

3 种养殖方式下沐浴角骨海绵生长状况的差异分析

沈铭辉^{1,2*}, 欧徽龙³, 司和¹, 王国福^{1,2}, 王德祥³, 陈军^{3*}

(1. 海南省海洋与渔业科学院, 海南 海口 570206; 2. 海南省热带海洋养殖技术重点实验室, 海南 海口 570206; 3. 厦门大学海洋与地球学院, 福建 厦门 361102)

摘要: 沐浴角骨海绵 (*Spongia officinalis*) 主要分布于海南沿海, 其骨架不由骨针而是由海绵硬蛋白组成, 因而拥有良好的吸水性和柔性, 在海洋生物材料开发领域具有较好前景。为了培育该地域特色的海绵品种, 在海南省儋州水牛坡村潮间带海域 (109.40° E, 19.87° N) 开展了为期一年半的沐浴角骨海绵人工养殖, 通过组织块的长、宽、高变化表征海绵的增长, 分析了 3 种养殖方式下该海绵的生长状况差异。结果显示: 在瓷砖法、穿绳法和弹簧法养殖方式下的角骨海绵均有较高的存活率, 分别为 80%, 60% 和 50%, 其中以瓷砖法最佳。在瓷砖法下, 海绵组织块的平均长度增长率为 67.1%, 显著高于穿绳法和弹簧法 ($p < 0.05$), 平均宽度增长率为 63.5%, 平均高度增长率为 73.2%, 可见瓷砖法相对于其他两种方式在存活率和增长率有较大优势, 适宜于沐浴角骨海绵的养殖。此外, 生长指标与海水温度的相关性分析结果表明, 沐浴角骨海绵组织块的增长与水温之间的相关性不显著, 增长速度不呈季节性变化。综上, 在自然条件下获得的沐浴角骨海绵的第一手养殖资料有助于基础的海绵生物学研究, 促进未来当地特色海洋经济的发展。

关键词: 沐浴角骨海绵; 养殖方式; 瓷砖法; 穿绳法; 弹簧法

中国分类号: Q 331 **文献标志码:** A

沐浴角骨海绵 (*Spongia officinalis*) 是海绵动物中重要的种类之一, 隶属于寻常海绵纲 (Demospongiae) 网角海绵目 (Dictyoceratida) 角骨海绵科 (Spongiidae), 在我国海南岛周边海域具有相对集中的分布, 属于海南特色的海洋生物。这种海绵动物的特点是其骨架不具有骨针而只具有海绵硬蛋白骨架, 由于这种特殊性, 它不仅在天然活性物质方面有开发前景^[1-3], 其柔性多孔骨架在海洋生物材料领域也具有较大的开发应用潜力^[4-6]。

以上应用前景表明在未来对角骨海绵的市场需求将有显著提升。而野生的角骨海绵资源有限, 国内外多个相关综述均认可有效获取海绵动物资源的方式是开展规模化的人工养殖^[7-8]。目前针对角骨海绵人工养殖研究只有在国外有相关报道, 研究人员主要采用绳子挂养

收稿日期: 2019-06-11 **录用日期:** 2019-09-03

基金项目: 海南省本级部门预算项目; 厦门南方海洋研究中心项目(17GY008NF04)

***通信作者:** chenjun@xmu.edu.cn (陈军); smh112266@aliyun.com (沈铭辉)

的方式将组织块固定在水深 18~30 m 之间,之后任其自然生长^[9-11]。而我国在角骨海绵养殖方面的研究是个空白,为获取该海绵的第一手养殖数据,我们开展了为期一年半的沐浴角骨海绵养殖研究。

海南岛的沐浴角骨海绵主要生长在 6 m 以内水深的水域和潮间带,在低潮的时候有些海绵会露出水面。因此,本研究因地制宜地选取了海南本地的潮间带为实验地点,比较了 3 种不同的养殖方式下沐浴角骨海绵的存活率和生长率,旨在为后期的规模化养殖奠定技术基础。

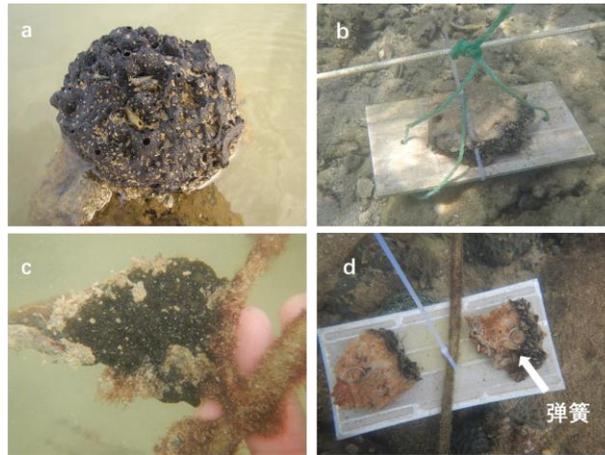
1 材料与amp;方法

1.1 养殖区域

实验地点位于海南省儋州水牛坡村潮间带海域(109.40° E, 19.87° N)。该区域临近邻昌礁,分布有相对密集的天然沐浴角骨海绵,能为实验开展提供充足的亲本资源。该潮间带区域底质主要为岩相,其次为鹅卵石和砂砾。海绵固着的岩相在低潮时通常存有水洼,如此在低潮水位较低时海绵也不会搁浅。

1.2 挂养模式及数据采集

采集本地个体较大的天然沐浴角骨海绵成体作为亲本,在水下用锋利的手术刀将海绵成体切割成大小约为 7 cm×4 cm×3 cm 的组织块,共得 90 块组织块用于养殖。采用 3 种方式进行养殖,分别为瓷砖法、穿绳法和弹簧法:瓷砖法是使用扎带直接将组织块绑在瓷砖上固定,然后使用细绳将瓷砖固定在沉底的主绳上;穿绳法是直接使用细绳穿过海绵组织块进行固定,然后细绳子固定在沉底的主绳上;弹簧法是将弹簧使用胶水固定在瓷砖上,将组织块旋转在弹簧上直接固定,然后使用细绳将瓷砖固定在沉底的主绳上(图 1)。每种方式挂养 30 个组织块,实验周期为 18 个月(2017 年 5 月—2018 年 11 月),每 3 个月统计存活率,并使用游标卡尺测量各组织块的长、宽、高,以此表征海绵的生长状况(在测量时,长为测量组织块最长边,宽为垂直于最长边组织块最宽边,高为组织块的厚度)。水温采用 Onset 水温全自动记录仪(美国 Hobo 公司)进行长期记录,每一个小时记录一个温度数据。海绵组织块的生长与环境水温的相关性分析,每个样品所采用的环境水温是采样前后 15 d(采样当日加上前后各 7 d)环境水温的平均值。



(a) 天然生长的沐浴角骨海绵；(b) 瓷砖法；(c) 穿绳法；(d) 弹簧法。

图 1 沐浴角骨海绵以及 3 种养殖模式

Fig. 1 Sponge *Spongia officinalis* and three culture modes

1.3 数据分析方法

数据整理采用 Excel 2010 软件。海绵增长率的计算按照下列公式进行计算 $\Delta C = \frac{C_n - C_1}{C_1} \times 100\%$ ，其中 ΔC 为增长率， C_n 为第 n 次测量的海绵生长数据， C_1 为第一次测量的海绵生长数据。虽然海绵为不规则形状，但按照体积与长、宽、高的乘积成正比的原则，将海绵长宽高的数据进行相乘换算得相对体积，相对体积增长率的数据也使用上述公式进行计算。作图使用 Origin 8.0 软件。统计分析采用 SPSS 17.0 软件，对不同养殖方式条件下，海绵组织块的平均长、宽、高增长率以及存活率数据进行单因素方差分析，数据之间的相关性分析采用 Pearson 双侧检验法， $p < 0.05$ 为显著， $p < 0.01$ 为极显著。

2 结果与分析

2.1 3 种养殖方式下海绵组织块的存活率

如图 2 所示：在实验周期内的前 3 个月，3 种养殖方式下海绵组织块的存活率都保持在 90% 以上，表明这 3 种养殖方式都适合用于海绵组织块的初期养殖；随着养殖时间的延长，3 种养殖方式下都有个别海绵组织块出现衰败而后死亡的情况，存活率逐渐下降；养殖 18 个月后，瓷砖法的存活率最高，达 80%，穿绳法的存活率次之，为 60%，弹簧法的存活率最低，仅为 50%。由此可见瓷砖法相对于另外 2 种养殖方式更优。

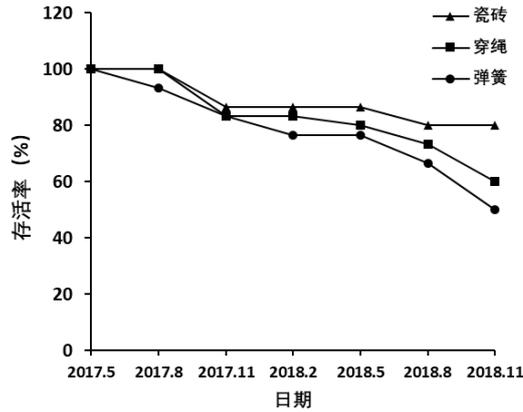


图 2 不同养殖方式下海绵组织块的存活率

Fig. 2 The survival rates of sponge explants under different culture methods

2.2.3 种养殖方式下海绵组织块的生长状况

课题组早期调查发现沐浴角骨海绵的生长速度较缓慢，月增长量不明显，因此每 3 个月测量一次生长数据。18 个月的实验周期内，所有移植块中最大的长度增长为 67.1%，最大的宽度增长为 90.0%，最大的高度增长为 109.1%，最大的体积增长为 511.7%。

海绵组织块的长、宽、高及相对体积的增长率在实验周期内的变化情况如图 3 所示：3 种养殖方式条件下，海绵组织块均基本处于匀速增长的状态；在长度增长上，瓷砖法最高，在养殖 18 个月后最大的长度增长率达 67.1%，显著高于另外 2 种养殖方式下的长度增长率 ($p < 0.05$)；弹簧法的海绵组织块的长度增长最缓慢，18 个月的平均长度增长率只有 27.0%，显著低于另外 2 种养殖方式 ($p < 0.05$)。在宽度增长上，瓷砖法和穿绳法的最大宽度增长率分别为 63.2% 和 62.4%，两者之间不存在显著的差异性 ($p > 0.05$)，但均显著高于弹簧法 (46.8%， $p < 0.05$)。在高度增长上，弹簧法的最大高度增长率最高，达 81.7%，显著高于穿绳法的 (60.0%， $p < 0.05$)，但是相对于瓷砖法 (76.2%) 差异不显著 ($p > 0.05$)。相对体积增长率从整体上显示瓷砖法相对于其他 2 种养殖方式具有更好的效果，假设海绵组织块形状相似，则比较养殖 18 个月后的相对体积，瓷砖法是穿绳法的 1.2 倍，是弹簧法的 1.4 倍。综上所述可见 3 种养殖方式中，瓷砖法更适合沐浴角骨海绵的人工养殖。

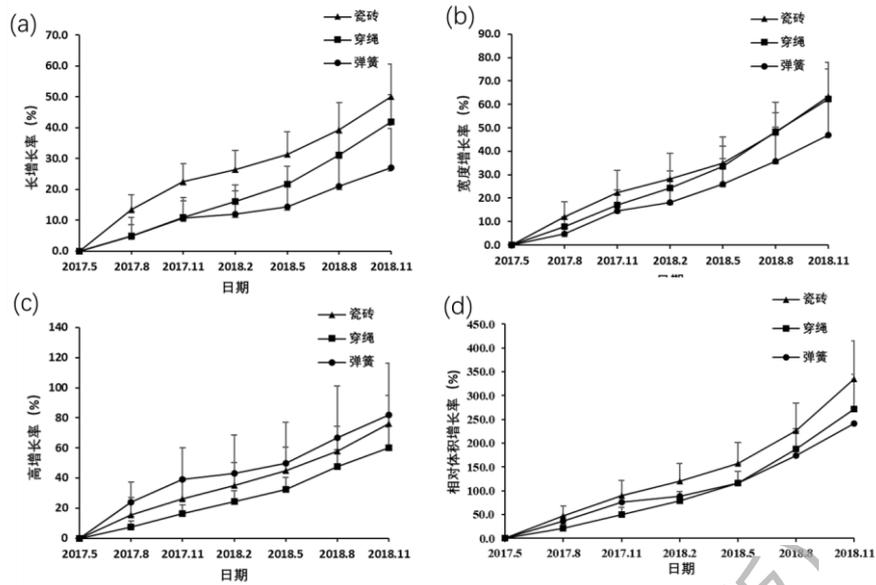


图 3 不同养殖方式下海绵移植块的长 (a)、宽 (b)、高 (c) 及相对体积 (d) 增长率

Fig. 3 The growth rates of the length (a), width (b), height (c) and the relative volume (d) of sponge explants under different culture methods

2.3 海绵组织块的生长与水温的相关性

考虑到海水温度可能会一定程度上影响海绵组织块的生长速率,在实验周期内长期监测水温,对应于 7 个采样日期的水温依次为 28.91 ± 1.77 °C, 30.84 ± 1.38 °C, 24.07 ± 2.27 °C, 19.87 ± 3.08 °C, 29.02 ± 1.83 °C, 30.66 ± 1.49 °C 和 25.74 ± 2.02 °C。进而分析海绵组织块的平均长、宽、高增长率以及存活率与平均水温的相关性,结果显示均无显著相关性(表 2);再分析连续两个采样日期之间海绵组织块的平均长、宽、高增长率变化以及存活率变化与平均水温变化的相关性,结果显示也没有显著相关性(表 3)。可见在本研究养殖条件下,水温及其变化对海绵组织块的生长影响并不大。

表 2 海水温度与海绵组织块长宽高增长率相关分析

Tab. 2 Correlation analysis between sea water temperature and growth rate of sponge explants

养殖方式	生长指标	<i>R</i>	<i>p</i>
瓷砖法	长增长率	0.02	0.97
	宽增长率	0.02	0.97
	高增长率	0.03	0.95
	存活率	0.22	0.67
穿绳法	长增长率	0.05	0.92
	宽增长率	0.07	0.89
	高增长率	0.06	0.90
	存活率	0.16	0.76

弹簧法	长增长率	0.01	0.99
	宽增长率	0.04	0.94
	高增长率	0.01	0.98
	存活率	0.11	0.83

表 3 海水温度变化与海绵组织块长宽高增长率变化的相关分析

Tab. 3 Correlation analysis of the variation of sea water temperature and the growth rate of sponge explants

养殖方式	生长指标	<i>R</i>	<i>p</i>
瓷砖法	长增长率变化	0.46	0.34
	宽增长率变化	0.42	0.39
	高增长率变化	0.41	0.41
	存活率变化	0.07	0.89
穿绳法	长增长率变化	0.15	0.77
	宽增长率变化	0.35	0.48
	高增长率变化	0.28	0.59
	存活率变化	0.15	0.77
弹簧法	长增长率变化	0.47	0.34
	宽增长率变化	0.22	0.67
	高增长率变化	0.64	0.16
	存活率变化	0.17	0.74

3 讨论

由于海绵的不规则形状，对活体海绵的生长表征一直比较困难。前人采取的测量方式包括了排水法、称重法和长度法。排水法是将海绵浸入容器计算排水量来测量海绵体积^[12-13]；称重法是通过将海绵动物悬浮在空中直至没有明显流水滴出之后进行称重^[14]；长度法最初是针对很薄的海绵，利用软件积分海绵的覆盖面积来估计海绵的体积^[15]，之后有多个研究以测量海绵长度、周长和高度的方式估计相对体积^[16-18]。在本研究中，海绵粘附在瓷砖上，难以用排水法和称重法获得现场活体数据，因此参考长度法使用游标卡尺测量海绵组织块的最大长、宽、高的数据来表征海绵的生长状况，这样可以最大程度地减少测量给海绵组织块带来的伤害。虽然海绵动物外形不规则，所获得的长、宽、高数据也不能简单相乘获得海绵组织块的体积数据，但是长、宽、高及其乘积能判断出增长的相对趋势性，足以用来判断不同挂养方式之间的优劣。

本研究中海绵组织块的存活率在不同养殖方式下存在明显差异。追踪具体的原因，我们发现不同养殖方式下组织块的物理稳定性是不同的。穿绳法的海绵组织块没有稳定的硬质附着基，组织块围绕主绳不断飘荡，不仅要承受细绳子带来的拉扯还要承受与海底的摩擦，很

容易从细绳上脱落；而弹簧法养殖的海绵组织块，虽然有瓷砖作为硬质附着基，但从现场结果来看，弹簧与瓷砖之间的固定并不特别牢固，弹簧容易脱落降低了生存率数据；瓷砖法则使用扎带将海绵固定在瓷砖上，比其他两种方法更加的稳固，因此这种方式能获得更优的结果。国外相关研究表明海绵养殖需要采用因地制宜的方式才能获得较好的养殖效果^[7]。穿绳法因操作简便，是国外角骨海绵动物养殖实验时采用最多的方式，比如 Duckworth 等^[10]于 2007 年对沐浴海绵 *Coscinoderma* sp. 的养殖和 Celik 等^[11]于 2011 年对沐浴角骨海绵 *Spongia officinalis* 的养殖均试验过穿绳法。但他们的研究实验场地一般为水深 6~30 m 的海域，水流较稳定；而本研究实施的场地为潮间带区域，涨落潮期间水流的流速较大，如果海绵动物不能很好地进行固定，就容易脱落从而影响存活率。

此外，本研究还发现获得的沐浴角骨海绵的增长数据与在福建省东山湾获得的叶片山海绵 (*Mycale phyllophila*) 和苔海绵 (*Tedanis* sp.) 的增长数据有很大差距：2016 年在福建东山养殖的叶片山海绵在 8 个月内海绵长度增长可以达到 541.47%；苔海绵的长度增长在 10 个月以后也达到了 546.45% 的水平^[17]；而本研究沐浴角骨海绵的长度增长在养殖 18 个月只达到了 67.1% 的最高水平。我们推测可能有两个原因：1) 受种质的差异影响，已有其他文献报道的角骨海绵的增长情况也相对较低^[9]；这种种质差异还体现在海绵组织块生长与水温的相关性上，本实验发现沐浴角骨海绵组织块的增长与水温的相关性不显著，其增长速度也没有明显季节变化，而叶片山海绵和苔海绵的组织块增长则与水温密切相关，增长速度有明显的季节性变化^[17]。2) 受养殖环境的差异影响，在福建的养殖环境是半封闭的海湾，水文条件温和；而本研究的养殖环境为开放海域的潮间带，水文条件复杂多变，海绵可能会消耗更多的能量用于适应这种水体环境。

本研究获得了地域特色海绵在复杂水文环境下养殖的第一手资料，并通过比较得到了较优的瓷砖法养殖模式，对基础的海绵生物学研究和促进未来当地特色海洋经济的发展均有着积极意义。

参考文献：

- [1] YANG I, NAM S J, KANG H. Two new scalaranes from a Korean marine sponge *Spongia* sp.[J]. Natural Product Sciences, 2015, 21(4): 289.
- [2] YANG I, CHOI H, NAM S J, et al. Two indole-alkaloids from a Korean marine sponge *Spongia* sp.[J]. Bulletin of the Korean Chemical Society, 2015, 36(8): 2120-2123.
- [3] NGUYEN H M, ITO T, WIN N N, et al. New antibacterial sesquiterpene aminoquinones from a Vietnamese marine sponge of *Spongia* sp.[J]. Phytochemistry Letters, 2016, 17(5):288-292.

- [4] PRONZATO R, BAVESTRELLO G, CERRANO C, et al. Sponge farming in the Mediterranean Sea: new perspectives[J]. *Memoris of the Queensland Museum*, 1999, 44(4):485-491.
- [5] PÉREZ T, VACELET J. Effect of climatic and anthropogenic disturbances on sponge fisheries[J]. 2014, 577-587.
- [6] GREEN D, HOWARD D, YANG X, et al. Natural marine sponge fiber skeleton a biomimetic scaffold for human osteoprogenitor cell attachment, growth, and differentiation[J]. *Tissue Eng*, 2003, 9(3):1159-1166.
- [7] 陈军, 王德祥, 欧徽龙, 等. 海绵动物原位移植的研究进展[J]. *水产学报*, 2015, 39(12): 1904-1911.
- [8] DUCKWORTH A. Farming sponges to supply bioactive metabolites and bath sponges: a review[J]. *Marine Biotechnology*, 2009, 11:669-679.
- [9] CORRIERO G, LONGO C, MERCURIO M, et al. Rearing performance of *Spongia officinalis* on suspended ropes off the southern Italian Coast(Central Mediterranean Sea)[J]. *Aquaculture*, 2004, 238:195-205.
- [10] DUCKWORTH A R, WOLFF C. Bath sponge aquaculture in Torres Strait, Australia: effect of explant size, farming method and the environment on culture success[J]. *Aquaculture*, 2007,271:188-195.
- [11] CELIK I, CIRIK S, ALTMAGAC U, et al. Growth performance of bath sponge (*Spongia officinalis* Linnaeus, 1759) farmed on suspended ropes in the Dardanelles (Turkey)[J]. *Aquaculture Research*, 2011, 42:1807-1815.
- [12] CARBALLO J L, YANEZ B, ZUBIA E, et al. Culture of explants from the sponge *Mycale cecilia* to obtain bioactive mycalazal-type metabolites[J]. *Mar Biotechnol*, 2010, 12(5): 516-525.
- [13]欧徽龙, 王德祥, 龚琳, 等. 3 种环境因素对叶片山海绵海区移植效果的影响 [J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2013, 52 (4): 574-578.
- [14] DE CARALT S, SANCHEZ-FONTENLA J, URIZ M J, et al. *In situ* aquaculture methods for *Dysidea avara* (Demospongiae, Porifera) in the northwestern Mediterranean[J]. *Marine drugs*, 2010, 8(6): 1731-1742.
- [15] HANDLEY S, KELLY S, KELLY M. Non-destructive video image analysis method for measuring growth in sponge farming: preliminary results from the New Zealand bath-sponge *Spongia (Heterofibria) manipulatus*[J]. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2003, 37(3): 613-621.
- [16] KELLY M, HANDLEY S, PAGE M, et al. Aquaculture trials of the New Zealand bath-sponge *Spongia (Heterofibria) manipulatus* using lanterns[J]. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2004, 38(2): 231-241.
- [17]欧徽龙, 王德祥, 陈军, 等. 2 种海绵移植块周年生长的观测[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2016, 55(5): 654-660.
- [18] DUCKWORTH A R, BATTERSHILL C N. Population dynamics and chemical ecology of New Zealand Demospongiae *Latrunculia* sp. nov. and *Polymastia croceus* (Poecilosclerida: Latrunculiidae: Polymastiidae)[J]. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2001, 35(5): 935-949.
- [19] CORRIERO G, LONGO C, MERCURIO M, et al. Rearing performance of *Spongia officinalis* on suspended ropes off the Southern Italian Coast (Central Mediterranean Sea)[J]. *Aquaculture*, 2004, 238(1/2/3/4): 195-205.

Growth comparison of sponge *Spongia officinalis* under three mariculture methods

SHEN Minghui^{1,2*}, OU Huilong³, SI He¹, WANG Guofu^{1,2},

WANG Dexiang³, CHEN Jun^{3*}

(1. Hainan Academy of Ocean and Fisheries Sciences, Haikou 570206, China; 2. Key Laboratory of Tropical Marine Aquaculture Technology, Hainan Province, Haikou 570206, China; 3. College of Ocean & Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361102, China)

Abstract: *Spongia officinalis* is mainly distributed along the coast of Hainan Island. Its skeleton is composed of sponge scleroproteins instead of spicule and thus has good water absorption and flexibility, which endows this sponge great potential in the field of marine biomaterials development. In order to cultivate this regional sponge species, an 18 month of mariculture experiment of *S. officinalis* was carried out in an intertidal zone of Shuiniupo village (109.40° E, 19.87° N) of Danzhou, Hainan Province. The growth status of the sponge under three cultivation methods was compared by growth differences in tissue length, width and height. The results showed that the survival rate of sponge explant was higher in tile method (80%) than in rope method and spring method (60% and 50% respectively). The average length increase of sponge explants was 67.1% under tile method, significantly higher than that of rope and spring methods ($p < 0.05$). The average width and height increase under tile method was 63.5% and 73.2%, respectively. Results showed that ceramic tile method is more appropriate for culturing this sponge than the other two methods in terms of survival rates and growth rates. Furthermore, we observed that there was no significant correlation between the growth rate and water temperature by statistics, i.e., the growth rates did not significant change seasonally. The first-hand aquaculture data obtained in this study under complex hydrological conditions are of positive significance to both the sponge biological studies and the regional marine economic development.

Keywords: *Spongia officinalis*; culture methods; tile culture; rope breeding; spring culture