

# 南四湖表层底泥中多环芳烃有机污染及其生态风险研究

孙媛媛, 张祖陆, 李 爽

(山东师范大学 人口·资源与环境学院, 济南 250014)

**摘 要:**通过对南四湖 9 个采样点表层底泥中 16 种美国 EPA 规定的优控 PAHs 的含量测定, 分析了 PAHs 在南四湖表层底泥中的分布特征、来源, 进而对其生态风险进行了评价。结果表明: 河口区的 PAHs 含量最高, 主要是受污染严重的入湖河流的影响。微山岛和二级坝附近表层底泥中 PAHs 的含量与湖内其他点位相比较, 且上级湖的含量要高于下级湖的含量。表层沉积物中 PAHs 主要来源于化石燃料的不完全燃烧, 但也存在一定的石油污染。南四湖表层底泥中的 PAHs 生态风险很小, 未对生物造成不利影响, 属于轻微污染水平。

**关键词:**南四湖; 表层底泥; PAHs; 分布; 生态风险

**中图分类号:**X131.3;P941.78

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2012)04-0142-05

## Organic Pollution and Ecological Risk of PAHs in the Surface Sediment of Nansihu Lake, Shandong Province of China

SUN Yuan-yuan, ZHANG Zu-lu, LI Shuang

(College of Population, Resources and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

**Abstract:** The distribution and sources of PAHs in the surface sediment in Nansihu Lake were analyzed and the ecological risk of the lake was evaluated through examining 16 PAHs setting by EPA in 9 samples of the surface sediment of Nansihu Lake. The results showed that the content of PAHs in estuary was the highest and was influenced by the seriously polluted rivers from which flew into the lake. The contents of PAHs in the samples near the Weishan Island and the second dam were much higher than in the samples of the internal lake which was higher in the higher lake than in the lower lake. The PAHs in the surface sediment mainly come from the incomplete combustion, but it also contained some oil pollution. The ecological risk of the surface sediment in Nansihu Lake was low and had not adversely affected the creatures. So the organic pollution belonged to the slight contamination in the lake.

**Key words:** Nansihu Lake; surface sediment; PAHs; distribution; ecological risk

多环芳烃(PAHs)指由两个或两个以上的苯环连在一起的一类化合物, 是最早被发现具有“三致作用”的优先控制污染物之一, 主要来源于化石燃料和其他有机物的不完全燃烧或热解过程<sup>[1-3]</sup>。吸附在悬浮物和沉积物上的 PAHs 可被生活在水中和淤泥中的生物所摄食在这些生物体内的脂肪层富集并进入食物链, 对水生生态和人体造成巨大危害。多环芳烃的疏水亲脂性使其在水中的含量较低, 而大量富集在水体沉积物中<sup>[4]</sup>, 因而沉积物成为多环芳烃等有机污染物的蓄积库<sup>[5]</sup>。当环境条件改变时, 水体表层沉积物中的多环芳烃可以通过一系列的生物过程和化学

作用再次释放到水体中对水体造成二次污染<sup>[6]</sup>。因此, 研究底泥中有机污染物的含量和分布特征对环境保护和人体健康具有十分重要的意义。

### 1 研究区概况

南四湖位于山东省西南部(北纬 34°27'—35°20', 东经 116°34'—117°21'), 自北向南由南阳湖、独山湖、昭阳湖和微山湖 4 个相互连贯的湖泊构成, 是京杭大运河的关键衔接段, 也是南水北调东线工程的重要调蓄枢纽。南四湖最大湖水面积 1 266 km<sup>2</sup>, 集流域总面积 30 453 km<sup>2</sup>, 平均水深 1.46 m, 属浅水大型淡水

收稿日期:2011-12-17

修回日期:2012-03-06

资助项目:国家重大水专项项目“南水北调东线南四湖水质综合改善方案及集成技术与示范”(2009ZX07210-007-01)

作者简介:孙媛媛(1988—), 女, 山东淄博人, 硕士研究生, 主要研究方向为水资源与水环境。E-mail:sunyuan829@163.com

通信作者:张祖陆(1949—), 男, 上海嘉定人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为水资源与水环境。E-mail:zulzhang@126.com

草型湖泊。1960 年,于中部昭阳湖下段湖腰处修建了二级坝,将南四湖分为上级湖和下级湖两大部分。坝北为上级湖,注入河流 29 条,集流面积 26 934 km<sup>2</sup>,占全湖总集流面积的 88.4%,坝南为下级湖,注入河流 24 条,集流面积 3 519 km<sup>2</sup>,仅占总集流面积的 11.6%。南四湖是山东省最大的集防洪、排涝、灌溉、供水、养殖、通航及旅游等多种功能于一体的水库型淡水湖。近年来,随着工农业的不断发展,大量的工农业废水、生活污水未经处理直接排入水体中,入湖的沉积物有增无减,底泥不断增厚。燃料不完全燃烧或热解过程产生的 PAHs 随着降雨、地表径流、大气沉降等途径进入湖水中,使湖水与表层底泥受到一定程度的多环芳烃的污染。

本研究在南四湖的上、下级湖大致均匀地布设 9 个采样点,对表层底泥的 PAHs 进行检测分析,以掌握南四湖各湖区表层底泥中的 PAHs 的含量和分布特征。

2 样品采集与分析方法

2.1 样品采集

2010 年 9 月 15 日—9 月 21 日,利用重力采样器在南四湖选择 39 个样点进行表层底泥(0—2 cm)采集,各样点利用 GPS 定位,样点分布位置见图 1。1—3 号采样点位于南阳湖内,4—5 号位于独山湖内,6—7 号位于昭阳湖内,8—9 号位于微山湖内。其中,1,2 号分别位于位于洸府河河口和泗河河口处,5 号位于北沙河河口处,7 号位于二级坝附近,9 号位于微山岛附近,其余各点则均匀分布在湖内。

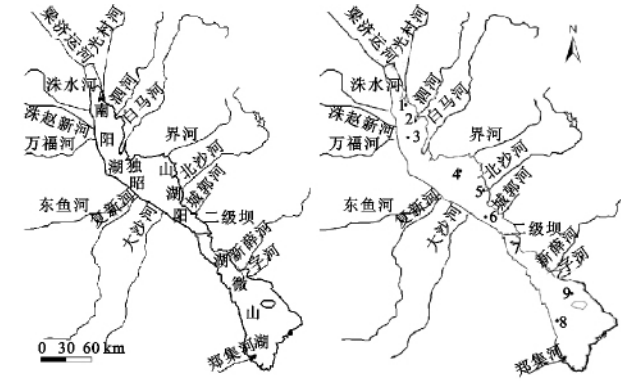


图 1 湖区位置及样点位置示意图

2.2 分析方法

多环芳烃的含量采用 GC—MS 法测定,由山东省测试分析中心协助完成。本次工作对对美国 EPA 规定的优先控制的 16 种 PAHs 类型进行了测定,在南四湖表层底泥中主要测定了萘、苊、菲、蒽、荧蒽、苯并[a]蒽、屈、苯并[b]荧蒽 8 种化合物的含量。

3 结果分析

3.1 表层底泥中 PAHs 分布特征

南阳湖表层底泥中多环芳烃的含量为 3.198~43.822 ng/g,平均值为 23.163 ng/g(表 1)。在检出的 8 种多环芳烃中,以 3 环(Fl、Ph、An)、4 环(Flu、BaA、Chr)多环芳烃为主,同时含有 2 环(Na)、5 环(Bbf)多环芳烃,其余未检出(图 2—3)。其中,5 环(苯并[b]荧蒽(Bbf))含量最高,平均值达 6.483 ng/g,2 环(菲(Ph))含量最低,平均值为 0.547 ng/g。

表 1 南四湖各样点表层底泥中多环芳烃的含量 ng/g

位置	样点	萘(Na)	苊(Fl)	菲(Ph)	蒽(An)	荧蒽(Fla)	苯并[a]蒽(BaA)	屈(Chr)	苯并[b]荧蒽(Bbf)	总量
南阳湖	1	1.467	0.864	3.259	4.124	5.710	7.475	8.783	12.141	43.822
	2	0.570	0.628	0.485	4.045	2.305	6.826	7.151	8.905	30.915
	3	0.897	0.535	0.276	0.000	1.925	5.509	5.747	8.096	22.985
独山湖	4	0.828	0.000	0.000	0.000	3.210	0.000	11.380	0.000	15.418
	5	0.619	0.740	0.000	0.000	2.399	7.789	8.099	10.146	29.790
昭阳湖	6	0.451	0.662	0.254	3.242	1.779	0.000	5.694	0.000	12.082
	7	0.551	0.629	0.221	0.000	2.219	0.000	7.073	8.893	19.585
微山湖	8	0.522	0.648	0.000	0.000	2.029	0.000	0.000	0.000	3.198
	9	0.620	0.949	0.424	0.000	2.543	7.777	8.199	10.163	30.674
平均值		0.725	0.628	0.547	1.268	2.68	3.931	6.903	6.483	23.163

在 9 个样点中,样点 1 表层底泥中多环芳烃的含量最高,为 43.822 ng/g,其次是样点 2,5,7,9,样点 4,6 含量相对较低,样点 8 含量最低。总体上,位于河口处的样点 1,2,5 表层底泥中的多环芳烃含量最高,其次是微山岛附近的样点 9 和二级坝附近的样点

7,而且上级湖的含量要高于下级湖,且地处上游的南阳湖的含量为最高。主要是因为南阳湖临近济宁市区,处于全湖的最上游,集中了洸府河、老运河、白马河、泗河、洙水河、梁济运河、洙赵新河等污染严重的河流注入,未经处理的工业废水和城市污水直接排入

湖泊中,河水含有的大量 PAHs 经过一系列物理化学和生物等作用使得在底泥中沉积积累量较大,使得 PAHs 含量最高。同样地,处于河口位置的样点 1,2,5,受入湖河流的影响,也含有的较高的 PAHs。微山湖中,样点 9 的高 PAHs 值,与著名的旅游景点微山岛坐落于此有关,人口分布集中,大量服务业生活污水和工农业用水排入湖泊。此外,该湖区有鲁西南化肥厂和枣庄薛城区的污水汇入<sup>[7]</sup>,因此使得 PAHs 的含量高于整个湖区的平均值。样点 7 位于二级坝上游附近,由于二级坝的拦截作用,使得来自上级湖的沉积物大量在此处积累,因此 PAHs 的含量相对较高。样点 4,6,8 位于湖区内部,流动循环较快,湖水污染物分布比较均匀,且 6,8 处养殖的大量水生植物对 PAHs 起到了迁移作用<sup>[8]</sup>,是湖内几个样点 PAHs 含量较低的主要原因之一。

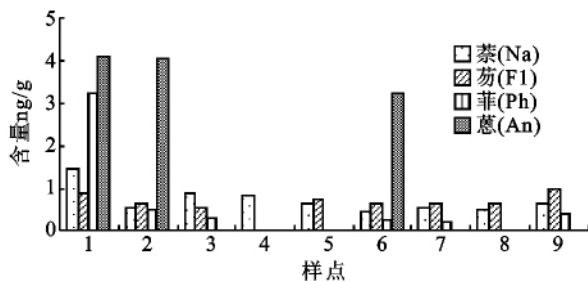


图 2 南四湖表层沉积物中 2,3 环多环芳烃的含量

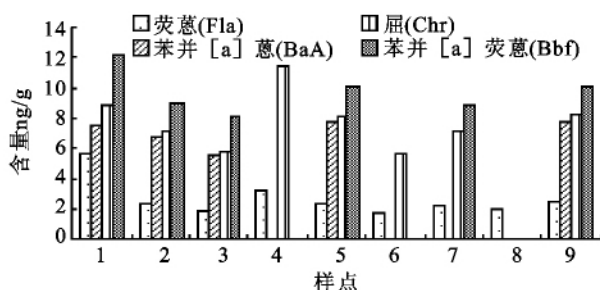


图 3 南四湖表层底泥中 4,5 环多环芳烃的含量

对于南四湖表层底泥中不同种类的多环芳烃来说,除个别情况外,其分布规律与 PAHs 总量的分布规律大体上是一致的,在河流入湖口(样点 1,2,5)的含量最高,其次是微山岛附近(样点 9)、二级坝附近(样点 7)和南阳湖内(样点 3)含量相对较高,而在湖区内部的其他各点(样点 4,6,8)含量较低(图 2—3)。总结以上分布特点,可以推断出河流输入的工农业废水和生活污水是湖泊底泥中 PAHs 的主要来源。

### 3.2 表层底泥中多环芳烃的主要来源分析

PAHs 环数的相对丰度在一定程度上可以反映多环芳烃的来源<sup>[9]</sup>。通常情况下,2~3 环的低分子量 PAHs(LMW)主要来源于石油污染,4 环以上的高分子量 PAHs(HMW)则来源于化石燃料的燃烧<sup>[10]</sup>。各样点中 LMW 与 HMW 的含量如表 2 所示。其中,

2~3 环 PAHs 为 0.046~0.038 ng/g,平均值为 0.163 ng/g,4 环以上的 PAHs 为 0.619~0.954 ng/g,平均值为 0.837 ng/g。在监测的 9 个样点中,以 4~5 环的 PAHs 占优势,2~3 环的 PAHs 含量较少,因此,可以认为南四湖表层底泥中的 PAHs 主要来自于化石燃料的不完全燃烧,而来自石油污染的 PAHs 相对较少。

前人的研究表明,石油泄漏产生的 PAHs 中,低分子量的多环芳烃含量高,高分子量的多环芳烃含量低,LMW/HMW>1<sup>[11]</sup>;化石燃料不完全燃烧产生的 PAHs 中,低分子量的多环芳烃含量低,高分子量的多环芳烃含量高,LMW/HMW<1<sup>[12-15]</sup>。据此,可以利用 LMW/HMW 的比值来判断 PAHs 的来源。9 个样点的 LMW/HMW 的值都小于 1(表 2),由此推断,南四湖表层底泥中的 PAHs 主要来自于煤、石油等化石燃料的不完全燃烧。

另外,多环芳烃中一些同分异构体的比值也可以用来判断 PAHs 的来源,常用的有荧蒽/(荧蒽+芘)、蒽/(蒽+菲)、苯并[a]蒽/(苯并[a]蒽+屈)等。由于本次监测样点中芘的含量低于检出限而未被测出,因此本文结合 An/(An+Ph)和 BaA/(BaA+Chr)的比值作为判断表层底泥中 PAHs 来源的指标。一般情况下,An/(An+Ph)比值小于 0.1 意味着多环芳烃来自于石油的排放,比值大于 0.1 则意味着来自于煤、石油等化石燃料的不完全燃烧<sup>[16]</sup>。当 BaA/(BaA+Chr)>0.35 时,认为多环芳烃主要来源于化石燃料的不完全燃烧,当 BaA/(BaA+Chr)<0.2 时,认为多环芳烃主要来源于油类排放,当 0.2<BaA/(BaA+Chr)<0.35 时,则认为多环芳烃的来源为混合源<sup>[17]</sup>。

本研究中除了个别样点的蒽、菲、苯并[a]蒽或屈这 4 种多环芳烃的含量未测出外,根据评价标准,其余各监测点表层底泥中 PAHs 都属于来自于化石燃料燃烧的指标范围内。

综上所述,南四湖表层底泥中的多环芳烃主要来自于煤、石油等化石燃料的不完全燃烧。但由于各监测样点中都不同程度的测出了低环数(2~3)的 PAHs,尽管在样点中含量较低,但说明也存在一定的石油排放污染,只是污染程度较小,但也不容忽视。南四湖周围分布着兖州、徐州、滕南等各大煤矿,煤炭资源丰富,而且各河流沿岸煤矿和煤化工企业很多,该地区为我国东部重要的能源基地,有较多大型火电厂;冬天,沿岸居民多以燃煤为主。此外,南四湖为京杭运河的南北衔接段,湖泊内的船只大多以柴油机为主,湖泊受船只尾气的污染影响等种种因素造成煤、

石油等化石燃料的不完全燃烧成为南四湖表层底泥中的 PAHs 主要来源。但是,大量船只在湖泊内通行,不可避免的也会造成一定程度的石油泄漏,造成 PAH 污染。

表 2 LMW、HMW 的含量、所占比例及其比值

样点	LMW/ (ng · g <sup>-1</sup> )	HMW/ (ng · g <sup>-1</sup> )	LMW 所占 比例	HMW 所占 比例	LMW/HMW	An/ (An+Ph)	BaA/ (BaA+Chr)
1	9.713	34.109	0.222	0.778	0.285	0.559	0.460
2	5.727	25.188	0.185	0.815	0.227	0.893	0.488
3	1.708	21.277	0.074	0.926	0.080	—	0.489
4	0.828	14.590	0.054	0.946	0.057	—	—
5	1.359	28.431	0.046	0.954	0.048	—	0.490
6	4.609	7.473	0.381	0.619	0.617	0.927	—
7	1.401	18.184	0.072	0.928	0.077	0	—
8	1.169	2.029	0.366	0.634	0.576	—	—
9	1.993	28.681	0.065	0.935	0.069	0	0.487
平均值	3.167	19.996	0.163	0.837	0.226	0.699	0.363

注:“—”是由于个别点位的蒽、菲、苯并[a]蒽、或屈的含量未测出,因此比值为空。

4 南四湖表层底泥中的多环芳烃的生态风险评价

Long<sup>[18]</sup>最早对水环境表层沉积物中的多环芳烃等优先控制的持久性有毒有机污染物进行了生态效应的研究和风险评价<sup>[19]</sup>,制定了海洋和河口湾沉积物中有机污染物可能产生生物负效应的生态风险评价标准(表 3),确定了效应区间低值(ERL,生物有害效应几率<10%)和效应区间中值(ERM,生物有害效应几率>50%)。

表 3 表层底泥中 8 种多环芳烃的生态风险评价 ng/g

多环芳烃	ERL	ERM	含量
萘(Na)	160	2100	0.451~1.467
芴(Fl)	19	540	0~0.949
菲(Ph)	240	1500	0~3.259
蒽(An)	85	1100	0~4.124
荧蒽(Fla)	600	5100	1.779~5.71
苯并[a]蒽(BaA)	261	1600	0~7.789
屈(Chr)	384	2800	0~11.38
苯并[b]荧蒽(Bbf)	—	—	0~12.141
总量	4200	44792	3.198~43.822

其中,Bbf 没有安全值,只要在环境中存在就会对生物产生毒副作用,在南四湖表层底泥中检测到 Bbf 的存在,虽然含量不高,但会对水生生物造成一定程度的影响。将样点中多环芳烃的实际含量与风险值进行比较可以看出,测出的 8 种 PAHs 在表层底泥中的含量及其总量均远远低于效应的区间低值,均未对生物造成不利影响,生态风险很小。

表层沉积物 PAHs 污染在世界范围内是普遍存在的,表 4 为我国及世界多地不同水系表层底泥中 16 种优先控制多环芳烃的含量,通过比较可以看出,南

四湖表层底泥中的 PAHs 含量基本上是相对最低的,表层沉积物 PAHs 污染不明显,属于低污染水平。

表 4 不同水系表层底泥中 16 种优控多环芳烃的含量

采样地点	ΣPAHs16(ng/g)	参考文献
九龙江	515.1~1522.4	[20]
太湖	253.6~643.6	[21]
珠江	735.5	[20]
闽江	316.8~1260.7	[20]
东海	117.1~211.7	[22]
黄渤海潮间带	20.4~5734.2	[23]
厦门马銮湾	564.1~2954.2	[24]
湄洲湾	196.7~299.7	[25]
Erie(五大湖)	224~5304	[26]
Ladoga 湖(俄国)	23~1300	[27]
Venice 湖(意大利)	315~810	[28]
Santander Bay(西班牙)	20~344600	[29]
Orwell 河(英国)	581~11608	[30]
Todos Santos Bay(墨西哥)	7.6~813	[31]
Kitimat Harbour(加拿大)	310~528000	[32]
Humber 河口	1349~10393	[30]
南四湖	3.198~43.822	

注:取湖内点位多环芳烃值。

5 结论

(1) 南四湖表层底泥中 PAHs 的含量在河流入湖口处普遍较高,主要是受入湖河流污染物中多环芳烃的影响。这些河流排泄的废污水在河口区易于滞缓沉淀,其中的多环芳烃类污染物经过一系列的化学、物理吸附、生物等作用发生沉降而在表层底泥中不断积累,是导致这些地区 PAHs 含量最高的主要原因。此外,微山岛和二级坝附近表层底泥中 PAHs 的含量也较高,这是因为,微山岛是著名的旅游区,人流集中,大量的生活、服务和工农业废水直接排入湖泊,

且有周边城市污水的汇入,使得 PAHs 的含量较高。由于二级坝的拦截作用,造成集中了南四湖主要污染源的上级湖水在二级坝北侧的停积,其中的有机物质在坝的周围大量堆积,因此,坝北侧表层底泥中的多环芳烃含量也较高。总体来看,上级湖表层底泥中 PAHs 的含量要高于下级湖,这主要与湖水的流向和湖水的自净作用有关。

(2) 根据多环芳烃的丰度、 $An/(An + Ph)$  和  $BaA/(BaA + Chr)$  等比值特征判断 PAHs 来源的标准,南四湖表层底泥中的 PAHs 由煤、石油等化石燃料的不完全燃烧所形成。南四湖周围分布着众多的煤矿和煤化工企业,且作为京杭大运河在湖泊中运行的大量船只主要以柴油发动机为主,再加上周围居民的燃煤取暖,使得化石燃料的不完全燃烧成为南四湖表层底泥中 PAHs 的主要来源是非常符合实际状况的。同时,南四湖中大量船只的通行,不可避免的会发生油类泄漏,因此,石油污染源也是存在的,且不容忽视。

(3) 采用 Long 制定的海洋和河口湾表层沉积物中多环芳烃生态风险评价标准进行评价,并且与世界范围内 16 条水系表层底泥中 16 种优控 PAHs 的含量进行比较,结果表明,南四湖表层沉积物中的 PAHs 含量远低于效应区间的低值,尚未对生物造成不利影响,生态风险较小,属于轻微污染水平。

致谢:野外调查、采样工作中杜臣昌、吕建树、张伦、于泉洲、孙京姐、程刚等师兄、师姐做了大量的工作,在此表示真挚的感谢。

#### 参考文献:

- [1] 余刚,黄俊.持久性有机污染物:备受关注的全球性环境问题[J].环境保护,2001,11(4):37-39.
- [2] Rippey B, Rose N, Yang H, et al. An assessment of toxicity in profundal lake sediment due to deposition of heavy metals and persistent organic pollutants from the atmosphere[J]. Environment International, 2008, 34(3): 345-356.
- [3] Canton L, Grimalt J O. Gas chromatographic-mass spectrometric characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons in polluted coastal sediment[J]. Journal of Chromatography, 1992, 607(2): 279-286.
- [4] 朱晨,李红莉.南四湖上级湖表层沉积物中多环芳烃的含量及分布特征[J].中国环境监测,2009,25(2):75-78.
- [5] 史双昕,杨永亮.南四湖表层沉积物中多环芳烃的分布及其来源[J].青岛大学学报,2005,20(4):95-99.
- [6] 汤智,廖海清.成渝经济区河流表层沉积物中多环芳烃的分布、来源及生态风险评价[J].环境科学,2011,32(9):2639-2644.
- [7] 武周虎.南四湖水质空间分布监测分析与水环境问题解析[J].长江流域资源与环境,2011,8(20):137-143.
- [8] 刘哲,张玉山.南四湖表层沉积物中 PAHs 的分布、来源及变化分析[J].中国人口·资源与环境,2010,20(6):136-140.
- [9] 汤智,廖海清.成渝经济区河流表层沉积物中多环芳烃的分布、来源及生态风险评价[J].环境科学,2011,32(9):2639-2644.
- [10] Mai B X, Fu J M, Sheng G Y, et al. Chlorinated and polycyclic aromatic hydrocarbons in riverine and estuarine sediments from Pearl River Delta, China[J]. Environmental Pollution, 2002, 117(3): 457-474.
- [11] Rocher V, Azimi S, Moilleron R, et al. Hydrocarbons and heavy metals in the different sewer deposits in the 'Le Marais' catchment (Paris, France): stocks, distributions and origins[J]. Science of the Total Environment, 2004, 323(1/3): 107-122.
- [12] Liu Y, Chen L, Zhao J F, et al. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediment of rivers and an estuary in Shanghai, China[J]. Environmental Pollution, 2008, 154(2): 298-305.
- [13] Li G, Xia X, Yang Z, et al. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the middle and lower reaches of the Yellow River, China[J]. Environmental Pollution, 2006, 144(3): 985-993.
- [14] Zhang Z L, Huang J, Yu G, et al. Occurrence of PAHs, PCBs and organochlorine pesticides in the Tonghui River of Beijing, China[J]. Environmental pollution, 2004, 130(2): 249-261.
- [15] Yunker M B, Macdonald R W, Vingarzan R, et al. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition[J]. Organic Geochemistry, 2002, 33(4): 489-515.
- [16] 赵健,周怀东.河北王怀水库沉积物多环芳烃的分布、来源及生态风险评价研究[J].湖泊科学,2009,21(5): 647-653.
- [17] 庄婉娥,王厦霞.泉州湾表层沉积物中多环芳烃的含量分布特征及污染来源[J].环境化学,2011,30(5): 928-934.
- [18] Long E R, Macdonald D D, Smith S L, et al. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuary sediments[J]. Environ. Manage., 1995, 19(1): 81-97.
- [19] 张路,范成新.太湖底泥和疏浚场中持久性有机污染物的分布及潜在生态风险[J].湖泊科学,2007,19(1): 18-24.

景观均匀度、景观破碎度、聚集度指数、廊道连通度等指标<sup>[13]</sup>,本研究对景观稳定性的评判,主要采用反映景观异质性的景观均匀度、景观破碎度以及景观多样性指数等指标来衡量,同类研究中已有一定的进展,但目前仍然有待进一步深入和完善。

对于景观生态系统功能的测算,本研究采用的是生态服务价值法,由于单位生态服务价值量选用谢高地等研究中的全国平均值,必然与本区域的实际状况存在一定的差异,因此需要进行单位价值量的校正,但作为相对价值量进行方案比较,一定程度上也可以反映两者差别。

南方低丘岗地改造主要在镇政府和土地管理部门的指导下以村为行政单位划分项目区并推行,主要考虑到村级行政单位相对独立有利于资金分配以及施工组织,而改造过程中土地利用类型的转变由村委统一协调相对容易实现。对村级尺度的景观生态格局调整所引起的生态稳定性状态,因尺度较小其表现并不一定突出,但作为规划的指导,具有一定的实际意义。本研究作为一种尝试,需进一步深入探讨。

#### 参考文献:

- [1] 毛显强,钟瑜,张胜.生态补偿的理论探讨[J].中国人口·资源与环境,2002,12(4):38-41.
- [2] 肖笃宁,解伏菊,魏建兵.区域生态建设与景观生态学的使命[J].应用生态学报,2004,15(10):1731-1736.
- [3] 钟学斌,喻光明,张敏,等.丘陵山区土地利用的景观空间格局与农业景观生态设计[J].山地学报,2008,26(4):473-480.
- [4] 黄霄羽,毕银丽,张占录.土地整理中景观生态规划设计系统构建[J].资源与产业,2008,10(5):125-129.
- [5] 任志远,张艳芳.土地利用变化与生态安全评价[M].北京:科学出版社,2003:105-107.
- [6] Hargis C D, Bissonette J A, David J L. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation[J]. Landscape Ecology,1989,13(3):167-186.
- [7] 庞彦军,刘开第,张博文.综合评价系统客观性指标权重的确定方法[J].系统工程理论与实践,2001(8):37-42.
- [8] 赵景柱.生态系统服务的物质质量与价值量评价方法的比较分析[J].应用生态学报,2002,11(2):290-292.
- [9] Costanza R. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature,1997,387:253-260.
- [10] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.生态系统服务的供给、消费和价值化[J].资源科学,2008,30(1):93-99.
- [11] 卢远,华瑾,邓兴礼.丘陵地区土地可持续利用的景观生态评价[J].山地学报,2004,22(5):533-538.
- [12] 刘秀花,李林.庄浪县梯田化建设对生态—经济—社会协调发展的作用[J].水土保持研究,2007,14(2):65-67.
- [13] 刘勇,吴次芳,岳文泽.土地整理项目区的景观格局及其生态效应[J].生态学报,2008,28(5):2261-2269.
- [14] Yuan D, Yang D, Wade T L, et al. Status of persistent organic pollutions in the sediment from several estuaries in China[J]. Environment Pollution,2001,114(1):101-111.
- [15] 游静,陈云霞,陈淑莲,等.太湖水体中有机污染物的分析[J].分析测试与技术,1999(4):213-218.
- [16] 张宗雁,郭志刚,张干,等.东海泥质区表层沉积物中多环芳烃的分布特征及物源[J].地球化学,2005,34(4):379-386.
- [17] Ma M, Feng Z, Guan C, et al. DDT, PAH and PCB in sediments from the Intertidal Zone of the Bohai Sea and the Yellow Sea[J]. Marine Pollution Bulletin,42(2):132-136.
- [18] 田蕴,郑天凌,王新红,等.厦门马銮湾养殖海区多环芳烃的污染特征[J].海洋环境科学,2003,22(1):29-33.
- [19] 林建清,王新红,洪华生,等.湄洲湾表层沉积物中多环芳烃的含量分别及来源分析[J].厦门大学学报,2003,42(5):633-637.
- [20] Anna Smirnov, Teofilo A, A Alex Smimov, et al. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of Lake Erie, Part 1. Spatial distribution, transport and deposition [J]. Org. Geochem.,1998,29(5/7):1813-1828.
- [21] Ristila T, Pellinen J, Patricia L, et al. Characterization of Lake Ladoga Sediments. II: Toxic Chemicals [J]. Chemosphere,1996,32(6):1179-1192.
- [22] Frignani M, Bellucci L G, Favotto M, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the Vwnice Lagoon[J]. Hydrobiologia 2003,494(1/3):283-290,.
- [23] Viguri J, Verde J, Irabien A. Environment assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of the Santander Bay, Northern Spain [J]. Chemosphere,2002,48(2):157-165.
- [24] Rogers H R. Assessment of PAH contamination in estuarine sediments using the equilibrium partitioning-toxic unit approach[J]. Science of the Total Environment,2002,290(1/3):139-155.

(上接第 146 页)