

# 温度对褐牙鲆资源补充特征的生态效应\*

朱鑫华 王云峰 刘 栋

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

**提要** 根据1980—1995年胶州湾和渤海水域资源生态学调查资料,采用自然生态学与实验生态学相结合的方法,综合分析温度对褐牙鲆补充阶段生活史特征及其资源补充过程的影响。结果表明,随地理纬度的增加,褐牙鲆产卵期滞后,生殖季节缩短;在水温从9.62℃增至19.89℃的过程中,褐牙鲆的性腺发育指数(GSI)出现单一峰值,7月至翌年3月间此值均小于1.0;在实验水温范围(7—27℃)内,受精卵孵化时数( $t$ )随水温( $T$ )变化关系为 $t = 292.84e^{-0.09687T}$  ( $r = -0.8645$ ,  $n = 34$ ,  $p < 0.001$ )。在一定温度范围内,亲鱼性成熟、排卵、仔鱼变态速度与温度呈正相关;胚胎发育总时数、孵化率、仔鱼各发育阶段的持续时间和仔鱼变态持续时间、仔鱼变态后的个体大小与温度呈负相关;仔幼鱼生长速度与温度呈二项式曲线;褐牙鲆卵的温度容忍度至少为8℃,其仔鱼、幼鱼生长率与存活率均为最低。

**关键词** 温度 资源补充 褐牙鲆

**学科分类号** Q178.1

鱼类属变温水生生物,无论是以体内能量分配为中心的繁殖、个体发育、补充和生长等生物学特性研究,还是以种群数量变动、季节性洄游和捕食与被食间关系等为中心的生态学研究,都认为温度是影响鱼类生态生理学特征的一个主要控制因素(Pepin, 1991; Rankin *et al*, 1993; Jobling, 1994; Neill *et al*, 1994)。褐牙鲆属暖温性底层鱼类,广泛分布于中国、日本、韩国、朝鲜等北太平洋沿岸水域,既是重要的渔业兼捕对象,又是优良的增养殖品种。本文对该鱼种早期生活史特征进行综合研究,分析温度对补充阶段种群生长率和存活率的影响,以期有助于提高增养殖苗种的培育数量和质量,更重要的是以褐牙鲆作为渔业资源动态研究的范式鱼种,揭示温度对海洋鱼类资源补充机制和生态生理学特征的效应。

## 1 材料与方法

褐牙鲆 [*Paralichthys olivaceus* (T. et S.)] 渔业生物学资料取自1980—1995年间胶州湾、渤海水域渔业资源生态学调查研究的定量样本;受精卵于1998年5月采自日照市海洋水产研究所养殖场。受精卵发育阶段温度实验在中国科学院海洋研究所水族楼进行,分16℃、19℃、22℃、25℃、28℃和常温等6个梯度,每一温度设4个重复,实验容器为190mm × 145mm × 200mm 玻璃缸。发育阶段特征按张孝威等(1965)划分标准。性腺发

\* 国家自然科学基金资助项目, 39670574号。朱鑫华,男,出生于1957年10月,博士,研究员, E-mail: xhzhu@ms.qdio.ac.cn

收稿日期: 1998-06-02, 收修改稿日期: 1998-10-10

育指数 (*GSI*) 按性腺重量占纯体重的百分比计算。长度生长以全长 (mm) 表示。

## 2 结果

### 2.1 产卵场与产卵期

产卵场: 位于中国沿海的褐牙鲈产卵场主要有 3 个, 即渤海南部的莱州湾和辽东湾, 黄海北部的鸭绿江口西侧, 以及黄海中部的胶州湾及邻近水域 (朱鑫华, 1992; 吴鹤洲等, 1987)。日本沿海的褐牙鲈产卵场几乎遍及其周边水域, 从北海道石狩湾到四国岛的鸟取县、山口县、长崎县、九州岛等水域均有分布 (田代征秋等, 1995; 小泽贵和等, 1996; 北川大二等, 1994; 加藤和范等, 1987)。

产卵期: 根据各类资料分析, 结果见表 1。由表 1 可知, 地理纬度越高, 褐牙鲈产卵期越滞后, 生殖季节亦越短, 但主要集中于春季。在北太平洋海区, 黄渤海褐牙鲈产卵期的变异较日本海小; 黄渤海褐牙鲈产卵期的变异比日本海沿岸大。

### 2.2 生殖期与环境水温的关系

黄渤海褐牙鲈性腺发育指数 (*GSI*) 与环境水温季节变化状况见图 1。在黄渤海沿岸水

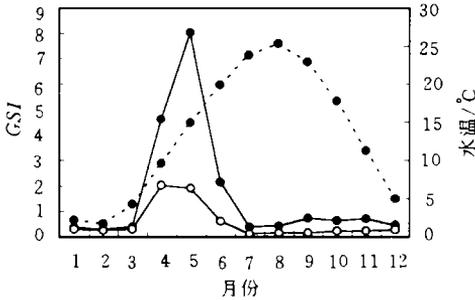


图 1 黄渤海沿岸水域底层水温与 *GSI* 的逐月变化

Fig.1 Monthly fluctuation of *GSI* paralleling to bottom temperature of Yellow and Bohai Seas coast  
—●—表示褐牙鲈雌鱼 *GSI*; —○—表示褐牙鲈雄鱼 *GSI*; ...●...表示水温

域, 水温逐月变化, 为典型的中纬度暖季单周期型节律 (朱鑫华等, 1994)。春季 4—6 月, 水温从 9.62℃ 增至 19.89℃, 褐牙鲈 *GSI* 出现单一峰值; 而 7 月至翌年 3 月间 *GSI* 均小于 1.0。由此可见, 褐牙鲈生殖期为 4 月底至 6 月, 雌鱼性腺于 5 月份达到 IV 期末至 V 期, 5 月为产卵盛期 (Wu *et al*, 1989)。在 4 月下旬采到卵子时, 最低海水表面温度为 10℃, 至产卵末期水温最高纪录为 18℃ (张孝威等, 1965)。当实验室水温达到 10.5℃ 时, 已有少量亲鱼开始排卵; 排卵盛期出现时, 水温为 14—16℃, 此即为最适繁殖水温。雄鱼在加温条件下, 比自然海区提早成熟。褐牙鲈雌鱼在高水温比在低水温成熟得快,

经人绒毛膜促性腺激素 (HCG) 诱导排卵的效应时间也较短 (吴佩秋等, 1980)。

### 2.3 温度对早期发育过程的影响

2.3.1 温度对受精卵孵化过程的影响 在实验水温范围 (7—27℃) 内, 褐牙鲈受精卵均能孵化发育, 其孵化时数 (*t*: hours) 与水温 (*T*: °C) 变化呈显著负指数关系:  $t = 292.84e^{-0.0968T}$  ( $r = -0.8645$ ,  $n = 34$ ,  $p < 0.001$ )。

孵化时数随实验水温的升高而减少 (图 2)。在 7℃ 时, 孵化时间为 160h; 而在 27℃ 时, 孵化时间仅需 21h。当平均水温为 16.5℃ 时, 平均孵化时数为 63.86h。在 95% 置信区间内, 最适水温为 15.30—17.70℃, 孵化时数理论值为 66.59—52.79h。

除了实验水温与受精卵孵化时数因子影响外, 盐度、溶解氧、光照等环境因素和卵子的质量 (吴佩秋等, 1980)、孵化期间昼夜温差变化 (吴光宗等, 1993) 等均对早期发育速率产生影响。在同一温度下, 盐度与受精卵孵化率变化呈抛物线型关系; 随着温度的升高,

表1 褐牙鲆生殖期的空间变化

Tab.1 Spatial variation of spawning period of *P. olivaceus*

海 区	生殖期(月)	资料来源	作 者
黄海和渤海	4—6	GSI	缪锋, 1997 <sup>1)</sup>
胶州湾	4—6	GSI和性腺观察	Wu Peiqiu <i>et al.</i> , 1989
东海和黄海	1—3	GSI	北川大二等, 1994
北海道沿海	6—7	GSI	
青森县沿海	6—7	渔业资料	
山形县沿海	5—6	GSI	
新潟县沿海	4—7	GSI	北川大二等, 1994
若狭湾沿海	3—5	幼鱼发生量	田代征秋等, 1995
鸟取县沿海	3—5	GSI	
福冈县玄界滩	2—4	间接引用资料	
长崎近海沿海	1—5	GSI	
福岛县沿海	5—7	GSI	
千叶县沿海	4—7	GSI	北川大二等, 1994
千叶县台东金谷沿海	2—6	GSI	
神奈川县沿海	2—4	GSI	

1) 缪 锋, 1997. 黄渤海褐牙鲆性成熟特性的研究. 青岛海洋大学学士学位论文

最佳盐度值随之有所增加, 但盐度与孵化率相关关系不显著 ( $n = 13, r = 0.0069, p > 0.1$ )。在温度和盐度共同作用下, 孵化率变化趋势呈二元二次函数态势 (图 3)。而当盐度  $> 29$  时, 孵化率随之迅速下降。

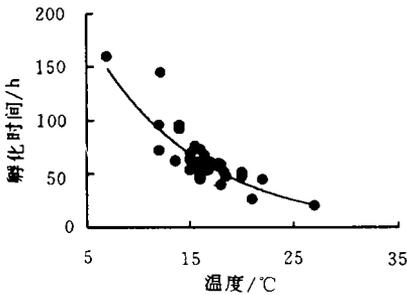


图2 温度对褐牙鲆受精卵孵化发育时数的影响

Fig.2 Effect of temperature on incubation duration of fertilized eggs of *P. olivaceus*

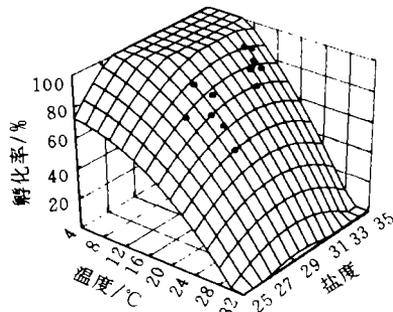


图3 温度和盐度对褐牙鲆受精卵孵化率的影响

Fig.3 The associated effect of temperature and salinity on hatch rate of fertilized eggs of *P. olivaceus*

2.3.2 温度与早期发育阶段持续时间的关系 比目鱼类在早期发育阶段, 其器官、体形和生存方式均有显著改变(张孝威等, 1965; Fukuhara, 1986)。随着仔鱼开口、眼睛色素沉着、首次摄食和卵黄吸收等特征出现, 右眼开始向背侧转移; 个体形态由两侧对称、依内源

能量供应、中上层漂浮生活,逐渐发展为上下侧扁、外源能量供应和底层生活方式。在这一变态、迁移与着底时期,死亡率较高,数量变动最大,因此被称为早期发育危险期(Critical Period),对种群生长率和资源补充有极大的影响(Minami, 1982)。

(1) 变态(Metamorphosis) 实验水温为 13℃时,仔鱼开口时间需 6d,卵黄吸收完毕需经 2d(表 2)。水温升至 19℃时,开口时间仅需 2d,至第 3 天开始摄食,卵黄随即吸收完毕。比较 Seikai 等(1986)、张孝威等(1965)的实验结果,可见褐牙鲂发育时期的实际水温应为 16—19℃;而雷霖霖等(1981)观察的发育水温应为 16℃。

表2 温度与变态特征出现的时间

Tab.2 Emergent days of metamorphosis patterns to experimental temperature after hatching

实验水温(℃)	生活史阶段(d)				作者
	开口	眼睛色素沉着	首次摄食	卵黄吸收	
13	6	6	7	8	Seikai <i>et al.</i> , 1986
16	4	4	5	5	
19	2	2	3	3	
14.2±0.3	3	3	4	4	Fukuhara, 1986
14.5—18.8	5				吴光宗等, 1993
14.5—19.2	7				
14.6—19.5	3				
14.5—19.3	7				
15—25	3				张孝威等, 1965
15—26	4	4	5	5	雷霖霖等, 1981

从卵黄囊完全消失到冠状背鳍形成这一时期,右眼开始上升,脊索末端上翘,这是褐牙鲂后期仔鱼阶段的主要特征。自孵化后至变态完成阶段,经历时间( $D$ : d)与环境水温( $T$ : ℃)呈显著负指数关系:  $D = 29.785e^{-0.01497T}$  ( $r = -0.8393$ ,  $n = 8$ ,  $p < 0.001$ ) (图 4); 而与此时鱼体个体大小关系不显著( $r = 0.1881$ ,  $n = 8$ ,  $p > 0.1$ )。温度与比目鱼类变态速率的影响,是生态环境变异对鱼体新陈代谢作用的结果。据田川正朋(1997)报道,鱼

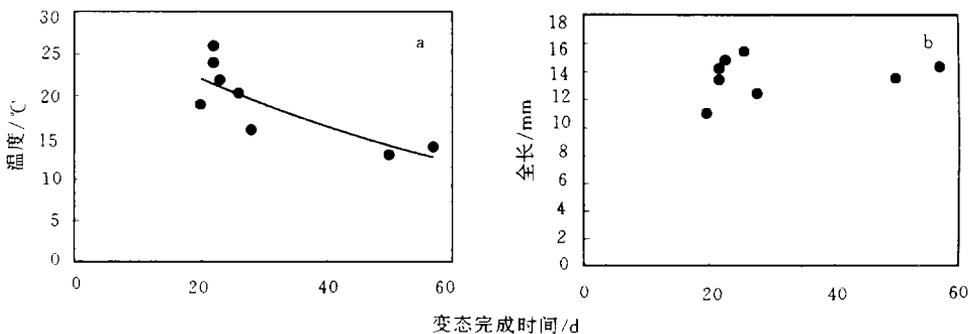


图4 仔鱼变态时间与温度(a)和鱼体全长(b)的关系

Fig.4 Relation of metamorphosis time to temperature (a) and total length (b) after hatching

类在变态高峰时, 组织中甲状腺素浓度会急剧增高, 对早期发育过程起着生理调控作用。

(2) 迁移与着底 (Migration and Settlement) 比目鱼类变态前后主要生活史特征的主要适应方式, 表现在着底和迁移, 以利于主动觅食和逃避敌害 (Keefe *et al.*, 1994)。褐牙鲆着底过程包括水层垂直移动和埋沙, 与潮汐和月相变化密切相关, 呈明显的半月周期 (Tanaka *et al.*, 1989)。在大潮期, 仔鱼随快速流动的水流扩散, 并形成转运至育幼场的数量高峰。刚着底的仔鱼, 涨潮时向岸边浮, 退潮时则离岸下沉。此外, 变态仔鱼着底过程还受育幼场底质、捕食与被食者密度的影响 (Tanaka *et al.*, 1989; Subiyanto *et al.*, 1993)。当水体饵料不足时, 仔鱼会为捕捉食物而再次上浮, 这对主动运动能力不强的鱼类而言, 无疑是补充群体自近海至近岸转运的有效途径。

## 2.4 温度对仔稚鱼生长的影响

实验室和野生环境实验结果发现, 水温是影响仔鱼生长发育的最重要因子之一 (Seikai *et al.*, 1986)。尽管褐牙鲆仔、幼鱼生长的最小限制温度还未得以确定, 但 13℃ 可能是比目鱼类仔鱼生长的生态“零点” (Seikai *et al.*, 1986)。在仔鱼阶段, 当实验水温为 13—26℃ 时, 褐牙鲆仔鱼全长生长与孵化后天数呈线性关系 ( $r = 0.9194$ ,  $n = 72$ ,  $p < 0.001$ )。比较各组温度条件下, 仔鱼全长与孵化后天数增长的关系, 以线性关系中的  $b$  值表示;  $b$  值在 13℃ 水温时为 0.223 7, 至 20.4℃ 水温时增至 1.741 7。在孵化后的同一时刻, 仔鱼生长随温度的变化符合一元二次函数增长关系 (表 3), 其最适温度在孵化后的第 10 天, 为 21.59℃。至第 20 天时, 仔鱼适应温度有所上升, 但第 20 天至 30 天间温度适应值变化较小。

表3 褐牙鲆仔鱼在特定时间全长生长与温度的拟合关系

Tab.3 Simulative equation of length growth of larval *P. olivaceus* to water temperature in specific days

孵化后天数 (d)	全长生长 (TL, mm) 拟合模式	相关系数	解释方差 (%)	样本数	最适温度 (℃)
10	$TL = -5.3163 + 1.0802T - 0.0257T^2$	0.9454	89.39	7	21.59
20	$TL = -19.838 + 2.8254T - 0.0605T^2$	0.9879	97.60	7	23.35
30	$TL = -32.2631 + 4.3986T - 0.0947T^2$	0.9828	96.59	7	23.39

综合褐牙鲆仔鱼阶段全长 (TL: mm) 与存活时间 (D: d) 和温度 (T: ℃) 变化的适应关系, 其分布型式符合二元二次函数式 (图 5):

$$TL = -13.5986 + 1.731T - 0.173D + 0.0308T \times D + 0.0028D^2$$

$$(r = 0.9837, \text{解释方差} = 96.7683\%, n = 93)$$

自开始变态至幼鱼阶段, 褐牙鲆个体增长速度与温度的关系并不呈线形关系, 而是服从一元四次函数 (图 6):

$$TL = -0.2287 + 3.607 \times 10^{-3}T^2 - 3.2884 \times 10^{-6}T^4 \quad (r = 0.8920, n = 12)$$

由公式可求出, 在 23.42℃ 时, 全长生长速度的理论值最快, 达 1.2179 mm/d。幼鱼生长率在 10℃ 时最低, 21—25℃ 时最高, 30℃ 时较低。说明在 10—25℃ 温度范围内, 长度生长率随温度升高而增加, 超过该温度范围后, 随温度升高而降低。据报道 (Fonds *et al.*, 1995), 褐牙鲆仔幼鱼最大全长生长率为 1.1 mm/d, 折合于 10%—11% 体重/d。

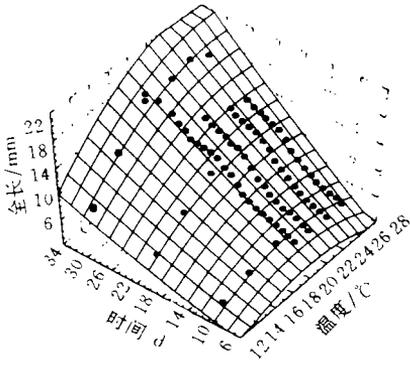


图5 褐牙鲂仔鱼全长生长与温度和孵化后  
历时间的关系

Fig. 5 Relation of length growth to water temperature and days after hatching of *P. olivaceus*

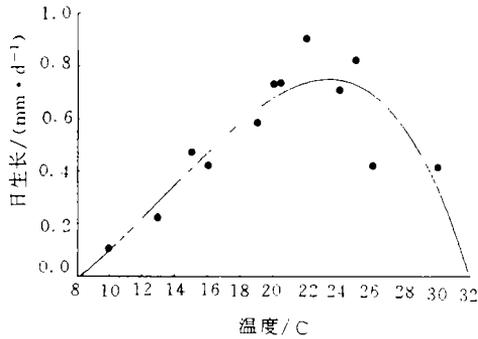


图6 褐牙鲂幼鱼全长日生长与温度变化的关系

Fig.6 Relationship between daily increment in total length of larval *P. olivaceus* and water temperature

### 3 讨论

#### 3.1 温度对褐牙鲂早期生活史的影响

根据褐牙鲂生殖群体的地理分布,其产卵期随纬度增加而滞后,生殖季节亦缩短,但当水温为12—16℃时处于产卵盛期(图1),这与Miller等(1991)报道大西洋中部比目鱼类生殖期和生殖季节的推论相一致。因此,地理纬度的差异造成环境温度的不同,由此决定了鱼类产卵期的变动(Houde, 1989),并对补充量的变化起着关键作用。在褐牙鲂早期发育阶段,不依靠日龄而变态,其变态的大小明显受周围水温的影响(Seikai *et al.*, 1986)。在一定的范围内,胚胎发育的总时数随水温的增高而减少(图3),孵化所需时间与水温呈反函数曲线(图2),这与加州鲈(*Paralichthys californicus*)孵化时间与水温成反比的研究结果(Gadomski *et al.*, 1991)相近似。在变态高峰期,水温越高,生长越快,死亡率变化就越大。24℃是仔鱼变态期生长最快的水温,超过24℃将导致生长和存活率的显著下降,而在22℃时温度对存活率影响不大。由于26℃(>24℃)的培育水温过高,致使部分体弱的仔鱼难以完成变态,特别是难以度过变态的“高峰期”而中止变态,死亡率明显上升。水温对褐牙鲂生长和变态的作用程度不尽相同,较高的水温能促使仔鱼变态,且较促进生长的作用更为强烈和明显,因而造成变态后的幼鱼个体相对较小。适宜的高温具有促进褐牙鲂变态的作用,促进强度将随水温的升高而降低。变态时间随温度的升高而缩短(图2),变态速度随水温升高而加快,但高于24.0℃的水温对变态速度影响不大(刘立明, 1996)。如水温超过一定的阈值,将对变态起消极影响。

对褐牙鲂成鱼的生长与性成熟特性而言,性腺在高水温中比在低水温中成熟得快,高温可促进性腺提前成熟、促进鱼提前排卵,变态速度随水温的升高而加快。因此,在一定温度范围内,亲鱼性成熟、排卵、仔鱼变态速度与温度呈正相关。

#### 3.2 迁移与着底机制

比目鱼类的资源补充特征之一是迁移与着底。褐牙鲆产卵群体多自外海进入沿岸水域进行生殖洄游, 其浮性鱼卵随波逐流。在日本志志枝湾口部, 其涨潮采集时入网个数多, 且大部分是变态期的仔鱼, 说明补充资源有可能随向岸的涨潮流向靠岸边方向进行有效地输送(藤井徹生等, 1989; 后藤常夫等, 1989)。从幼鱼体长组成的分析来看, 着底时期与大潮周期相关。与其它比目鱼类补充群体的空间分布特征相比, 欧洲鳎(*Parophrys vetulus*) 在变态期间和变态后都进入湾内(Rogers *et al*, 1988); 欧洲鲾(*Pleuronectes platessa*) 在比较深的水域着底, 在变态后移进浅水区(Lockwood, 1974)。因此, 对褐牙鲆、欧洲鳎和鲾等比目鱼类而言, 潮流转运是一个重要的被动迁移机制。幼鱼在近海区高密度分布, 可能是受游泳能力的限制, 并受环境温度与沿岸流等因素刺激调节主动向海岸移动的结果, 导致近岸补充群体世代存活量提高(Parrish *et al*, 1981)。

### 3.3 褐牙鲆调节生活史的策略

鱼类生活史的调节策略, 既受环境因素的影响, 又与机体自身的生物学节律密切相关。例如甲状腺素在机体发育中, 具有促进生物体新陈代谢和组织器官的发生、分化及变态的作用, 可进而影响生物的发育状况。在褐牙鲆变态过程中, 较高水温可以诱导褐牙鲆甲状腺素的较早分泌与积累, 而甲状腺激素的含量与浓度直接刺激浮游仔鱼的变态(Tagawa *et al*, 1990)。另一方面, 甲状腺激素在褐牙鲆变态期间刺激胃腺分化, 增加胃腺体积, 促进成年型血红细胞的形成(Miwa *et al*, 1992), 因而这种作用就构成了高温促生长和变态的内部原因。高温下变态被加速, 导致出现更短的仔鱼期和更小的变态个体。在较冷的水环境中, 褐牙鲆也能延迟有限时期的着底, 直到遇到合适的暗示——更高的水温。这一特征将通过增加在更暖的沿岸地区着底的可能性来提高仔鱼存活率。

## 参 考 文 献

- 朱鑫华, 1992. 牙鲆种群动态及其资源管理. 海洋与湖沼, 23(3): 270—279
- 朱鑫华, 吴鹤洲, 徐凤山等, 1994. 黄渤海沿岸水域游泳动物群落多样性及其相关因素的研究. 海洋学报, 16(3): 102—112
- 刘立明, 1996. 不同温度条件下牙鲆变态期生长发育变化的研究. 海洋科学, 4: 58—63
- 吴光宗, 张英, 1993. 牙鲆早期阶段成活率研究. 海洋科学, 1: 13—17
- 吴佩秋, 郑澄伟, 裴祖南, 1980. 牙鲆的人工繁殖和育苗. 海洋湖沼通报, 1: 46—51
- 吴鹤洲, 阮洪超, 王新成等, 1987. 胶州湾牙鲆资源增殖的生态学基础及种苗放流实验研究. 海洋科学, 6: 52—53
- 张孝威, 何桂芬, 沙学绅, 1965. 牙鲆和条鳎卵子及仔、稚鱼的形态观察. 海洋与湖沼, 7(2): 158—174
- 雷霖霖, 梁亚全, 周士泉等, 1981. 牙鲆人工育苗的初步试验(一). 海洋湖沼通报, 1: 43—48
- 小泽贵和, 黑岩博文, 鹤田和弘, 1996. 九州南海域产ヒラメの成熟年齢と年間总产卵数. 日本水产学会志, 62(5): 733—739
- 北川大二, 石户芳男, 櫻井泰宪等, 1994. 三陆北部沿岸におけるヒラメの年齢, 成長, 成熟. 东北水研报, 56: 69—76
- 田代征秋, 一丸俊雄, 1995. 长崎县近海域におけるヒラメの渔业生物学的特性. 长崎水试研报, 21: 37—49
- 田川正朋, 1997. 鱼类的发生初期における甲状腺ホルモンの動態と役割. 日本水产学会志, 63(4): 498—501
- 加藤和范, 安沢井弥, 梨田一也, 1987. 新潟县北部沿岸域におけるヒラメの資源生物学的研究 II. 标志放流結果からみたヒラメ未成魚の移動およびヒラメの成熟と生長. 新潟水试研报, 12: 42—59

- 后藤常夫, 首藤宏幸, 富山实等, 1989. 志志湾におけるヒラメ稚仔魚の着底時期. 日本水産学会志, 55: 9—16
- 藤井徹生, 首藤宏幸, 畔田正格等, 1989. 志志湾におけるハラメ稚仔魚の着底過程. 日本水産学会志, 55: 17—23
- Fonds M, Tanaka M, Veer H W V d, 1995. Feeding and growth of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in relation to temperature and food supply. *Nethl J Sea Res*, 34: 111—118
- Fukuhara O, 1986. Morphological and functional development of Japanese flounder in early life stage. *Bull Jap Soc Sci Fish*, 52(1): 81—91
- Gadomski D M, Caddell S M, 1991. Effect of temperature on early-life-history stages of California halibut *Paralichthys californicus*. *Fish Bull*, 89: 567—576
- Houde E D, 1989. Comparative growth, mortality and energetics of marine fish larvae: temperature and implied latitudinal effects. *Fish Bull*, 87: 471—495
- Jobling M, 1994. *Fish Bioenergetics*. London: Chapman & Hall, 1—309
- Keefe M, Able K W, 1994. Contributions of abiotic and biotic factors to settlement in summer flounder, *Paralichthys dentatus*. *Copeia*, 2: 458—465
- Lockwood S J, 1974. The settlement, distribution and movement of 0-group plaice *Pleuronectes platessa* (L.) in Filey Bay, Yorkshire. *J Fish Biol*, 6: 465—477
- Miller J M, Burke J S, Fitzhugh G R, 1991. Early life history patterns of Atlantic North American flatfish: likely (and unlikely) factors controlling recruitment. *Nethl J Sea Res*, 27(3,4): 261—275
- Minami T, 1982. The arly life Bistory of a flounder *Paralichthys olivaceus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 48: 1 581—1 588
- Miwa S, Yamano K, Inui Y, 1992. Thyroid hormone stimulates gastric developmental changes in muscle during flounder metamorphosis. *J Exp Zool*, 261: 424—430
- Neill W H, Miller J M, Veer H V D *et al*, 1994. Ecophysiology of marine fish recruitment: a conceptual framework for understanding interannual variability. *Nethl J Sea Res*, 32(2): 135—152
- Parrish R H, Nelson C S, Bakun A, 1981. Transport mechanisms and reproductive success of fishes in the California current. *Bio Oceanogr*, 1: 175—203
- Pepin P, 1991. Effect of temperature and size on development. Mortality, and survival rates of the pelagic early life history stages of marine fish. *Can J Fish Aquat Sci*, 48: 503—518
- Rankin J C, Jensen F B, 1993. *Fish Ecophysiology*. London: Chapman & Hall, 1—421
- Rogers C W, Gunderson D R, Armstrong D A, 1988. Utilization of a Washington estuary by juvenile English sole, *Paraphrys vetulus*. *Fish Bull*, 86: 823—831
- Seikai T, Tanangonan J B, Tanaka M, 1986. Temperature influence on larval growth and metamorphosis of the Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in the laboratory. *Bull Jap Soc Sci Fish*, 52(6): 977—982
- Subiyanto I H, Senta T, 1993. Larval settlement of the Japanese flounder on sandy beaches of the Yatsushiro Sea, Japan *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59(7): 1 121—1 128
- Tagawa M, Miwa S, Inui Y *et al*, 1990. Changes in thyroid hormone concentrations during early development and metamorphosis of the flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Zool Sci*, 7: 93—96
- Tanaka M, Goto T, Tomiyama M *et al*, 1989. Immigration, settlement and mortality of flounder (*Paralichthys olivaceus*) larvae and juveniles in a nursery ground, Shijiki Bay, Japan. *Nethl J Sea Res*, 24(1): 57—67
- Wu Peiqiu, Wu Hezhou, Yang Jiming, 1989. Reproduction ecology of fishes in Jiaozhou Bay waters. *Chin J Oceanol Limn*, 7(3): 183—195

## EFFECTS OF TEMPERATURE ON THE ECOLOGICAL PATTERNS OF RESOURCES RECRUITMENT OF BASTARD HALIBUT, *PARALICHTHYS OLIVACEUS* (T. ET S.)

ZHU Xin-hua, WANG Yun-feng, LIU Dong

(Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

**Abstract** The effects of water temperature on early life history patterns of bastard halibut, *Paralichthys olivaceus* (T. et S.), in the northern China seas were evaluated using the data sets derived from both experimental trials and field survey. Although the bastard halibut is distributed over the whole waters of China and Japanese seas, the spawning period shortens and the peak of reproduction appears later with increase in geographic latitude, but all offspring occurs in spring season. In accordance with annual data of gonad somatic index, it can be inseminated as a single maximum value corresponding to warming temperature from 9.62 to 19.89°C. In laboratory experimental trials, eggs can be hatched under the condition of temperature ranging from 7.0 to 27.0°C and the relation of hatched time ( $t$ : hours) to temperature (°C) can be expressed as a negative exponential function as  $t = 292.84e^{-0.0968T}$  ( $r = -0.8645$ ,  $n = 34$ ,  $p < 0.001$ ). However, the most preferable temperature lies between 15.30 to 17.70°C and theoretical hatch time would be 66.59h to 52.79h. In association with changes in salinity and temperature, the hatch rate tends to vary with bivariable binomial function if salinity is less than 29. The effect of temperature on the metamorphosis rate of the fish was positive and total development time during early life stanza, body size at the end of metamorphosis has a negative relation. For changes in survival duration ( $D$ : d) and temperature ( $T$ : °C), the growth in total length can be conceptualized as  $TL = -13.5986 + 1.731T - 0.173D + 0.0308T \times D + 0.0028D^2$ . It means that maximum growth rate in 1.2179 mm/d can be observed for temperature 23.42°C.

**Key words** Temperature Recruitment mechanism *Paralichthys olivaceus* (T. et S.)

**Subject classification number** Q178.1