

荣月静,张 慧,赵显富. 基于 InVEST 模型近 10 年太湖流域土地利用变化下碳储量功能[J]. 江苏农业科学,2016,44(6):447-451.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.06.131

基于 InVEST 模型近 10 年太湖流域 土地利用变化下碳储量功能

荣月静^{1,2}, 张 慧¹, 赵显富²

(1. 环境保护部南京环境科学研究所, 江苏南京 210042; 2. 南京信息工程大学, 江苏南京 210044)

摘要:应用“全国生态环境十年变化(2000—2010 年)遥感调查与评估”项目中 2000、2010 年 2 期土地覆盖类型数据和生物量数据,并根据《基于 1:100 万世界土壤数据库(HWSD)的中国土壤数据集》计算太湖流域地区土壤碳密度、植被(地上、地下)碳密度,并分别计算 2000、2010 年太湖流域地区碳储量,结合土地利用变化转移情况,分析土地利用变化对碳储量变化的影响。结果表明:太湖流域地区近 10 年碳储量总体呈下降趋势,碳储量净减少了 914.80 万 t,其中土壤碳储量下降了 1 375.66 万 t,主要是由于林草湿地等土地类型转换为建设用地所致;植被碳储量上升了 460.86 万 t,主要由于林草地近 10 年生物量上升所致,虽然农田和建设用地向林草地转换使得植被碳储量有所上升,但土地利用转换不是植被碳储量上升的主要驱动因素。

关键词:太湖流域;土地利用变化;碳储量;InVEST 模型

中图分类号: F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)06-0447-04

研究土地利用变化对碳储量变化的影响对于区域土地利用的规划和碳管理都有重要的参考意义。气候变暖影响土地利用方式,进而影响碳储量的变化^[1-2]。1970 年开始,全球气候开始转暖,我国的增温速度明显高于全球平均速度^[3]。1990 年以来,太湖流域发生突变式增温,导致土地利用类型发生很大变化^[4-5],严重影响流域碳储量。目前,国内外利用 RS(遥感)、GIS(地理信息系统)和模型方法对土地利用变化对碳储量变化的影响研究日益增多。Houghton 等研究了美国土地利用方式变化引起 CO₂ 排放变化,从而引起碳储量变化^[5]。Caspersen 等采用森林生长调查数据研究土地利用变化与碳储量之间的关系^[6]。Defiles 分析了未来土地利用变化对生态系统碳循环的影响^[7]。国内学者多数通过研究土壤和植被碳储量变化来分析陆地生态系统碳储量的变化。方精云等利用森林蓄积量和生物量转换因子法分析中国 1949—1998 年森林碳储量^[8-10]。李海奎等采用森林清查资料计算中国森林植被碳储量^[11]。王淑君等利用回归模型和森林生物量转换因子法计算广州市森林碳储量^[12]。张兴榆等利用政府间气候变化专门委员会(IPCC)模型分析太湖区域 1980—2005 年土地利用变化对植被碳储量影响得出,1980—2005 年土地利用结构变化规律为林地、草地面积减少,建设用地面积增加,1980—1990 年植被碳储量减少 64.22 万 t,1990—2005 年减少 68.31 万 t^[13]。魏文佳等采用 IPCC 指南提供方法和参数计算太湖流域 1980—2005 年土地利用

类型变化引起的总碳储量变化,得出 1980—2005 年太湖流域土地利用结构变化主要表现为农田的逐年减少和聚居地的持续增长;总碳储量变化为 1980—1995 年上升 15 528.43 万 t,1995—2000 年上升 15 398.89 万 t,2000—2005 年上升 15 713.44 万 t^[14]。前人针对太湖流域土地利用变化对碳储量变化影响的研究一方面使用 IPCC 指南提供方法和参数,这些参数可能与流域的实际情况有所出入,使得结果不精确;另一方面前人没有全面考虑碳源,如仅考虑植碳储量;同时研究时段均为 1980—2005 年。笔者在前人研究的基础上,充分考虑土壤、植被 2 大碳源,研究时段为 2000—2010 年,通过土壤属性数据计算土壤碳密度,采用生物量转换因子法、地下地上生物量比值法分别计算地上、地下植被碳密度,旨在为合理确定太湖流域土地利用模式提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

选择太湖流域地区为研究区,太湖流域位于长江三角洲地区,位于 30°21′~32°04′N,119°08′~121°20′E(图 1),太湖流域地区总面积约 375.04 万 hm²,地处亚热带区域,气候温暖湿润,经济飞速发展。近几十年来,由于人类活动的影响,太湖流域土壤类型、植被类型、土地利用方式发生很大变化,导致太湖流域的碳储量功能发生明显变化。

1.2 数据来源与研究方法

1.2.1 数据来源 本研究需要的基础数据包括:(1)基础地理数据,包括流域边界、各县(市)边界等(来自国家测绘地理信息局);(2)土地利用类型,包括 2000、2010 年 2 期;(3)生物量数据,包括 2000、2010 年 2 期;(4)土壤数据,包括土壤表层的有机碳含量、土种平均容量和各土种平均表层厚度(0~30 cm)。土地利用类型和生物量数据来源于“全国生态环境十年变化(2000—2010 年)遥感调查与评估”项目的解译结

收稿日期:2015-04-28

基金项目:国家环保公益性行业科研专项(编号:201209029-1)。

作者简介:荣月静(1989—),女,山西阳泉人,硕士,研究方向为区域生态恢复与资源可持续利用。E-mail:rongyuejing@126.com。

通信作者:张 慧,博士,研究员,研究方向为区域生态环境质量、生态承载力和生态安全评价。E-mail:zhnies@126.com。

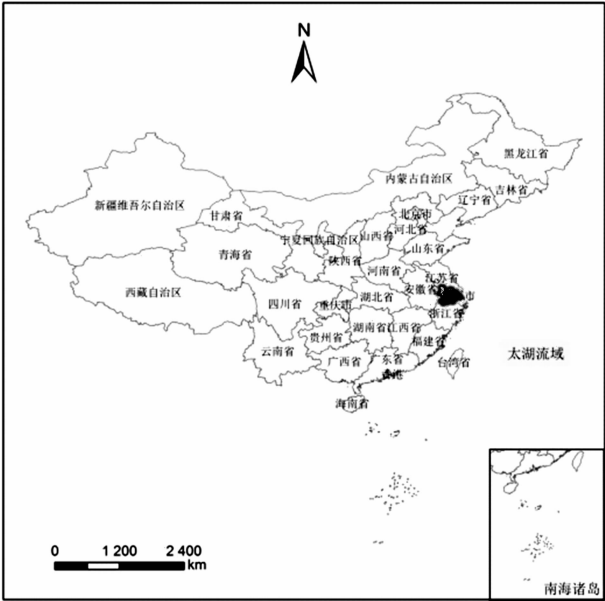


图1 太湖流域地区地理位置

果。土壤数据来源于《基于世界土壤数据库 (HWSD) 的中国土壤数据集》^[15]。

1.2.2 研究方法 应用土地利用类型面积的乘积来计算碳储量。碳密度库主要包括土壤碳库、地上植被碳库、地下植被碳库、死亡有机质碳库,死亡有机质碳库由于数据来源缺乏且占碳库比例较小,本研究不予考虑。碳密度库计算公式如下:

$$C_{\text{storage}} = (C_{\text{soil}} + C_{\text{above}} + C_{\text{below}}) \times S_0 \quad (1)$$

其中: C_{storage} 为土地利用类型的碳储量,kg; C_{soil} 为单位面积的土壤碳储量,即土壤碳密度,kg/m²; C_{above} 、 C_{below} 分别为单位面积地上、地下植被碳储量,即地上、地下植被碳密度,kg/m²;S为土地利用类型的面积,m²。

2.2.1 土地利用处理 土地利用数据分类采用“全国生态环境十年变化(2000—2010年)遥感调查与评估”项目中的土地类型分类,包括以下6种类型:(1)林地(包括常绿阔叶林、常绿针叶林等);(2)草地(草丛、稀疏草地等);(3)湿地(河流、湖泊、水库坑塘、运河水渠等);(4)农田(水田、旱地等);(5)建设用地(居住地、厂矿、交通用地、乔木绿地、灌木绿地等);(6)未利用地。

1.2.2.2 碳密度处理 (1)土壤碳密度。本研究中各土种土壤碳密度来源于《1:100万世界土壤数据库(HWSD)的中国土壤数据集》^[15],分辨率为1000m×1000m,选取研究区土壤属性数据,包括土壤表层的有机碳含量、土种平均容量和各土种平均表层厚度(0~30cm),通过公式(2)求得基础土壤碳密度数据。考虑到由于土地利用变化引起土壤属性变化,因此本研究结合2000、2010年的土地利用数据对碳密度数据进行重新赋值,分别得到研究区2000、2010年表层土壤的碳密度数据。表层土壤的碳密度计算公式如下:

$$C_{\text{soil}} = \text{TOC} \times y \times H \times 10^{-1} \quad (2)$$

式中: C_{soil} 为土壤碳密度,kg/m²; TOC 为有机碳含量,g/kg; y 为土种平均土壤密度,g/cm³; H 为各土种平均表层厚度,cm。

(2)地上植被碳密度。按照Brown提出的基于森林植被材积的生物量转换因子法^[16-17]计算地上植被碳密度。地上植被碳密度计算公式如下:

$$C_{\text{above}} = a \times DW_i \quad (3)$$

式中: C_{above} 为地上植物碳密度,kg/m²; DW_i 为地上生物量,kg/m²;a为转换系数。其中生物量数据采用“全国生态环境十年变化(2000—2010年)遥感调查与评估”项目的地上生物量数据,分辨率为250m×250m,转换因子林地取0.5,其他土地类型取0.45。

(3)地下植被碳密度。采用生物量转换因子法计算地下植被碳密度。地下植被碳密度计算公式如下:

$$C_{\text{below}} = a \times b \times DW_i \quad (4)$$

式中: C_{below} 为地下植物碳密度,kg/m²;a为转换系数;b为地下地上生物量比值。

其中地下生物量通过地上生物量和地下地上生物量比值计算得到。本研究重点关注林地、草地2种生态系统的地下生物量,由于耕地生物量更注重有经济价值的地上作物籽实部^[18],因此本研究不考虑耕地的地下生物量。前人对地下地上生物量的比值作过详细研究,方精云等研究了不同森林植被类型的地下地上生物量的比值,其中阔叶林、针叶林和针阔混交林比值在0.2~0.4之间^[8]。朴世龙等于2004年估算了我国草地地下生物量、地上生物量的比例关系,其中草丛、稀疏草地的地下生物量、地上生物量比值为4.3^[10]。根据“全国生态环境十年变化(2000—2010年)遥感调查与评估”项目的解译结果,研究区林地以阔叶林为主,草地以草丛为主,因此笔者定义研究区林地地下地上生物量比值取0.2,草地取4.3。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化与转移矩阵

2000—2010年,太湖流域各土地利用类型均发生变化,主要表现为林地、建设用地面积增加,农田、湿地、草地面积减少。林地面积比例从15.85%增加到16.80%,建设用地面积比例从15.47%增加到27.54%,农田面积比例从50.40%减少到38.64%,湿地面积比例从17.34%减少到16.43%,草地面积比例从0.92%减少到0.58%(表1)。

表1 2000—2010年太湖流域土地利用面积和比例

类型	2000年		2010年	
	面积 (万hm ²)	比例 (%)	面积 (万hm ²)	比例 (%)
林地	59.45	15.85	63.14	16.80
草地	3.47	0.92	2.18	0.58
湿地	65.04	17.34	61.78	16.43
农田	189.01	50.40	145.25	38.64
建设用地	58.03	15.47	103.53	27.54
未利用地	0.04	0.01	0.05	0.01

近10年太湖流域土地利用转移主要发生在林地、草地、湿地、农田、建设用地之间。太湖流域内人口增加,使得部分农田转换为建设用地;由于农业上不合理的灌溉,使得部分农田(46740.31hm²)成为了湿地,另外有部分湿地(46267.82hm²)转换为农田;受退耕还林、还草政策的影响,区域内有38962.98hm²农田转变为林地,有3595.01hm²农田转变为草地;同样有1350.82hm²林地转变为农田,3153.93hm²草地转变为农田;建设用地的不断增加,除了来

源于农田的转换外,还有部分湿地(34 410.98 hm²)、部分草地(12 869.29 hm²)转换为建设用地(表 2)。

表 2 2000—2010 年太湖流域土地利用转移矩阵

2000 年 土地类型	2010 年各转移土地类型面积(hm ²)					
	林地	草地	湿地	农田	建设用地	未利用地
林地	587 478.21	90.06	930.89	1 350.82	4 605.87	24.41
草地	1 296.46	17 190.79	155.24	3 153.93	12 869.29	13.40
湿地	3 056.71	758.35	565 869.98	46 267.82	34 410.98	4.78
农田	38 962.98	3 595.01	46 740.31	1 394 843.26	405 829.11	108.35
建设用地	574.18	179.64	910.00	1 716.62	576 965.78	0
未利用地	19.12	20.92	10.79	36.67	13.11	313.77

2.2 碳密度变化

由表 3 可知,2000—2010 年土壤和植被碳密度的总体分布和变化情况为:2000 年土壤碳密度范围为 0~10.73 kg/m²,其中土壤碳密度范围为 3.00~3.50 kg/m² 的比例最高,为 36.40%,其次是土壤碳密度为 0~1.00、1.00~1.50、1.50~2.00 kg/m² 的,比例分别为 23.91%、18.48%、12.08%。2010 年土壤碳密度范围为 0~8.23 kg/m²,其中土壤碳密度为 0~1.00 kg/m² 的比例最高,为 43.92%,其次是 3.00~3.50、1.00~1.50、1.50~2.00 kg/m² 的,比例分别为 27.42%、12.09%、9.48%。2000—2010 年土壤碳密度为 0~1.00 kg/m² 的比例大幅增长,上升 20.01 百分点;3.00~3.50、1.00~1.50、1.50~2.00 kg/m² 的比例分别降低 8.98、6.39、2.60 百分点,其他范围无明显变化。

2000 年地上植被碳密度范围为 0~5.10 kg/m²,其中地上植被碳密度为 0~0.25 kg/m² 的比例最高,为 47.03%,其

次是 0.25~0.50 kg/m² 的,比例为 37.74%,其他范围的比例较低。2010 年地上植被碳密度范围为 0~9.80 kg/m²,其中地上植被碳密度为 0~0.25 kg/m² 的比例最高,为 43.86%,其次是 0.50~1.00 kg/m² 的比例,为 31.79%,其他范围比例较低。可以看出,从 2000 年到 2010 年地上植被碳密度为 0.50~1.00 kg/m² 的比例上升 27.56 百分点,而 0.25~0.50 kg/m² 的比例下降 25.02 百分点,其他范围无明显变化(表 3)。

2000 年地下植被碳密度范围为 0~18.38 kg/m²,其中地下植被碳密度为 0~0.25 kg/m² 的比例最高,为 93.05%,其他范围比例较低。2010 年地下植被碳密度范围为 0~26.30 kg/m²,其中地下植被碳密度为 0~0.25 kg/m² 的比例最高,为 93.04%,其他范围比例较低。可以看出,2000—2010 年地下植被碳密度比例变化有升有降,变化幅度不大(表 3)。

表 3 2000—2010 年太湖流域土壤和植被碳密度所占比例

年份	土壤碳密度比例(%)						
	0~1.00 kg/m ²	1.01~1.50 kg/m ²	1.51~2.00 kg/m ²	2.01~3.00 kg/m ²	3.01~3.50 kg/m ²	3.51~4.00 kg/m ²	4.00 kg/m ² 以上
2000	23.91	18.48	12.08	2.79	36.40	1.81	4.53
2010	43.92	12.09	9.48	2.34	27.42	1.46	3.30
变化(百分点)	20.01	-6.39	-2.60	-0.45	-8.98	-0.35	-1.23

年份	地上植被碳密度比例(%)						
	0~0.25 kg/m ²	0.26~0.50 kg/m ²	0.51~1.00 kg/m ²	1.01~1.50 kg/m ²	1.51~2.00 kg/m ²	2.01~2.50 kg/m ²	2.50 kg/m ² 以上
2000	47.03	37.74	4.23	1.94	2.64	3.32	3.11
2010	43.86	12.72	31.79	2.09	3.43	2.55	3.57
变化(百分点)	-3.17	-25.02	27.56	0.15	0.79	-0.77	0.46

年份	地下植被碳密度比例(%)						
	0~0.25 kg/m ²	0.26~0.50 kg/m ²	0.51~1.00 kg/m ²	1.01~1.50 kg/m ²	1.51~2.00 kg/m ²	2.01~2.50 kg/m ²	2.50 kg/m ² 以上
2000	93.05	3.27	2.26	0.27	0.60	0.23	0.32
2010	93.04	4.02	2.38	0.05	0.05	0.11	0.36
变化(百分点)	-0.01	0.75	0.12	-0.22	-0.55	-0.12	0.04

2.3 碳储量变化

2.3.1 土地利用变化对碳储量变化的影响分析 通过以上分析可知,2000、2010 年 2 期的碳储存总量分别为 10 562.02 万、9 647.22 万 t,2000—2010 年总碳储量净减少 914.80 万 t,其中土壤碳储量净减少 1 375.66 万 t,植被碳储量净增加 460.86 万 t(表 4)。由于土地利用变化对碳储量变化的影响,总碳储量净减少 914.80 万 t。

从表 5 可知,引起碳储量减少的土地利用类型变化为:农田、湿地、草地、林地等土地类型向建设用地的转换,这些土地 1 266.09 万 t。其中,农田转换为建设用地,减少的碳储量最

表 4 2000—2010 年土壤和植被碳储量变化量

年份	土壤 (万 t)	地上植被 (万 t)	地下植被 (万 t)	总计 (万 t)
2000	8 385.28	1 945.86	230.88	10 562.02
2010	7 009.62	2 406.66	230.94	9 647.22
净变化值	-1 375.66	460.80	0.06	-914.80

多,为 1 121.77 万 t,占总碳储量减少量的 78.53%;其次为湿利用变化减少的碳储量占总碳储量减少量的 88.63%,共地转换为建设用地,减少了 85.72 万 t,占 6%;草地转换为建设用地减少了 46.87 万 t,占 3.28%;林地转换为建设用地减

表 5 2000—2010 年太湖流域碳储量变化转移矩阵

2000 年 土地类型	2010 年各土地类型碳储量变化(t)					
	林地	草地	湿地	农田	建设用地	未利用地
林地	907 326.76	0.55	-1 239.95	0.57	-117 279.12	-428.01
草地	-36 958.00	63 518.05	-1 241.82	-58 927.60	-468 734.12	-675.48
湿地	295.38	-149.34	-89 887.46	-56 587.90	-857 151.58	-20.68
农田	67 624.59	1 041.71	14 304.89	1 814 953.12	-11 217 690.90	112.18
建设用地	8 528.50	-0.35	30 555.84	48 214.24	802 949.09	-0.20
未利用地	-35.55	207.10	-40.73	-44.87	-170.87	-387.48

少了 11.73 万 t,占 0.82%。草地、湿地转换为农田分别减少了 5.89 万、5.66 万 t,占总碳储量减少量的比例较低。由此可见,生态用地和农田转换为建设用地是碳储量减少的主要原因。引起碳储量增加的土地利用类型变化为:农田转换为林地、湿地,建设用地转换为农田、湿地、林地。其中,农田转换为林地增加的碳储量最多,为 6.76 万 t,占总碳储量增加量的 1.32%。其次分别是建设用地转换为农田、建设用地转换为湿地、农田转换为湿地、建设用地转换为林地,增加的碳储量分别为 4.82 万、3.06 万、1.43 万、0.85 万 t,分别占总碳储量增加量的 0.94%、0.60%、0.28%、0.17%。可见,这些土地类型转换对碳储量增加造成的影响较小。

2.3.2 碳储量变化空间分布 从图 2、表 6 看出,太湖流域 2000—2010 年不同栅格土地利用类型变化对应的碳储量变化范围为 -113 975 ~ 3 234.84 t。本研究将碳储量变化分为 5 类:明显减少(-113 975 ~ -1 000 t)、轻微减少(-1 000 ~ -1 t)、基本不变(-1 ~ 1 t)、轻微增加(1 ~ 1 000 t)、明显增加(1 000 ~ 3 234.84 t)。

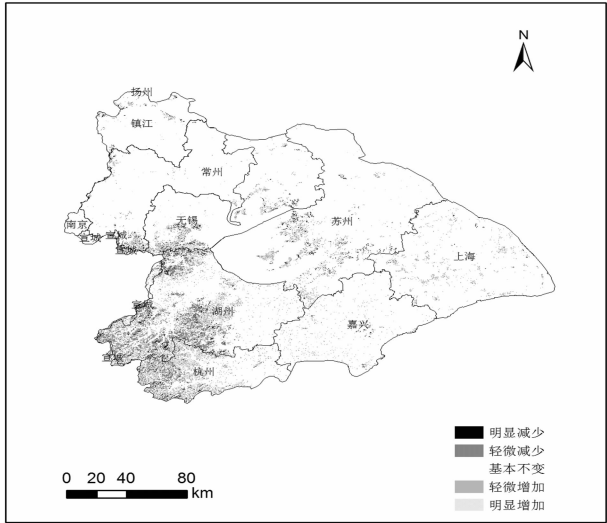


图2 2000—2010年研究区碳储量变化空间分布

太湖流域 2000—2010 年碳储量变化以基本不变为主,占整个研究区面积的 85.79%,分布在太湖湖泊内部和区域;其次是碳储量减少,占整个研究区面积的 13.81%,其中明显减少占 5.65%,轻微减少占 8.16%,主要分布在无锡市南部、湖州市东南部和杭州市东部,这是由于近 10 年市辖区建设用地扩张强烈,其分布呈现由城市中心往外逐步扩散趋势,导致碳储量急剧下降;碳储量增多面积占整个研究区的比例较低,为 0.40%,其中明显增多占 0.05%,轻微增多占 0.35%(表 6)。碳储量增多区域集中在上海市、苏州市、无锡市、杭州市等城市外围区域,这是由于这些地区响应国家保护耕地红线号召,

表 6 2000—2010 年研究区碳储量变化面积

分类	碳储量变化范围 (t)	面积 (万 hm ²)	比例 (%)
明显减少	-113 975.00 ~ -1 000.00	21.24	5.65
轻微减少	-1 000.01 ~ -1.00	30.68	8.16
基本不变	-1.01 ~ 1.00	322.51	85.79
轻微增加	1.01 ~ 1 000.00	1.32	0.35
明显增加	1 001 ~ 3 234.84	0.19	0.05

实现耕地占补平衡,部分建设用地转变为农田,同时太湖流域地区在水环境治理中实行退耕还湖措施。

3 结论与展望

与前人计算太湖流域碳储量研究比较,本研究充分考虑土壤、植被 2 大碳源,通过土壤属性数据计算土壤碳密度,通过生物量转换因子法计算植被碳密度,可以得到不同栅格土地利用类型变化对应的碳储量变化,与前人使用 IPCC 提供参数方法相比准确率有极大提高。同时,前人计算 1980—2005 年碳储量总量是上升趋势,具有碳汇效应,本研究得出 2000—2010 年碳储量是下降趋势,具有碳源效应,主要是由于近 10 年城市扩张剧烈,土壤碳储量下降幅度远远大于植被碳储量增加的幅度所致。本研究区近 10 年净减少碳储量 914.80 万 t,其中土壤碳储量减少 1 375.66 万 t,植被碳储量增加 460.86 万 t,碳储量的变化受土壤碳储量变化的影响较大。土壤碳储量的减少主要是由于城市扩张,导致农田、湿地、草地、林地等土地类型转换为建设用地,从而使得土壤储量大幅度减少。植被碳储量的增多主要是由于近 10 年来植被自身生长,导致生物量增多,植被碳储量增多,因此土地利用类型的转换是植被碳储量增多的影响因素,但不是主要的驱动因素。本研究对太湖流域的土壤和植被碳储量的计算结果存在一定的不确定性,这主要是由于碳储量的变化过程除了与植被类型、土壤类型以及土地利用类型变化有关之外,还与复杂的气候、辐射和地形等因素有关,区域尺度的碳储量估算难以考虑到所有的因素。在今后的研究中要尽可能考虑各项因素,确保研究结果更加精确。

参考文献:

[1]徐满厚,薛 娴. 气候变暖对陆地植被-土壤生态系统的影响研究[J]. 生命科学,2012,32(1):1-7.
[2]左洪超,吕世华,胡隐樵,等. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象,2004,23(2):239-244.
[3]丁 斌,顾显跃,缪启龙,等. 长江流域近 50 年来的气温变化特征[J]. 长江流域资源与环境,2006,15(4):531-536.
[4]孙 俊,张 慧,王 桥,等. 基于环境一号卫星的太湖流域地表温度与地表类型的关系分析[J]. 环境科学与研究,2011,24(11):

朱灵峰,朱卫勇,郝丹迪,等. 聚乙烯醇在硅藻土上吸附性能的动力学研究[J]. 江苏农业科学,2016,44(6):451-454.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.06.132

聚乙烯醇在硅藻土上吸附性能的动力学研究

朱灵峰,朱卫勇,郝丹迪,龚诗雯,李国亭,云浩翔,冯艳敏

(华北水利水电大学环境与市政工程学院,河南郑州 450045)

摘要:采用平衡吸附法,研究聚乙烯醇(PVA)溶液初始浓度、反应温度、初始 pH 值对硅藻土吸附 PVA 的影响,用准一级、准二级动力学、Elovich、Shuangchangshu 模型模拟试验数据,结果表明,增大 PVA 初始浓度、升高温度有利于提高硅藻土的吸附量,硅藻土吸附 PVA 的过程是吸热反应;pH 值接近中性时,硅藻土对 PVA 的吸附效果相对较好;硅藻土对 PVA 的吸附符合二级反应动力学方程特征,硅藻土对 PVA 的吸附有可能是一种复杂的非均相扩散过程。

关键词:硅藻土;吸附;聚乙烯醇;动力学;模型

中图分类号: X131;X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)06-0451-04

近几年,我国工业生产发展迅猛,城市化进程不断加快,向水环境中排放的废水量也不断增加,水污染现象具有普遍性和严重性,对我国的国民经济发展和人们健康造成极大的危害。另外,随着现代化学工业的发展,通过各种途径进入水体的化学合成有机物数量和种类急剧增加,对水环境造成严重的污染^[1]。我国是纺织印染业第一大国,据最新资料统计,我国每年污水排放量为 390 亿 t,其中工业废水占 51%,并以 1% 的速率逐年增长,而纺织印染废水占总工业废水排放量的 35%。

聚乙烯醇(PVA)是一种白色片状、絮状或粉末状固体,为水溶性高分子聚合物,性能独特,是重要的化工原料,应用领域涉及纺织、食品、医药、建筑、木材加工、造纸、印刷、农业、冶金等行业,用于制造聚乙烯醇缩醛、耐汽油管道、维尼合成

纤维、织物处理剂、乳化剂、纸张涂层、黏合剂等^[2]。印染退浆废水约占总纺织废水的 1/5,含有大量的 PVA,难生化降解,已成为当前最主要的水体污染源之一,如何有效处理含有 PVA 的印染废水是当前迫切需要解决的问题^[3]。本试验采用平衡吸附法,研究 PVA 溶液初始浓度、反应温度、初始 pH 值对硅藻土吸附 PVA 的影响,探究硅藻土对 PVA 的动力学吸附去除效率,并进一步用吸附动力学模拟其吸附规律,以得出最小能源消耗量下 PVA 去除效率较好时的条件^[4],为其进一步开发利用奠定理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验仪器

FA1004 型电子分析天平,由上海佑科仪器仪表有限公司生产;国华 78 磁力搅拌器,由江苏常州国华电器有限公司生产;UV mini240 紫外可见分光光度计,Shimadzu 公司产品;PHS-2C 酸度计,由上海胜磁仪器有限公司生产;FN101 加热鼓风恒温干燥箱,由湖南湘潭华丰仪器制造有限公司生产。

收稿日期:2015-09-15

基金项目:国家自然科学基金(编号:51378205);河南省高等学校青年骨干教师资助计划(编号:2013GGJS-088)。

作者简介:朱灵峰(1958—),男,河南内乡人,博士,教授,主要从事环境污染控制技术研究。E-mail:zhulingfeng@ncwu.edu.cn。

91-97.

[5] Houghton R A, Hackler J L. Emissions of carbon from forestry and land-use change in tropical Asia[J]. *Global Change Biology*, 1999, 5(4):481-492.

[6] Caspersen J P, Pacala S W, Jenkins J C, et al. Contributions of land-use history to carbon accumulation in U. S. forests[J]. *Science*, 2000, 290(5494):1148-1151.

[7] Defiles R S. Past and future sensitivity of primary production to human modification of land scape[J]. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(7):361-364.

[8] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等. 1981-2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J]. *中国科学:D 辑*, 2007, 37(6):804-812.

[9] 方精云,刘国华,徐嵩龄,等. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. *生态学报*, 1996, 16(5):497-508.

[10] 朴世龙,方精云,贺金生,等. 中国草地植被生物量及其空间分布格局[J]. *植物生态学报*, 2004, 28(4):491-498.

[11] 李海奎,雷渊才,曾伟生. 基于森林清查资料的中国森林植被碳

储量[J]. *林业科学*, 2011, 47(7):7-12.

[12] 王淑君,管东生,黎夏,等. 广州森林碳储量时空演变及异质性分析[J]. *环境科学学报*, 2008, 28(4):778-785.

[13] 张兴榆,黄贤金,赵小凤,等. 环太湖地区土地利用变化对植被碳储量的影响[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(8):1343-1353.

[14] 魏文佳,桂智凡,薛滨,等. 土地利用变化对陆地生态系统碳储量的影响——以太湖流域和呼伦湖流域为例[J]. *第四纪研究*, 2012, 2(32):327-336.

[15] 沈崇灵. 法理学[M]. 北京:北京大学出版社,1994.

[16] Fang J Y, Wang Z M. Forest biomass estimation at regional and global levels, with special reference to China's forest biomass[J]. *Ecological Research*, 2001, 16(3):587-592.

[17] Guo Z D, Fang J Y, Pan Y D, et al. Inventory-based estimates of forest biomass carbon stocks in China: a comparison of three methods[J]. *Forest Ecol Manage*, 2010, 259(7):1225-1231

[18] 宇万太,于永强. 植物地下生物量研究进展[J]. *应用生态学报*, 2001, 12(6):927-932.