

福建省佛昙湾海域水质现状的评价与分析

蔡丽钦^{1,2},陈融斌^{1,2},潘文³,陈国贵^{1,2},戴聪杰⁴,李元跃^{1,2*}
(1.集美大学水产学院,福建厦门 361021;2.福建省海洋渔业资源与生态环境重点实验室,福建厦门 361021;3.集美大学生物工程学院,福建厦门 361021;4.泉州师范学院生物系,福建泉州 362000)

摘要 通过对春、秋季佛昙湾海域水质的调查,采用单因子污染指数法、富营养指数法及有机污染指数法,对其进行评价与分析。结果表明,春、秋季佛昙湾海域水质的监测项目中,除了无机氮和活性磷酸盐外,其余监测项目的单因子污染指数均小于1,满足功能区划要求;无机氮完全超标,活性磷酸盐部分站位超标,是影响佛昙湾海域水质的主要污染因素。春季佛昙湾海域水质的富营养化指数为5.14,秋季为2.49,均大于1,处于富营养化状态。春季有机污染指数为5.95,秋季为3.69,均大于3,属于中度有机污染水平。通过对佛昙湾海域水质的评价,为该海区资源的开发利用提供了科学依据。
关键词 佛昙湾;水质;富营养化;有机污染
中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)19-223-04

Assessment and Analysis of Fotan Bay Water Quality in Fujian Province
CAI Li-qin^{1,2}, CHEN Rong-bin^{1,2}, PAN Wen³, LI Yuan-yue^{1,2*} et al (1. Fisheries College, Jimei University, Xiamen, Fujian 361021; 2. Fujian Provincial Key Laboratory of Marine Fishery Resources and Eco-environment, Xiamen, Fujian 361021; 3. School of Life Science, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005)
Abstract Single-factor pollution index assessment, eutrophication index assessment and organic pollutants index were adopted to evaluate and analyze the water quality of Fotan Bay, which are based on the investigation in spring and autumn. The result shows the concentrations of all monitored items in Fotan Bay seawater are less than the limited concentrations put forward by government, except to inorganic nitrogen and active phosphate, which become to be the main limiting factors influence the seawater environment of Fotan Bay; the water environment of Fotan Bay is in a serious state of eutrophication and a moderate state of organic pollution. The water environmental quality of Fotan Bay on autumn is better than that on spring. This research was made to provide scientific basis for the development and utilization of sea resources in Fotan Bay.
Key words Fotan Bay; Water quality; Eutrophication; Organic pollution

随着人类活动的加剧,大量有害污染物被排入河口及沿岸海域,导致河口及沿岸海域的生态系统受到严重威胁,成为一个全球性的危机^[1]。海水水质作为海洋生态环境的一个重要组成部分,可在一定程度上反映海域生态环境的受污情况,同时也是海洋生物主要的生存环境。随着沿海地区经济的发展,排入近岸海域的污水量呈上升的趋势,加上越来越多的水产养殖,致使近岸海域的水质受到严重污染,有关海域水质的研究也越来越多^[2-4]。

佛昙湾位于福建省东南沿海,东临台湾海峡。近年来,随着沿海城市人口的密集化,工农业生产和水产养殖业的发展,其近岸海域生态环境发生了较大的变化。对佛昙湾近岸海域水质状况的监测、分析以及评价,可为科学、合理、持续地开发该海区的资源提供科学依据,也可作为治理海洋环境的依据之一。

1 材料与方法

1.1 监测方法 佛昙湾海域水质监测站位共20个,即FT01~FT20(图1)。监测时间为2013年春季和秋季的大潮期及小潮期4个航次。监测项目包括水温、盐度、pH、化学需氧量、溶解氧、活性磷酸盐(DIP)、无机氮(DIN)、悬浮物、石油类和重金属(铜、铅、镉、汞、砷、锌)。佛昙湾海域水质调查项目及分析方法依据《海洋监测规范》(GB 17378-2007)^[5]、《海洋调查规范》(GB/T 12763-1991)^[6]等有关技术规程执行。

基金项目 福建省海洋渔业资源与生态环境重点实验室开放基金。
作者简介 蔡丽钦(1989-),女,福建漳州人,硕士研究生,研究方向:海洋生态。*通讯作者,副教授,博士,从事海洋生态方面的研究。
收稿日期 2015-05-08

1.2 评价方法

1.2.1 水质单因子污染状态评价。采用单因子污染指数法,对佛昙湾海域水质的污染因子进行评价,具体公式如下:

$$P_i = C_i / C_s$$

式中, P_i 为单因子污染指数; C_i 为水质评价因子*i*的实测浓度值,mg/L; C_s 为水质评价因子*i*的评价标准值,mg/L。根据《福建省近岸海域环境功能区划》,佛昙湾海域属于龙海-漳浦东部外海二类区,评价标准采用《海水水质标准》(GB 3097-1997)^[7]中的第二类标准。

1.2.2 水体富营养化状态评价。采用富营养化指数^[8],对佛昙湾海域水体的富营养化状态进行评价,具体公式如下:

$$E = \frac{S_{COD} \times S_{DIN} \times S_{DIP}}{4\ 500} \times 10^6$$

式中, E 表示富营养化指数; S_{COD} 、 S_{DIN} 、 S_{DIP} 分别表示化学需氧量、无机氮和活性磷酸盐的实测值,mg/L。当 $E > 1$ 时,表明水体呈现富营养化状态,随着 E 值的增大,水体富营养化程度加重。具体营养水平分级见表1。

1.2.3 水体有机污染状态评价。采用有机污染指数评价方法^[9],对佛昙湾海域水体的有机污染状态进行评价,具体公式如下:

$$A = \frac{S_i(COD)}{S_o(COD)} + \frac{S_i(DIN)}{S_o(DIN)} + \frac{S_i(DIP)}{S_o(DIP)} + \frac{S_i(DO)}{S_o(DO)}$$

式中, A 为有机污染指数; $S_i(COD)$ 、 $S_i(DIN)$ 、 $S_i(DIP)$ 、 $S_i(DO)$ 分别为化学耗氧量、无机氮、活性磷酸盐和溶解氧的实测值,mg/L; $S_o(COD)$ 、 $S_o(DIN)$ 、 $S_o(DIP)$ 、 $S_o(DO)$ 分别为其相应的一类海水水质标准^[7],依次为2.0、0.2、0.015和6.0 mg/L。有机污染水平分级见表2。

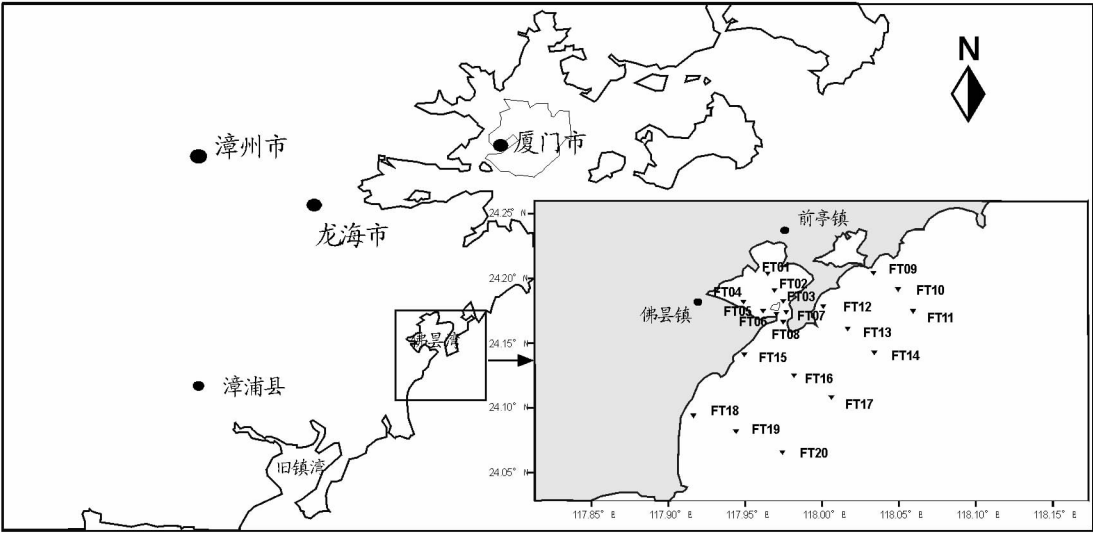


图1 佛昙湾海域水质监测站位分布

表1 水体富营养化水平分级

分级	E 值	营养水平
1	0~0.5	贫营养
2	0.5~1.0	中营养
3	1.0~3.0	富营养
4	≥3.0	高富营养

表2 水质有机污染水平分级

分级	A 值	有机污染水平
0	A<0	良好
1	0≤A<1	较好
2	1≤A<2	开始受污染
3	2≤A<3	轻度污染
4	3≤A<4	中度污染
5	A≥4	严重污染

2 结果与分析

2.1 佛昙湾海域水质单因子污染状态分析 由表3可知,春、秋季佛昙湾海域水质监测项目中,除了无机氮和活性磷酸盐之外,其他监测项目的单因子污染指数均小于1,满足佛昙湾海域的功能区划要求。无机氮的超标率为100%,污染比较严重;活性磷酸盐部分站位超标,说明无机氮和活性磷酸盐是影响佛昙湾海域水质的主要污染因素。

表3 佛昙湾海域水质监测项目的单因子污染指数

监测项目	春季		秋季	
	大潮	小潮	大潮	小潮
DO	0.316±0.11	0.339±0.15	0.385±0.05	0.423±0.18
COD	0.178±0.005	0.220±0.04	0.146±0.03	0.231±0.09
油类	0.440±0.04	0.212±0.10	0.411±0.08	0.091±0.13
DIN	3.520±0.24	3.069±0.13	1.533±0.21	1.999±0.18
DIP	0.888±1.93	1.202±1.42	0.688±0.12	1.284±0.19
pH	0.324±0.27	0.206±0.41	0.280±0.33	0.640±0.34
悬浮物	0.443±0.13	0.234±0.05	0.173±0.03	0.218±0.04
铜	0.092±0.07	0.098±0.08	0.128±0.03	0.098±0.02
铅	0.031±0.03	0.097±0.13	0.047±0.02	0.048±0.02
镉	0.007±0.01	0.006±0.003	0.008±0.001	0.012±0.003
锌	0.212±0.07	0.149±0.07	0.321±0.04	0.324±0.05
汞	0.220±0.05	0.184±0.07	0.222±0.05	0.139±0.05
砷	0.028±0.02	0.021±0.01	0.039±0.003	0.019±0.005

2.2 佛昙湾海域水质富营养化状态分析

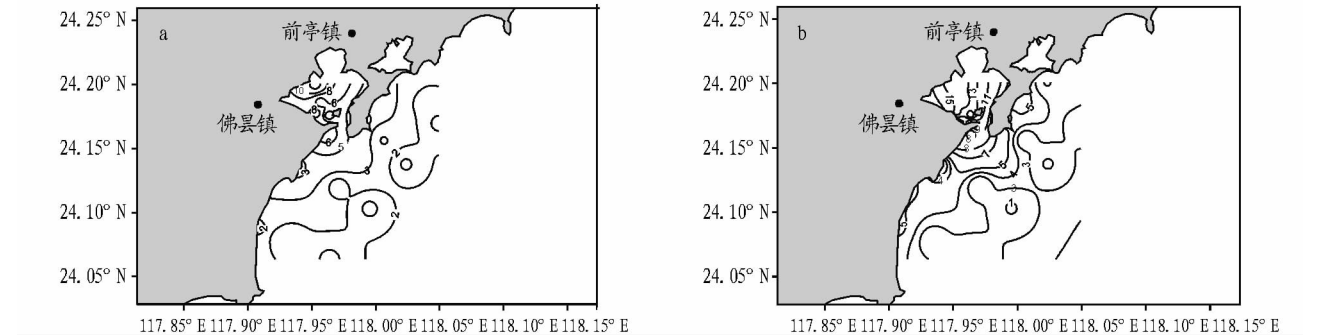
2.2.1 春季。由图2可知,春季小潮期佛昙湾海域水质的富营养化程度高于大潮期,主要原因可能是大潮期水位较高,降低了营养盐的浓度。目前一般认为,陆域地表径流带来的污染、工业废水、生活污水的排放及海水养殖是造成近几年来近岸海域水体富营养化的主要原因^[10]。春季佛昙湾海域水质的平面分布图中,湾内等值线数值均大于湾外等值线数值,表明春季佛昙湾海域呈现湾内水质富营养化水平高于湾外、近岸高于离岸的趋势。据调查,佛昙湾沿海区域经济的发展主要来源于农业和渔业,佛昙湾内存在大量的海水养殖,且养殖密度较高,养殖过程中未被食用的饵料及养殖生物排泄物等降解产生大量营养盐,导致湾内富营养化程度高于湾外。佛昙湾海域周围生活区域主要为农村,城镇化水平较低,污水一般都是未经处理直接排放,因此陆域的生活污水、农业污水等通过地表径流的排放入海,这也是导致佛昙湾海域水质富营养化的重要因素。另外,由于佛昙湾是一个半封闭型海湾,湾内的水动力较差,水交换周期较长,通过涨退潮向外海输送污染物的能力较低,高浓度污染物得不到及时的扩散,导致了湾内富营养化程度的加剧^[11]。春季佛昙湾海域水质的富营养化指数为5.14,大于3,处于高富营养化状态。大潮期水质的富营养化指数为3.91(0.7~15.9),小潮期为6.37(0.7~17.9)。

2.2.2 秋季。秋季佛昙湾海域水质的富营养化指数为2.49,大于1,处于富营养状态。大潮期水质富营养化指数为1.03(0.2~4.2),小潮期为3.96(1.3~9.9)。由图3可知,与春季一样,秋季小潮期佛昙湾海域水质的富营养化程度高于大潮期,湾内的富营养化程度高于湾外的富营养化程度。

佛昙湾海域春季的富营养化水平高于秋季的富营养化水平。温度是影响浮游植物生长的重要因素^[12]。该研究中春季采样时间在3月,在其之前温度相对较低,浮游植物生长缓慢,生物量较少,营养盐的消耗较少;而秋季采样时间在11月,在其之前的9月和10月温度较高,有利于浮游植物的

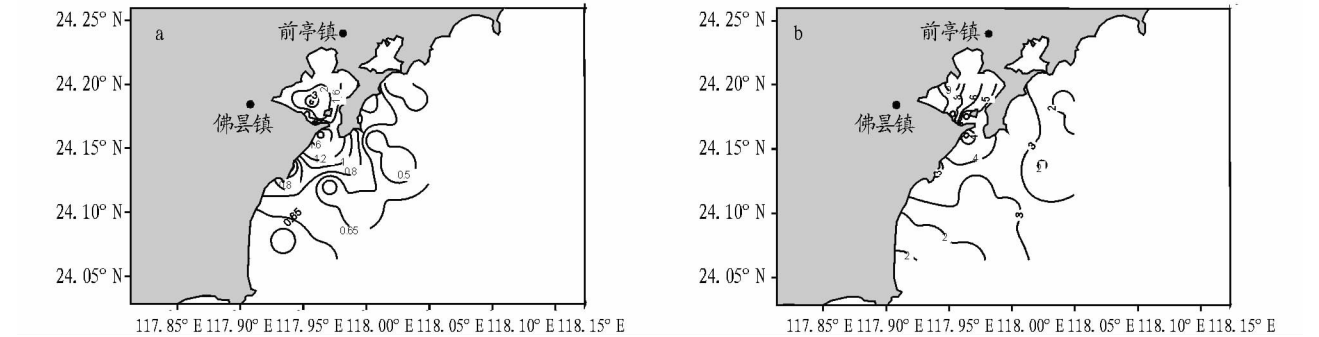
生长,生物量较多,消耗较多的营养盐,导致秋季监测时期的富营养化程度低于春季富营养化程度。另外,富营养指数和

有机污染指数的季节变化也受外部环境因子如盐度、酸碱度、溶解氧的综合影响^[9]。



注:a.大潮期;b.小潮期。

图2 春季佛昙湾海域富营养化指数平面分布



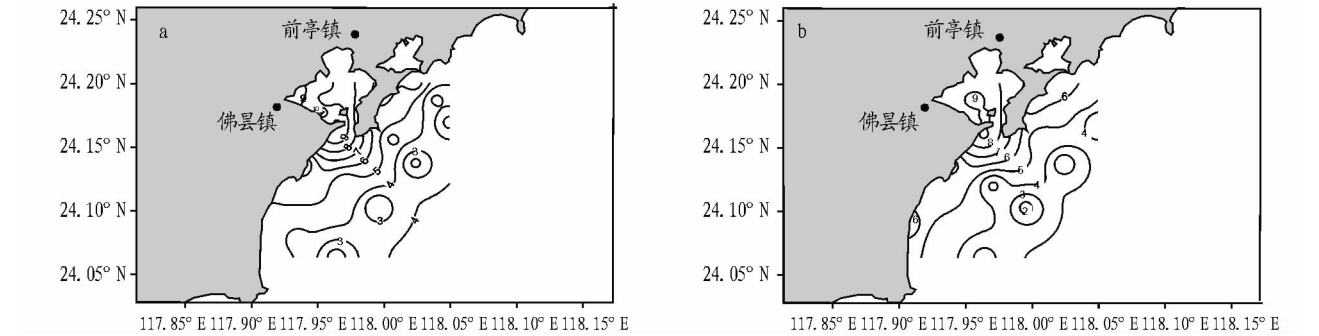
注:a.大潮期;b.小潮期。

图3 秋季佛昙湾海域水质富营养化指数平面分布

2.3 佛昙湾海域水体有机污染状态分析

2.3.1 春季。由图4可知,春季佛昙湾海域有机污染指数的平面分布与富营养化指数的平面分布趋势大体一致,呈现出湾内向湾外、近岸向离岸降低的趋势,其污染物的主要来源为陆域有机污染物的输入、港口码头人类活动导致有机污

染物的排放以及海水养殖。春季有机污染指数为5.95,大潮期为5.90(1.6~11.2),70%站位大于4;小潮期为6.37(1.7~10.0),75%的站位大于4,表明春季佛昙湾海域的有机污染已经非常严重。

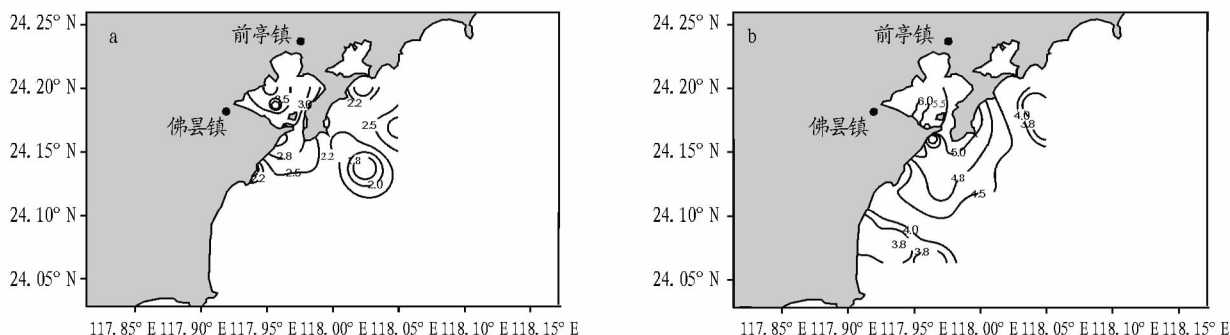


注:a.大潮期;b.小潮期。

图4 春季佛昙湾海域水质有机污染指数平面分布

2.3.2 秋季。由图5可知,秋季小潮期佛昙湾海域水质有机污染程度高于大潮期,湾内有机污染程度高于湾外。秋季有机污染指数为3.69,大潮期为2.66(1.8~4.5),80%站位大于2;小潮期为4.71(3.5~6.6),75%站位大于4,表明佛昙湾海域水质的有机污染水平较高。春季有机污染程度比秋季高,与富营养化指数一样,受浮游植物消耗的影响,同时

受其他环境因子的综合影响。COD也是反映水环境有机污染水平的一个重要的综合性指标^[13]。根据单因子污染指数可知,佛昙湾海域COD的污染指数值均小于1,满足功能区划要求。总体来说,调查期间该海域并没有受到化学耗氧有机物的影响,其主要的污染因素为无机氮和活性磷酸盐。



注:a.大潮期;b.小潮期。

图5 佛昙湾海域水质有机物污染指数平面分布

3 结论与建议

春、秋季佛昙湾海域水环境的监测项目中,除了无机氮和活性磷酸盐之外,其他监测项目的单因子污染指数均小于1,满足功能区划要求。春季佛昙湾海域水质富营养化和有机污染程度均较严重,秋季稍好些。整体上来看,富营养化程度和有机污染程度均为湾内比湾外更严重。无机氮和活性磷酸盐是影响佛昙湾海域水环境质量的主要污染因素。

影响佛昙湾近岸海域海水水质的污染物主要来源于过度的海水养殖,以及陆域的生活、农业及海上工程所排放的废水通过河流输送、污水渠、港口船舶等途径进入近岸海域,造成有机物积累、水体富营养化,导致了海水水质的恶化。针对佛昙湾海域海水养殖存在的问题提出建议:①采用复合立体化的养殖结构,避免自身污染;②离岸养殖,及时扩散污染物,减轻各种污染物对养殖生物和养殖区环境的影响;③养殖短食链的品种,减少海区能量的浪费,提高资源的有效利用率;④采用新型养殖饲料,尽量取消海面施肥法,避免无序、无量、无计划的乱施肥导致海区的富营养化。另外,严格控制陆域入海污染源的污染物总量。加大佛昙湾海域周边居民生活污染源及农业污染源的管理力度,完善污水的处理系统,对生活垃圾进行分类处理,减少农药及合成化肥的使用,降低陆源污染物的排放。同时完善法律法规体系,建立健全的海洋环境管理体制,加强海洋保护的相关法律法

规的实施力度,完善海洋资源、环境及生物多样性保护等的地方性规章。

参考文献

- [1] SANY S B T, HASHIM R, REZAYI M, et al. A review of strategies to monitor water and sediment quality for a sustainability assessment of marine environment[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, 21(2): 813–833.
- [2] 邵留, 于克锋, 吴海龙, 等. 三沙湾海域水质周年变化分析与评价[J]. *上海海洋大学学报*, 2014, 23(2): 228–237.
- [3] 刘芸, 冯剑丰. 天津近岸海域 2004–2012 年水化学环境的变化趋势分析[J]. *海洋通报*, 2014, 33(2): 215–221.
- [4] 蓝文陆, 李天深, 韩丽君. 广西铁山港附近海域营养盐分布及其季节变化[J]. *海洋科学*, 2014, 38(7): 63–69.
- [5] 国家质量技术监督局. GB 17378–2000 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [6] 国家技术监督局. GB/T 12763–1991 海洋调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [7] 国家环境保护总局. GB3097–1997 海水水质标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [8] 中华人民共和国环境保护部. HJ 422–2008 近岸海域环境监测规范[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- [9] 尹艳娥, 沈新强, 蒋玫, 等. 长江口及邻近海域富营养化趋势分析及与环境因子关系[J]. *生态环境学报*, 2014, 23(4): 622–629.
- [10] 杨斌, 鲁栋梁, 钟秋平, 等. 钦州湾近岸海域水质状况及富营养化分析[J]. *中国环境监测*, 2014, 30(3): 60–64.
- [11] 沈林南, 李超, 吴祥恩, 等. 夏冬季三沙湾海水营养盐含量的时空变化特征及与环境因子的相关性[J]. *应用海洋学报*, 2014, 33(4): 553–561.
- [12] 王骏. 宁波—舟山港海域浮游植物群落结构及季节变化[D]. 宁波: 宁波大学, 2013.
- [13] 杨美兰, 林钦, 黄洪辉, 等. 珠江口水域化学耗氧量(COD)的分布特征[J]. *海洋通报*, 2005, 24(4): 22–26.
- [14] 周凌云, 赵焯, 王永峰, 等. 土壤中生物炭矿化行为研究进展[J]. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2013(5): 517–522.
- [15] 李飞跃, 汪建飞. 生物炭对土壤 N₂O 排放特征影响的研究进展[J]. *土壤通报*, 2013, 44(4): 1005–1009.
- [16] SONJA S, CHRISTOPH M, LUDGER G, et al. Biochar, hydrochar and uncarbonized feedstock application to permanent grassland—Effects on greenhouse gas emissions and plant growth[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2014, 191: 39–52.
- [17] ANGST T E, SIX J, REAY D S, et al. Impact of pine chip biochar on trace greenhouse gas emissions and soil nutrient dynamics in an annual ryegrass system in California[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2014, 191: 17–26.
- [18] 赵焯. 土壤环境科学与工程[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2014: 138–180.
- [19] 杨添, 戴伟, 安晓娟, 等. 天然林土壤有机碳及矿化特征研究[J]. *环境科学*, 2014, 35(3): 1105–1110.
- [20] CASALS P, ROMANYA J, CORTINA J, et al. Nitrogen supply rate in scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests of contrasting slope aspect[J]. *Plant and Soil*, 1995, 168/169(1): 67–73.
- [21] 刘西军, 黄庆丰, 聂昌伟, 等. 肖坑不同森林类型土壤氮、磷含量研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2008, 35(1): 124–127.
- [22] 邓光瑞, 胡海清. 大兴安岭主要乔木灰分含量的试验分析[J]. *东北林业大学学报*, 2006, 34(3): 16–18.
- [23] 胡海清, 彭徐剑, 刘雪峰, 等. 大兴安岭几种主要可燃物类型地被物灰分含量比较分析[J]. *东北林业大学学报*, 2009(7): 55–57.
- [24] 杨曾英, 曾杰, 徐太平, 等. 森林枯枝落叶分解及其影响因素[J]. *生态环境*, 2007, 16(2): 649–654.
- [25] 胡肆慧, 陈灵芝, 陈清朗, 等. 几种树木枯叶分解速率的试验研究[J]. *植物生态学与地植物学学报*, 1987, 11(2): 124–132.
- [26] 胡肆慧, 陈灵芝, 孔繁志, 等. 油松和栓皮栎枯叶分解作用的研究[J]. *植物学报*, 1986, 28(1): 102–110.
- [27] 李珊珊, 耿增超, 姜林, 等. 秦岭火地塘林区土壤剖面碳氮垂直分布规律的研究[J]. *西北林学院学报*, 2011, 26(4): 1–6.
- [28] 郭继勋, 祝廷成. 羊草草原枯枝落叶分解的研究——主要优势植物的分解速率和损失率[J]. *生态学报*, 1992, 12(4): 295–301.
- [29] 孙可. 珠江三角洲地区土壤和沉积物中凝聚态有机质及其对有机污染物吸附行为的影响[D]. 广州: 中国科学院研究生院(广州地球化学研究所), 2007.

(上接第149页)