

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16368

金乌贼新型产卵附着基的实验研究

牛超¹, 杨超杰¹, 黄玉喜¹, 张秀梅^{1,2}

1. 中国海洋大学, 教育部海水养殖重点实验室, 山东 青岛 266003;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266072

摘要: 2015 年 6—7 月和 2016 年 6—7 月在青岛金沙滩水产有限公司室内产卵池中开展了不同材料、不同颜色、不同水深金乌贼(*Sepia esculenta*)产卵附着基附卵效果对比实验, 以及柎柳附卵器对附卵效果的影响实验。实验用产卵附着基为 0.33 m×0.33 m×0.33 m 的十字形可折叠钢丝框架, 上覆黑白 2 种聚乙烯网衣材料; 每个产卵池中金乌贼亲体数量约 35 只, 雌雄比约为 1:1, 胴长(139.2±1.1) mm, 体重(435.9±8.5) g。同时选用等比例放大的 1.0 m×1.0 m×1.0 m 钢筋框架与不同颜色网衣制作的十字形可折叠附着基, 于 2015 年 6—7 月在青岛斋堂岛附近海域(35°36'6"N, 119°54'8"E)和杨家洼湾前附近海域(35°36'6"N, 119°50'50"E), 以及 2016 年 6—7 月在青岛薛家岛近海(35°57'24"N, 120°16'22"E)和杨家洼湾前附近海域(35°35'45"N, 119°50'38"E)开展了海区附卵验证实验。结果表明: 室内同一水体环境中柎柳附卵效果最佳, 其次是十字形附着基, 海参框附卵效果最差; 白色十字形附着基的附卵效果显著优于黑色($P<0.05$); 柎柳附卵器对附卵效果有积极影响, 加装柎柳附卵器的十字形附着基附卵效果明显提高; 产卵池底层摆放的十字形附着基的附卵效果显著优于表层悬挂的十字形附着基($P<0.01$)。海区附卵验证结果表明: 2015 年和 2016 年海区投放的十字形附着基附卵效果良好, 最高附卵率分别为 82.14%和 56.72%; 海区投放的黑色和白色十字形附着基的附卵效果差异不显著($P>0.05$); 海底悬挂的十字形附着基的附卵效果显著优于近底层悬挂的十字形附着基($P<0.05$)。综合分析认为, 在金乌贼产卵繁殖季节, 选择其重要产卵场和主要增殖放流海区水深 15~20 m 的缓流区, 底层设置十字形可折叠产卵附着基, 可有效进行资源增殖与产卵场修复。

关键词: 金乌贼; 产卵附着基; 附卵效果; 产卵场修复

中图分类号: Q96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)06-1234-11

金乌贼(*Sepia esculenta*)隶属于软体动物门(Mollusca)、头足纲(Cephalopoda)、乌贼目(Sepioidea)、乌贼科(Sepiidae)、乌贼属, 主要分布于日本北海道以南、朝鲜西南海域、菲律宾群岛海域及中国的黄渤海、东海、南海^[1-2]。金乌贼具有生命周期短, 世代更新快, 肉质鲜美, 营养丰富特点, 是中国北方海域经济价值最大的乌贼^[3]。由于过度捕捞、有害作业方式对产卵场的破坏、沿岸环境污染以及自然灾害等原因, 致使金乌贼资源量明显衰退^[4-5]。1992 年起金乌贼被列入山东省地方资源增殖计划^[6], 在近岸水域开展了金乌贼人工

产卵附着基的投放。近年来金乌贼又被列为山东省人工苗种增殖放流种类, 以全面保护和修复这一重要渔业资源。围绕金乌贼资源的利用与保护, 国内外学者相继开展了其形态学^[7-9]、行为学^[10-12]、繁殖习性^[3, 13]、洄游分布^[1, 14-15]以及增殖技术^[6, 13-14, 16]等相关研究。

近年来, 山东省金乌贼资源增殖方式有 2 种, 一种是人工苗种繁育, 海上增殖放流金乌贼幼体, 2015—2016 年全省年放流数量达 120 余万头; 另一种是投放由柎柳或黄花蒿制成的产卵附着基, 该方法价格低廉, 制作简便, 可实现金乌贼资源

收稿日期: 2016-12-22; 修订日期: 2017-03-07.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41676153); 国家海洋公益性行业科研专项(201405010).

作者简介: 牛超(1991—), 男, 硕士研究生, 从事渔业资源增殖学研究. E-mail: niuchao1231@163.com

通信作者: 张秀梅, 教授. E-mail: gaozhang@ouc.edu.cn

补充群体的海区原位保护与增殖。但该种产卵附着基不可以重复利用, 运输和投放过程中易被损坏, 且由于连年采伐, 柗柳和黄花蒿的数量明显减少, 对陆地植被造成了很大的破坏。因此, 为了改进增殖方式, 进一步扩大金乌贼的增殖规模, 寻找环境友好型产卵附着基则成为当前金乌贼增殖工作面临的重要课题。本研究根据金乌贼产卵习性和目前增殖现状, 设计了一种由网衣制作的十字形可折叠金乌贼产卵附着基, 于室内金乌贼产卵池开展了不同类型产卵附着基附卵效果对比实验, 并通过海区附卵验证实验, 以期确立金乌贼产卵场修复关键技术, 为其补充群体的保护与增殖提供科学依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料及地点

2015年6—7月和2016年6—7月在青岛金沙滩水产有限公司室内产卵池中开展了不同材料、不同颜色、不同水深金乌贼产卵附着基附卵效果对比实验, 以及柗柳附卵器对附卵效果的影响实验。实验用附着基为 $0.33\text{ m} \times 0.33\text{ m} \times 0.33\text{ m}$ 的可折叠钢丝框架, 上覆黑白2种聚乙烯网衣材料。同时选用等比例(1:3)放大的 $1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ 钢筋框架与不同颜色网衣制作的十字形可折叠附着基, 于2015年6—7月在青岛斋堂岛附近海域($35^{\circ}36'6''\text{N}$, $119^{\circ}54'8''\text{E}$)和杨家洼湾前附近海域($35^{\circ}36'\text{N}$, $119^{\circ}50'50''\text{E}$), 以及2016年6—7月在青岛薛家岛近海($35^{\circ}57'24''\text{N}$, $120^{\circ}16'22''\text{E}$)和杨家洼湾前附近海域($35^{\circ}35'45''\text{N}$, $119^{\circ}50'38''\text{E}$)开展了海区附卵验证实验(图1)。实验海区水深14~28 m, 底质为泥沙底, 水质良好, 潮流为正规半日潮, 海面开阔, 便于附着基的投放与管理。

1.2 室内产卵池实验

实验样本: 选用青岛薛家岛近海地笼网捕获的金乌贼亲体, 挑选体形完整、活力良好的个体进行饲养。每个产卵池中金乌贼亲体数量约35只, 雌雄比约为1:1, 胴长(139.2 ± 1.1) mm, 体重(435.9 ± 8.5) g。

培育条件: 产卵池为 $4.5\text{ m} \times 2.0\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ 的水泥池, 池中均匀设置5个充气石。养殖用水为自然海水经过沉淀、砂滤, 水质清澈, 光周期与自

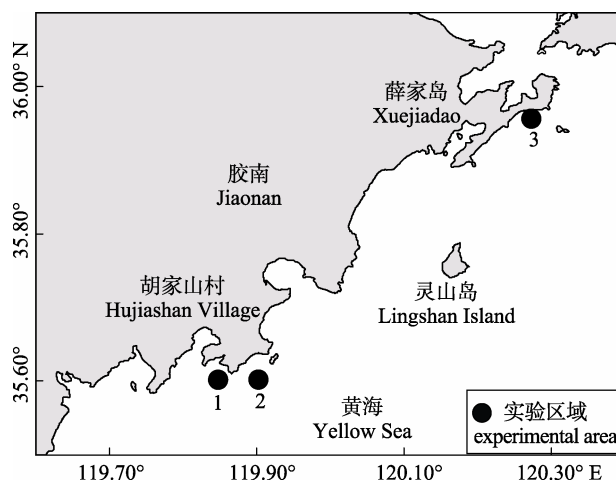


图1 金乌贼产卵附着基海区实验站位图

1: 杨家洼湾前; 2: 斋堂岛; 3: 薛家岛近海。

Fig. 1 The sea experimental stations of spawning substrates for *Sepia esculenta*

1: in front of Yangjiawa bay; 2: Zhaitang Island; 3: Xuejiadao coastal waters.

然光一致, 培育水温 $16\sim 20^{\circ}\text{C}$, 盐度 $31\sim 32$, pH $7.7\sim 7.8$ 。亲体采用流水、充气方式培育, 日换水量为100%, 每天饱食投喂1次全长约10 cm南美白对虾(*Penaeus vannamei*), 并及时清除残饵和死亡亲体。

1.2.1 不同材料产卵附着基 本研究选用十字形附着基($0.33\text{ m} \times 0.33\text{ m} \times 0.33\text{ m}$)、海参框($0.35\text{ m} \times 0.30\text{ m} \times 0.30\text{ m}$)、柗柳($h=0.36\text{ m}$)3种不同材料的产卵附着基(图2), 将水池底部划分为9个面积相等的区域, 3种不同材料的产卵附着基各3个均匀交叉放置在9个区域中, 进行不同材料附着基的附卵对比实验。

1.2.2 不同颜色产卵附着基 本研究选用聚乙烯网衣材料(网线直径3.5 mm)制作的白色和黑色十字形附着基, 将水池底部划分为8个面积相等的区域, 2种不同颜色的产卵附着基各4个, 均匀交叉放置在8个区域中, 进行不同颜色附着基的附卵对比实验。

1.2.3 柗柳附卵器 本研究选用加装和未加装柗柳附卵器的聚乙烯网衣材料(网线直径3.5 mm)制作的白色十字形附着基, 其中柗柳附卵器为扎制成捆的柗柳枝条($h=0.25\text{ m}$), 将水池底部划分为8个面积相等的区域, 2种不同产卵附着基各4个均匀交叉放置在8个区域中, 进行柗柳附卵器对附卵效果影响实验。

1.2.4 不同水深产卵附着基 本研究选用8个聚乙烯网衣材料(网线直径3.5 mm)制作的白色十字形附着基,4个在产卵池底层均匀摆放,4个在水表层与池底对应的交差区域均匀悬挂,调节水池的水深至0.95 m,表层悬挂产卵附着基后,产卵附着基距池底高度约为0.65 m,进行不同水深附着基附卵效果对比实验。

所有实验用附着基经高锰酸钾严格消毒,新鲜海水冲净后再进行铺设。每个处理组观察48 h,并统计产卵附着基上的附卵量,每个处理组设置3个重复。

1.3 海区附卵验证实验

图3、图4为2015年和2016年十字形可折叠金乌贼产卵附着基整体结构示意图和单体结构示意图。

2015年6月在青岛斋堂岛附近海域和杨家洼湾前附近海域各投放十字形附着基50个,单个尺寸为1.0 m×1.0 m×1.0 m,实验选用聚乙烯网衣材料(网目尺寸 $2a=80$ mm, a 为目角长度,网线直径为3.5 mm)制作的白色和黑色十字形附着基,框架材质为钢筋。每行主纜绳(12~14号日本麻绳)长度约为220 m,主纜绳上每间隔60 m通过浮标绳(8号日本麻绳)悬挂1个圆柱形浮标($h=1$ m, $\Phi=0.5$ m),共悬挂4个;十字形附着基通过支绳(6号日本麻绳)垂直系在主纜绳上,在主纜绳上按照7 m的间距均匀悬挂十字形附着基,且黑色和白色十字形附着基间隔排列,每行合计悬挂25个十字形附着基;主纜绳的两端系有2个铁锚,分别重20 kg,用来固定十字形附着基(图3)。

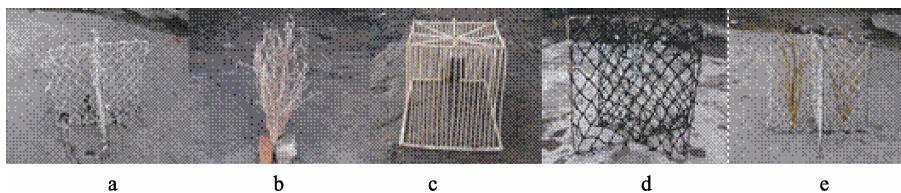


图2 不同类型金乌贼产卵附着基

a. 白色十字形附着基; b. 柾柳; c. 海参框; d. 黑色十字形附着基; e. 加装柾柳附卵器十字形附着基。

Fig. 2 The different types of spawning substrates of *Sepia esculenta*

a. the white cruciform spawning substrates; b. salt cedar branches; c. sea cucumber frame; d. the black cruciform spawning substrates; e. attaching salt cedar branches to the cruciform spawning substrates.

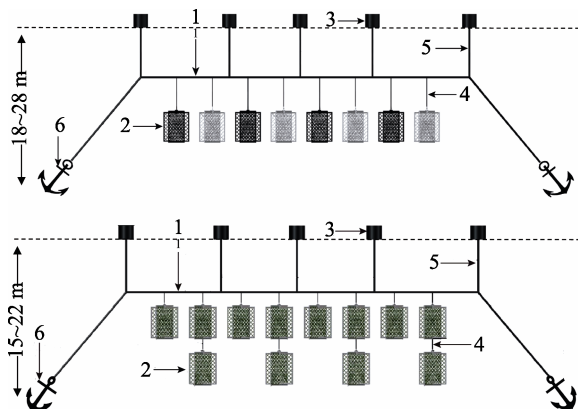


图3 2015和2016年十字形可折叠金乌贼产卵附着基整体结构示意图

1: 主纜绳; 2: 十字形附着基; 3: 浮标;
4: 支绳; 5: 浮标绳; 6: 铁锚。

Fig. 3 Schematic diagram of the whole structure of the cruciform and collapsible spawning substrates of *Sepia esculenta* in 2015 and 2016

1: main rope; 2: cruciform spawning substrates; 3: buoy;
4: branch rope; 5: buoy rope; 6: anchor.

2016年6月在青岛薛家岛近海和杨家洼湾前附近海域各投放十字形附着基1000个,单个尺寸为0.8 m×0.8 m×0.8 m,钢筋框架上敷设绿色聚乙烯网衣,网线直径为3.5 mm,网目尺寸 $2a=80$ mm (a 为目角长度)。每行主纜绳长度约为360 m,主纜绳上每间隔60 m通过浮标绳悬挂1个圆柱形浮标($h=0.6$ m, $\Phi=0.5$ m),共悬挂6个;十字形附着基通过支绳垂直系在主纜绳上,在主纜绳上按照6 m的间距均匀悬挂十字形附着基,且每间隔1个附着基在其下方通过支绳(长约1.7 m)再悬挂1个附着基,每行合计悬挂75个十字形附着基;主纜绳的两端系有2个铁锚,分别重24 kg,且在铁锚附近系有重约15 kg的沉石,用来固定十字形附着基(图3)。

将制作好的十字形附着基顺流依次放入海中,两端用铁锚固定,水面用圆柱形浮标作标志。敷

设之后,每隔 10~15 d 出海一次进行附卵观察和管理,并统计不同附着基的附卵率和附卵量。实验至 7 月末结束。

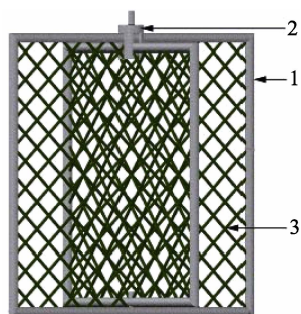


图4 十字形可折叠金乌贼产卵附着基单体结构示意图

1: 框架; 2: 固定扣; 3: 网衣。

Fig. 4 Schematic diagram of the monomer structure of the cruciform and collapsible spawning substrates of *Sepia esculenta*

1: frame; 2: fixed buckle; 3: net.

1.4 统计分析指标

不同处理组产卵附着基的附卵效果,采用附卵率、附卵量和附卵量比例进行统计分析。

$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \times 100\%, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

式中, $\bar{z}$ 表示某处理组产卵附着基的平均附卵率(%); x 表示某处理组产卵附着基在一次实验中所附卵的数量(粒); y 表示所有产卵附着基在一次实验中所附卵的总数量(粒); n 表示实验次数,本研究实验重复次数 $n=3$,下同。

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \times 100\%, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

式中, $\bar{A}$ 表示某处理组产卵附着基的平均附卵量(粒), a 表示某处理组产卵附着基在一次实验中附卵的总数量(粒), b 表示在一次实验中某处理组产卵附着基的数量(个)。

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{nmb}; f = \frac{F}{2}; L[0, f] = \frac{M[0, f]}{n} \times 100\%;$$

$$L[f, F] = \frac{M[f, F]}{n} \times 100\%;$$

$$L[F, \infty] = \frac{M[F, \infty]}{n} \times 100\%$$

式中, F 表示在 n 次实验中所有产卵附着基的平均附卵量; m 表示某处理组产卵附着基的种类数; $M[0, f]$ 表示在 n 次实验中,某处理组产卵附着基的附卵量进入 $0 \sim a$ 范围的次数, $L[0, f]$ 表示某处理组产卵附着基的附卵量在 $0 \sim a$ 范围内的次数占总实验次数的比例(%). $L[f, F]$ 、 $L[F, \infty]$ 与 $L[0, f]$ 同理, $L[F, \infty]$ 值越高说明其附卵优势越明显。

2 结果与分析

2.1 室内不同产卵附着基附卵效果的验证实验

2.1.1 不同材料产卵附着基附卵效果 由图 5 可知,室内同一水体环境中不同材料产卵附着基的附卵效果不同,桉柳平均附卵量为 146.67 粒,平均附卵率为 53.95%,十字形附着基平均附卵量为 110.10 粒,平均附卵率为 38.23%,单因素方差分析显示,两者平均附卵量差异不显著($P>0.05$),平均附卵率差异显著($P<0.05$);海参框附卵效果较差,其平均附卵量为 19.78 粒,平均附卵率为 7.82%,单因素方差分析显示,海参框与桉柳、十字形附着基附卵效果差异均极显著($P<0.01$)。由表 1 可知,桉柳每次实验的附卵量均在 92 粒以上,十字形附着基每次实验的附卵量均在 46 粒以上,而海参框每次实验的附卵量在 $L(0, 46)$,桉柳和十字形附着基的附卵优势明显。

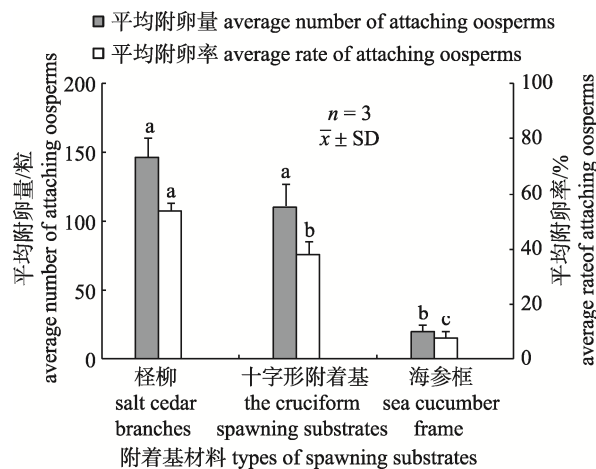


图5 不同材料产卵附着基的金乌贼附卵效果
图上标的字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

Fig. 5 The adhesion effects of different materials spawning substrates
Different letters on the graph mean significant difference ($P<0.05$).

表 1 不同材料产卵附着基的附卵量比例
Tab. 1 Proportion of attaching oosperms of different materials spawn in substrates

附卵量比例/% proportion of attaching oosperms	十字形附着基 cruciform spawning substrates	桤柳 salt cedar branches	海参框 sea cucumber frame
$\bar{A}$	38.23	53.95	7.82
$L(0, 46)$	0	0	100
$L[46, 92)$	33.33	0	0
$L[92, \infty)$	66.67	100	0

2.1.2 不同颜色产卵附着基附卵效果 由图 6 可知,室内同一水体环境中不同颜色产卵附着基的附卵效果不同,白色十字形附着基平均附卵量为 171.67 粒,平均附卵率为 69.87%;黑色十字形附着基平均附卵量 87.50 粒,平均附卵率 30.13%,两者差异显著($P<0.05$)。由表 2 可知,白色十字形附着基每次实验的附卵量均在 65 粒以上,黑色十字形附着基每次实验的附卵量在 $L(0, 65)$, $L[65, 130]$, $L[130, \infty)$ 的比例均为 33.33%,白色十字形附着基的附卵优势明显。

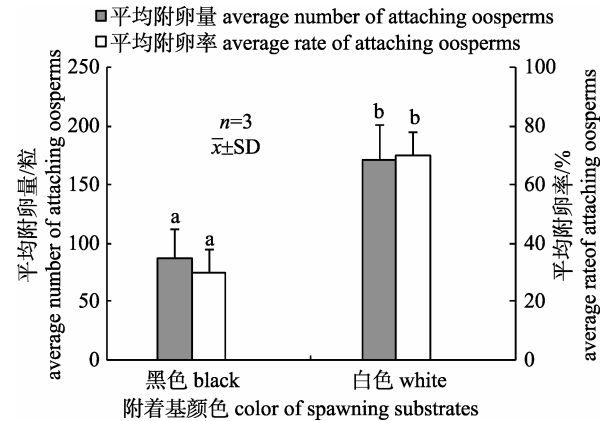


图 6 不同颜色产卵附着基的附卵效果
图上标的字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

Fig. 6 Adhesion effects of different-colored cruciform spawning substrates
Different letters on the graph mean significant difference ($P<0.05$).

表 2 不同颜色产卵附卵基的附卵量比例
Tab. 2 Proportion of attaching oosperms of different-colored cruciform spawning substrates

附卵量比例/% proportion of attaching oosperms	黑色 black	白色 white
$\bar{A}$	30.13	69.87
$L(0, 65)$	33.33	0
$L[65, 130)$	33.33	33.33
$L[130, \infty)$	33.33	66.67

2.1.3 桤柳附卵器对产卵附着基附卵效果的影响 由图 7 可知,室内同一水体环境中桤柳附卵器对产卵附着基的附卵效果有积极影响,加装桤柳附卵器的十字形附着基平均附卵量为 265.25 粒,平均附卵率为 76.62%,未加装桤柳附卵器的十字形附着基平均附卵量为 75.50 粒,平均附卵率为 23.38%,两者附卵效果差异极显著($P<0.01$)。由表 3 可知,加装桤柳附卵器的十字形附着基每次实验的附卵量均在 85 粒以上,未加装桤柳附卵器的十字形附着基每次实验的附卵量均在 85 粒以内,加装桤柳附卵器的十字形附着基附卵优势明显。

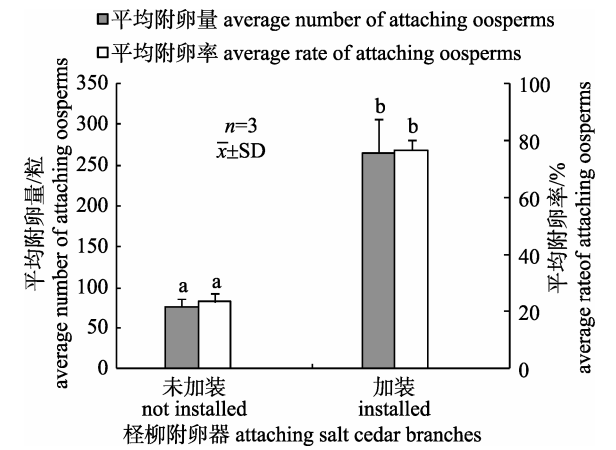


图 7 桤柳附卵器对产卵附着基附卵效果的影响

图上标的字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

Fig. 7 Effect of attaching salt cedar branches on the adhesion effects of cruciform spawning substrates
Different letters on the graph mean significant difference ($P<0.05$).

表 3 桤柳附卵器对产卵附着基附卵量比例的影响
Tab. 3 Effect of the proportion of attaching oosperms of attaching salt cedar branches to the cruciform spawning substrates

附卵量比例/% proportion of attaching oosperms	加装 installed	未加装 not installed
$\bar{A}$	76.62	23.38
$L(0, 85)$	0	100
$L[85, 170)$	33.33	0
$L[170, \infty)$	66.67	0

2.1.4 不同水深产卵附着基附卵效果 由图 8 可知,同一水体环境中不同水深产卵附着基的附卵效果不同,底层摆放的十字形附着基平均附卵量为 476.75 粒,平均附卵率为 76.17%,表层悬挂的十字形附着基平均附卵量为 125.33 粒,平均附卵率为 20.83%,两者附卵效果差异极显著($P<0.01$)。

由表 4 可知, 底层摆放的十字形附着基每次实验的附卵量均在 301 粒以上, 表层悬挂的十字形附着基每次实验的附卵量均在 301 粒以内, 底层摆放的十字形附着基附卵优势明显。

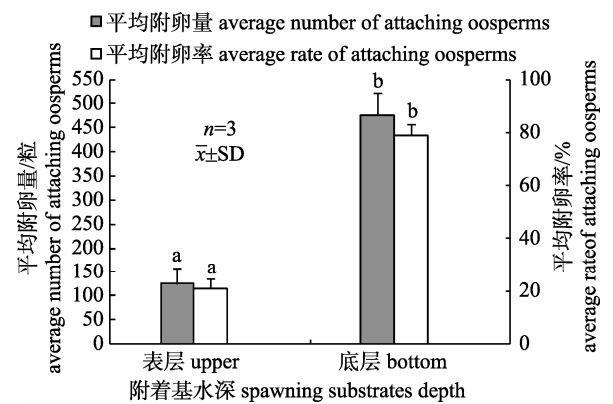


图 8 不同水深产卵附着基附卵效果
图上标的字母不同表示差异显著($P<0.05$).
Fig. 8 Adhesion effects of different water depth cruciform spawning substrates
Different letters in the graph mean significant difference ($P<0.05$).

表 4 不同水深产卵附着基的附卵量比例
Tab. 4 Proportion of attaching oosperms of different water depth cruciform spawning substrates

附卵量比例/% proportion of attaching oosperms	底层 bottom	表层 upper
$\bar{A}$	79.17	20.83
$L(0, 150.5)$	0	66.67
$L[150.5, 301)$	0	33.33
$L[301, \infty)$	100	0

2.2 海区附卵验证实验

2.2.1 海区投放附着基的附卵效果 表 5 表示 2015 年、2016 年不同海区十字形附着基的附卵率和平均附卵量。

由表 5 可知, 2015 年在杨家洼湾前附近海域投放的十字形附着基的附卵率为 82.14%, 平均附卵量为 299.96 粒, 其中, 附卵量 100 粒以下占

46.43%, 100~500 粒占 35.72%, 500~1000 粒占 7.14%, 1000 粒以上占 10.71%; 斋堂岛附近海域投放的十字形附着基的附卵率为 0。2016 年在薛家岛近海投放的十字形附着基的附卵率为 56.72%, 平均附卵量为 199.52 粒, 其中, 附卵量 100 粒以下占 70.15%, 100~500 粒占 11.94%, 500~1000 粒占 13.43%, 1000 粒以上占 4.48%; 杨家洼湾前附近海域投放的十字形附着基的附卵率为 13.33%, 平均附卵量为 16.11 粒, 其中, 附卵量 100 粒以下占 97.77%, 100~500 粒占 1.33%, 500~1000 粒占 0.44%, 1000 粒以上占 0.44%。经综合比较, 海区投放的十字形附着基附卵效果良好, 不同海区年际间投放的金乌贼产卵附着基附卵效果不同。

2.2.2 不同颜色产卵附着基附卵效果 由图 9 和表 6 可知, 2015 年海区投放的黑色和白色十字形附着基的附卵效果差异不显著。白色十字形附着基的平均附卵量为 234.77 粒, 附卵率为 84.62%, 黑色十字形附着基的平均附卵量 356.47 粒, 附卵率为 80.00%; 黑色和白色十字形附着基的优势附卵量均为 0~500 粒, 两者差异不显著($P>0.05$)。

2.2.3 不同水深产卵附着基附卵效果 由图 10 可知, 2016 年海区投放的十字形附着基悬挂在上层(近底层)和下层(海底)的附卵效果不同。悬挂在近底层的十字形附着基平均附卵量为 66.48 粒, 附卵率为 44.83%; 悬挂在海底的十字形附着基平均附卵量 149.59 粒, 附卵率为 65.52%, 两者差异显著($P<0.05$)。由表 7 可知, 悬挂于海底的十字形附着基的优势附卵量(0~500 粒)高于悬挂在近底层的十字形附着基(0~100 粒); 悬挂于海底的十字形附着基附卵量大于 500 粒的比例高于悬挂于近底层的十字形附着基, 海底悬挂的十字形附着基附卵优势明显。

表 5 不同海区产卵附着基的附卵效果
Tab. 5 Adhesion effects of cruciform spawning substrates in different sea area

投礁地点 reefs site	年份 year	附卵率/% rate of attaching oosperms	平均附卵量/粒 average number of attaching oosperms
杨家洼湾前 in front of Yangjiawa Bay	2015	82.14	299.96
斋堂岛 Zhaitang Island		0	0
杨家洼湾前 in front of Yangjiawa Bay	2016	13.33	16.11
薛家岛 Xuejiadao		56.72	199.52

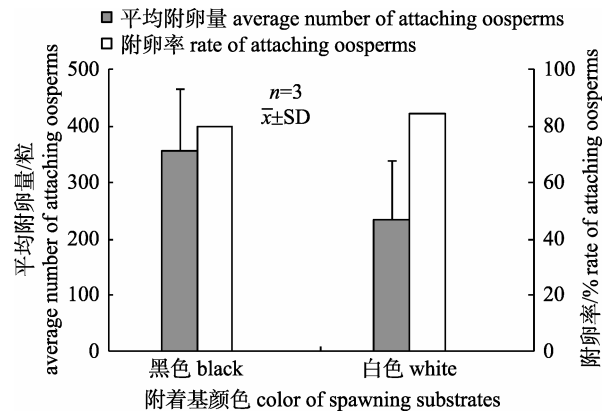


图 9 不同颜色产卵附着基的附卵效果
Fig. 9 Adhesion effects of different-colored cruciform spawning substrates

表 6 不同颜色产卵附着基的附卵量比例
Tab. 6 Proportion of attaching oosperms of different-colored cruciform spawning substrates

颜色 color	不同附卵量比例/% different proportion of attaching oosperms			
	<100	100~500	500~1000	≥1000
黑色 black	40	40	6.67	13.33
白色 white	53.85	30.77	7.69	7.69

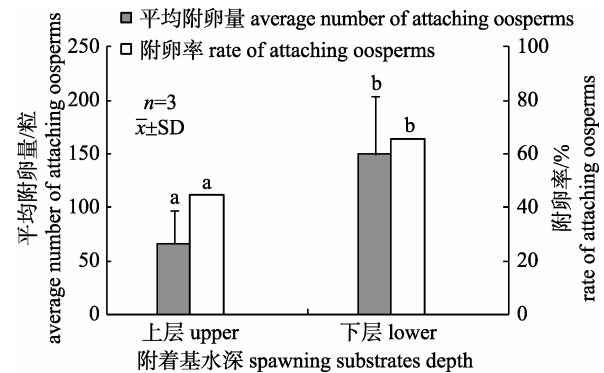


图 10 不同水深产卵附着基的附卵效果
图上标的字母不同表示差异显著($P<0.05$).
Fig. 10 Adhesion effects of different water depth cruciform spawning substrates
Different letters on the graph mean significant difference ($P<0.05$).

表 7 不同水深产卵附着基的附卵量比例
Tab. 7 Proportion of attaching oosperms of different water depth spawning substrates

悬挂位置 hanging position	附卵量/粒 number of attaching oosperms				%
	<100	100~500	500~1000	≥1000	
上层 upper	86.21	6.90	6.89	0	
下层 lower	68.97	17.24	10.34	3.45	

3 讨论

金乌贼生长速度快、生命周期短,为一年生

头足类,其资源的补充与恢复主要取决于受精卵的数量和幼体的成活率^[1],同时还受其产卵场等环境状况的直接影响^[17]。金乌贼的受精卵为黏性沉性卵^[14],产卵时喜将受精卵附于天然海藻、礁石上^[5],在自然海域中,如果没有产卵附着基,受精卵会随波逐流或沉入海底,被泥沙等掩埋而死。相关研究结果表明,金乌贼资源的衰退,除捕捞强度过大外,有害的作业方式也对其产卵场、生殖亲体、受精卵及幼体损害严重,其中,底拖网作业对金乌贼繁殖所必需的天然藻类、礁石等天然产卵附着基破坏严重,对金乌贼种群的产卵繁殖造成了严重影响^[5]。因此,为了改进增殖方式,进一步扩大金乌贼的增殖规模,寻找环境友好型产卵附着基,营造和重建金乌贼产卵场成为急需解决重要课题。

3.1 不同海区年际间产卵附着基附卵效果

自然海区的环境因素对水生生物的产卵繁殖以及产卵场分布有着重要影响^[18]。金乌贼为一年生头足类,一生仅繁殖一次,每年春季集群向浅水区、内湾洄游^[3],为中下层洄游性种类,游速较慢,集群性强^[2]。金乌贼产卵场有潮流缓慢、水质澄清、藻类较多和盐度较高的特点^[19]。本研究中,2015年杨家洼湾前附近海域投放的十字形附着基的平均附卵量为 299.96 粒,附卵率为 82.14%;斋堂岛附近海域投放的十字形产卵附着基的平均附卵量为 0。通过对投放海区环境因子测定可知,斋堂岛附近海域最大流速约为 2.4 nm/h,水深 24~28 m;杨家洼湾前附近海域最大流速约为 1.2 nm/h,水深 18~22 m。相关研究表明,金乌贼游速较慢,产卵时喜在潮流缓慢的海区,目前已知金乌贼产卵场水深范围为 3~20 m^[15, 20]。适宜的水深和流速,一方面为底栖生物提供合适的生存空间,另一方面为沉性受精卵提供适宜的孵化环境。但对沉性受精卵而言,水深过大会引起水体压强增大,反而不利于沉性受精卵的孵化和仔乌的生长^[21]。同样流速过大也不利于水生生物的产卵繁殖,过大的流速会影响黏性、沉性卵的受精以及在海区的分布和黏附^[22]。因此,斋堂岛和杨家洼湾前附近海域的流速和水深差异可能是导致两海区附卵效果差异显著的主要原因。

2016 年薛家岛近海投放的十字形附着基的平均附卵量为 199.52 粒, 附卵率为 56.72%; 杨家洼湾前附近海域投放的十字形附着基的平均附卵量为 16.11 粒, 附卵率为 13.33%。分析认为, 薛家岛和杨家洼湾前附近海域投放的十字形附着基的附卵效果除了与海区环境因子(水深等)有关外, 还与金乌贼喜集群以及山东省近几年实施的金乌贼增殖放流有关。目前山东省金乌贼增殖放流海区主要为灵山湾、薛家岛附近海域, 由于金乌贼群体回归性明显, 上一年放流的仔乌, 能够在翌年重新集群洄游到其出生海域产卵繁殖^[3], 推测金乌贼繁殖季节在灵山湾、薛家岛附近海域已经形成了一定数量的由放流种群组成的生殖群体, 且该海域也适合金乌贼产卵繁殖。2015 年和 2016 年 6 月杨家洼湾前附近海域投放的十字形附着基附卵效果差异显著, 分析认为, 附卵效果与金乌贼资源的年际变化和繁殖种群的数量有关^[1], 另外, 也与实验投放的产卵附着基数量少、覆盖海区面积小, 仅能反映局部海域的繁殖群体数量等因素有关。

研究结果表明, 海区环境因子(水深、流速)对金乌贼的产卵繁殖以及产卵场的分布有重要影响, 金乌贼产卵附着基敷设海区的不同对附卵效果有显著影响。今后, 在金乌贼产卵繁殖季节, 选择水深 15~20 m 的缓流区, 在海底设置十字形可折叠金乌贼产卵附着基进行资源增殖, 可预期较好的增殖效果。

3.2 不同产卵附着基附卵效果

许多研究表明, 金乌贼、曼氏无针乌贼(*Sepiella japonica*)、拟目乌贼(*Sepia lycidas*)等对产卵附着基具有一定的选择性。李嘉泳^[14]研究表明, 在水族箱内同时放置树枝和马尾藻, 雌金乌贼总是选择前者作为产卵附着基; 赵厚钧等^[6]对日照岚山头近海投放的 4 种不同产卵附着基附卵效果进行比较研究, 认为怪柳和黄花蒿的附着效果较好, 地肤草次之, 竹苗最差; 刘长琳等^[16]研究认为室内水槽实验中海参筐附卵效果较好, 棕绳片次之, 吊绳最差。郝振林^[23]认为网绳和怪柳附卵效果优于地肤草。吴常文等^[24]对曼氏无针乌贼不同材料产卵附着基附卵效果的研究表明, 聚乙烯绳附卵

效果最佳, 其余依次为聚丙烯绳、钢筋、竹子、木头。唐峰等^[25]对拟目乌贼不同材料产卵附着基附卵效果的研究表明, 无论是尼龙绳还是网片, 都是直径或是网目较大的附卵效果较好。不同材料的附卵基附卵效果不同, 这与附着基材料的粗细程度、表面的粗糙程度有一定关系。本研究结果显示, 在室内同一水体环境中怪柳和十字形附着基附卵效果较好, 海参筐附卵效果较差; 海区实验结果表明, 2015 年和 2016 年 6 月敷设的十字形附着基的最高附卵率分别为 82.14%和 52.76%, 最高平均附卵量分别为 299.96 粒和 199.92 粒, 最大附卵量达到 2300 粒, 海区附卵效果良好。十字形附着基与黄花蒿、怪柳等附着基相比, 孵卵面积大, 且不会对陆地植被造成破坏, 易于组装、拆卸、运输和存放, 可重复利用, 即使某一部分破损, 也不会导致整个产卵附着基报废, 制作费用低且经久耐用; 十字形的开放结构, 不会对金乌贼亲体造成损害, 适应金乌贼多次产卵的习性。因此, 十字形附着基作为一种新形金乌贼产卵附着基具有推广应用的前景。

郝振林^[23]研究表明, 金乌贼视网膜仅具有感光细胞, 仅能感知光觉, 不能感知色觉, 但不同色光实际投射到其视网膜上的光功率不同, 因此即便是色盲, 乌贼对不同颜色附着基也会产生不同的趋向行为。李嘉泳^[14]发现在海区实验中, 3 种不同颜色的网笼对金乌贼的吸引力依次为白色、黑色、红色; Fujita 等^[13]的室内水槽实验显示, 在金乌贼产卵过程中, 附着基颜色与水槽颜色对比度越高, 对金乌贼的吸引力越大, 附着基的附卵效果越好。本研究室内实验证实, 白色十字形附着基的附卵效果显著优于黑色, 推测与产卵用水泥池背景颜色偏暗, 白色附着基具较大反差有关, 这与李嘉泳^[14]、Fujita^[13]等的研究结果一致; 海区实验结果表明, 白色和黑色十字形附着基的附卵效果差异并不显著, 分析认为, 由于浒苔和海中悬浮污泥的附着, 使得敷设于海中的附着基颜色差异并不明显, 因此, 海区投放的黑白两色产卵附着基, 并未产生与室内实验相似的结果。

室内实验发现, 池底摆放的十字形附着基的附卵效果显著优于表层悬挂的十字形附着基; 海

区实验同样发现,海底悬挂的十字形附着基的附卵效果优于近底层悬挂的十字形附着基,表明产卵附着基敷设的水层、水深会对其附卵效果产生显著影响。这与金乌贼于中下层栖息的生活习性有关^[2],其交配、产卵多位于底栖藻类密集、礁石较多的沿岸浅水区底层^[5]。其次,产卵附着基的稳定性也对其附卵效果有一定的影响,稳定性强的产卵附着基附卵效果较好^[13]。今后,在海区敷设产卵附着基时,应充分考虑产卵附着基悬挂的水深和水层,以提高附卵效果。

为提高金乌贼捕获量,渔民通常在乌贼笼内放置怪柳、黄花蒿等诱引材料;同时,历年的人工增殖实践也表明,金乌贼受精卵也常集中附着在怪柳、黄花蒿等材料上。这与本研究加装怪柳附卵器可显著提高十字形附着基的附卵效果结论基本一致。分析认为,由于金乌贼喜欢选择细长、富有固着力的材料作为产卵附着基^[13],所以怪柳、黄花蒿等材料可增强对金乌贼产卵亲体的吸引力;同时在产卵附着基上加装怪柳、黄花蒿等附卵器可以增加附着基的附卵面积,从而提高附卵数量。

4 总结和建议

综合分析认为,本研究所选用的十字形可折叠金乌贼产卵附着基的附卵效果良好,与怪柳、黄花蒿附着基相比,其具有易于组装、拆卸、运输和存放,可重复利用、制作费用低且经久耐用、不损害陆地植被等优点;十字形的开放式结构,不会对金乌贼亲体造成损害,适应金乌贼多次产卵的习性。今后,可在金乌贼产卵繁殖季节,选择其重要产卵场和主要增殖放流海区水深 15~20 m 的缓流区,底层设置十字形可折叠金乌贼产卵附着基进行资源增殖与产卵群体的综合保护。

海区实验发现,十字形附着基受海流作用有个别缠附在一起的现象,附着基投放时需要根据海区流速调节浮沉配比,根据海区海况条件,优化调整附着基主绳长度、各附着基之间的间距、各纵向支绳的长度等,以进一步提高附着基的附卵效率和海上敷设作业的便捷性。

参考文献:

- [1] Zheng Y J, Chen X Z, Cheng J H, et al. Biological Resources and Environment in the East China Sea Continental Shelf[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Press, 2003: 722-727. [郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 等. 东海大陆架生物资源与环境[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003: 722-727.]
- [2] Qi Z Y. Economic Mollusca of China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998: 293-294. [齐钟彦. 中国经济软体动物[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 293-294.]
- [3] DONG Z Z. The Biology of Oceanic Economic Cephalopod in the World[M]. Jinan: Shangdong Scientific and Technical Press, 1991: 197-207. [董正之. 世界大洋经济头足类生物学[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1991: 197-207.]
- [4] Hao Z L, Zhang X M, Zhang P D. Biological characteristics and propagation of *Sepia esculenta*[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(4): 601-606. [郝振林, 张秀梅, 张沛东. 金乌贼的生物学特性及增殖技术[J]. 生态学杂志, 2007, 26(4): 601-606.]
- [5] Fang Y Y, Tang Y L. Research advances on *Sepia esculenta* resource enhancement of artificial reefs[J]. Marine Sciences, 2008, 32(8): 87-90, 97. [房元勇, 唐衍力. 人工鱼礁增殖金乌贼资源研究进展[J]. 海洋科学, 2008, 32(8): 87-90, 97.]
- [6] Zhao H J, Wei B F, Hu M, et al. Preliminary study on *Sepia esculenta* oosperm hatching and effects of different adhesion substrates[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2004, 26(3): 64-68. [赵厚钧, 魏邦福, 胡明, 等. 金乌贼受精卵孵化及不同材料附着基附卵效果的初步研究[J]. 海洋湖沼通报, 2004, 26(3): 64-68.]
- [7] Wei L Z, Gao T X, Han Z Q, et al. Biology of *Sepia esculenta* from the coastal waters of Rizhao[J]. Periodical of Ocean University of China: Natural Sciences, 2005, 35(6): 45-50. [韦柳枝, 高天翔, 韩志强, 等. 日照近海金乌贼生物学的初步研究[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2005, 35(6): 45-50.]
- [8] Choe S, Ohshima Y. Rearing of cuttlefishes and squids[J]. Nature, 1963, 197(4864): 307-307.
- [9] Yagi T. On the growth of the shell in *Sepia esculenta* caught in Tokyo Bay[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1960, 26(7): 646-652. (in Japanese).
- [10] Wei Z B. Preliminary observation of *Sepia esculenta* habits[J]. Chinese Journal of Zoology, 1964 (3): 132-134. [魏臻邦. 金乌贼生活习性的初步观察[J]. 动物学杂志, 1964(3): 132-134.]
- [11] Watanuki N, Kaneuchi S, Fujita T, et al. Entry of immature cuttlefish *Sepia esculenta* into basket traps[J]. Fish Sci, 1998, 64(5): 707-710.
- [12] Wada T, Takegaki T, Mori T, et al. Sperm displacement

- behavior of the cuttlefish *Sepia esculenta* (Cephalopoda: Sepiidae)[J]. J Ethol, 2005, 23(2): 85–92.
- [13] Fujita T, Hirayama I, Matsuoka T, et al. Spawning behavior and selection of spawning substrate by cuttlefish *Sepia esculenta*[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1997, 63(2): 145–151. (in Japanese).
- [14] Li J Y. On the breeding and migration of the golden cuttlefish, *Sepia esculenta*, living in Yellow Sea[J]. Journal of Shandong College of Oceanology, 1963(2): 69–108. [李嘉泳. 金乌贼 *Sepia esculenta* Hoyle 在黄渤海的结群生殖和洄游[J]. 山东海洋学院学报, 1963(2): 69–108.]
- [15] Yamada U, Tagawa M, Kishida S, et al. Fishes of the East China Sea and the Yellow Sea[M]. Nagasaki: Seikai National Fisheries Research Laboratory, 1986: 208–461. (in Japanese).
- [16] Liu C L, Zhuang Z M, Chen S Q, et al. Study on the brood-stock domestication and propagation characteristics of *Sepia esculenta*[J]. Fishery Modernization, 2009, 36(2): 34–37. [刘长琳, 庄志猛, 陈四清, 等. 金乌贼亲体驯养与繁殖特性研究[J]. 渔业现代化, 2009, 36(2): 34–37.]
- [17] Sakurai Y, Kiyofuji H, Saitoh S, et al. Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions[J]. ICES J Mar Sci, 2000, 57(1): 24–30.
- [18] Yin M C. Fishery Ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 105–131. [殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 105–131.]
- [19] Zhang X, Qi Z Y, Li J M, et al. Marine Mollusk Economic Fauna of China[M]. Beijing: Science Press, 1962: 213–217. [张玺, 齐钟彦, 李洁民, 等. 中国经济动物志—海产软体动物[M]. 北京: 科学出版社, 1962: 213–217.]
- [20] Roper C F E, Sweeney M J, Nauen C E. Cephalopods of the world. An annotated and illustrated catalogue of species of interest to fisheries[J]. FAO Fisheries Synopsis, 1984, 125(3): 277.
- [21] Chen M Q, Tuo Y C, Li J, et al. Preliminary study on index system describing hydraulic characteristics of fish spawning ground[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(11): 1303–1308. [陈明千, 脱友才, 李嘉, 等. 鱼类产卵场水力生境指标体系初步研究[J]. 水利学报, 2013, 44(11): 1303–1308.]
- [22] Yi Y J, Wang Z Y, Lu Y J. Habitat suitability index model for Chinese Sturgeon in the Yangtze River[J]. Advances in Water Science, 2007, 18(4): 538–543. [易雨君, 王兆印, 陆永军. 长江中华鲟栖息地适合度模型研究[J]. 水科学进展, 2007, 18(4): 538–543.]
- [23] Hao Z L. Studies on reproductive development and fluorescent marking technology of *Sepia esculenta*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010. [郝振林. 金乌贼繁殖、发育及荧光标志技术的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.]
- [24] Wu C W, Dong Z Y, Chi C F, et al. Reproductive and spawning habits of *Sepiella maindroni* off Zhejiang, China[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2010, 41(1): 39–46. [吴常文, 董智勇, 迟长凤, 等. 曼氏无针乌贼 (*Sepiella maindroni*) 繁殖习性及其产卵场修复的研究[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(1): 39–46.]
- [25] Tang F, Jiang X M, Luo J, et al. The study of the optimal ambient environment on egg hatching and the effect of different spawning substrates on adhesion to newly spawned eggs of *Sepia lycidas*[J]. Journal of Biology, 2013, 30(6): 54–58. [唐锋, 蒋霞敏, 罗江, 等. 拟目乌贼受精卵孵化及室内附卵基附卵效果的研究[J]. 生物学杂志, 2013, 30(6): 54–58.]

The efficacy of new spawning substrates for *Sepia esculenta* oosperm adhesion

NIU Chao¹, YANG Chaojie¹, HUANG Yuxi¹, ZHANG Xiumei^{1,2}

1. The Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education; Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Functional Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes; Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266072, China

Abstract: In recent years, *Sepia esculenta* stock enhancement in Shandong province has been carried out in two ways. One is to release hatchery-reared juvenile *S. esculenta*. The other is to provide suitable spawning substrates made of salt cedar branches or sweet wormwood branches. The materials for the spawning substrates are cheap, and the substrates are also appropriate for *S. esculenta* spawning and thus helpful for *S. esculenta* *in situ* conservation and enhancement. However, the materials can't be reused and are easily damaged on transportation and deployment. Furthermore, successive cuttings of salt cedar and sweet wormwood significantly damage the two terrestrial plant species. Therefore, in order to improve *S. esculenta* stock enhancement and to further expand the stock enhancement scale, identification of environment-friendly spawning substrates has become an important issue. A study on different types of spawning substrates for *S. esculenta* oosperm adhesion was conducted in an indoor spawning pool. Additionally, the adhesion of *S. esculenta* oosperms to the spawning substrates was also examined in the field. The results of the indoor experiment showed that the adhesion of the oosperms on salt cedar branches was the best, followed by that on the cruciform spawning substrates, with that on the sea cucumber frame being the worst. The adhesion of oosperms on the white cruciform spawning substrates was significantly better than on the black ones ($P < 0.05$). Attaching salt cedar branches to the cruciform spawning substrates significantly increased oosperm adhesion. In addition, oosperm adhesion on the cruciform spawning substrates, which were placed at the pool bottom, was significantly better than those hung in the upper water ($P < 0.01$). In the field experiment, the results showed that oosperm adhesion to the cruciform spawning substrates was good in both 2015 and 2016, with highest oosperm adhesion rates being 82.14% and 56.72%, respectively. Oosperm adhesion was not significantly different between the black and the white cruciform spawning substrates ($P > 0.05$). Oosperm adhesion to cruciform spawning substrates that were hung at the sea bottom was significantly better than on those hung near the sea bottom ($P < 0.05$). The results suggested that, in the spawning season of *S. esculenta*, resource enhancement and comprehensive protection of the spawning population can be achieved effectively by deploying artificial cruciform and collapsible spawning substrates at the sea bottom in its spawning grounds and in the main enhancement and releasing areas of slack water with depths of 15–20 m.

Key words: *Sepia esculenta*; spawning substrates; adhesion effects; spawning grounds restoration

Corresponding author: ZHANG Xiumei. E-mail: gaozhang@ouc.edu.cn