

# 徐州市城区绿地土壤碳储量格局及养分特征

张彩云, 于法展, 李 岚, 王朋晓

(徐州师范大学 城市与环境学院, 江苏 徐州 221116)

**摘 要:**土壤碳储量及其分布格局,对于探讨城区绿地植被与土壤的关系,促进生态化城市建设和保证城市可持续发展意义重大。将城市宏观大尺度和土壤样地小尺度数据加以整合,对徐州市城区绿地土壤碳储量和格局及土壤养分特征进行了分析。结果表明:(1)城区绿地土壤 pH 值普遍呈碱性或弱碱性(pH 值 7.8~8.3),土壤有机质含量平均水平较低;(2)在相同土壤深度下,年代越久的城区绿地土壤碱性越弱,其与土壤有机碳含量之间存在明显负相关;(3)土壤碳密度和碳储量在 0—60 cm 土层等间隔的含量随着土壤深度的增加呈现出梯度递减的趋势变化;(4)土壤有机碳的含量随着土壤深度的增加也呈现出逐渐递减的趋势变化。

**关键词:**城市绿地; 土壤碳储量; 养分特征; 徐州市

中图分类号:S731.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0120-05

## The Pattern of Carbon Storage and Nutrient Characteristics of the Soil in the Greenbelt in Xuzhou City

ZHANG Cai-yun, YU Fa-zhan, LI Lan, WANG Peng-xiao

(College of Urban and Environmental Sciences, Xuzhou Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

**Abstract:** Soil carbon storage and its distribution pattern are of great significance to understand relationship between the vegetation in greenbelt of city and soil and to promote ecological city construction and guarantee sustainable development of urban. Soil carbon storage pattern and soil nutrient characteristics of greenbelt of urban in Xuzhou City were analyzed by integrating the data for both the large city scale and soil sample scale. The results show that: (1) soil pH value in greenbelt of urban is generally alkaline or weak alkali (pH 7.8~8.3), average level of soil organic matter content is low; (2) in the same soil depth, there is weak alkaline in soil of greenbelt with the longer duration, which is obviously negatively relevant to soil organic carbon content; (3) soil carbon density and carbon storage in 0—60 cm soil depth decrease with increase of the soil depth; (4) soil organic carbon content is also showing gradually decreasing trend with the increase of the depth of soil.

**Key words:** green belt of the city; soil carbon storage; nutrient characteristic; Xuzhou City

城市是人类活动的重要场所,是全球碳循环不可忽视的重要因素。将碳的管理融入城市化过程是城市可持续发展的必然和关键<sup>[1]</sup>。城市绿地系统是城市复合生态系统重要的组成部分,是城市生态系统碳循环中的一个重要贮存库,因而成为城市可持续发展的一个重要环境指标<sup>[2]</sup>。城市绿地是城市范围内生长园林植物绿化地块的总称,城市绿地在改善环境方面的生态作用主要来自构成城市绿地的植物材料本身的生理生化特征带来的环境修复作用,以及城市绿地系统布局结构对于改善城市大气环流、城市热岛效

应等方面的功效<sup>[3-5]</sup>。而绿地土壤是城市绿化的一个重要组成要素,既是城市植被的立地基础和生长介质,又是城市生态系统和能量循环与转化的必要环节<sup>[6]</sup>。因此,为了促进生态化城市建设和保证城市可持续发展,应及时开展对城市绿地土壤变化规律的系统研究。徐州城区的绿地系统主要是由一些大的公园、广场、生态园等构成,在此统称为城区绿地。城区绿地在改善城市的生存环境,提高人民的生活质量和固碳增汇方面发挥着日益重要的作用,而城区绿地土壤作为城区健康存在和发挥上述作用的基石,有着不

收稿日期:2011-07-18

修回日期:2011-08-10

资助项目:徐州师范大学环境与发展创新实验课题项目(HJ201001Z)

作者简介:张彩云(1991—),女,江苏灌云县人,本科生,主要从事地理科学方面的研究。E-mail:1210976247@qq.com

通信作者:于法展(1972—),男,江苏丰县人,副教授,主要从事土壤环境研究。E-mail:yufazhan@126.com

可估量的重要作用。研究城区绿地土壤尤其是土壤有机质的垂直分布特征及其与土壤 pH 值、全 N、全 P 和 C/N 的相关关系,地下土壤与地上植物间关系及其影响因子方面的研究显得尤为重要。本文通过城市层次上不同尺度(城市宏观大尺度和土壤样地样点小尺度)的研究与整合,得到徐州城区绿地系统土壤碳储量和各功能分区下的土壤碳储量及其分布格局,这对于探讨徐州城区绿地植被与土壤的关系,进而加强城市碳的管理,同时对于城市园林管理和建设,为徐州市生态建设和城市绿化带来很多借鉴意义。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

徐州市地处江苏省西北部,地理位置为北纬 33°43′—34°58′,东经 116°22′—118°40′,总面积 1 157 100 hm<sup>2</sup>,总人口 925.31 万人,其中市区(不包括贾汪区)有 24 500 hm<sup>2</sup>,人口 130.87 万人。该区属于暖温带季风气候,年均气温 14.2℃,1 月平均气温

0℃,7 月平均气温 27.0℃,极端最高气温 40.6℃,极端最低气温 -22.6℃;多年平均降水量 847.9 mm,季节分配不均,春季降水占全年降水的 18.6%,夏季 56.8%,秋季 18.9%,冬季 5.7%。建成市区园林绿地面积 3 823.20 hm<sup>2</sup>,绿地率 32.4%;绿化覆盖面积 4 283.40 hm<sup>2</sup>,绿化覆盖率 36.3%;公共绿地面积 1 046.24 hm<sup>2</sup>,人均公共绿地面积 7.96 m<sup>2</sup>。市区土壤主要包括粗骨褐土与淋溶褐土两个亚类,自然生长有杂草、旱生阔叶林植被,土壤层次发育明显,其剖面形态一般由表土层、淀积层、母质层组成。据分析统计<sup>[7]</sup>,表土层质地为轻壤—中壤,土壤容重为 1.18~1.39 g/cm<sup>3</sup>,总孔隙度为 40.7%~51.9%,非毛管孔隙度 4.8%~12.7%;石灰反应强,碳酸钙含量为 85~110 g/kg,土壤 pH 值 7.5~8.5,表土层至淀积层阳离子交换量为 10.7~23.6 cmol/kg 土;表土层有机质平均 10.3~28.2 g/kg,全氮 0.70~1.63 g/kg,全磷 0.62~1.35 g/kg,全钾 20.1~30.3 g/kg,碱解氮 55.0~105.0 mg/kg,速效磷 3.0~8.5 mg/kg,速效钾 120.5~195.0 mg/kg,各样区土壤基本情况见表 1。

表 1 徐州市城区绿地各样区土壤基本情况

采样区	采样点	样地编号	植被种类	植物长势	人为活动	剖面形态
云龙公园	正门西侧	1	乔、灌木	一般	植树	侵入体、结构破坏
	雕塑前	2	灌木、草坪	较好	移栽、践踏	人为推垫、层次明显
	墙后侧	3	乔木	一般	填埋、移栽	人为扰动、无结构
古彭广场	大楼左侧	4	乔木	一般	堆积、植树	大量侵入体、孔隙多
	中心绿地	5	灌木、草坪	茂盛	扰动、培肥	新结构体形成
	机关北侧	6	乔木	一般	堆积、践踏	垃圾混合、无结构
西苑小区	正门右侧	7	乔木、杂草	一般	植树、培肥	扰动不明显、根系少
	公用地前	8	灌木、杂草	一般	扰动、种草	侵入体、质地良好
	西门内侧	9	乔、灌木	一般	堆积、填埋	扰动明显、结构差
徐州人家	天桥东侧	10	乔木	较好	扰动、堆积	质地良好、侵入体
	北墙外	11	乔、灌木	一般	移栽、堆垫	侵入体混杂、无结构
	北门内侧	12	灌木、草坪	一般	堆积、扰动	孔隙大、有侵入体
中山路	体育场南	13	乔木、杂草	较差	种草、堆积	侵入体多、结构不明显
	中央绿化带	14	灌木	较好	移栽、培肥	层次明显、少量侵入体
	牌楼附近	15	乔木	一般	植树	扰动明显、结构破坏
淮海路	车站附近	16	乔、灌木	一般	填埋、堆积	大量侵入体、无结构
	慢车道绿化带	17	灌木	一般	扰动、移栽	土质疏松、孔隙多
	永安商场外	18	乔木	一般	移栽、填埋	结构不明显、较紧实
亚华生态园	花圃区	19	花卉、灌木	茂盛	植树、培肥	土质疏松、土层明显
	吊桥附近	20	乔木	一般	植树、堆积	侵入体、结构不明显
	南门内侧	21	乔、灌木	较好	移栽、培肥	侵入体混杂、结构破坏
绿健乳品厂	基地南侧	22	乔木	一般	植树、填埋	扰动、有侵入体混杂
	隔离带附近	23	灌木、草坪	较好	移栽、培肥	人为堆垫层次明显
	基地后侧	24	乔、灌木	一般	植树、扰动	扰动明显、有少量砾石

1.2 研究方法

城市绿地土壤研究中存在复杂性、特殊性且可控性差等技术难度方面的问题,对于代表性采样区的选取必须遵循全局性、代表性和均匀性的特点,需顾全

各植被群落类型。因此,将徐州市城区绿地按土地的利用类型划分为 4 个主要功能区,即公园广场绿地、居民小区绿地、道路交通绿地和生产绿地。根据所处城市主要功能区不同,选取有代表性的采样区 8 个,

每个样区依据代表性植被、人为干扰情况和剖面形态特点等设置不同的样地,每块样地取代表性采样点 3 个,共 24 个取样点,每个样点为 3 个土样混合(采样深度 60 cm)。由于市区绿地覆盖草坪、树木和管理等原因,不便进行剖面取土样,用土壤钻采集(各样区土壤基本情况列于表 1)。土壤参数具体测定方法—(1)有机质和有机碳的测定采用重铬酸钾硫酸亚铁氧化滴定法测定;(2)全氮和全磷的测定采用荷兰 SKALAR 公司生产的自动注射流动分析仪进行测定;(3)土壤 pH 值的测定采用电位法,土壤以无 CO<sub>2</sub> 的水(体积比 5:1)浸提后,用 Thermoion410A 型 pH 仪测定<sup>[8]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 徐州城区绿地土壤有机碳和养分特征

#### 2.1.1 徐州城区绿地土壤有机碳含量的分布特征

土壤有机碳含量的组成不仅表明土壤有机质的水平,而且能够说明营养元素 N、P 等的可利用状态,同时还影响着土壤的物理特性,是反映土壤质量或土壤健康的一个重要指标,直接影响土壤肥力和植物的生长<sup>[9-12]</sup>。现将所研究的 8 个样区按不同的建造时间分为 3 类:第一类建造时间早于 20 世纪 90 年代,包括云龙公园、中山路、淮海路;第二类建造时间为 1990—1999 年,包括古彭广场、绿健乳品厂、西苑小区;第三类建造时间为 2000 年以后,包括亚华生态园、徐州人家。从表 2 中可以看出,不同建造时间的城区绿地土壤有机碳含量存在较大差异:一类城区(19.9 g/kg) > 二类城区(14.4 g/kg) > 三类城区(10.5 g/kg);同一类城区绿地不同土壤层(深度 30 cm)的有机碳含量也有一定的不同,其平均含量分别为 20.8, 14.4, 10.9 g/kg。8 个样区的有机碳平均含量为 15.4 g/kg,在 0—10 cm 处,一类城区有机碳含量最高,达 26.1 g/kg,二类城区次之,为 19.0 g/kg,而三类城区的含量仅为 15.4 g/kg,几乎为一类城区的一半,仅与一类城区 20—30 cm 处的有机碳含量相当;10—20 cm 和 20—30 cm 处,一类城区土壤有机碳含量均高于二类、三类城区土壤。从变异系数来看,不同城区的不同样点间有机碳含量相差较大,分布很不均匀。上述三种类型城区的绿地土壤有机碳含量均随着土层的加深而递减,这与土壤微生物生物量碳随土层的加深而递减有关,而后者主要受根生物量的垂直分布的影响。植物根系的分布直接影响土壤中有机碳的垂直分布,因为大量死根的腐解归还为土壤提供了丰富的碳源。另一方面,大量的地表枯落物的产生也是表层土壤有机碳重要的碳源物质。可见,城区绿

地土壤有机碳含量与城区的建造时间有非常密切的关系,建造时间越早,土壤与植被群落联系越紧密。

#### 2.1.2 徐州城区绿地土壤酸碱性及有机碳的关系

徐州城区绿地土壤普遍呈碱性或弱碱性,所研究的 8 个样区绿地土壤的 pH 值为 7.8~8.3,三种类型的城区绿地土壤的酸碱随不同建筑年代而表现出不同变化,城区建造时间越早,其土壤碱性越弱,三种类型的城区绿地土壤的 pH 值大小分别为 8.0, 8.2, 8.3。在相同土壤深度下,年代越久的城区绿地土壤碱性越弱,如一类城区在 0—10 cm 深度的 pH 值为 7.8,而三类城区最大为 8.2,二类城区居中;在 10—20 cm 和 20—30 cm 处土壤 pH 值也具有同样的变化趋势。从不同土壤层次的梯度变化上来看,三种类型的城区绿地土壤的 pH 值均随着土壤深度增加而碱性逐渐增强,0—10 cm 深度下,三种类型的城区绿地土壤的 pH 值大小为 7.8, 8.1, 8.2, 10—20 cm 处分别为 8.1, 8.1, 8.3, 20—30 cm 处分别为 8.2, 8.3, 8.3。从土壤酸碱性与有机碳的关系来看,三种类型的城区绿地土壤有机碳含量都随深度呈下降趋势,而土壤 pH 值随深度呈上升趋势,即有机碳含量越丰富的地方,其土壤 pH 值越低,可见土壤 pH 值与土壤有机碳含量呈明显负相关(见表 2)。另外随着土壤 pH 值的下降,微生物活性减弱,致使土壤有机碳周转下降,从而表现为土壤中碳的积累。

#### 2.1.3 徐州城区绿地土壤有机碳分布与土壤全氮和 C/N 的相关性分析

氮素是构成一切生命体的重要元素,是植物生长必需且需求量很大的养分元素,凋落物的分解可使土壤氮素含量明显增加,而土壤含氮的多少,在一定程度上影响植物对磷和其它元素的吸收<sup>[9]</sup>。根据测试结果可知,徐州城区绿地土壤平均含氮量(0.69 g/kg)低于自然褐土的全氮量(0.88 g/kg);而将上述 8 个样区按城市 4 种主要功能区来划分出来,得出了平均全氮含量的大小顺序为:生产绿地(0.85 g/kg) > 公园广场绿地(0.71 g/kg) > 居民小区绿地(0.69 g/kg) > 道路交通绿地(0.63 g/kg)。在一定程度上,土壤的 C/N 达到平衡状态时,土壤氮素含量大体上决定了有机碳的含量。从研究中得出,土壤有机碳与全氮的相关性可能与城区绿地建造的时间有一定的关系,时间越久,相关性越强。除了上述的原因外,因为城区绿地自身特点和地处城市人口聚集区,故也与土壤质量特征、地上植被的生长状况和人类的活动都有密切的关系。土壤有机碳的保持在很大程度上决定于土壤氮素的水平,针对城区绿地土壤的情况,施加氮肥,会有利于土壤有机碳含量的增加,即可以使土壤“增汇”。土壤中碳和氮的相互关系是通过

微生物连接起来的,土壤微生物的活性对于土壤有机碳的分解非常重要,其中土壤微生物碳与土壤有机碳、全氮及有效氮是有显著相关关系<sup>[13-16]</sup>。土壤 C/N 的高低对于土壤微生物的活动能力具有一定的促进或限制作用,当土壤氮素增加时,可以通过促进土壤微生物的活动,来提高土壤有机碳的分解速率。

表 2 不同建造年代的城区绿地土壤有机碳含量和酸碱性

土层深度/ cm	项 目	一类		二类		三类		各土层平均值	
		有机碳/ (g·kg <sup>-1</sup> )	pH 值 (H <sub>2</sub> O)	有机碳/ (g·kg <sup>-1</sup> )	pH 值 (H <sub>2</sub> O)	有机碳/ (g·kg <sup>-1</sup> )	pH 值 (H <sub>2</sub> O)	有机碳/ (g·kg <sup>-1</sup> )	pH 值 (H <sub>2</sub> O)
0—10	均值	26.1	7.8	19.0	8.1	15.4	8.2	20.8	8.0
	标准差	15.6	0.4	6.9	0.4	8.3	0.2	12.5	0.4
10—20	均值	18.7	8.1	12.7	8.1	9.9	8.3	14.4	8.2
	标准差	10.9	0.3	4.8	0.2	8.3	0.2	9.6	0.2
20—30	均值	14.9	8.2	10.8	8.3	6.4	8.3	10.9	8.3
	标准差	9.2	0.3	6.8	0.3	3.6	0.3	7.9	0.3
平 均	均值	19.9	8.0	14.4	8.2	10.5	8.3	15.4	8.2
	标准差	12.9	0.3	7.0	0.3	7.9	0.2	10.9	0.4

2.2 徐州城区绿地土壤碳储量特征

2.2.1 研究区域地理信息系统(GIS)数据库的建立

以徐州城区绿地土壤为研究对象,将其放大到比例尺 1:5 680 的比例进行图像截取,运用 Photoshop 进行图形拼接,在 ArcGIS 技术支持下,将其统一坐标系,对研究区域内绿地进行手工解译勾绘,绿地类型分为公园广场绿地、居民小区绿地、道路交通绿地和生产绿地 4 个类型,赋予每一绿地斑块相关属性,然后通过 GIS 统计分析功能对勾绘的不同属性的绿地斑块分别求面积,利用卫星遥感图片,近地面获取研究区域的绿地面积,这样就能够更好地保证结果的准确性,从而建立起既有图形,又有相应数据的地理信息系统。

2.2.2 各功能区土壤有机碳、碳密度和碳储量的估测 根据研究区域确定的 8 个样地共 24 个土壤样点的数据资料,计算每个土壤剖面各诊断层的碳密度,然后以土层深度为权重系数,计算各功能区绿地土壤的平均数性值(包括容重、有机质含量、全氮、碳密度等),再用面积加权估算各功能区土壤的平均深度、平均有机质、平均碳密度。将各功能区绿地的碳密度进行面积加权求和,即可得到徐州城区绿地土壤碳库容量。

在绿地功能区层面上,由表 3 可以看出,徐州城区

绿地总面积为 1 589.46 hm<sup>2</sup>,其中居民小区绿地面积最大,为 684.47 hm<sup>2</sup>,占总面积的 43.1%;其次为公园广场绿地,面积为 369.24 hm<sup>2</sup>,占总面积的 23.2%;其它绿地大小顺序依次为道路交通绿地、生产绿地,后者面积最小,仅为 212.39 hm<sup>2</sup>,占 13.4%。徐州城区绿地平均土壤容重为 1.44 g/cm<sup>3</sup>,土壤容重除生产绿地为 1.35 g/cm<sup>3</sup> 外,其它各绿地均在 1.41 g/cm<sup>3</sup> 以上,可见各功能区绿地土壤都受到不同程度的压实。0—30 cm 和 0—60 cm 的土壤平均有机碳含量分别为 18.2 g/kg 和 16.5 g/kg;生产绿地含量最高,分别为 26.4 g/kg 和 22.1 g/kg;道路交通绿地最低,分别为 15.2g/kg 和 13.2 g/kg;其它绿地土壤平均有机碳含量相差不大。0—30 cm 和 0—60 cm 的平均土壤碳密度分别为 26.86 kg/m<sup>2</sup> 和 50.79 kg/m<sup>2</sup>;生产绿地的碳密度最高,分别为 35.02 kg/m<sup>2</sup> 和 63.10 kg/m<sup>2</sup>;其它绿地土壤碳密度亦相差不大。依据绿地平均土壤碳密度公式和土壤碳储量公式计算出的 0—30 cm 和 0—60 cm 的土壤碳储量分别为 417 121.99 t 和 775 722.78 t,0—30 cm 土层碳储量约占 0—60 cm 土层土壤碳储量的 53.77%。根据各功能区绿地土壤分层,即 24 个土壤样点的数据资料表明,徐州城区绿地土壤碳密度和碳储量在 0—60 cm 土层等间隔的含量随着土层加深都有递减趋势。

表 3 徐州城区不同功能区绿地土壤容重、碳密度和碳储量

功能绿地 类型	土壤容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	功能区 面积/hm <sup>2</sup>	面积/ 比例/%	有机碳/(g·kg <sup>-1</sup> )		碳密度/(kg·m <sup>-2</sup> )		碳储量/t	
				30 cm 土层	60 cm 土层	30 cm 土层	60 cm 土层	30 cm 土层	60 cm 土层
公园广场绿地	1.43	369.24	23.2	16.0	15.4	26.19	49.11	106251.04	181684.92
居民小区绿地	1.41	684.47	43.1	15.3	15.2	23.82	46.90	163531.46	324068.24
道路交通绿地	1.58	323.36	20.3	15.2	13.2	22.42	44.03	72906.11	140846.89
生产绿地	1.35	212.39	13.4	26.4	22.1	35.02	63.10	74433.38	129122.73

3 结论与讨论

在 ArcGIS 技术的支持下,通过空间定位建立了土壤剖面空间数据库,结合土壤剖面点的养分特征、

地上植被类型,分析了土壤有机碳库储量以及土壤有机碳的垂直分布格局,并对土壤养分特征进行了分析,得出以下主要结论:(1)城区绿地土壤 pH 值普遍呈碱性或弱碱性(pH 值 7.8~8.3),土壤有机质含量

平均水平较低;(2)在相同土壤深度下,年代越久的城区绿地土壤碱性越弱,其与土壤有机碳含量之间存在明显负相关;(3)土壤碳密度和碳储量在 0—60 cm 土层等间隔的含量随着土壤深度的增加呈现出梯度递减的趋势变化;(4)土壤有机碳的含量随着土壤深度的增加也呈现出逐渐递减的趋势变化。

徐州城区绿地中行道树土壤普遍存在土壤压实大,土壤有机质和氮、磷含量低的问题,这必然会影响到树木的正常生长发育。所以,有必要采取一些改善措施,如增施有机肥料,这样不仅可以提供养分供应,而且可以改善土壤的结构,有助于减轻进而消除土壤压实的影响并且可以调节土壤的酸碱度。城市行道树下土壤有机质和氮、磷等含量偏低,与凋落物的归还受阻有关,若行道树能用树带的形式种植,尽可能保留较大的裸露土壤,并使枯枝落叶保留于其中而不是清扫走,这样将提高道路绿地下土壤有机质和养分含量。土壤碳储量的增加主要依赖于绿地面积的扩大和碳密度水平的提高,而后者受土壤有机碳和容重的影响。城市绿地是一个地上(植被)和地下(紧密)连续的统一体,将土壤的基本数据与其上植被群落的特征参数如叶面积指数、群落的盖度、树木的胸径等加以整合,进而研究植被与土壤的动态响应和反馈机制,以此来预测未来城市绿地的走势和发展将是一个全新的研究视角。

#### 参考文献:

- [1] 车生泉. 上海城市绿地景观异质性分析[J]. 上海环境科学, 2001, 20(11): 511-514.
  - [2] 戴民汉, 翟惟东, 鲁中明, 等. 中国区域碳循环研究进展与展望[J]. 地球科学进展, 2004, 19(1): 120-130.
  - [3] 卢瑛, 甘海华, 史正军, 等. 深圳城市绿地土壤肥力质量评价及管理对策[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 153-156.
  - [4] 吴新民, 潘根兴, 姜海洋, 等. 南京城市土壤的特性与重金属污染的研究[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 29-33.
  - [5] 李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被和土壤碳储量[J]. 中国科学: D 辑, 2003, 31(1): 72-80.
  - [6] 刘为华, 张桂莲, 徐飞, 等. 上海城市森林土壤理化性质[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(2): 155-163.
  - [7] 王绍强, 周成虎, 李克让, 等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 533-544.
  - [8] 鲍士旦. 土壤农业化学分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2002: 47-56.
  - [9] 王根绪, 程国栋, 沈永平. 青藏高原草地土壤有机碳库及其全球意义[J]. 冰川冻土, 2002, 24(4): 693-700.
  - [10] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 城市土壤的特性及其管理[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 206-209.
  - [11] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 733-740.
  - [12] 刘纪远, 于贵瑞, 王绍强, 等. 陆地生态系统碳循环及其机理研究的地球信息科学方法初探[J]. 地理研究, 2003, 22(4): 397-405.
  - [13] 邓小文. 氮沉降对森林生态系统土壤碳库的影响[J]. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1622-1627.
  - [14] 于贵瑞. 全球变化与陆地生态系统碳循环与碳蓄积[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
  - [15] 方晰, 田大伦, 项文化, 等. 杉木人工林土壤有机碳的垂直分布特征[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21(4): 415-423.
  - [16] 乔云发, 苗淑杰, 韩晓增. 长期施肥条件下黑土有机碳和氮的动态变化[J]. 土壤通报, 2008, 39(3): 545-548.
- 
- (上接第 119 页)
- [2] Ekern P C. Problems of raindrop impact erosion[J]. Agricultural Engineering, 1953, 34: 23-25.
  - [3] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning[M]. USDA, Washington D C, Agricultural Handbook 537: 1978.
  - [4] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Transactions, American Geophysical Union, 1958, 39: 285-291.
  - [5] Wischmeier W H, Mannering J V. Relation of soil properties to its erodibility[J]. Soil Science Society of American Proceedings, 1969, 33: 131-137.
  - [6] 金雁海, 柴建华, 朱智红. 内蒙古黄土丘陵区次降雨条件下坡面土壤侵蚀影响因子研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 192-194.
  - [7] 王万忠. 黄土地区降雨侵蚀力  $R$  指标的研究[J]. 中国水土保持, 1987(12): 34-37.
  - [8] 吴从林, 张平仓. 三峡库区王家桥小流域土壤侵蚀因子初步研究[J]. 江流域资源与环境, 2002, 11(2): 165-170.
  - [9] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力指标的研究[J]. 中国水土保持, 1992(2): 32-33.
  - [10] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1-9.
  - [11] 谢小立, 王凯荣. 红壤坡地雨水地表径流及其侵蚀[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(5): 839-845.
  - [12] 杨一松, 王兆骞, 陈欣. 南方红壤坡地不同利用模式的水土保持及生态效益研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 84-87.
  - [13] 王万忠. 中国降雨侵蚀力  $R$  值的计算与分布[J]. 水土保持学报, 1995, 9(4): 5-16.
  - [14] 吴长文, 陈法扬. 坡面土壤侵蚀及其模型研究综述[J]. 南昌水专学报, 1994, 13(2): 1-11.
  - [15] Laws J O. Recent studies in raindrops and erosion[J]. Agricultural Eng., 1940, 21: 431-433.