

大黄对仿刺参体腔液中非特异性免疫的影响

张元发¹, 盖春蕾^{2*}, 叶海斌², 樊英²

(1. 青岛市即墨区海洋与渔业局, 山东青岛 266200; 2. 山东省海洋生物研究院海水养殖病害防治重点实验室, 山东青岛 266104)

摘要 [目的]研究大黄对仿刺参非特异性免疫的影响。[方法]通过在饵料中添加 2%、5% 和 10% 不同比例的大黄粉来投喂仿刺参, 分析其体腔液中溶菌酶(LSZ)、超氧化物歧化酶(SOD)、碱性磷酸酶(AKP)及酸性磷酸酶(ACP)的酶活变化情况。[结果]LSZ 活性在第 21 天时, 3 个剂量组分别较空白组提高了 92.86%、96.43% 和 90.10%, 酶活达到最高; SOD 活性在第 7 天时, 3 个剂量组分别较空白组提高了 4.36%、8.87% 和 9.28%; AKP 活性, 2% 和 5% 剂量组均低于空白组, 10% 剂量组在第 21 天时达到最高值, 其酶活与空白组差异极显著($P < 0.01$); 2% 和 5% 剂量组分别在第 21、28 天时 ACP 酶活达到最高, 但与空白组间的差异不显著($P > 0.05$), 10% 剂量组在第 14 天时酶活达到最高, 与空白组间的差异极显著($P < 0.01$), 大黄对 ACP 活性的影响与添加剂量不呈正相关。[结论]拌饵投喂不同剂量的大黄对仿刺参体腔液中 4 种酶的影响不同; 10% 剂量组提高酶活的时间要早于 2% 和 5% 剂量组, 因此建议拌饵投喂 2% 和 5% 大黄的饲料 21 d 或 10% 大黄的饲料 14 d, 可提高仿刺参的非特异性免疫, 但持续投喂时间不宜过长, 停止投喂 14 d 左右各免疫指标可恢复至平常水平。

关键词 大黄; 仿刺参; 溶菌酶; 超氧化物歧化酶; 碱性磷酸酶; 酸性磷酸酶

中图分类号 S963.73 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)23-0057-04

Effects of Rhubarb on Non-specific Immunity in Coelomic Fluid of *Apostichopus japonicus*

ZHANG Yuan-fa¹, GAI Chun-lei², YE Hai-bin² et al (1. Qingdao Jimo Marine and Fishery Bureau, Qingdao, Shandong 266200; 2. Key Laboratory of Mariculture Disease Treatment Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao, Shandong 266104)

Abstract [Objective] Effects of rhubarb on non-specific immunity of *Apostichopus japonicus* were studied. [Method] By the addition of 2%, 5% and 10% in different proportions to rhubarb feeding *A. japonicus*, the lysozyme (LSZ), superoxide dismutase (SOD), alkaline phosphatase (AKP) and acid phosphatase (ACP) enzyme activity in coelomic fluid of *A. japonicus* were analyzed. [Result] At day 21, LSZ activity was highest, increased by 92.86%, 96.43% and 90.10% in the three dose groups, respectively, compared with the blank group. At day 7, SOD activity increased by 4.36%, 8.87% and 9.28% in the three dose groups, respectively, compared with the blank group. AKP activity was lower in the 2% and 5% dose groups than in the blank group, and the 10% dose group reached the maximum value on day 21. Significant difference in enzyme activity between the dose group and the blank group ($P < 0.01$). ACP activity was the highest in the 2% and 5% dose groups at day 21 and 28, respectively, but the difference between them and the blank group was not significant ($P > 0.05$). 10% dose group had the highest enzyme activity on day 14, and the difference between the 10% dose group and the blank group was significant ($P < 0.01$). The effect of rhubarb on ACP activity was not positively correlated with the added dose. [Conclusion] Different doses of rhubarb mixed with bait have different effects on 4 kinds of enzymes in cavity fluid of *A. japonicus*. The 10% dose group increased enzyme activity earlier than the 2% and 5% dose groups. Therefore, it is recommended to feed 2% and 5% rhubarb with baits for 21 days or 10% rhubarb for 14 days, which can improve the non-specific immunity of *A. japonicus*. However, the duration of continuous feeding should not be too long, stop feeding 14 days, all immune indexes can be restored to normal level.

Key words Rhubarb; *Apostichopus japonicus*; Lysozyme; Superoxide dismutase; Alkaline phosphatase; Acid phosphatase

大黄是一种具有多种免疫作用的药用植物。胥楠等^[1]通过对比小鼠灌胃生理盐水和 10% 大黄煎剂后肠道内的 IgA、总蛋白、补体 C₃、高密度脂蛋白(HDL)以及 II 型磷脂酶 A₂ 活性和溶菌酶的含量, 发现大黄能促进肠黏膜上皮分泌多种免疫相关物质。孙丽霞等^[2]研究也表明大黄煎剂对小鼠特异性及非特异性免疫均有促进作用。目前, 大黄及大黄制剂已被广泛应用于水产养殖生产中。陈孝焯等^[3]曾报道, 投喂含 1% 大黄水提取物的饲料可以明显提高异育银鲫血清和体表黏液溶菌酶的活性, 且体表黏液溶菌酶活性远远高于血清中的溶菌酶活性; 苏永腾等^[4]添加 4 种不同剂量的大黄蒽醌提取物, 拌饵投喂罗氏沼虾发现其可有效提高罗氏沼虾机体免疫力, 降低其对病原菌敏感性, 提高罗氏沼虾抗病力; 李素莹等^[5]和王芸等^[6]以凡纳滨对虾为研究对象, 分别将大黄粉和大黄水提取物添加到饲料中, 结果表明二者均可显著提高凡纳滨对虾的免疫力。但大黄如何影响仿刺参的免疫系统鲜

见报道。笔者通过拌饵投喂不同剂量的大黄粉, 研究其对仿刺参体腔液中的溶菌酶(LSZ)、超氧化物歧化酶(SOD)、碱性磷酸酶(AKP)以及酸性磷酸酶(ACP)活性的影响, 探讨大黄对仿刺参非特异性免疫的影响。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

1.1.1 仪器。Anke TGL-16C 离心机; DS-300 电子天平; 海尔 BCD-206TD -20 °C 冰箱; 水浴锅; 751 型分光光度计; Backman DU640 紫外可见分光光度计等。

1.1.2 试剂。大黄于粉碎机中粉碎后拌饵投喂(颗粒大小为 100 目左右), 经测定大黄粉中大黄酸含量为 3.67 mg/g; 酶活测定试剂盒均购买于南京建成生物工程研究所; 化学分析纯冰乙酸等。

1.2 药饵配制及分组 将仿刺参随机分为 3 个剂量组和 1 个空白对照组。3 个剂量组, 即分别在空白饲料中添加 2%、5%、10% 的大黄粉; 空白对照组, 投喂比例为 1:1 的鼠尾藻和海泥。每组设 4 个平行, 每组 8 头仿刺参, 每 2 头仿刺参的体腔液合为 1 个样品。

1.3 材料及饲养管理 试验用健康仿刺参(*Apostichopus ja-*

作者简介 张元发(1987—), 男, 山东泗水人, 工程师, 硕士, 从事水产养殖研究。* 通讯作者, 助理研究员, 硕士, 从事病害防控研究。

收稿日期 2018-04-10; **修回日期** 2018-04-18

ponicus) 购买于山东青岛即墨某仿刺参养殖场, 平均体重 (38.9 ± 4.3) g, 试验期间饲养于即墨鳌山卫试验基地, 将 4 组仿刺参分别饲养于 4 个 35 L 的 PVC 桶中, 试验前暂养 7 d, 暂养期间全部投喂空白饲料, 之后投喂含大黄粉的相应药饵。养殖期间, 水温 (13.0 ± 0.5) °C, pH 7.8 ± 0.1 , 盐度 31 ± 1 , 每天投饵时间 16:00, 投饵量约为 5% 仿刺参总体重, 次日 09:00 换水, 换水时将全部海水换掉并清理残饵粪便, 24 h 不间断连续充氧, 养殖时间为 42 d。

1.4 仿刺参体腔液的采集 在试验开始后, 各组按相应剂量投喂 28 d, 之后全部投喂空白饲料 14 d, 于第 7、14、21、28、42 天自仿刺参的右侧口后 1/3 处, 使用 1 mL 的无菌注射器穿刺抽取体腔液 0.25 mL, 将每 2 头仿刺参的体腔液合为 1 个样品, 离心分离其上清液, -20 °C 冰箱保存备用。

1.5 免疫相关酶活性测定

1.5.1 溶菌酶 (LSZ) 活性测定。 溶菌酶活性采用试剂盒中的空白对照法测定。取 0.2 mL 仿刺参体腔液, 加入 2 mL 应用菌液混匀, 置于 37 °C 的水浴锅中水浴 15 min, 立即取出置于 0 °C 冰水浴中 3 min, 逐管取出倒入 1 cm 光径比色皿中, 利用 751 型分光光度计, 在 530 nm 处以蒸馏水调节透光度 100%, 比色测定样品的透光度值。另取 0.2 mL 蒸馏水和 200 U/mL (即 $2.5 \mu\text{g}/\text{mL}$) 的溶菌酶标准应用液按上述方法处理, 得到空白透光度值和标准透光度值。计算公式如下: 溶菌酶活性 (U/mL) = (样品透光度值 - 空白透光度值) / (标准透光度值 - 空白透光度值) $\times 200$ 。

1.5.2 超氧化物歧化酶 (SOD)、碱性磷酸酶 (AKP) 和酸性磷酸酶 (ACP) 活性的测定。 SOD、AKP 和 ACP 活性均按照试剂盒中方法测定。

1.6 数据处理 利用 SPSS13.0 软件, 对测得数据进行单因素方差分析 (one-way ANOVA), 试验结果以平均数 \pm 标准误差的形式表示, 当 $P < 0.05$ 时表示数据间差异显著。利用 Sigmaplot 10.0 绘图。

2 结果与分析

2.1 大黄对仿刺参体腔液中溶菌酶 (LSZ) 活性的影响 由图 1 可知, 各剂量组中酶活性均呈现随用药时间推移先升高后降低的趋势。在第 21 天前, 2% 剂量组和 5% 剂量组中酶活性均小于空白组, 且 2% 剂量组在第 14 天时与空白组酶活性差异显著 ($P < 0.05$), 5% 剂量组在第 14 天时酶活性与空白组酶活性差异显著 ($P < 0.05$); 10% 剂量组酶活性始终高于空白组, 在第 7 天时酶活性较空白组提高了 1 倍。在第 21 天时, 酶活性达到最高, 各剂量组相对于空白组酶活性分别提高了 92.86%、96.43% 和 90.10%, 但此时剂量组与空白组之间差异不显著 ($P > 0.05$), 这可能与仿刺参存在个体间差异有关。随着时间的推移 ($t >$ 第 21 天), 各剂量组与空白组酶活性之间的差距越来越小, 在停止投喂药饵 14 d (即第 42 天) 时, 剂量组酶活性接近且略高于空白组。

2.2 大黄对仿刺参体腔液中超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的影响 由图 2 可知, 2% 剂量组和 5% 剂量组中酶活性呈现随用药时间增加先升高后降低的趋势, 在第 21 天达到最大值,

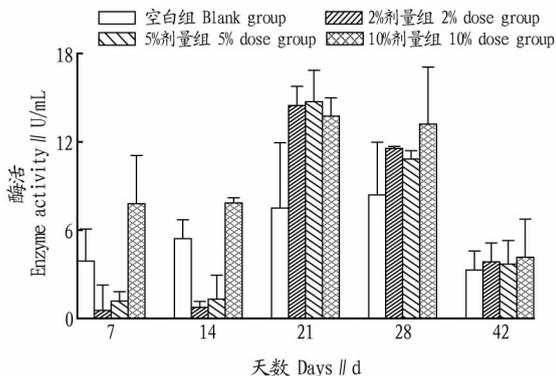


图 1 大黄对仿刺参体腔液中溶菌酶 (LSZ) 活性的影响

Fig. 1 Effects of rhubarb on lysozyme activity in coelomic fluid of *A. japonicus*

10% 剂量组酶活呈降低趋势。酶活性在第 7 天时, 3 个剂量组分别较空白组提高了 4.36%、8.87% 和 9.28%; 连续给药 28 d, 第 28 天时各剂量组酶活开始低于空白组, 且差异性显著 ($P < 0.05$), 停止投喂药饵 14 d (即第 42 天) 时, 酶活又恢复到与空白组接近的水平。

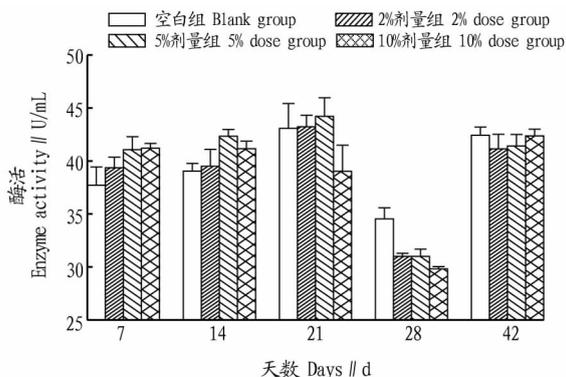


图 2 大黄对仿刺参体腔液中超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的影响

Fig. 2 Effects of rhubarb on superoxide dismutase activity in coelomic fluid of *A. japonicus*

2.3 大黄对仿刺参体腔液中碱性磷酸酶 (AKP) 活性的影响 由图 3 可知, 给药期间, 2% 剂量组在第 21 天时酶活达到最高值, 但始终低于空白组; 5% 剂量组在第 28 天时酶活达到最高值, 此时酶活接近空白组, 为空白组酶活的 97.22%; 10% 剂量组在第 21 天时酶活达到最高值, 为空白组酶活的 6.99 倍, 与空白组间的差异极显著 ($P < 0.01$)。停止投喂药饵 14 d (即第 42 天) 时, 各剂量组的酶活接近空白组。

2.4 大黄对仿刺参体腔液中酸性磷酸酶 (ACP) 活性的影响 由图 4 可知, 大黄对酶活的影响与剂量不呈正相关, 2% 和 5% 剂量组分别在第 21、28 天达到最高, 但与空白组间的差异不显著; 10% 剂量组在第 14 天时酶活达到最高, 为空白组酶活的 8.61 倍 ($P < 0.01$)。停止投喂药饵 14 d (即第 42 天) 时, 各剂量组的酶活接近空白组。

3 讨论

3.1 溶菌酶 (LSZ) 活性 LSZ 广泛存在于动植物体的各种组织、血液和分泌物中, 是吞噬细胞杀菌的物质基础, 也是生物体内重要的非特异性免疫因子之一。LSZ 在海洋无脊椎

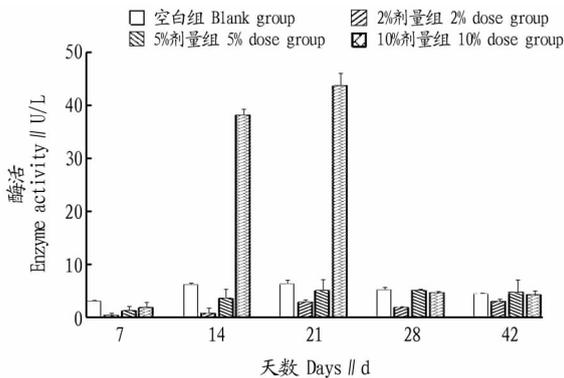


图3 大黄对仿刺参体腔液中碱性磷酸酶(AKP)活性的影响

Fig. 3 Effects of rhubarb on alkaline phosphatase activity in coelomic fluid of *A. japonicus*

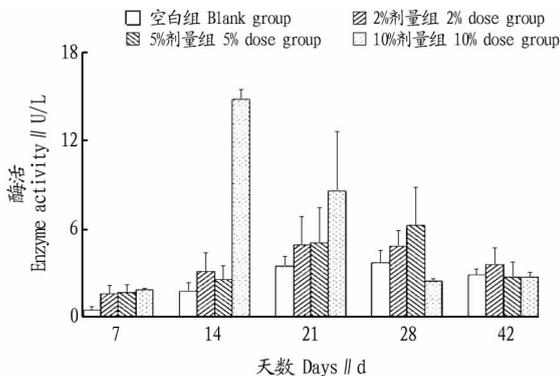


图4 大黄对仿刺参体腔液中酸性磷酸酶(ACP)活性的影响

Fig. 4 Effects of rhubarb on acid phosphatase activity in coelomic fluid of *A. japonicus*

动物中具有防御病害的作用^[7]。此外, Jollès 等^[8]报道 LSZ 对一些海洋细菌还具有消化、滤食的作用。试验中 2% 和 5% 大黄剂量组 LSZ 酶活在第 21 天达到最高, 10% 剂量组在第 7 天比空白组酶活高了 1 倍, 大黄能够提高仿刺参体腔液中 LSZ 的活性, 这与近年来大黄对 LSZ 活性影响的报道相似。蔡中华等^[9]报道鲤鱼摄食含有大黄提取液的饲料后各组织中的溶菌物质增多, 吞噬率、吞噬指数明显提高; 王芸等^[6]报道大黄提取物能够提高凡纳滨对虾 LSZ 活性, 大黄也能增强克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*) 和红螯螯虾 (*Cherax quadricarinatus*) 血细胞的吞噬活性^[3]。试验结果中, 相对于空白组酶活, 10% 剂量组达到最强酶活的时间早于 2% 和 5% 剂量组。2% 和 5% 剂量组的 LSZ 酶活在第 7、14 天时低于空白组, 之后高于空白组。造成这种现象的原因可能是以下两点: 第一, 大黄对副溶血弧菌、溶藻胶弧菌、嗜水气单胞菌等水中常见菌具有较强的抑菌效果^[10-11], 该试验采用的是大黄混合鼠尾藻粉和海泥的拌饵投喂方式, 投喂后一部分大黄溶于水, 相对于空白组, 2% 和 5% 剂量组的海水中致病菌的量较少, 减少了环境中引起仿刺参免疫应答的刺激。第二, 仿刺参前肠中大量的微生物来源于食物中的藻类碎屑, 在前肠中见到的大量弧菌和假单胞菌也是海藻和海泥中常见的类群^[12]。大黄能促进肠道蠕动, 增加肠道对细菌和毒素的排除作用^[1], 减少了其自身体内免疫的刺激物, 但其剂量还

达不到 10% 剂量组作为外源物刺激仿刺参立即引起免疫反应, 但随着时间的延长, 大黄对仿刺参持续的刺激会引起仿刺参的免疫反应, 从而使得后期酶活高于空白组。

3.2 超氧化物歧化酶(SOD)活性 SOD 是生物体各组织中重要的抗氧化酶。Regoli 等^[13]认为物种对环境突变的适应能力还取决于它产生的抗氧化物能力。各剂量组第 28 天时的酶活均低于空白组, 差异显著 ($P < 0.05$)。其原因可能是以下两点: 第一, 陈忻等^[14]认为大黄具有清除超氧自由基的作用, 起到抗自由基损伤的功效。该试验中大黄能减少仿刺参体内自由基的含量, 发挥抗氧化作用, 导致诱导性酶 SOD 活性降低。第二, 长时间投喂大黄, 产生了“免疫疲劳”。Ai 等^[15]和 Scholz 等^[16]的研究显示长期投喂 β -葡聚糖不仅不能提高动物的生长性能, 而且会使饲养动物出现免疫抑制现象, 这与中医所说的“久服大黄则苦寒伤脾, 脾虚则免疫功能低下”一致^[17]。该研究结果显示, 停止喂药 14 d 后各剂量组仿刺参的 SOD 活性恢复到正常状态。

3.3 碱性磷酸酶(AKP)活性 AKP 是生物体内的一种重要的代谢调控酶^[18], 它对底物的专一性要求较低, 是一种重要的解毒系统, 并与一些营养物质的消化吸收有关^[19]。2% 和 5% 剂量组的大黄对仿刺参的 AKP 具有抑制作用, 其原因可能类似于第 7、14 天大黄对溶菌酶的抑制作用。在第 21 天时 10% 剂量组的大黄作为外源刺激物对仿刺参的 AKP 具有强烈的免疫提高作用, 为空白组酶活的 6.99 倍, 与空白组间的差异极显著 ($P < 0.01$)。在养殖的前 21 d, 仿刺参体腔液中的 AKP 活性随着大黄添加量的增多也相应提高, 这与聂月美^[20]研究维生素 C 的添加量与中华鳖血浆中 AKP 活性的影响关系类似。

3.4 酸性磷酸酶(ACP)活性 ACP 是巨噬细胞溶酶体的标志酶, 起到预防感染, 加快对异物的识别、吞噬和清除速度的作用^[21]。ACP 可以被外源刺激物激活^[22], 柯浩等^[23]报道大黄占最大比例的复方中草药能够维持杂色鲍血淋巴较高的 ACP 水平。该试验中 3 个剂量组的最高酶活分别为空白组的 3.55 倍、3.79 倍和 8.61 倍, 表明大黄可以提高仿刺参体腔液中 ACP 活性。

4 结论

拌饵投喂不同剂量的大黄对仿刺参体腔液中 4 种酶的影响不同: 2% 和 5% 剂量组的大黄对 LSZ 前 14 d 具有抑制作用, 对 AKP 具有抑制作用, 其原因可能是大黄减少了引起仿刺参免疫指标上升的刺激物, 10% 能提高 LSZ 和 AKP 酶活。各剂量组的大黄都能提高 SOD、ACP 活性, 但长时间的投喂会抑制 SOD 酶活。综合来看, 10% 剂量组提高酶活的时间要早于 2% 和 5% 剂量组, 因此建议拌饵投喂 2% 和 5% 大黄的饲料 21 d 或 10% 大黄的饲料 14 d, 可提高仿刺参的非特异性免疫, 但持续投喂时间不宜过长, 停止投喂 14 d 左右各免疫指标可恢复至平常水平。

参考文献

- [1] 胥楠, 陈晓晓, 芦灵军, 等. 大黄对小鼠肠道免疫分泌物的影响[J]. 中国中药杂志, 2005, 30(18): 1441-1443.
- [2] 孙丽霞, 任金荣, 单保恩, 等. 大黄制剂对小鼠的急性毒性和自然免疫

- 调节作用[J]. 癌变·畸变·突变, 2006, 18(1): 35-37.
- [3] 陈孝煊, 吴志新, 殷居易, 等. 大黄、穿心莲、板蓝根和金银花对异育银鲫免疫机能的影响[J]. 中国水产科学, 2003, 10(1): 36-40.
- [4] 苏永腾, 刘波, 周群兰. 大黄萜醌提取物对罗氏沼虾抗鳃弧菌感染的研究[J]. 水产学报, 2008, 32(3): 455-463.
- [5] 李素莹, 周歧存. 大黄对凡纳滨对虾生长和非特异性免疫指标的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2009, 29(6): 36-41.
- [6] 王芸, 李健, 刘淇, 等. 5种中草药对凡纳滨对虾生长及非特异性免疫功能的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(26): 8236-8239.
- [7] HIKIMA S, HIKIMA J, ROJTINNAKORN J, et al. Characterization and function of kuruma shrimp lysozyme possessing lytic activity against *Vibrio* species[J]. Gene, 2003, 316: 187-195.
- [8] JOLLÈS P, JOLLÈS J. What's new in lysozyme research? Always a model system, today and yesterday[J]. Molecular and cell biochemistry, 1984, 63(2): 165-189.
- [9] 蔡中华, 陈成勋, 邢克智, 等. 四种中药对鲤鱼非特异性免疫功能的影响[J]. 天津农学院学报, 1998, 5(2): 31-34.
- [10] 张明, 王建华, 赵毅, 等. 20味中药对鳃弧菌的药敏试验[J]. 动物医学进展, 2005, 26(8): 77-79.
- [11] 周群兰, 郑小平, 刘波, 等. 大黄提取物对嗜水气单胞菌的抑菌效果[J]. 江苏农业科学, 2007(2): 64-66.
- [12] 孙奕, 陈騄. 刺参体内微生物组成及其生理特性的研究[J]. 海洋与湖沼, 1989, 20(4): 300-307.
- [13] REGOLI F, CERRANO C, CHERICI E, et al. Seasonal variability of prooxidant pressure and antioxidant adaptation to symbiosis in the Mediterranean demosponge *Petrosia ficiformis*[J]. Marine ecology-progress series, 2004, 275(1): 129-137.
- [14] 陈忻, 周建平, 李玉红. 大黄等中药抗自由基损伤研究[J]. 北京中医, 1995(5): 48-49.
- [15] AI Q H, MAI K S, ZHANG L, et al. Effects of dietary β -1,3 glucan on in innate immune response of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* [J]. Fish&shellfish immunology, 2007, 22(4): 394-402.
- [16] SCHOLZ U, GARCIA DIAZ G, RICQUE D, et al. Enhancement of vibriosis resistance in juvenile *Penaeus vannamei* by supplementation of diets with different yeast products[J]. Aquaculture, 1999, 176(3/4): 271-283.
- [17] 樊永平, 周勇, 严宜左. 大黄水煎液对小鼠免疫功能的影响[J]. 中国中医药科技, 1995, 2(2): 24-25.
- [18] 陈清西, 陈素丽, 石艳. 长毛对虾碱性磷酸酶性质[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1996, 35(2): 257-261.
- [19] ZHANG R Q, CHEN Q X, ZHENG W Z, et al. Inhibition kinetics of green crab (*Scylla serrata*) alkaline phosphatase activity by dithiothreitol or 2-mercaptoproethanol[J]. The international journal of biochemistry and cell biology, 2000, 32(8): 865-872.
- [20] 聂月美. 饲料维生素C对中华鳖免疫、抗应激和体组成的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2006: 20-30.
- [21] CHENG T C. The role of Lysozymes in molluscan cellular response to immunologic challenge[J]. Comparative pathology, 1978, 4: 59-71.
- [22] MENG Z, SHAO J Z, XIANG L X. CpG oligodeoxynucleotides activate grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) macrophage[J]. Dev Comp Immunol, 2003, 27(4): 313-321.
- [23] 柯浩, 王江勇, 彭绪运, 等. 复方中草药对杂色鲍幼鲍血淋巴中几种酶活力的影响[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(5): 74-79.

(上接第54页)

3 小结与讨论

分析岱岳区生态用地对生态服务价值的影响可知, 在各类生态用地中, 林地生态系统和水域生态系统对生态系统服务价值影响度较大, 是影响整个生态系统服务价值变化的重要子系统。2000—2010年研究区生态用地总面积减少了183.76 hm², 生态用地的生态系统服务价值总量减少了2.83×10⁶元, 其中水域减少的最多, 达17.19×10⁶元, 减少的原因主要是林地生态服务价值的增加不能弥补园地、水域和未利用地生态服务价值的减少。因此, 在城市规划过程中应尽量减少建设用地占用林地和水域的面积, 同时协调林地、水域与园地的面积, 以更好地发挥生态用地的生态系统服务功能。

参考文献

- [1] 邓红兵, 陈春娣, 刘昕, 等. 区域生态用地的概念及分类[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1519-1524.
- [2] 张红旗, 王立新, 贾宝全. 西北干旱区生态用地概念及其功能分类研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 5-8.
- [3] 赵丹, 李锋, 王如松. 城市生态用地的概念及分类探讨[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(专刊): 337-342.
- [4] 邓小文, 孙始超, 韩士杰. 城市生态用地分类及其规划的一般原则[J]. 应用生态学报, 2006, 16(10): 2003-2006.
- [5] 李洪远. 基于遥感和GIS的天津滨海新区30年间生态用地变化分析[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(1): 75-80.
- [6] 王振健, 李如雪. 城市生态用地分类、功能及其保护利用研究: 以山东聊城市为例[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 306-308.
- [7] 李锋, 叶亚平, 宋博文, 等. 城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变: 以常州市为例[J]. 生态学报, 2011, 31(19): 5623-5631.
- [8] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评估[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-640.
- [9] 刘桂林, 张落成, 张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3311-3319.
- [10] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(15): 253-260.
- [11] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值[J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [12] VAN DIJK A I J M, BRUIJNZEEL L A, ROSEWELL C J. Rainfall intensity-kinetic energy relationships: A critical literature appraisal[J]. Journal of hydrology, 2002, 261: 1-23.

名词解释

平均作者数: 指来源期刊每一篇论文平均拥有的作者数, 是衡量该期刊科学生产能力的一个指标。

地区分布数: 指来源期刊登载论文所涉及的地区数, 按全国31个省市计(不包括港澳台)。这是衡量期刊论文覆盖面和全国影响力大小的一个指标。

机构分布数: 指来源期刊论文的作者所涉及的机构数。这是衡量期刊科学生产能力的另一个指标。

海外论文比: 指来源期刊中, 海外作者发表论文占全部论文的比例。这是衡量期刊国际交流程度的一个指标。

基金论文比: 指来源期刊中, 各类基金资助的论文占全部论文的比例。这是衡量期刊论文学术质量的重要指标。

引用半衰期: 指该期刊引用的全部参考文献中, 较新一半是在多长一段时间内发表的。通过这个指标可以反映出作者利用文献的新颖度。