶性有机碳含量最低的原因,可能是由于土地的经常翻耕使土壤通透性增加,有机质渗透进入地下水中大量流失,加上作物季节性被收割走,归还量较少所致^[49]。可见人为干扰是导致不同土地利用类型土壤水溶性有机碳含量差异的重要原因。

3 展望

土壤有机碳矿化受土壤温度、水分、养分输入、耕作模式及丛枝菌根等因素的影响。目前关于土壤有机碳矿化速率的影响因子开展了广泛的研究;但多侧重于单个或少数几个影响因子的研究,关于多个因子综合作用对土壤有机碳的影响研究不多,而土壤碳矿化过程是土壤生物活性的综合体现,所以国内外关于有机碳矿化与环境因子的关系研究结论不尽一致。同时全球气候变化也会极大地影响土壤碳代谢环境影响机制研究。例如随着二氧化碳的增加,菌根真菌会促进土壤有机碳的积累,但同时也会加速土壤中有有机碳的分解,由此可见全球变暖使得丛枝菌根对土壤有机碳的影响愈加复杂。另外,由于环境因子对于土壤碳矿化的影响依赖于生态系统类型。因此,开展不同生态系统、不同生境土壤碳矿化途径及其季节转换机制研究,以及不同环境因子在驱动土壤碳矿化过程中可能存在的协同或拮抗作用等值得进一步研究。

土壤活性有机碳能够灵敏、准确地反映土壤质量和肥力的变化,所以是评价土壤碳库平衡的重要指标。就目前国内外开展的研究而言,关于不同植被类型对土壤活性碳组分的影响研究相对较少,而活性有机碳占总有机碳比例的高低对不同群落下植被对土壤碳行为的影响非常敏感,尤其是易氧化有机碳占总有机碳比例在不同植被群落下有显著差异。所以需要进一步深入研究植被类型对土壤活性碳库循环转化的影响,探讨植被类型与碳平衡之间的相互作用机制。另外,作为土壤活性有机碳的影响因子,土壤微生物数量和微生物活性对于土壤的温湿条件甚为敏感,所以开展不同环境条件下土壤活性碳库与土壤微生物及土壤酶活性的关系研究,对于准确迅速地评估其对温室气体排放的影响具有一定的理论和实践意义。

参考文献:

- [1] Christian P, Sven M, Florian B. Field - scale manipulation of soil temperature and precipitation change soil CO₂ flux in a temperate agricultural ecosystem[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment,

- 2013,165:88-97.
- [2] Alvaro - Fuentes J, Paustian K. Potential soil carbon sequestration in a Mediterranean agroecosystem under climate change: quantifying management semiarid and climate effects[J]. *Plant and Soil*, 2011, 338:261-272.
- [3] Jorge A F, Mark E, Keith P. Climate change effects on organic carbon storage in agricultural soils of Spain northeastern[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2012, 155:87-94.
- [4] Gloor M, Sarmiento J L, Gruber, N. What can be learned about carbon cycle climate feedbacks from the CO₂ airborne fraction? [J]. *Atmos Chem Phys*, 2010, 10:7739-7751.
- [5] Christopher D, Wardell - Johnson G W, Harper R J. Carbon management of commercial rangelands in Australia: Major pools and fluxes [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2012, 148:44-64.
- [6] 杨钊仁, 张文菊, 童成立, 等. 温度对湿地沉积物有机碳矿化的影响[J]. *生态学报*, 2005, 25(2):243-248.
- [7] 黄耀, 刘世梁, 沈其荣, 等. 环境因子对农业土壤有机碳分解的影响[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(6):709-714.
- [8] 杨继松, 刘景双, 孙丽娜. 温度、水分对湿地土壤有机碳矿化的影响[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(1):38-42.
- [9] 白洁冰, 徐兴良, 宋明华, 等. 温度和氮素输入对青藏高原三种高寒草地土壤碳矿化的影响[J]. *生态环境学报*, 2011, 20(5):855-859.
- [10] Hernanz J L, Sanchez - Giron V, Navarrete L. Soil carbon sequestration and stratification in a cereal/leguminous crop rotation with three tillage systems in semiarid conditions [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2009, 133:114-122.
- [11] Al - Kaisi M M, Yin X H. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn - soybean rotations [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2005, 34:437-445.
- [12] 张鹏, 李涵, 贾志宽, 等. 秸秆还田对宁南旱区土壤有机碳含量及土壤碳矿化的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(12):2518-2525.
- [13] Berg G, Smalla K. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere [J]. *FEMS Microbiology and Ecology*, 2009, 68:1-13.
- [14] Staddon P L, Ramsey C B, Ostle N, et al. Rapid turnover of hyphae of mycorrhizal fungi determined by AMS microanalysis of ¹⁴C [J]. *Science*, 2003, 300:1138-1140.
- [15] Paul E A, Kucey R M N. Carbon flow in plant microbial associations [J]. *Science*, 1981, 213:473-474.
- [16] Jakobsen I, Rosendahl L. Carbon flow into soil and external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber plants [J]. *New Phytologist*, 1990, 115:77-83.
- [17] Courty P E, Bréda N, Garbaye J. Relation between oak tree phenology and the secretion of organic matter degrading enzymes by *Lactarius quietus* ectomycorrhizas before and during bud break [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39:1655-1663.
- [18] Mosca E, Montecchio L, Scattolin L, et al. Enzymatic activities of three ectomycorrhizal types of *Quercus robur* L. in relation to tree decline and thinning [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39:2897-2904.
- [19] 宇万太, 姜子绍, 周桦, 等. 不同土地利用方式对潮棕壤微生物量碳及其周转率的影响[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(8):1302-1306.
- [20] 王国兵, 赵小龙, 王明慧, 等. 苏北沿海土地利用变化对土壤易氧化碳含量的影响[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(4):921-926.
- [21] 刘正刚, 裴柏洋, 王宪帅. 岷江上游干旱河谷不同土地利用类型的土壤有机碳和易氧化态碳特征[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(3):24-27, 31.
- [22] 袁喆, 罗承德, 李贤伟, 等. 间伐强度对川西亚高山人工云杉林土壤易氧化碳及碳库管理指数的影响[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(6):127-131.
- [23] 王琳, 李玲玲, 高立峰, 等. 长期保护性耕作对黄绵土总有机碳和易氧化有机碳动态的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(9):1057-1063.
- [24] 罗彩云, 沈禹颖, 南志标, 等. 水土保持耕作下陇东玉米-小麦-大豆轮作系统产量、土壤易氧化有机碳动态[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(4):84-88.
- [25] 王莹, 阮宏华, 黄亮亮, 等. 围湖造田不同土地利用方式土壤有机碳和易氧化碳[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(4):913-918.
- [26] 林晓东, 漆智平, 唐树梅, 等. 海南人工林地、人工草地土壤易氧化有机碳和轻组碳含量初探[J]. *热带作物学报*, 2012, 33(1):171-177.
- [27] 卜洪霞, 王丽宏, 尤金成, 等. 长期施肥管理对红壤稻田土壤微生物量碳和微生物多样性的影响[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(16):3340-3347.
- [28] 马晓霞, 王莲莲, 黎青慧, 等. 长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响[J]. *生态学报*, 2012, 32(17):5502-5511.
- [29] 任卫东, 贾莉洁, 王莲莲, 等. 长期施肥对小麦、玉米根际和非根际土壤微生物量碳及水溶性有机碳含量的影响[J]. *西北农业学报*, 2011, 20(12):145-151.
- [30] 董博, 张东伟, 郭天文, 等. 长期定位施肥对土壤有机碳和微生物量碳的影响[J]. *土壤通报*, 2012, 43(6):1467-1472.
- [31] 芦思佳, 韩晓增, 张迪, 等. 长期施肥对大豆根际微生物量碳、氮的影响[J]. *大豆科学*, 2009, 28(3):495-498.
- [32] 芦思佳, 韩晓增. 长期施肥对微生物量碳的影响[J]. *土壤通报*, 2011, 42(6):1355-1358.
- [33] 梁斌, 周建斌, 杨学云, 等. 不同培肥措施下种植制度及撂荒对土壤微生物量碳氮的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17(2):209-214.
- [34] 曾骏, 董博, 张东伟, 等. 不同施肥方式对灌漠土土壤有机碳、无机碳和微生物量碳的影响[J]. *水土保持通报*, 2013, 33(2):35-38.
- [35] 井大炜, 邢尚军. 鸡粪与化肥不同配比对杨树苗根际土壤酶和微生物量碳、氮变化的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(2):455-461.
- [36] 赵先丽, 吕国红, 于文颖, 等. 辽宁省不同土地利用对土壤微生物量碳氮的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(10):1966-1970.
- [37] 徐华勤, 章家恩, 冯丽芳, 等. 广东省不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(8):4112-4118.
- [38] 刘文娜, 吴文良, 王秀斌, 等. 不同土壤类型和农业用地方式对土壤微生物量碳的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(3):406-411.
- [39] 董博, 曾骏, 张东伟, 等. 小麦-玉米免耕轮作对土壤有机碳、无机碳与微生物量碳含量的影响[J]. *土壤通报*, 2013, 44(2):376-379.
- [40] 陈英, 陈蓓, 张军, 等. 免耕覆盖对土壤微生物量碳的影响[J]. *生态环境*, 2008, 17(6):2370-2373.

王凯宏. 中国北方寒地城市植物景观生态化发展[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(10): 7-9.

中国北方寒地城市植物景观生态化发展

王凯宏

(绥化学院艺术设计学院, 黑龙江绥化 152061)

摘要:随着我国经济的发展,城市化进程加快,人们对改善城市生活环境的呼声日益高涨,因而城市绿地建设逐渐成为城市发展中的一个热门话题。城市绿地景观系统是城市景观的组成部分,城市绿地景观系统包括自然、人文、社会诸要素。城市系统规划的主要内容有生态功能和景观功能,其中生态功能是首要功能,起着净化城市空气、改善城市气候、增强城市防灾功能、降低城市噪声等作用,对于维持城市生态系统的平衡至关重要。选择寒地城市绿地植物景观为研究对象,以寒地植物景观配置存在的问题为出发点,讨论植物在绿地景观系统生态化建设中的应用,以期使其更具有现实指导意义。

关键词:寒地城市;绿地景观;地域文化;植物周年搭配;树干纹理;植物形状要素;空间设计;地域冰雪景观

中图分类号: Q948; S731.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)10-0007-03

城市绿地系统规划是城市总体规划的有机组成部分,它反映了城市的自然属性。由于自然规律是先有自然,后有城市,因而自然环境对城市的发展有着巨大的影响。但是随着工业的发展和人口的增加,城市中的自然属性逐渐减弱,人类只好利用城市绿地改善城市环境,塑造城市景观,完善城市体系。城市绿地景观系统包括自然、人文、社会诸要素,生态功能和景观功能是城市系统规划的主要内容。其中生态功能为首要功能,起着净化城市空气、改善城市气候、增强城市防灾功能、降低城市噪声等作用,对于维持城市生态系统的平衡至关重要。现代生态学研究中,设计者将科技融入环境设计中,取代了普遍以视觉感知为基础的城市绿地景观设计。全球城市绿地景观系统生态转型的历史才刚刚开始,随着知识革命和生态革命的推进,目前我国城市绿地景观系统生态转型已经进入了历史性的转变时期,而进入生态转型的西方发达国家的城市景观环境历程大致经历了以下3个发展阶段:绿色景观阶段、资源能效阶段、可持续发展阶段。

在我国学术界将北方寒冷地区的一些城市称为寒地城

市,包括华北地区的天津市、东北地区的沈阳市、长春市、哈尔滨市等。这些地区依托黑土、林茂、湿地、草场等良好的生态环境,此外还有独特的气候资源、物产资源、交通资源、人文资源^[1]。这些客观条件决定了我国北方城市绿地景观在四季各有特色:春季梢头嫩绿、花团锦簇,夏季绿叶成阴,秋实累累、色香俱备;相比之下,日照时间短、气温低下的时间均在165~200d左右,寒风席卷、降雪为最主要的降水形式等因素,决定了北方城市的冬季是一年中最为萧条寂寞的季节,而要在这么长的时间里绿地有景可观,就必须充分挖掘寒地城市的景观设计生态美的生态化发展,改善现阶段北方地区冬季萧条的城市景象,融合北方寒地城市冬季冰雪景观的设计策略并与社会条件相结合,景观环境需要借助绿化等手段,将自然移植到城市人工环境中,最大限度地减少建筑和对生态秩序的消极影响。目前,北方地区城市绿地的冬季景观尚处于发展阶段,景观系统的面貌在冬季与其他3个季节的景观效果也截然不同,没有任何地域性特色和有针对性的景观系统的盲目设计,其本身就是对设计和环境的不负责任,同时也是对北方气候、自然规律和地域文化的不尊重和违背。

1 北方冬季植物景观生态形成和发展的因素

冬季植物景观是北方城市园林景观的重要组成部分,在营造季相景观及提升城市形象等方面起着重要作用。通过实地调研结合查阅文献资料,笔者统计出北方冬季景观植物有

收稿日期:2014-01-20

基金项目:黑龙江省教育厅人文社会科学研究项目(编号:12542346、12542225)。

作者简介:王凯宏(1971—),女,黑龙江绥化人,博士,教授,硕士生导师,从事设计艺术学研究。E-mail:11768888@qq.com。

[41]路怡青,朱安宁,张佳宝,等. 免耕和秸秆还田对潮土酶活性及微生物量碳氮的影响[J]. 土壤, 2013, 45(5): 894-898.

[42]吕丽平,刘国栋,王登峰,等. 不同温湿条件对土壤微生物量碳的影响[J]. 南方农业学报, 2013, 44(10): 1671-1676.

[43]盛卫星,姜培坤,吴家森,等. 施肥对板栗林土壤水溶性有机氮的影响[J]. 林业科学, 2008, 44(10): 164-167.

[44]李永夫,姜培坤,刘娟,等. 施肥对毛竹林土壤水溶性有机碳氮与温室气体排放的影响[J]. 林业科学, 2010, 46(12): 165-170.

[45]王峰,王义祥,翁伯琦,等. 双胞蘑菇菌渣施用对龙眼园土壤呼吸及可溶性有机碳的影响[J]. 福建农业学报, 2011, 26(2): 291-297.

[46]王展,张玉龙,张良,等. 冻融次数和含水量对棕壤总有机碳和可溶性有机碳的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(10): 1972-1975.

[47]王明慧,王国兵,阮宏华,等. 苏北沿海不同土地利用方式土壤水溶性有机碳含量特征[J]. 生态学杂志, 2012, 31(5): 1165-1170.

[48]张金波,宋长春,杨文燕. 土地利用方式对土壤水溶性有机碳的影响[J]. 中国环境科学, 2005, 25(3): 343-347.

[49]昌维贵,赵晓燕,杨代强,等. 岷江上游干旱河谷不同土地利用类型土壤有机碳和水溶性有机碳特征分析[J]. 四川林勘设计, 2011, 33(3): 20-23, 36.