



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20180476

哈萨克斯坦和俄罗斯主要盐湖卤虫卵生物学 和营养学特性分析

杜东东, 高美荣, 张波, 隋丽英

(亚洲区域卤虫参考中心, 天津科技大学海洋与环境学院, 天津 300457)

摘要: 为了解析中亚地区盐湖卤虫卵品系特性并促进其在水产育苗中有效应用, 本研究对原产于哈萨克斯坦和俄罗斯盐湖的商品卤虫卵进行生物学和营养学特性分析, 结果表明: 水合卵径为 251.3~287.1 μm , 属较大型卤虫卵; 脱壳卵径为 235.5~265.2 μm ; 卵壳厚度为 4.9~12.2 μm , 与水合卵径大小无明显相关性; I 期无节幼体体长范围为 429.1~500.8 μm . 选择产量较大且较稳定的 Tike、Halibiekoe 和 Kuchuk 盐湖卤虫卵(分别命名为 K3、K4 和 R3), 测定其在 25 $^{\circ}\text{C}$ 、28 $^{\circ}\text{C}$ 和 31 $^{\circ}\text{C}$ 孵化率和同步性, 发现 K3 品系在 3 个温度下孵化率无显著差异($P>0.05$), 28 $^{\circ}\text{C}$ 孵化率最高, 为(89.0 \pm 1.7)%, 25 $^{\circ}\text{C}$ 孵化同步性最好, 为 7.7 h, 该品系适应温度范围较广; K4 和 R3 品系在 3 个温度下孵化率差异显著($P<0.05$), 25 $^{\circ}\text{C}$ 孵化率最大, 分别为(88.0 \pm 2.6)%和(85.3 \pm 2.1)%, 且同步性也较好, 分别为 8.2 h 和 7.4 h, 说明这两个品系适于较低温度孵化. 11 个品系脱壳卤虫卵蛋白质含量(以干质量计)为 49.19%~54.09%, 脂肪酸含量(以干质量计)为 92.81~144.86 mg/g, 所有品系均含有 EPA(C20:5), 含量(以干质量计)为 0.63~13.24 mg/g.

关键词: 卤虫卵; 卵径; 孵化率; 孵化同步性; 多不饱和脂肪酸(PUFA)

中图分类号: P745; S932 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2020)03-0057-06

Comparison of Biological and Nutritional Characteristics of *Artemia* Cysts in Kazakhstani and Russian Salt Lakes

DU Dongdong, GAO Meirong, ZHANG Bo, SUI Liying

(Asia Regional Artemia Reference Center, College of Marine and Environmental Sciences,
Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: In order to analyze the characteristics of *Artemia* cysts in Central Asian salt lakes and promote their effective use in aquatic breeding, the biometrics and nutritional quality of *Artemia* strains from Kazakhstani and Russian salt lakes were analyzed. The results indicate that the diameter of the hydrated cysts and decapsulated cysts ranged from 251.3 to 287.1 μm and 235.5 to 265.2 μm , respectively, so they can be considered bigger cysts in general. The chorion thickness ranged from 4.9 to 12.2 μm , which is irrelevant to the cysts' diameters. The length of instar I nauplii ranged from 429.1 to 500.8 μm . Three strains of larger and stable harvest from Tike, Halibiekoe and Kuchuk lakes (named K3, K4 and R3, respectively) were selected to determine the hatching percentage and synchrony at 25 $^{\circ}\text{C}$, 28 $^{\circ}\text{C}$ and 31 $^{\circ}\text{C}$, respectively. Although the maximum hatching rate (89.0 \pm 1.7)% was obtained at 28 $^{\circ}\text{C}$ and the best hatching synchrony (7.7 h) was obtained at 25 $^{\circ}\text{C}$, no significant difference was observed in hatching percentage of K3 at the three temperatures ($P>0.05$), indicating that the hatching performance of K3 adapts to a wide temperature range. On the other hand, the hatching percentage of K4 and R3 was significantly different at the three temperatures ($P<0.05$). At 25 $^{\circ}\text{C}$, the highest value of K4 and R3 was (88.0 \pm 2.6)% and (85.3 \pm 2.1)%, respectively, and better hatching synchrony (8.2 h and 7.4 h) was obtained for K4 and R3 at 25 $^{\circ}\text{C}$, indicating that the hatching performance of the two strains is better at lower temperature. The protein content of the eleven strains ranged from

收稿日期: 2018-12-04; 修回日期: 2019-03-22

基金项目: 天津市科技支撑重点资助项目(17ZXZYNC00060); 教育部长江学者和创新团队发展计划资助项目(IRT-17R81)

作者简介: 杜东东(1994—), 女, 天津人, 硕士研究生; 通信作者: 隋丽英, 教授, suily@tust.edu.cn

49.19% dw to 54.09% dw, and the total fatty acid content ranged from 92.81 mg/g dw to 144.86 mg/g dw. EPA (C20 : 5) was detected in all the *Artemia* cysts, ranging from 0.63 mg/g dw to 13.24 mg/g dw.

Key words : *Artemia* cysts ; cysts' diameter ; hatching percentage ; hatching synchrony ; poly unsaturated fatty acid (PUFA)

卤虫 (*Artemia*) 广泛分布于日晒盐场和内陆盐湖高盐水体中, 是高盐生态系统的主要生物种, 一般认为卤虫属包含 6 个两性种 *A. salina*、*A. urmiana*、*A. sinica*、*A. tibetiana*、*A. persimilis*、*A. franciscana* 和 1 个孤雌生殖种群^[1-6]. 卤虫幼体和成虫是海水苗种极佳的鲜活饵料. 初孵的卤虫无节幼体具有大量卵黄, 含有丰富的蛋白质和不饱和脂肪酸, 可满足海水甲壳类和鱼类幼体的营养需求. 但不同品系和产地卤虫卵卵径大小、营养组成和孵化特性等方面差别较大^[7-9], 这些特性与其在水产养殖中的应用密切相关.

由于卤虫休眠卵贮存方便和易于孵化操作而成为世界卤虫贸易的主要商品. 水产养殖业的快速发展对卤虫资源的需求日益增加, 卤虫卵每年的产量大约 3 000 ~ 4 000 t(成品干质量), 原料主要来自美国、中国、俄罗斯和哈萨克斯坦^[10]. 中国作为水产养殖大

国, 卤虫卵年需求量达 1 000 ~ 1 500 t(成品干质量). 近年来, 哈萨克斯坦和俄罗斯成为中国卤虫卵原料的主要进口国, 约占我国卤虫卵原料市场 50%, 而针对这些新近开发的卤虫资源品系特性研究较少^[11-12]. 本文选取俄罗斯和哈萨克斯坦主要盐湖的卤虫卵进行生物学测定值和营养组分分析, 并选取 3 个产量较大的卤虫品系进行不同温度下孵化特性研究, 研究结果对解析中亚地区盐湖卤虫卵品系特性, 促进其在水产育苗中有效应用具有重要意义.

1 材料与方法

1.1 卤虫品系基本信息

本研究所用卤虫卵为经过去休眠加工的商品卤虫卵, 基本信息见表 1.

表 1 卤虫卵品系信息

Tab. 1 Information of the *Artemia* cysts

品系编号	亚洲区域卤虫参考中心种质编号	国家	盐湖产地	采集年
K1	KAZ-SL-18	哈萨克斯坦	Marandy	2015
K2	KAZ-SL-19	哈萨克斯坦	Kezilkak	2016
K3	KAZ-SL-20	哈萨克斯坦	Tike	2016
K4	KAZ-SL-21	哈萨克斯坦	Halibiekoe	2016
K5	KAZ-SL-22	哈萨克斯坦	Mingeserll	2016
K6	KAZ-SL-23	哈萨克斯坦	Jalmantuze	2016
K7	KAZ-SL-24	哈萨克斯坦	Karalvoe	2016
R1	RUS-SL-33	俄罗斯	Big Yarovoe	2014
R2	RUS-SL-34	俄罗斯	Kunlundinskoe	2016
R3	RUS-SL-35	俄罗斯	Kuchuk	2016
R4	RUS-SL-37	俄罗斯	Ebeity	2016

1.2 生物学指标测定

水合卵径测定: 称取适量卤虫干卵放锥形管中, 加入 30 mL 稀释卤水(盐度 3%), 连续充气水合 3 h. 在显微镜 (Leica DM500) 下测定卵径, 每个卤虫品系测定 100 个.

脱壳卵径测定: 向充分水合的卤虫卵加入脱壳液脱壳, 待卤虫卵颜色变为橙色即为脱壳完全. 在显微镜下测定卵径, 每个卤虫品系测定 100 个.

卤虫卵壳厚度 (μm) 按照式 (1) 计算.

$$\text{卵壳厚度} = (\text{水合卵径} - \text{脱壳卵径}) / 2 \quad (1)$$

I 期无节幼体体长测定: 称取 0.4 g 干制卤虫卵放置于孵化管中, 加入 200 mL 稀释卤水(盐度 3%),

水浴控温 28 °C, 持续光照 (2 000 lx), 连续充气 18 h, 在显微镜下测定 I 期无节幼体体长, 每个品系测定 100 只.

1.3 孵化率测定

准确称取 0.4 g 卤虫卵, 置于装有 200 mL 人工海水(盐度 3%) 的孵化管中, 连续充气, 持续光照 (2 000 lx), 水浴控温分别为 25 °C、28 °C 和 31 °C, 每个品系每个温度设置 3 个平行. 孵化第 12 h 开始取样, 每 4 h 取样 1 次, 共取样 7 次, 至 36 h 结束. 卤虫卵孵化率 (H) 按照式 (2) 计算.

$$H = [N / (N + U + E)] \times 100\% \quad (2)$$

式中: N 表示无节幼体数; U 表示伞状幼数; E 表示胚

胎数.

1.4 孵化同步性测定

以测定的最高孵化率为 100%, 计算每次取样的孵化率与最高孵化率的相对值, 采用二元二次方程, 拟合计算 10% 和 90% 卤虫卵孵化为无节幼体需要的时间 t_{10} 和 t_{90} , 孵化同步性 t_s 按照式(3)计算^[14].

$$t_s = t_{90} - t_{10} \quad (3)$$

1.5 营养成分测定

参照 GB/T 6432—1994《饲料中粗蛋白测定方法》, 称取干燥的脱壳卤虫卵 0.5 ~ 0.8 g, 利用凯氏定氮仪(丹麦 FOSS Kjelttec 8400)测定粗蛋白含量.

取 0.1 g 左右脱壳卤虫湿卵, 准确加入 1 mg 内标液(C20: 2n-6, NU-CHEK PREP 公司), 向混合物中加入 5 mL 甲醇/甲苯混合液(体积比为 3: 2), 采用高速分散机破碎组织, 再加入新配制的氯乙酰/甲醇混合液(体积比为 1: 20)水浴 1 h(100 °C), 最后用正己烷萃取脂肪酸甲酯并浓缩^[13]. 利用 GC-2014 型气相色谱仪(日本岛津公司)对脂肪酸进行定性和定量测定. 色谱条件: 毛细柱 FFAP; 高纯氮气载气; 程序

升温初始温度 60 °C, 以 10 °C/min 速率升至 220 °C 保持 15 min; 气室温度 280 °C; FID 检测器温度 280 °C; 柱压 95.4 kPa; 分配比率 30.

1.6 数据统计学分析

数据采用“平均值 ± 标准差”表示. 用 SPSS 19.0 统计软件对实验数据进行统计分析. 采用 One Way ANOVA 对结果进行单因素方差分析, 采用 Turkey 多重比较法检验, 不同字母表示组间存在显著差异($P < 0.05$).

2 结果与分析

2.1 卤虫卵生物学指标

11 个品系卤虫卵生物学指标测定值存在较大差异(表 2), 水合卵径为 251.3 ~ 287.1 μm, 脱壳卵径为 235.5 ~ 265.2 μm, 卵壳厚度为 4.9 ~ 12.2 μm. 综合分析, 除 K1(Marandy 盐湖)外, 哈萨克斯坦卤虫卵水合卵径和脱壳卵径均比俄罗斯的卵大. I 期无节幼体体长为 429.1 ~ 500.8 μm.

表 2 不同品系卤虫卵生物学指标 ($n = 100$)
Tab. 2 Biometrics of the *Artemia* cysts ($n = 100$)

品系编号	水合卵径/μm	脱壳卵径/μm	卵壳厚度/μm	I 期无节幼体体长/μm
K1	251.9 ± 13.4 ^e	235.5 ± 11.0 ^f	8.2	429.1 ± 35.6 ^d
K2	279.7 ± 14.8 ^b	262.5 ± 14.0 ^{ab}	8.6	457.2 ± 38.4 ^b
K3	287.1 ± 13.5 ^a	262.8 ± 11.9 ^{ab}	12.2	462.8 ± 34.7 ^b
K4	265.9 ± 12.6 ^d	255.1 ± 10.9 ^c	5.4	459.2 ± 31.8 ^b
K5	279.6 ± 13.3 ^b	265.2 ± 10.3 ^a	7.2	500.8 ± 31.2 ^a
K6	272.1 ± 12.2 ^c	260.1 ± 11.5 ^b	6.0	491.2 ± 31.5 ^a
K7	277.6 ± 11.2 ^b	262.3 ± 11.1 ^{ab}	7.7	492.6 ± 31.0 ^a
R1	255.6 ± 11.0 ^f	243.5 ± 10.2 ^d	6.0	440.9 ± 40.5 ^c
R2	251.3 ± 9.8 ^e	240.0 ± 10.7 ^c	5.7	490.8 ± 35.9 ^a
R3	263.5 ± 10.3 ^d	253.7 ± 9.5 ^c	4.9	456.9 ± 49.4 ^b
R4	259.5 ± 10.9 ^e	242.8 ± 12.6 ^{dc}	8.3	435.0 ± 41.9 ^{cd}

2.2 卤虫卵孵化率

Tike 盐湖卤虫卵(K3)、Halibiekoe 盐湖卤虫卵

(K4) 和 Kuchuk 盐湖卤虫卵品系(R3)不同温度下的孵化速率如图 1 所示.

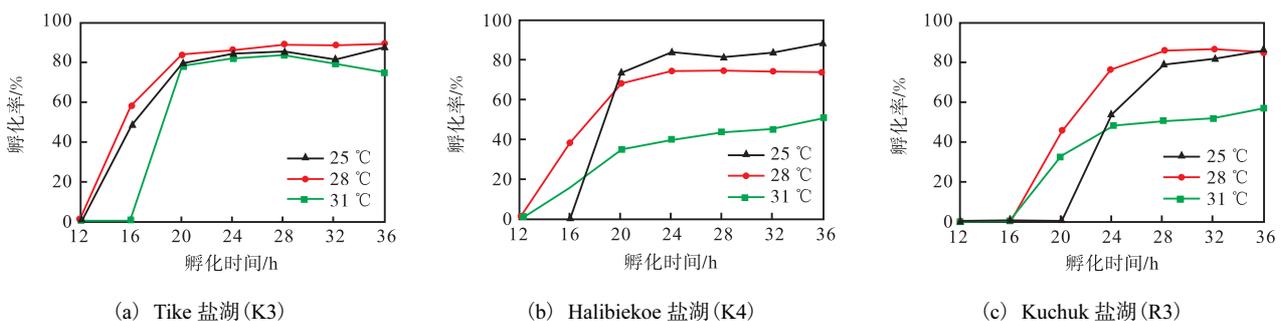


图 1 不同温度下 Tike、Halibiekoe 和 Kuchuk 盐湖卤虫卵孵化率

Fig. 1 Hatching rate of *Artemia* cysts from Tike, Halibiekoe and Kuchuk lakes at different temperatures

K3 品系在 25、28、31 °C 下, 16 h 孵化率分别为 0.0%、57.3% 和 48.7%, 28 °C 孵化率显著高于其他温度的 ($P < 0.05$); 24 h 在 3 个温度下孵化率无显著差异 ($P > 0.05$), 分别为 84.0%、85.3% 和 82.3%; 28 ~ 36 h 趋于稳定, 无显著变化。

K4 品系在 25、28、31 °C 下, 16 h 孵化率分别为 0.0%、37.3% 和 15.0%, 28 °C 孵化率显著高于其他两个温度的 ($P < 0.05$); 24 h 孵化率分别为 84.0%、73.7% 和 39.0%, 25 °C 和 28 °C 孵化率无显著性差异 ($P > 0.05$), 但均显著高于 31 °C 的 ($P < 0.05$); 28 ~ 36 h, 31 °C 孵化率显著增加, 其他温度下孵化率趋于稳定。

R3 品系在 25、28、31 °C 下, 16 h 孵化率均为 0.0%; 20 h 孵化率分别为 0.0%、44.3% 和 33.0%, 28 °C 孵化率显著高于其他两个温度的 ($P < 0.05$); 24 h 孵化率分别为 54.3%、76.0% 和 48.0%, 25 °C 和 31 °C 孵化率无显著差异 ($P > 0.05$), 但均显著低于 28 °C 的 ($P < 0.05$); 28 ~ 36 h, 25 °C 和 31 °C 孵化率显著增加 ($P < 0.05$), 28 °C 趋于稳定。

2.3 卤虫卵孵化同步性

K3、K4 和 R3 品系卤虫卵在不同温度下孵化同步性见表 3。K3 和 K4 品系在 25 °C 同步性较好, R3 品系在 25 °C 和 28 °C 同步性较好。

表 3 不同温度下 Tike、Halibiekoe 和 Kuchuk 盐湖卤虫卵孵化同步性

Tab. 3 Hatching synchrony of *Artemia* cysts from Tike, Halibiekoe and Kuchuk lakes at different temperatures

品系编号	温度/°C	拟合孵化率方程	t_{10}/h	t_{90}/h	t_g/h
K3	25	$y = -0.513x^2 + 30.337x - 338.58 (R^2 = 0.8197)$	15.6	23.3	7.7
	28	$y = -0.3413x^2 + 19.738x - 176.51 (R^2 = 0.9227)$	11.9	21.5	9.6
	31	$y = -0.3927x^2 + 21.965x - 199.09 (R^2 = 0.9476)$	12.2	21.8	9.6
K4	25	$y = -0.4772x^2 + 28.615x - 321.57 (R^2 = 0.8433)$	15.7	23.9	8.2
	28	$y = -0.2653x^2 + 15.714x - 126.62 (R^2 = 0.8751)$	10.6	21.8	11.2
	31	$y = -0.1862x^2 + 12.722x - 120.83 (R^2 = 0.9469)$	12.6	28.3	15.7
R3	25	$y = -0.6458x^2 + 41.97x - 577.74 (R^2 = 0.9811)$	20.4	27.8	7.4
	28	$y = -0.4603x^2 + 28.546x - 336.84 (R^2 = 0.9907)$	16.6	25.2	8.6
	31	$y = -0.3789x^2 + 24.027x - 280.56 (R^2 = 0.9508)$	16.3	26.5	10.2

2.4 卤虫卵粗蛋白和脂肪酸含量

卤虫卵粗蛋白和脂肪酸含量(以干质量计)测定结果见表 4。11 个品系卤虫卵粗蛋白含量为 49.19% ~ 54.09%。各品系卤虫卵脂肪酸组成及含量差别较大, 其中棕榈酸 C16 : 0, 油酸 C18 : 1 和亚麻

酸 C18 : 3 含量普遍较高。11 个品系均含有二十碳五烯酸 (eicosapentaenoic acid, EPA, C20 : 5), 含量为 0.63 ~ 13.24 mg/g, 其中 K1、K3 和 R3 含量较低, 11 个品系均未检测出二十二碳六烯酸 (docose hexaenoic acid, DHA, C22 : 6)。

表 4 不同品系卤虫卵粗蛋白和脂肪酸含量

Tab. 4 Crude protein and fatty acid profile of the *Artemia* cysts

品系编号	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	R1	R2	R3	R4	
粗蛋白含量/%	54.09	53.24	53.41	50.53	49.19	49.79	49.31	52.97	51.50	52.51	53.03	
总脂肪酸含量/(mg·g ⁻¹)	99.51	101.29	97.42	121.00	144.86	122.27	144.38	123.59	127.15	92.81	115.93	
脂肪酸组成/ (mg·g ⁻¹)	C14 : 0	0.54	0.90	1.04	1.83	1.87	1.86	1.79	0.95	1.44	0.93	0.92
	C14 : 1	3.44	1.47	1.90	1.84	1.06	1.54	1.56	1.12	1.13	0.90	1.56
	C15 : 0	0.22	0.31	0.25	0.34	0.68	0.33	0.74	0.17	0.65	—	0.28
	C15 : 1	1.42	1.12	1.05	0.92	0.89	0.85	0.60	1.00	0.49	0.52	0.88
	C16 : 0	7.34	10.45	12.61	14.25	21.38	14.20	18.72	12.10	15.81	11.80	11.52
	C16 : 1	6.16	4.91	3.92	13.16	9.08	13.69	11.97	4.95	8.29	2.30	5.65
	C17 : 0	1.45	1.07	0.66	0.93	0.93	0.79	1.24	0.57	1.09	0.29	0.81
	C17 : 1	3.42	2.76	2.24	2.90	3.10	2.69	3.16	2.09	3.47	1.32	2.87
	C18 : 0	6.04	4.89	5.09	6.00	5.15	5.52	5.24	5.53	4.75	4.93	4.92
	C18 : 1n-9	17.33	19.71	17.72	20.09	43.74	23.50	41.10	30.33	38.11	18.29	25.62
	C18 : 1n-7	7.60	7.54	3.81	12.88	7.36	11.49	8.15	8.55	7.50	2.65	9.14
	C18 : 2	7.62	7.06	8.84	6.50	6.93	5.58	8.05	6.99	8.42	9.30	8.09
	C18 : 3	30.14	32.16	31.75	23.76	26.75	23.24	26.26	40.01	22.41	33.47	34.71
	C18 : 4	6.02	4.58	5.70	4.66	6.30	3.73	5.92	4.81	4.00	5.47	5.25
C20 : 5	0.79	2.37	0.81	11.95	9.64	13.24	9.89	4.43	9.60	0.63	3.70	

注: —表示未检出。

3 讨论

卤虫卵孵化率和同步性、卵径大小、脂肪酸组成和含量等与其在水产育苗中的应用密切相关。孵化率和同步性好、卵径小和不饱和脂肪酸(PUFA)含量高的卤虫卵产品市场价格较高。

卤虫卵径范围一般在 200 ~ 300 μm ,按照卤虫卵卵径和壳厚度,将卤虫卵分为三类^[7]:第一类以旧金山卤虫卵为代表,卵径较小;第二类以欧亚大陆的孤雌生殖卤虫为代表,卵径较大;第三类以美国大盐湖卤虫为代表,卵径中等但卵壳较薄。本研究中 11 个品系卤虫卵水合卵径 251.3 ~ 287.1 μm ,与上述欧亚大陆卤虫卵的特性相似。11 个品系中 Tike 盐湖品系卤虫卵径和卵壳厚度最大;Marandy、Kezilkak、Karalvoe 和 Ebeity 盐湖品系卵壳厚度中等,为 7.7 ~ 8.6 μm ;Halibiekoe、Jalmantuze、Big Yarovoe、Kunlundinskoe 和 Kuchuk 盐湖品系卵壳厚度较小,为 4.9 ~ 6.0 μm ,表明卵壳厚度和卵径大小无明显相关性。本研究中除哈萨克斯坦 Marandy 盐湖品系外,俄罗斯卤虫卵品系水合卵径和脱壳卵径稍小于哈萨克斯坦卤虫卵品系。

卤虫卵的孵化率除了受品系特性影响外,还与去休眠和加工过程有一定关系。本研究针对经过去休眠加工的商品卤虫卵进行相关研究。温度、盐度和光照是影响卤虫卵孵化率的最重要的因素,最适孵化盐度为 0.5% ~ 3.5%,最适的孵化温度为 25 ~ 28 $^{\circ}\text{C}$,在低于 25 $^{\circ}\text{C}$ 时孵化率降低,在高于 33 $^{\circ}\text{C}$ 时虫卵代谢几乎停止^[14-15]。孵化同步性是评价卤虫卵质量的重要指标之一,优质卤虫卵的孵化同步性应在 8 h 之内,大于 10 h 则孵化同步性偏低^[14]。孵化同步性高的卤虫卵,产出无节幼体的时段较集中、大小较均一,有利于其作为育苗饵料的使用。从方便应用的角度考虑,卤虫卵孵化率 24 h 内达到最高为好。Tike 盐湖品系卤虫卵在 25、28、31 $^{\circ}\text{C}$ 温度下 24 h 孵化率无显著性差异($P < 0.05$),说明该品系卤虫卵对温度适应范围广,且该品系在 25 $^{\circ}\text{C}$ 孵化同步性为 7.7 h,同步性较好。Halibiekoe 盐湖品系卤虫卵在 25 $^{\circ}\text{C}$ 和 28 $^{\circ}\text{C}$ 下 24 h 孵化率均显著高于 31 $^{\circ}\text{C}$ 的($P < 0.05$),说明 K4 品系卤虫卵适合在较低温度下孵化,且 25 $^{\circ}\text{C}$ 孵化同步性较好(8.2 h),说明 25 $^{\circ}\text{C}$ 为该品系最适孵化温度。Kuchuk 盐湖品系卤虫卵在 28 $^{\circ}\text{C}$ 下 24 h 孵化率显著高于 25 $^{\circ}\text{C}$ 和 31 $^{\circ}\text{C}$ 的($P < 0.05$),因此该品系在

28 $^{\circ}\text{C}$ 孵化较好。应该指出的是,K3 和 K4 品系卤虫卵在实际测量中,25 $^{\circ}\text{C}$ 16 h 和 28 $^{\circ}\text{C}$ 12 h 孵化率均为 0%,而根据拟合孵化率方程计算 25 $^{\circ}\text{C}$ t_{10} 分别为 15.6 h 和 15.7 h,28 $^{\circ}\text{C}$ t_{10} 分别为 11.9 h 和 10.6 h,早于实际孵化时间,分析原因可能与方程的拟合度略低相关。Speer 等^[16]研究卤虫种群特异性显示,不同产地的 *Artemia franciscana* 卤虫卵在不同光照和盐度下孵化率有显著差异。王玉清等^[17]研究表明,渤海湾卤虫卵的最适孵化盐度为 4% ~ 4.5%,在盐度低于 2% 或高于 5.5%时孵化率均显著降低。本研究中分析的 3 个产量较大品系卤虫卵在不同温度下孵化特性存在显著性差异,可能与卤虫对不同盐湖产地的非生物环境适应性相关。

卤虫的营养组成与其饵料来源和生长环境有关,不同品系卤虫的营养组成有较大差别^[14,18]。卤虫作为生物饵料的营养价值主要在于它含有较高的蛋白质和不饱和脂肪酸。卤虫及卤虫卵粗蛋白含量一般为 40% ~ 60%^[13,19-20],且含量与卤虫品系、发育阶段以及饵料相关,随着卤虫的生长,粗蛋白有增加的趋势^[18]。本研究中哈萨克斯坦和俄罗斯品系卤虫卵粗蛋白差异不显著,约占脱壳卤虫干卵的 50%。除西藏卤虫品系 EPA 含量较高(19.22 ~ 46.4 mg/g)及含有少量 DHA,其他卤虫品系 EPA 含量一般小于 15.4 mg/g,而 DHA 普遍缺乏^[13-14,21]。本研究中 11 个品系卤虫卵(均以干质量计)粗蛋白含量为 49.19% ~ 54.09%,脂肪酸含量为 92.81 ~ 144.86 mg/g。所有盐湖品系均含有 EPA 且差异较大,Kuchuk 盐湖品系含量较低为 0.63 mg/g, Jalmantuze 盐湖品系含量较高为 13.24 mg/g。所有品系卤虫卵均不含有 DHA。高度不饱和脂肪酸(highly unsaturated fatty acid, HUFA),尤其是 EPA 和 DHA,是海水鱼和甲壳类幼苗必需的脂肪酸^[14,22]。对于不同品系卤虫卵营养组成差异以及 EPA 和 DHA 普遍较低或不存在的状况,可通过营养强化或生物包裹提高卤虫无节幼体的 HUFA 含量。经过 24 h 强化,n-3 HUFA 可以达到 50 ~ 60 mg/g^[23-24]。强化后的卤虫作为饵料投喂水产幼苗,可促进幼苗存活生长和抗病力。

本研究中涉及的哈萨克斯坦和俄罗斯卤虫卵卵径偏大,卵壳厚度有较大差异,说明与卤虫卵径大小无关。温度影响卤虫卵的孵化率和速率,Tike、Halibiekoe 和 Kuchuk 盐湖的卤虫卵在不同温度下孵化率和同步性有较大差异。Tike 盐湖卤虫卵适应温度范围较广,孵化同步性均较好,均低于 10 h。Hali-

biekoe 盐湖品系适于较低温度孵化,在 25 °C 孵化同步性较好,为 8.2 h,且该盐湖卤虫卵 EPA 含量较高。Kuchuk 盐湖品系适于 28 °C 孵化,同步性为 8.6 h。

参考文献:

- [1] Perez M L, Valverde J R, Batuecas B, et al. Speciation in the *Artemia* genus: Mitochondrial DNA analysis of bisexual and parthenogenetic brine shrimps[J]. *Journal of Molecular Evolution*, 1994, 38(2) : 156-168.
- [2] Abatzopoulos T J, Zhang B, Sorgeloos P. *Artemia tibetiana*: Preliminary characterization of a new *Artemia* species found in Tibet (People's Republic of China). *International study on Artemia*. LIX[J]. *International Journal of Salt Lake Research*, 1998, 7(1) : 41-44.
- [3] Pilla E J S, Beardmore J A. Genetic and morphometric differentiation in old world bisexual species of *Artemia* (the brine shrimp) [J]. *Heredity*, 1994, 73(1) : 47-56.
- [4] Gajardo G, Beardmore J A, Sorgeloos P. International study on *Artemia*. LXII. Genomic relationships between *Artemia franciscana* and *A. persimilis* inferred from chromocentre numbers[J]. *Heredity*, 2010, 87(2) : 172-177.
- [5] Van Stappen G, Fayazi G, Sorgeloos P. International study on *Artemia* LXIII. Field study of the *Artemia urmiana* (Gunther, 1890) population in Lake Urmiah, Iran[J]. *Hydrobiologia*, 2001, 466(1-3) : 133-143.
- [6] Cai Y. A redescription of the brine shrimp (*Artemia sinica*) [J]. *The Wasmann Journal of Biology*, 1989, 47: 105-110.
- [7] Persoone G, Sorgeloos P, Roels O, et al. *The Brine Shrimp Artemia*[M]. Wetteren Belgium: Universa Press, 1980: 393-405.
- [8] Sorgeloos P, Bengison D, Declair W, et al. *Artemia Research and its Applications*[M]. Wetteren Belgium: Universa Press, 1987: 357-372.
- [9] Vanhaecke P, Sorgeloos P. International study on *Artemia*. XVIII. The hatching rate of *Artemia*, cysts A comparative study[J]. *Aquacultural Engineering*, 1982, 1: 263-273.
- [10] Litvinenko L, Litvinenko A, Boiko E, et al. *Artemia* cyst production in Russia[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2015, 33(6) : 1436-1450.
- [11] 赵光平,张波. 不同产地卤虫卵和无节幼体的生物学测定值研究[J]. *水产科技情报*, 2014, 41(3) : 124-126.
- [12] 杨志强,姚东瑞,魏文志. 6个不同产地卤虫生物学特性的研究[J]. *扬州大学学报: 农业与生命科学版*, 2005, 26(2) : 93-94.
- [13] 隋丽英,王娇. 不同品系卤虫卵的生物学测定值和营养组成分析[J]. *天津科技大学学报*, 2014, 29(1) : 46-50.
- [14] Lavens P, Sorgeloos P. *Manual on the Production and Use of Live Food for Aquaculture*[M]. Rome: FAO, 1996.
- [15] 潘正军,朱传坤,许虹,等. 温度、盐度对西藏卤虫卵孵化率的影响[J]. *水产养殖*, 2017, 38(10) : 24-27.
- [16] Speer F W, Weider L J. Examining population-specific hatching cues of salinity and light for *Artemia franciscana*[J]. *Hydrobiologia*, 2018, 805(1) : 391-397.
- [17] 王玉清,崔玥,孙同秋,等. 渤海湾卤虫卵孵化率与盐度关系的试验[J]. *河北渔业*, 2018(3) : 9-10.
- [18] 吴骏,孙龙生,陈佳毅,等. 不同来源卤虫卵脂肪酸组成与孵化率比较[J]. *水产养殖*, 2015, 36(7) : 1-5.
- [19] Zareia A. *Artemia* meal: A newer animal protein source for poultry[J]. *Indian Journal of Animal Research*, 2010, 44(4) : 235-240.
- [20] Hamsah, Widanarni, Alimuddin, et al. The nutritional value of *Artemia* sp. enriched with the probiotic *Pseudoalteromonas piscicida* and the prebiotic mannan-oligosaccharide[J]. *AAACL Bioflux*, 2017, 10(1) : 8-17.
- [21] 于秀玲,辛乃宏. 四种西藏卤虫卵的生物学特性分析[J]. *盐业与化工*, 2006, 35(1) : 25-26.
- [22] 邱小琮,周洪琪,曾庆华,等. 营养强化的轮虫、卤虫对牙鲆仔鱼的成活、生长及体脂肪酸组成的影响[J]. *水产科学*, 2004, 23(2) : 4-8.
- [23] Sorgeloos P, Dhert P, Candreva P. Use of the brine shrimp, *Artemia* spp. in marine fish larviculture[J]. *Aquaculture*, 2001, 200(1) : 147-159.
- [24] Sorgeloos P, Coutteau P, Dhert P, et al. Use of brine shrimp, *Artemia* spp. in larval crustacean nutrition[J]. *Reviews in Fisheries Science*, 1998, 6(1/2) : 55-68.

责任编辑: 郎婧