

泥蚶和南美白对虾综合养殖池塘氮磷收支研究

何京¹, 肖善势², 何琳^{2*}, 林志华²

(1. 浙江万里学院海洋生物种业研究院, 浙江宁波 315100; 2. 浙江万里学院生物与环境学院, 浙江宁波 315100)

摘要 为了研究池塘虾贝混养模式中不同养殖密度氮磷收支变化, 设置 2 个养殖密度(低密度组 TL, 高密度组 TH), 通过定期采样计算综合养殖池塘的氮磷输入和输出。结果表明, 饲料是氮元素的最大来源, 在 TL 中占氮总输入量的 55.31%, 低于 TH 的 61.71%; 补充水是氮元素的第二大来源, 在 TL 中占氮总输入量的 23.87%, 高于 TH 的 17.68%; 系统中磷元素的输入主要来源于饲料, 在 TL 中占磷总输入量的 75.93%, 低于 TH 的 80.26%; 肥料是系统中磷元素的第二大来源, 在 TL 中占磷总输入量的 13.30%, 高于 TH 的 9.33%。系统氮的输出中, 养殖生物移出、底泥沉积、排水是氮输出的主要方式, TL 养殖生物移出占氮总输出量的 30.43%, 低于 TH 的 35.9%; TL 底泥沉积占氮总输出量的 30.95%, 高于 TH 的 27.35%; TL 排水占氮总输出量的 25.35%, 高于 TH 的 21.17%。系统磷的输出中, 底泥沉积是主要的输出方式, TL 底泥沉积占磷总输出量的 51.16%, 低于 TH 的 52.29%; 其次是养殖生物移出, TL 养殖生物移出占磷总输出量的 22.68%, 低于 TH 的 26.06%。在氮、磷利用率方面, TL 低于 TH。

关键词 氮磷收支; 泥蚶; 南美白对虾; 综合养殖

中图分类号 X714

文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)12-0082-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.12.021

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on Nitrogen and Phosphorus Budget in Culture Pond of *Tegillarca granosa* and *Penaeus vannamei*

HE Jing¹, XIAO Shan-shi², HE Lin² et al (1. Institute of Marine Biological Seed Industry, Zhejiang Wanli University, Ningbo, Zhejiang 315100; 2. College of Biology and Environment, Zhejiang Wanli University, Ningbo, Zhejiang 315100)

Abstract To reveal the changes of nitrogen and phosphorus budget in pond of shrimp and shellfish mixed culture, the experiment set two aquaculture densities treatment (low density group, TL; high density group, TH). The nitrogen and phosphorus inputs and outputs from integrated aquaculture ponds were analyzed based on regular sampling. The results showed that feed was the largest source of nitrogen, accounting for 55.31% of the nitrogen input, which was lower than that in TH (61.71%); supplemental water was the second largest source of nitrogen, accounting for 23.87% of the nitrogen input in TL, which was higher than that in TH (17.68%). The phosphorus input in the system mainly came from feed, accounting for 75.93% of the phosphorus input in TL, lower than that in TH (80.26%). Fertilizer was the second largest source of phosphorus in the system, accounting for 13.30% of total phosphorus input in TL, which was higher than that in TH (9.33%). The removal of culture organisms, sediment deposition and drainage were the main ways of nitrogen output. The removal of culture organisms from TL accounted for 30.43% of the nitrogen output, which was lower than that of TH (35.9%). The sediment deposition of TL accounted for 30.95% of the nitrogen output, which was higher than TH 27.35%. The drainage of TL accounted for 25.35% of the nitrogen output, which was higher than TH (21.17%). Sediment deposition was the main way of the phosphorus output. The sediment of TL accounted for 51.16% of the phosphorus output, lower than sediment of TH 52.29%. The second part was the removal of cultured organisms, which accounted for 22.68% of the phosphorus output in TL, lower than that in TH (26.06%). In nitrogen and phosphorus utilization, TL was lower than TH in high density group.

Key words Nitrogen and phosphorus budget; *Tegillarca granosa*; *Penaeus vannamei*; Composite cultures

20 世纪 90 年代, 由于对虾病害暴发, 全国对虾养殖产业陷入困境, 浙江地区率先发展了海水池塘虾贝混养模式, 取得了良好的经济效益^[1]。此后, 该模式在沿海地区得到了广泛应用。经过多年发展, 目前已发展了虾贝、虾蟹贝、鱼虾等多种混养模式。

在虾贝池塘养殖系统中, 氮、磷是水产养殖生物生长发育重要的营养元素, 同时也是池塘物质循环的重要组成部分。目前国内外对于虾贝混养模式池塘的氮磷收支的研究较为全面, 如对虾青蛤混养模式^[2]、对虾菲律宾蛤仔混养^[3]、对虾缢蛏混养^[4]等。但关于养殖密度及泥蚶养殖过程中氮磷收支研究尚未见报道。因此, 笔者通过对比不同养殖密度泥蚶、对虾混养池塘氮磷收支情况, 阐明氮磷元素在该模式下的收支情况, 旨在为科学养殖和水产绿色养殖发展提供理

论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验设计 采用 6 个陆基海水池塘。各试验池塘面积相同, 约为 550 m², 底部四周为环沟, 深约 80 cm, 宽约 100 cm; 中央滩面用于泥蚶养殖。试验期间保持水深 60~80 cm(以滩面为基准), 不定期换水。试验开始前, 池塘用漂白粉进行清塘。池塘进水后用漂白粉消毒, 曝晒 3~5 d 去除余氯, 撒尿素进行施肥。池塘采用纳米管底充氧方式增氧。

共设 2 个处理, 其中低密度组编号为 TL, 南美白对虾放养数量为 1×10⁴ 尾, 泥蚶苗种放养数量为 1.8×10⁴ 粒; 高密度组编号为 TH, 南美白对虾放养数量为 2×10⁴ 尾, 泥蚶苗种放养数量为 3.6×10⁴ 粒。每个处理各设 3 个重复。具体放养情况及苗种规格见表 1。试验用泥蚶苗种购自福建宁德, 南美白对虾虾苗购自浙江宁波。

1.2 养殖管理 试验期间每天投喂对虾饲料 2 次, 时间分别为 07:00 和 16:00。试验期间根据实际情况不定期换水, 换水时测量池水和水源的总氮、总磷含量, 并记录换水量。池塘 24 h 不间断充气。

1.3 样品采集及氮磷含量测定 池塘水样采集: 每个池塘设

基金项目 宁波市公益性计划项目(2019C10039); 财政部和农业农村部; 国家现代农业产业技术体系资助(CARS-49); 浙江省“尖兵”“领雁”研发攻关计划项目(2022C02027)。

作者简介 何京(1989—), 男, 山东寿光人, 研究实习员, 硕士, 从事贝类池塘养殖研究。* 通信作者, 副教授, 博士, 从事贝类养殖研究。

收稿日期 2022-03-07; **修回日期** 2022-04-07

5 个采样点,四周各 1 个,中央 1 个。每 30 d 采集水样 2 次。每个采样点采集表层水样 1 L,混匀后测定总氮和总磷。

表 1 各试验组放养情况

处理 Treatment	南美白对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>		泥蚶 Mud clam	
	体长 Body length cm	体重 Weight g	体长 Body length cm	体重 Weight g
TL	1.92±0.55	0.109±0.042	2.58±0.63	5.73±0.48
TH	1.92±0.61	0.109±0.033	2.58±0.54	5.73±0.59

雨水样品采集:在雨天将带有刻度的容器置于无遮挡的室外空旷地,记录降水量,并将所采集到的雨水带回实验室测定总氮、总磷含量。

底泥样品采集:采用无扰动底泥采集器采集表层 5 cm 的底泥。

水样测定方法:参照海洋监测规范(第 4 部分:海水分析,GB 17378.4—2007)中的过硫酸钾氧化法测定总氮、总磷含量。

泥蚶、对虾、饲料采用凯氏定氮法测定总氮含量,底泥经硝酸溶解后采用过硫酸钾氧化法测定。泥蚶、对虾、饲料总磷含量测定采用分光光度法(GB/T 6437—2002)。

1.4 数据处理

1.4.1 氮、磷收支公式。氮(磷)的输入=放养生物的氮(磷)含量+投喂饲料的氮(磷)含量+大气降水的氮(磷)含量+养

殖水体的氮(磷)含量。氮(磷)的输出=收获生物的氮(磷)含量+底层沉积的氮(磷)含量+养殖水体的氮(磷)含量+排出水体的氮(磷)含量。在试验中,由于池塘水体中浮游植物主要以硅藻和甲藻为主,所以生物固氮量未计算在内。试验池塘四周均具排水沟,所以地表径流带入的氮、磷含量可以忽略。试验池塘水体氨氮浓度较低,氮的挥发量也未作考虑。

1.4.2 氮、磷利用率计算公式。系统氮、磷利用率是指养殖生物增重部分所含氮、磷占系统中氮、磷总输入量的比例。计算公式:

$$(UE)_X = [(Wh)_X - (Ws)_X] \times [N(\%)_X \text{ 或 } P(\%)_X] / (N_i \text{ 或 } P_i)$$

$$(UE)_i = \sum (UE)_X$$

式中, X 表示对虾或泥蚶; $(UE)_X$ 表示氮或磷的利用率(%); $(Wh)_X$ 表示收获时 X 的总物质重量; $(Ws)_X$ 表示试验开始时 X 的总物质重量; $N(\%)_X$ 或 $P(\%)_X$ 表示 X 的 1 g 干重含氮或磷的百分比; N_i 或 P_i 表示系统输入的总氮或总磷的量; $(UE)_i$ 表示总利用率(%)[2]。

1.4.3 处理方法。使用 SPSS 19.0 对测量结果进行(ANOVA)方差分析,以 $P<0.05$ 作为差异显著水平。

2 结果与分析

2.1 养殖生物生物量 试验结束时统计养殖生物产量,结果见表 2。从表 2 可以看出,收获时 TL 组南美白对虾体长、体重均显著高于 TH 组。泥蚶在 2 种养殖模式壳长、体重差异不显著。2 种生物 TH 组总产量均高于 TL 组。

表 2 各处理收获情况

处理 Treatment	南美白对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>			泥蚶 Mud clam		
	体长 Body length//cm	体重 Weight//g	总产量 Total output//kg	壳长 Shell length//cm	体重 Weight//g	总产量 Total output//kg
TL	8.24±0.74 a	5.31±1.40 a	61.18±12.32 a	2.79±0.52 a	8.04±1.43 a	101.20±15.31 a
TH	7.50±0.39 b	4.56±1.37 b	94.14±17.31 a	2.70±0.67 a	7.44±1.30 a	203.01±26.35 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)
Note:Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments ($P<0.05$)

2.2 南美白对虾饲料、肥料及养殖生物氮、磷含量 从表 3、4 可以看出,收获时养殖生物氮、磷含量均有所增加。其中,南美白对虾磷含量(干重)增幅明显,由放养时的 0.63%增加到收获时的 1.17%,其余则增加幅度较小。

表 3 饲料和肥料氮、磷(干重)含量

Table 3 Contents of N,P in feed and fertilizer			%
种类 Species	氮 Nitrogen	磷 Phosphorus	
饲料 Feed	8.32±0.35	1.62±0.05	
尿素 Urea	46.1±0.03	—	
复合肥 Compound fertilizer	14.91±0.02	14.72±0.01	

2.3 氮、磷收支情况

2.3.1 氮、磷输入。试验期间,不同处理养殖生态系统各部分氮、磷输入量及比例见表 5、6。从表 5、6 可以看出,系统中饲料是氮元素的最大来源;补充水(雨水、换水操作进入池塘

的水)是氮元素的第二大来源;肥料也是氮元素的重要来源;对虾苗种占系统氮、磷输入总量的比例最小。

表 4 泥蚶和南美白对虾的氮、磷(干重)含量

时间 Time	南美白对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>		泥蚶 Mud clam	
	氮 Nitrogen	磷 Phosphorus	氮 Nitrogen	磷 Phosphorus
放养 Stocking	11.03±1.13 a	0.63±0.01 a	0.47±0.01 a	0.15±0.01 a
收获 Harvest	11.63±1.04 b	1.17±0.01 b	0.48±0.01 a	0.16±0.01 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)
Note:Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments ($P<0.05$)

系统中磷元素的输入主要来源于饲料和肥料,两者合计占磷输入总量的 89.23%和 89.59%;补充水也是磷输入的重要来源。

2.3.2 氮、磷输出。试验期间,不同处理组养殖系统各部分氮、磷输出量和比例见表 7、8。从表 7 和 8 可以看出,TL 组中底层沉积占氮输出总量的比例最大,达 30.95%;收获对虾中含氮量占总输出量的 25.59%,是氮输出的主要部分;收获

泥蚶占输出总量比例最小。TH 组各部分输出氮占氮总输出量的比例具有差异。TH 组中收获对虾含氮量是氮输出量的最大部分;底层沉积次之。

表 5 不同处理氮、磷输入量
Table 5 N and P input of different treatments

处理 Treatment	元素 Element	虾苗 Shrimp fry	泥蚶 Mud clam	饲料 Feed	肥料 Fertilizer	水层 Water layer	补充水 Supplementary water	总量 Total quantity
TL	N(SD)	30.32±1.32	292.27±33.48	4 317.29±223.47	610.10±25.32	692.46±32.63	1 863.47±36.91	7 805.92±4 523.19
	P(SD)	1.73±0.02	37.31±2.93	840.63±32.84	147.20±13.87	15.40±1.39	64.85±2.57	1 163.08±62.12
TH	N(SD)	60.64±2.38	584.55±32.74	6 503.23±279.94	610.10±21.46	916.28±35.83	1 863.47±421.38	10 538.26±834.58
	P(SD)	3.46±0.02	74.62±4.29	1 266.25±32.74	147.20±18.36	21.27±2.15	64.85±8.36	1 689.58±163.37

表 6 不同处理氮、磷输入比例
Table 6 Percentages of N and P inputs of different treatments

处理 Treatment	元素 Element	虾苗 Shrimp fry	泥蚶 Mud clam	饲料 Feed	肥料 Fertilizer	水层 Water layer	补充水 Supplementary water
TL	N	0.39	3.74	55.31	7.82	8.87	23.87
	P	0.16	3.37	75.93	13.30	1.39	5.86
TH	N	0.58	5.55	61.71	5.79	8.69	17.68
	P	0.22	4.73	80.26	9.33	1.35	4.11

不同处理组中底层沉积是磷元素输出量的最大部分,分别占磷输出总量的 51.16%和 52.29%;收获养殖(对虾+泥蚶)生物中的含磷共计占总输出的 22.68%、26.06%,仅次于

底层沉积的磷,且该部分磷输出比例 TL 组低于 TH 组;水层积累的磷占总输出磷的 7.38%、9.83%,较试验初期水层含磷比例有所升高。

表 7 不同处理氮、磷输出量
Table 7 The output of N and P of different treatments

处理 Treatment	元素 Element	对虾 Prawn	泥蚶 Mud clam	底层沉积 Deposition	水层 Water layer	排水 Drainage	总量 Total quantity
TL	N(SD)	1 880.55±263.84	355.72±52.36	2 274.76±253.46	974.47±53.82	1 863.24±163.83	7 348.74±783.36
	P(SD)	189.19±17.64	51.88±9.37	543.67±28.48	104.46±8.6	173.47±18.38	1 062.67±63.26
TH	N(SD)	2 893.70±365.39	713.60±64.37	2 747.93±173.64	1 566.53±93.74	2 127.29±73.47	10 049.05±398.72
	P(SD)	291.11±26.37	104.07±12.73	792.83±42.38	111.91±12.94	216.43±21.83	1 516.35±63.54

表 8 不同处理氮、磷输出比例
Table 8 Percentages of N and P inputs of different treatments

处理 Treatment	元素 Element	对虾 Prawn	泥蚶 Mud clam	底层沉积 Deposition	水层 Water layer	排水 Drainage
TL	N	25.59	4.84	30.95	13.26	25.35
	P	17.80	4.88	51.16	9.83	16.32
TH	N	28.80	7.10	27.35	15.59	21.17
	P	19.20	6.86	52.29	7.38	14.27

2.3.3 不同处理组氮、磷的利用率比较。试验期间,各处理氮、磷利用率见表 8。由表 8 可知,TH 组氮利用率高于 TL 组氮利用率。此外,对虾氮利用率高于泥蚶氮利用率。

TH 组磷利用率稍高于 TL 组磷利用率,均高于 TL 组对虾、泥蚶的磷利用率。从养殖品种来看,对虾氮利用率高于磷利用率。

3 讨论

3.1 不同密度氮、磷元素的输入差异 研究表明,人工养殖生态系统中氮、磷的主要来源为饲料和肥料^[2,5-6],在不使用

肥料的养殖模式中,饲料占比最大^[3,7]。对虾室内集约化养殖系统中,饲料输入氮磷量分别占总输入氮磷的 93.70%和 99.09%^[8];在对虾池塘围隔养殖系统中,饲料和肥料输入氮分别占总输入氮的 49.7%~54.5%和 47.5%~50.1%^[5];在虾、蟹、贝三元混养系统中,饵料输入氮磷量分别占总输入氮磷的 84.41%~89.75%和 96.64%~98.35%^[3];在对虾、罗非鱼混养系统中,饲料和水环境调节剂输入氮磷量分别占总输入氮磷的 81.8%~91.9%和 96.0%~98.7%^[9]。在该研究中,各处理组饲料和肥料输入氮磷量占总输入氮磷量的 63.13%~

67.50%和 89.23%~89.59%,其中饲料和肥料磷的输入量所占比例与上述研究相近,而氮的输入量所占比例较小。可能因为在此试验中对虾放养密度较小,投喂饲料量较小以及换水较频繁造成的。

养殖生态系统中,氮输入来源除饲料和肥料外,养殖生物苗种、降水、生物固氮以及补充水等也是氮、磷来源的主要方式。其中当水体存在大量蓝藻时,通过生物固氮输入的氮不可忽视^[10];另外在缺氧环境下,反硝化作用导致的氮输入也不可忽视^[11]。该试验中浮游植物以硅藻和甲藻为主,因此生物固氮作用可以被忽略。在半封闭养殖系统中,上述方式输入氮量占氮总输入量的 45.35%^[2];在池塘陆基围隔试验中,上述方式输入氮量占总输入量的 8.47%~20.23%^[12]。在该研究中,上述方式输入氮量占氮总输入量的 36.87%~32.50%,高于其他学者的研究结果。主要原因是上述试验过程中不换水,只补充蒸发水,纳水输入的氮量较小,而该试验通过纳水输入的氮量较多。

3.2 不同养殖密度氮、磷元素的输出差异 氮、磷元素主要支出项目为底层沉积。在工厂化对虾养殖系统中,沉积物氮、磷含量分别占氮磷输出总量的 30.9%~43.9%和 51.5%~62.0%^[13];在池塘围隔对虾养殖系统中,对虾单养组底层沉积氮磷量占氮磷总输出的 50.5%和 80.0%;对虾-罗非鱼混养模式中底层沉积氮磷量占氮磷总输出的 28.1%~39.4%和 72.3%~78.0%^[9];泰国对虾养殖池塘底层沉积氮磷量占氮磷总输出的 30.6%和 83.7%;Thakur 等^[14] 研究显示池塘底泥氮、磷的沉积量占氮磷总输出的 52.8%和 66.7%。该研究中氮磷的底层沉积占输出总量的 27.35%~30.95%和 51.16%~52.29%,相比其他学者的研究结果,该试验养殖系统底层沉积的氮磷总输出比例较小。在藏维玲等^[8]的研究中,由于增氧机和气石的扰动作用,水中残饵和排泄物难以沉淀,其废水氮磷含量占总输出量的 53%以上。试验中混养的泥蚶为底栖贝类,其生命活动促进了池塘底部水层的扰动,促进了沉积层与水层的物质交换。

在氮磷支出项目中,收获养殖生物氮磷含量是氮磷总输出量的重要组成部分。不同的养殖生物和养殖方式,收获养殖生物方式输出氮磷占氮磷总输出量的比例差别较大。在虾、贝混养系统中,收获的虾、贝氮含量占氮输出总量达 33.2%,虾、贝磷含量占磷输出总量的 31.81%^[2];在匙吻鲟混养系统中,捕获鱼含氮占氮总输出的 27.90%~56.47%,捕获鱼含磷占氮总输出的 35.06%~48.11%^[15],精养虾池中,以收获虾形式输出的氮、磷占氮磷总输出量的 29.46%~40.46%和 12.64%~17.41%^[16]。试验中,养殖生物氮、磷输出分别占氮磷总输出量的 30.43%~35.90%和 22.68%~26.06%。该比例可以反映养殖系统的养殖效果,比例的大小与管理技术水平、苗种品种、质量密切相关。

通常渗漏也被认为是营养物质流失的途径之一。含沙量高的海岸区域每日渗漏可达 5 cm^[17],淡水鱼养殖池塘日渗漏约为 0.78 cm^[18]。

3.3 不同养殖密度氮、磷利用率差异 在水产养殖生产中,

生产成本直接关系到经济效益,提高饲料的利用率不仅可以减少成本,更能减少水产养殖业带来的环境污染。氮、磷利用率受养殖模式、养殖品种、养殖密度等因素的影响。目前,养殖系统中氮、磷利用率普遍较低。研究显示,氮利用率通常在 20%~47%,而磷利用率相对更低,只有 8%~24%^[9,19-20]。欧洲鲑鱼养殖过程中,饲料中的氮仅有 20%用于鱼体生长^[21];罗非鱼精养池塘中,氮、磷利用率分别为 18.0%~21.0%和 16.0%~18.0%^[22]。在该研究中,氮的利用率为 24.52%~28.11%,磷的利用率为 17.37%~18.77%,与已有报道基本一致。

养殖生物的混养可以有效提高氮、磷利用率。研究显示,虾、蟹混养系统中氮、磷利用率显著高于蟹单养系统^[10]。南美白对虾、青蛤和菊花心江蓠的三元混养系统中氮、磷利用率比单养组分别提高了 1.7%~13.3%和 2.3%~10%^[2]。此外,养殖生物的放养密度也会对氮磷利用率产生影响。在工厂化对虾养殖中,300 和 600 个/m³ 处理之间氮磷利用率无差异,而与 1 200、1 800 个/m³ 间差异显著,表现出随养殖密度的增加而降低的趋势^[13]。

4 结论

在不同处理中,饲料是池塘氮、磷输入的主要来源,补充水也是重要的来源之一。底层沉积和养殖生物移出是氮、磷的主要输出方式。TH 的氮、磷利用率高于 TL,且 TH 的氮、磷沉积和排出量低于 TL。因此,适当提高养殖密度有利于提高养殖生物的氮、磷利用率,减少环境污染。

参考文献

- [1] 林志华, 尤仲杰. 浙江滩涂贝类养殖高产技术模式[J]. 海洋科学, 2005, 29(8): 95-99.
- [2] 常杰, 田相利, 董双林, 等. 对虾、青蛤和江蓠混养系统氮磷收支的实验研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2006, 36(S1): 33-39.
- [3] 张凯, 田相利, 董双林, 等. 三疣梭子蟹、凡纳滨对虾和菲律宾蛤仔混养系统氮磷收支的研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2015, 45(2): 44-53.
- [4] 赵艳飞, 钟声平, 王贤丰, 等. 拟穴青蟹、斑节对虾和缢蛏不同混养系统氮、磷收支的研究[J]. 水产科学, 2021, 40(4): 483-491.
- [5] 齐振雄, 李德尚, 张曼平, 等. 对虾养殖池塘氮磷收支的实验研究[J]. 水产学报, 1998, 22(2): 124-128.
- [6] 高杉, 吴立新, 姜志强, 等. 牙鲆和贝类混养池塘中氮、磷收支的研究[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(3): 203-208.
- [7] 刘梅, 原居林, 倪蒙, 等. 大口黑鲈(*Micropterus salmoides*) 不同养殖模式氮磷收支及养殖效果研究[J]. 海洋与湖沼, 2021, 52(3): 718-728.
- [8] 臧维玲, 侯文杰, 戴习林, 等. 室内集约化养虾池以低频率运转水处理系统调控水质效果及氮磷收支[J]. 水产学报, 2013, 37(11): 1670-1678.
- [9] 李卓佳, 虞为, 朱长波, 等. 对虾单养和对虾-罗非鱼混养试验围隔氮磷收支的研究[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(4): 50-55.
- [10] HOWARTH R W, MARINO R, LANE J, et al. Nitrogen fixation in freshwater, estuarine and marine ecosystems. I. Rates and importance[J]. Limnology and oceanography, 1988, 33: 669-687.
- [11] BRIGGS M S P. A nutrient budgets of some intensive marine shrimp culture ponds in Thailand[J]. Aquaculture and fisheries management, 1994, 25: 789-811.
- [12] 董佳, 田相利, 董双林, 等. 三疣梭子蟹和凡纳滨对虾混养系统的氮磷收支的研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2013, 43(12): 16-24.
- [13] 李玉全, 李健, 王清印, 等. 养殖密度对工厂化对虾养殖池氮磷收支的影响[J]. 中国水产科学, 2007, 14(6): 926-931.
- [14] THAKUR D P, LIN C K. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems[J]. Aquaculture engineering, 2003, 27(3): 159-176.

(下转第 109 页)

“天人合一”的我国传统哲学观及其指导下的“人与自然和谐为本”的发展思想,以促进风景名胜区的可持续发展。由于我国水域型、海滨型风景名胜区资源相当丰富,且我国世界遗产中水域型的遗产较少,应加强水域型风景名胜区世界遗产的申报。同时,我国西部地区少数民族众多,在人类文明发展过程中,留下了许多璀璨的文明和建筑,历史文化资源众多,因此,未来应依托历史城镇型、田园乡村型等风景名胜区加强西部地区世界文化遗产的申报。

表 3 世界遗产保护的法律法规

Table 3 Laws and regulations related to world heritage protection

序号 No.	类别 Category	名称 Name
1	国家法律	中华人民共和国文物保护法
		中华人民共和国环境保护法
		中华人民共和国森林法
		中华人民共和国野生动物保护法
		中华人民共和国城乡规划法
		中华人民共和国土地管理法
2	行政法规	风景名胜区条例
		自然保护区条例
		历史文化名城名镇名村保护条例
		地质遗迹保护管理规定
3	地方法规	四川省世界遗产保护条例
		阿坝藏族羌族自治州实施《四川省世界遗产保护条例》的条例
4	遗产地专项法规	江西省三清山风景名胜区管理条例
		黄山风景名胜区管理条例
		泰山风景名胜区保护管理条例
		福建省武夷山世界文化和自然遗产保护条例
		湖南省武陵源世界自然遗产保护条例
		云南省三江并流世界自然遗产地保护条例

(3)风景名胜区实现了世界遗产文化与自然高度融合的突出普遍价值。风景名胜区以其突出的文化与自然景观资源,符合《世界遗产公约》中所强调的罕见的、超越国家界限的、对全人类的现在和未来均具有重要意义的普遍突出价值;同时也以其高度融合性展示了我国“天人合一”价值观念,对我国世界文化与自然双遗产、文化景观遗产的申报起到很大的促进作用。未来自然遗产、双遗产以及文化景观登录将持续以风景名胜区为主。

OUV 是世界遗产的核心概念,目前世界遗产的保护管理体系仍是基于原有的风景名胜区等保护地,缺乏实质针对 OUV 的保护管理体系建设,应加强建设以 OUV 为核心的保

护管理体系,包括法律法规、调研评估、管理体系、管理规划、科研监测、可持续利用等方面。

(4)风景名胜区为世界遗产保护管理提供了强有力的保障。目前,我国缺乏国家层面的世界遗产保护法律法规,遗产地的保护管理多是依托风景名胜区管理条例,其管理模式是将其当作文物和风景名胜来加以保护的。同时,对于风景名胜区类型的世界遗产地均依照风景区完善的管理规划和总体规划、各类详细规划、专项规划等文件进行指导管理工作,为遗产地的保护管理奠定了良好基础。

参考文献

[1] 董仲奎.面向文物的地理信息系统的建立[D].北京:清华大学,2004:4.

[2] 王昕,韦杰,胡传东.中国世界遗产的空间分布特征[J].地理研究,2010,29(11):2080-2088.

[3] 李震,李仁斌.2005—2014 年《实施世界遗产公约操作指南》的演变与发展趋势[J].西部人居环境学刊,2015,30(2):49-53.

[4] 余正军,田祥利,陈娅玲.我国世界遗产特征分析及空间分布原因分析[J].自然资源学报,2015,30(10):1762-1773.

[5] 曹佩菊,吴立.中国世界遗产的空间观察与特征分析[J].资源开发与市场,2016,32(5):546-549,566.

[6] 曹南燕.风景名胜区与世界遗产申报管理[J].建设科技,2010(3):61-63.

[7] 石春晖,代莹,宋峰.世界遗产保护制度与中国本土化保护体系关系:基于风景名胜区制度的探讨[J].中国园林,2016,32(3):75-79.

[8] 宋峰,邓浩.世界遗产分类体系背景下的中国风景名胜区[J].中国园林,2009,25(12):1-6.

[9] 梁明珠,鲍春晓,徐晓倩.国家级风景名胜区中的世界遗产项目开发保护与国际经验借鉴[J].经济地理,2009,29(1):141-146.

[10] 蔡礼彬,王琼,张鸿雁.中国申报世界遗产的现状与策略研究[J].中国文物科学研究,2012(2):26-30,40.

[11] 赵智聪,刘雪华,杨锐.作为文化景观的风景名胜区认知与保护问题识别[J].中国园林,2013,29(11):30-33.

[12] 张杨,严国泰.新疆风景名胜区文化景观的构成要素及其类型研究[J].中国园林,2017,33(9):115-119.

[13] 韩锋.世界遗产“文化自然之旅”与中国文化景观之贡献[J].中国园林,2019,35(4):47-51.

[14] 李晓黎,韩锋.中国风景名胜之潜在世界遗产文化景观价值贡献[J].城市发展研究,2015,22(8):118-124.

[15] 韩锋.世界遗产文化景观及其国际新动向[J].中国园林,2007,23(11):18-21.

[16] 韩锋.亚洲文化景观在世界遗产中的崛起及中国对策[J].中国园林,2013,29(11):5-8.

[17] 刘强.文化景观视角下的中国名山风景区价值研究[J].安徽农业科学,2012,40(15):8630-8631,8679.

[18] 杨锐,王应临,庄优波.中国的世界自然与混合遗产保护管理之回顾和展望[J].中国园林,2012,28(8):55-62.

[19] 李如生.中国世界遗产保护的现状、问题与对策[J].城市规划,2011,35(5):38-44.

[20] 陈润根.我国民族地区世界自然遗产法律保护的不足及完善:以贵州荔波为例[J].贵州民族研究,2018,39(8):18-21.

[21] 王元.“活态”世界遗产保护管理模式的实证分析:以都江堰为例兼论对中国大运河遗产的启示[J].遗产与保护研究,2018,3(11):24-32.

[22] 刘霞,占佳.我国世界遗产开发中存在的问题与对策[J].萍乡高等专科学校学报,2006(5):32-34.

(上接第 85 页)

[15] 陈建武.匙吻鲟(*Polydon spathula*)混养塘的氮磷收支研究[D].武汉:华中农业大学,2012.

[16] 李金亮,陈雪芬,赖秋明,等.凡纳滨对虾高位池养殖氮、磷收支研究及养殖效果分析[J].南方水产,2010,6(5):13-20.

[17] DANIELS H V,BOYD C E.Chemical budgets for polyethylene-lined, Brackishwater ponds[J].Journal of the world aquaculture society,1994,20(2):53-60.

[18] BOYD C E.Chemical budgets for channel catfish ponds[J].Transactions of the American fisheries society,1985,114(2):291-298.

[19] 高攀,蒋明,赵宇江,等.主养草鱼池塘水质指标的变化规律和氮磷收支[J].云南农业大学学报,2009,24(1):71-77.

[20] 戴修赢,蔡春芳,徐升宝,等.饵料结构对河蟹养殖池塘氮、磷收支和污染强度的影响[J].水生态学杂志,2010,31(3):52-56.

[21] OSENTHAL H,BRADBURG N B.International aquaculture: Trends and perspective[M].Ghent (Belgium):European Aquaculture Society Special Publication,1995.

[22] GREEN B W,BOYD C E.Chemical budgets for organically fertilized fish ponds in the dry tropics[J].Journal of the world aquaculture society,1995,26(3):284-296.