

六种脂肪源对牛蛙 (*Lithobates catesbeiana*) 的诱食效果

李心源, 王 玲, 李 瑶, 李永树, 鲁康乐, 宋 凯, 李学山, 张春晓

(集美大学水产学院, 厦门市饲料检测与安全评价重点实验室, 福建 厦门 361021)

[摘要] 设计了牛蛙诱食迷宫装置, 探究6种常见脂肪源对牛蛙的诱食效果。在未添加脂肪源的豆粕型饲料中分别外喷6%的淡水鱼油、海水鱼油、大豆油、棕榈油、鸡油和猪油制备的6种试验饲料。以摄食饲料颗粒的百分数、10 min内进入摄食区牛蛙的百分数、第一只牛蛙进入摄食区的时间和牛蛙的运动轨迹作为各脂肪源诱食效果的评价指标, 并两两对比6种脂肪源的诱食效果。结果表明, 添加海水鱼油的饲料对牛蛙的诱食效果显著高于未添加脂肪源的豆粕型饲料 ($P < 0.05$), 证明了此迷宫装置可用于牛蛙的诱食研究。以摄食饲料的颗粒百分数为指标, 测得6种脂肪源对牛蛙的诱食效果为: 淡水鱼油 = 大豆油 > 海水鱼油 = 棕榈油 = 鸡油 = 猪油; 分析10 min内进入摄食区牛蛙的百分数, 认为6种脂肪源对牛蛙的诱食效果为: 淡水鱼油 = 大豆油 > 海水鱼油 ≥ 棕榈油 ≥ 鸡油 ≥ 猪油; 对第一只牛蛙进入摄食区的时间进行分析, 得出各脂肪源的诱食效果为: 大豆油 ≥ 淡水鱼油 > 海水鱼油 = 棕榈油 ≥ 鸡油 > 猪油; 牛蛙的运动轨迹显示, 各脂肪源的诱食效果为: 淡水鱼油 = 大豆油 > 海水鱼油 ≥ 棕榈油 ≥ 鸡油 > 猪油。综上所述, 该诱食迷宫装置可以用于对比不同诱食剂对牛蛙的诱食效果; 并且6种脂肪源对牛蛙的诱食效果为: 淡水鱼油 = 大豆油 > 棕榈油 = 海水鱼油 > 鸡油 > 猪油。

[关键词] 牛蛙; 诱食; 脂肪源; 摄食迷宫

[中图分类号] S 966.3

Study of Six Kinds of Lipid Sources as Feed Attractants on Bullfrog (*Lithobates catesbeiana*)

LI Xinyuan, WANG Ling, LI Yao, LI Yongshu, LU Kangle, SONG Kai, LI Xueshan, ZHANG Chunxiao

(Fisheries College & Xiamen Key Laboratory for Feed Quality Testing and Safety Evaluation,
Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: This study was designed to determine the effects of lipid sources as feed attractants on bullfrog (*Lithobates catesbeiana*). Six kinds of experimental diets were prepared by spraying 6% freshwater fish oil, seawater fish oil, soybean oil, palm oil, poultry fat and lard in soybean meal diet without lipid sources. The percentage of particles fed by bullfrog, the percentage of bullfrogs entering the feeding area within ten minutes, the time when the first bullfrog entered the feeding area and the motion track of bullfrogs were indexes to evaluate the feeding attractant effects of each lipid sources which compared in pairs. The results showed that the attractant effect of diet with seawater fish oil on bullfrog was significantly higher than that of soybean meal diet without lipid sources. This result proved that the maze device was feasibility for bullfrog, and seawater fish oil had

[收稿日期] 2022-10-17

[基金项目] 国家自然科学基金项目 (31602172); 福建省科技引导性项目 (2017N0021)

[作者简介] 李心源 (2000—), 男, 硕士生, 从事水产动物营养与饲料方向研究。通信作者: 张春晓 (1979—), 男, 教授, 博士生导师, 从事水产动物营养与饲料方向研究。E-mail: cxzhang@jmu.edu.cn

the attractant effect to bullfrog. Based on the percentage of particles fed, the attractant effects of lipid sources on bullfrog were as follows: freshwater fish oil = soybean oil > seawater fish oil = palm oil = poultry fat = lard. Based on the percentage of bullfrog entering the feeding area, the attractant effects of lipid sources on bullfrog were as follows: freshwater fish oil = soybean oil > seawater fish oil ≥ palm oil ≥ poultry fat ≥ lard. Based on the analysis of the time when the first bullfrog entered the feeding area, the attractant effects of lipid sources on bullfrog were as follows: soybean oil ≥ freshwater fish oil > seawater fish oil = palm oil ≥ poultry fat > lard. The motion track of bullfrog showed that the attractant effect of lipid sources on bullfrog were as follows: freshwater fish oil = soybean oil > seawater fish oil ≥ palm oil ≥ poultry fat > lard. In summary, the maze device could be used to bullfrog's attractant selection. Lipid sources had attractant effects to bullfrog. The attractant effect of six kinds of lipid sources on bullfrog were as follows: freshwater fish oil = soybean oil > palm oil = seawater fish oil > poultry fat > lard.

Keywords: *Lithobates catesbeiana*; feed attractant; lipid sources; maze device

0 引言

脂肪是水产动物三大营养物质之一，具有许多重要的生理功能。水产动物饲料中的脂肪源包括鱼油、陆生动物脂质和植物油等^[1]。近年研究表明，脂肪具有一定的诱食效果，能够增加水产动物的摄食量，提高增重率，而且不同脂肪源对不同水产动物的诱食效果不尽相同。李婷婷等^[2]以杂交鲟（*Acipenser baerii* ♀ × *Acipenser schrenckii* ♂）幼鱼为研究对象，发现与其他脂肪源相比，以棕榈油为脂肪源的饲料具有一定的诱食效果；罗江等^[3]研究发现，鱼油对管角螺（*Hemifusus tuba*）的诱食效果显著高于豆油；张媛媛等^[4]研究发现，鱼油对异育银鲫（*Carassius auratus gibelio*）的诱食效果显著低于豆油。因此，针对特定动物筛选合适的脂肪源可起到很好的诱食效果。

测定诱食效果的方法包括摄食量法、嗅觉电生理法、行为观察法^[5]。摄食量法的试验周期较长。嗅觉电生理法已被证明是研究鱼类对刺激物嗅觉敏感程度的有效方法^[6]，但其需要借助专门的仪器设备，可操作性不强，且不适用于主要依靠视觉进行摄食的水产动物。行为观察法包括触球法^[7]和迷宫法^[8]等。触球法无法确定动物的啄咬行为是摄食行为还是攻击行为。而迷宫法可以直接观察动物的摄食行为，从而对比分析出不同诱食剂的诱食效果，它是水产动物筛选诱食剂的常用方法^[5]。如刘稳等^[9]以黄颡鱼（*Pelteobagrus fulvidraco*）为研究对象，利用迷宫装置，比较出百里香酚的诱食效果显著好于肉桂酚和香芹酚；Nunes 等^[10]以凡纳滨对虾（*Litopenaeus vannamei*）为研究对象，利用 Y 型迷宫装置，比较出血粉等诱食剂之间的诱食效果差异；Katsuhiko 等^[11]以黑鮑鱼为研究对象，利用迷宫装置观察摄食行为，分析得到多香果具有一定的诱食效果。与其他测定方法相比，迷宫法能够使动物仅依靠嗅觉进行摄食，减少试验过程中人为的干扰，能直接观察到动物的摄食行为，从而能直观地对比分析诱食剂的诱食效果。

牛蛙（*Lithobates catesbeiana*）在分类学上属脊索动物门脊椎动物亚门两栖纲无尾目蛙科牛蛙属，因其肉质鲜美深受广大消费者的喜爱，近年来牛蛙养殖业发展迅猛，目前我国江西、广东、浙江等省均有大规模养殖，是我国养殖产量最大的两栖动物。由于牛蛙视觉生理的特殊性，导致其对静止的物体视觉不敏感。因此，在生产上经常出现饲料未被捕食的现象，导致饲料浪费和环境污染。有关牛蛙饲料中诱食剂的研究尚未见报道，Zhang 等^[12]报道了饲料中添加不同脂肪源影响了牛蛙的摄食率，由此推测，不同脂肪源可能对牛蛙的诱食效果不同。为了提高牛蛙饲料的利用率，减少饲料浪费，降低养殖尾水中氮磷等元素的含量，本研究拟设计能够阻挡牛蛙视线的诱食迷宫装置，并选取动物饲料加工中常用的脂肪源——淡水鱼油、海水鱼油、大豆油、棕榈油、鸡油、猪油制作牛蛙饲料，以期筛选出牛蛙嗅觉敏感的脂肪源，为牛蛙诱食剂的开发及牛蛙饲料中脂肪源的选择提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验牛蛙

试验牛蛙购于福建莆田某养殖场, 于室内养殖池中暂养一周。挑选 90 只平均体重为 (54.66 ± 2.72) g 的牛蛙, 分别养殖于 3 个暂养池 (P1、P2、P3) 中, 每池 30 只。每天分别于 10: 00, 16: 00 饱食投喂两次, 投喂牛蛙商业配合饲料 (购自厦门嘉康饲料有限公司)。暂养期间, 平均水温 26 ℃, 每天换水 2 次。

1.2 饲料的制备

根据牛蛙的营养需求, 以豆粕为主要蛋白源制作未添加脂肪源的豆粕型饲料, 配方和化学组成见表 1。饲料原料购于厦门嘉康饲料有限公司, 粉碎后通过 60 目筛网, 按照饲料配方逐级混合均匀, 然后用水产饲料膨化机制成直径 3.0 mm 的膨化颗粒饲料。

试验用脂肪源包括淡水鱼油、海水鱼油、大豆油、棕榈油、鸡油和猪油。分别以外喷的方式向每千克基础饲料中添加 60 g 的各种脂肪源, 制作 6 组试验饲料, 分别记为: 淡水鱼油组、海水鱼油组、大豆油组、棕榈油组、鸡油组、猪油组。脂肪源和饲料充分混合均匀后放入 70 ℃ 的烘箱中, 烘干至水分约 10% (质量分数) 后置于 -20 ℃ 冰箱中保存备用。

表 1 未添加脂肪源的豆粕型饲料配方及营养水平 (干物质)
Tab. 1 Composition and nutrient levels of soybean meal diet without lipid sources (DM basis)

原料 Ingredients		质量分数 Content/ %	原料 Ingredients		质量分数 Content/ %
配方 Composition	豆粕 Soybean meal	55.0	配方 Composition	氯化胆碱 Choline chloride	0.5
	面粉 Wheat flour	20.4		抗坏血酸多聚磷酸酯 <i>L</i> - ascorbate - 2 - phosphate	0.1
	谷朊粉 Wheat gluten	5.0		维生素预混料 Vitamin premix ¹⁾	0.2
	玉米蛋白粉 Corn gluten meal	5.0		矿物质预混料 Mineral premix ²⁾	0.5
	鱿鱼膏 Squid paste	1.5		三氧化二钇 Y ₂ O ₃	0.1
	磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	2.0	营养 水平 Nutrient level ³⁾	粗蛋白质 Crude protein	41.1
	碳酸钙 CaCO ₃	1.2		粗脂肪 Crude lipid	7.9
	赖氨酸盐酸盐 Lysine monohydrochloride	1.6		总钙 Total Calcium	0.9
	<i>DL</i> - 蛋氨酸 <i>DL</i> - Methionine	0.3		总磷 Total Phosphorus	1.0

注: 1) 维生素预混料为每千克饲料含维生素 B1 10 mg、核黄素 8 mg、盐酸吡哆醇 10 mg、VB₁₂ 0.2 mg、VK₃ 10 mg、肌醇 100 mg、泛酸 20 mg、烟酸 50 mg、叶酸 2 mg、生物素 2 mg、VA 500 000 IU、VD₃ 5 mg、VE 500 000 IU、乙氧基喹啉 150 mg、次粉 0.1328 g。

2) 矿物质预混料为每千克饲料含 KCL 200 mg、KI 60 mg、CoSO₄ 100 mg、CuSO₄ · 5H₂O 24 mg、FeSO₄ · H₂O 400 mg、ZnSO₄ · H₂O 174 mg、MnSO₄ · H₂O 78 mg、MgSO₄ · 7H₂O 800 mg、Na₂SeO₃ (1%) 50 mg、沸石粉 3.114 g。

3) 营养水平均为实测值。

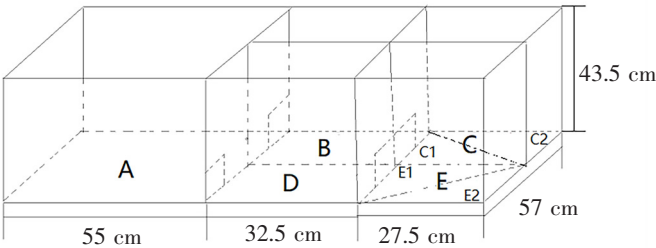
Netes: 1) Vitamin premix (per kg) provided B1 thiamin 10 mg, riboflavin 8 mg, pyridoxine HCl 10 mg, VB₁₂ 0.2 mg, VK₃ 10 mg, inositol 100 mg, pantothenic acid 20 mg, niacin acid 50 mg, folic acid 2 mg, biotin 2 mg, VA 500 000 IU, VD₃ 5 mg, VE 500 000 IU, ethoxyquin 150 mg, wheat middling 0.1328 g.

2) Mineral premix (per kg) provided KCL 200 mg, KI 60 mg, CoSO₄ 100 mg, CuSO₄ · 5H₂O 24 mg, FeSO₄ · H₂O 400 mg, ZnSO₄ · H₂O 174 mg, MnSO₄ · H₂O 78 mg, MgSO₄ · 7H₂O 800 mg, Na₂SeO₃ (1%) 50 mg, zeolite powder 3.114 g.

3) Nutrient levels were measured values.

1.3 牛蛙诱食迷宫装置

牛蛙诱食迷宫装置见图 1~2。采用长方形敞口水箱为试验装置，分为 A、B、C、D、E 五个区域。C 区和 E 区各以一段漂浮管将其分别分为 C1、C2 区和 E1、E2 区；B、C 区与 D、E 区互不相通。其中 A 区是试验开始时牛蛙投放区域，B 区和 D 区为过渡区，C1 区和 E1 区为摄食观察区，C2 区和 E2 区为饲料投放区（即摄食区）^[13]。A、C 区分别与 B 区有位置相对的孔作为通道，可供牛蛙通行；A、E 区分别与 D 区也有位置相对的孔相通。孔的规格都为 10.5 cm×5.3 cm。



A 区-牛蛙投放区;B 区和 D 区-过渡区;C1 区和 E1 区-摄食观察区;C2 和 E2 区-摄食区
A-Dropping area; B and D-Transition areas; C1 and E1-Observation areas; C2 and E2-Feeding areas

图 1 迷宫装置设计图
Fig.1 Maze device model

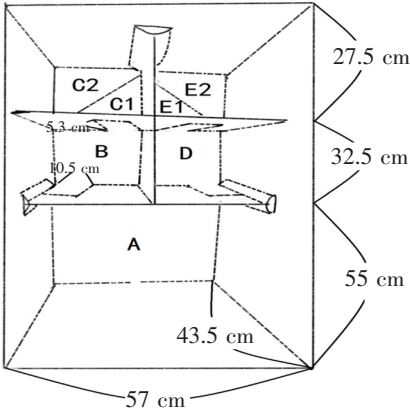


图 2 试验迷宫装置的顶面视图
Fig.2 Top view of the maze

1.4 牛蛙诱食迷宫装置诱食效果试验

采用未添加脂肪源的饲料和海水鱼油饲料，测试迷宫装置是否适用于牛蛙的诱食试验。具体方法如下：试验开始时，先向迷宫装置内加水至水深 3.5 cm，然后关闭所有通道。从暂养池 P1 内随机选取 8 只牛蛙放入迷宫 A 区，待其适应 5 min 后，取两种饲料各 40 粒分别置于 C2 区和 E2 区。再过 1 min 后打开所有通道并开始计时、录像^[14]。计时 10 min 后，记录 C2 区和 E2 区的被摄食饲料颗粒数；记录进入 C 区和 E 区的牛蛙数量。根据全程录像，记录牛蛙的运动轨迹。试验结束后换水并清除残饵。然后，交换两种饲料的位置，并从 P2 中随机选取 8 只牛蛙，重复上述操作。再次交换两种试验饲料的位置，从 P3 中随机选取 8 只牛蛙，重复以上操作。正式试验的操作方法与此相同。

1.5 试验设计

先进行海水鱼油饲料分别与其他 5 种饲料的诱食效果的比较试验，每组做 3 次重复。诱食效果通过以下几个指标进行评价：摄食饲料颗粒的百分比（%，摄食的饲料颗粒数/投放的总饲料颗粒数×100%）、进入摄食区牛蛙的百分比（%，进入摄食区牛蛙的数量/投入牛蛙的总数量×100%）、第一只牛蛙进入的时间（min）和牛蛙的运动轨迹（试验开始后每只牛蛙每隔 1 min 的位置变化图）。经数据分析，初步获得比海水鱼油诱食效果好的脂肪源、比海水鱼油诱食效果差的脂肪源及与海水鱼油诱食效果相当的脂肪源。根据初步的诱食效果分别进行两两比较试验，依次推断出各脂肪源对牛蛙的诱食效果。

1.6 统计分析

数据用 SPSS 17.0 统计软件进行配对样本 T 检验，统计学差异显著性水平设为 $P < 0.05$ 。试验获得的数据用平均值±标准误表示。

2 结果与分析

2.1 牛蛙诱食装置的验证试验

图 3 为未喷油组和海水鱼油组摄食饲料颗粒百分数的对比结果。由图 3 可见，海水鱼油组摄食饲料

颗粒的百分数显著高于未喷油组 ($P < 0.05$)。由图 4 可知, 海水鱼油组 10 min 内进入摄食区牛蛙的百分数极显著高于未喷油组 ($P < 0.01$), 且海水鱼油组第一只牛蛙进入摄食区的时间短于未喷油组。

2.2 脂肪源作为诱食剂对牛蛙的诱食效果

2.2.1 牛蛙摄食饲料颗粒的比较

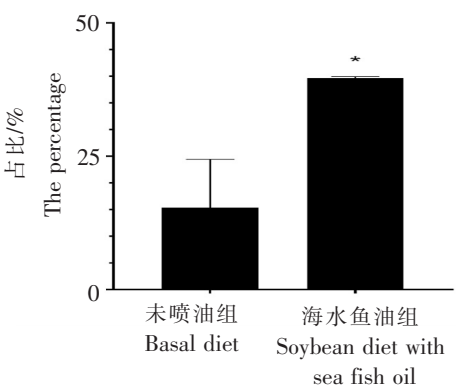
图 4a 为摄食饲料的颗粒百分数的两两比较结果。由图 4a 可知: 淡水鱼油组和大豆油组均显著高于海水鱼油组 ($P < 0.05$); 海水鱼油组与其他各组间差异不显著 ($P > 0.05$); 大豆油组与淡水鱼油组差异不显著 ($P > 0.05$); 鸡油、猪油和棕榈油各组间差异不显著 ($P > 0.05$)。但从平均值来分析, 棕榈油组稍优于海水鱼油组, 海水鱼油组稍优于鸡油组和猪油组。由此推断各脂肪源的诱食效果顺序是: 淡水鱼油 = 大豆油 > 海水鱼油 = 棕榈油 = 鸡油 = 猪油。

2.2.2 10 min 进入摄食区牛蛙的百分数

由图 4b 所示的 10 min 内进入摄食区牛蛙百分数知: 淡水鱼油组显著高于海水鱼油组 ($P < 0.01$); 大豆油组和棕榈油组高于海水鱼油组, 但差异不显著 ($P > 0.05$); 鸡油组显著低于海水鱼油组 ($P < 0.05$); 猪油组和鸡油组均低于海水鱼油组, 但差异不显著 ($P > 0.05$); 其他各组之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。由此推断各脂肪源的诱食效果顺序是: 淡水鱼油 = 大豆油 > 海水鱼油 ≥ 棕榈油 ≥ 鸡油 ≥ 猪油。

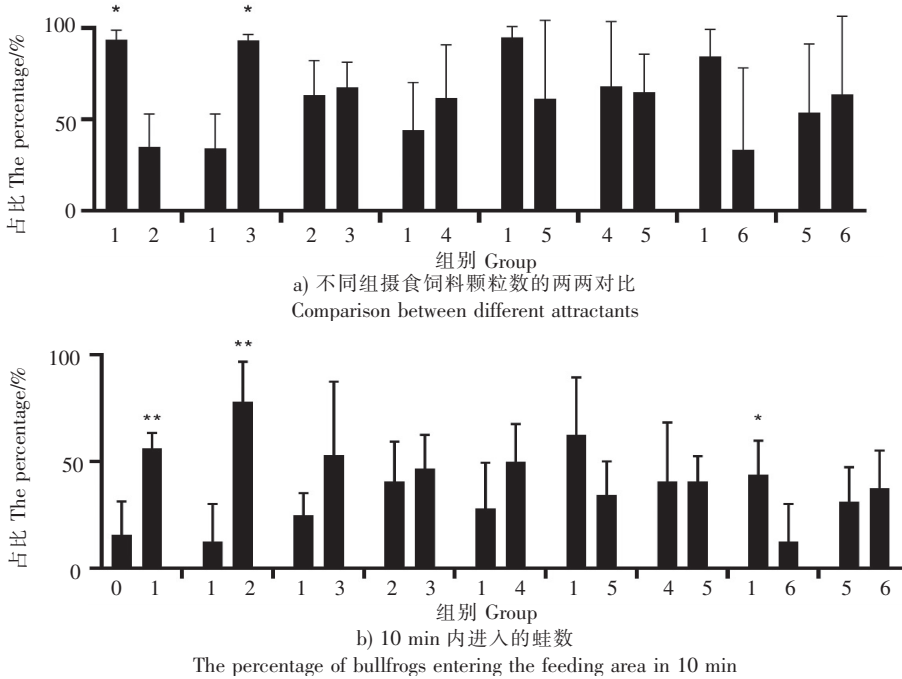
2.2.3 第一只牛蛙进入摄食区的时间的比较

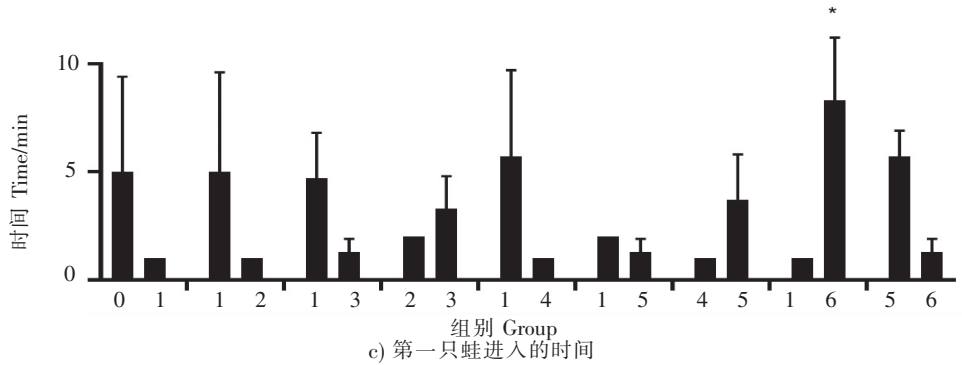
由图 4c 第一只牛蛙进入摄食区的时间可见: 海水鱼油组显著早于鸡油组 ($P < 0.05$); 其他组与海水鱼油组差异不显著 ($P > 0.05$), 但淡水鱼油、大豆油和棕榈油组的平均值小于海水鱼油组; 鸡油组显著小于猪油组 ($P < 0.01$); 其余各组之间第一只蛙进入的时间无显著差异 ($P > 0.05$)。由此推断各脂肪源的诱食效果顺序是: 大豆油 ≥ 淡水鱼油 > 海水鱼油 = 棕榈油 ≥ 鸡油 > 猪油。



星号表示两种脂肪源诱食效果差异显著 ($P < 0.05$)
The asterisk indicates that the two sources of lipid have significant effects ($P < 0.05$)

图 3 未喷油组与海水鱼油组摄食饲料的对比
Fig.3 Comparison of basal diet and sea fish oil diet





c) 第一只蛙进入的时间
The time when the first frog entered the feeding area
0—未喷油;1—淡水鱼油; 2—海水鱼油; 3—大豆油; 4—棕榈油; 5—猪油; 6—鸡油; 同一组上方星号表示两种脂肪源诱食效果差异显著 ($P < 0.05$)
0—Basal diet;1—Freshwater fish oil; 2—Seawater fish oil; 3—Soybean oil; 4—Palm oil; 5—Lard; 6—Poultry fat; the asterisk above the same group indicates that the two sources of lipid have significant effects ($P < 0.05$)

图 4 脂肪源对牛蛙的诱食效果
Fig.4 The effeces liquid sources as feed attractants bullfrog

2. 2. 4 牛蛙运动轨迹

图 5a 为海水鱼油组和大豆油组试验期间牛蛙的运动轨迹图。一共有 6 只牛蛙从 A 区经过 B 区到达大豆油组所在的 C2 区; 有 2 只牛蛙经过 D 区到达海水鱼油组所在的 E2 区; 有 1 只牛蛙进入 D 区后返回 A 区。由此推测, 大豆油较海水鱼油诱食效果好。

图 5b 为淡水鱼油组和大豆油组试验期间牛蛙的运动轨迹图。有 4 只牛蛙从 A 区经过 B 区进入到大豆油组所在的 C2 区, 其中 1 只牛蛙进入 C2 区后返回 A 区; 有 6 只牛蛙从 A 区经过 D 区进入淡水鱼油组所在的 E 区, 其中 4 只进入 E2 区, 1 只进入 E1 区。由此推测, 大豆油与淡水鱼油诱食效果相近。

图 5c 为淡水鱼油组和海水鱼油组试验期间牛蛙的运动轨迹图。一共有 8 只牛蛙从 A 区经过 B 区进入淡水鱼油组所在的 C2 区, 而海水鱼油组所在的 E2 区没有牛蛙进入。由此推测, 淡水鱼油较海水鱼油诱食效果好。

图 5d 为海水鱼油组和鸡油组试验期间牛蛙的运动轨迹图。一共有 4 只牛蛙从 A 区经过 B 区进入到海水鱼油饲料所在的 C2 区; 只有 1 只牛蛙从 A 区经过 B 区进入鸡油饲料所在的 E2 区。由此推测, 海水鱼油较鸡油诱食效果好。

图 5e 为海水鱼油组和棕榈油组试验期间牛蛙的运动轨迹图。一共有 5 只牛蛙从 A 区经过 B 区进入棕榈油组所在的 C2 区, 有 2 只牛蛙从 A 区进入 B 区后返回 A 区; 有 4 只牛蛙从 A 区经过 D 区进入到海水鱼油组所在的 E2 区, 有 1 只牛蛙从 A 区进入 D 区后返回 A 区。由此推测, 海水鱼油与棕榈油的诱食效果相近。

图 5f 为鸡油组和猪油组试验期间牛蛙的运动轨迹图。一共有 4 只牛蛙从 A 区经过 B 区进入鸡油组所在的 C2 区; 有 4 只牛蛙从 A 区经过 D 区进入猪油组所在的 E2 区。由此推测, 鸡油和猪油的诱食效果相近。

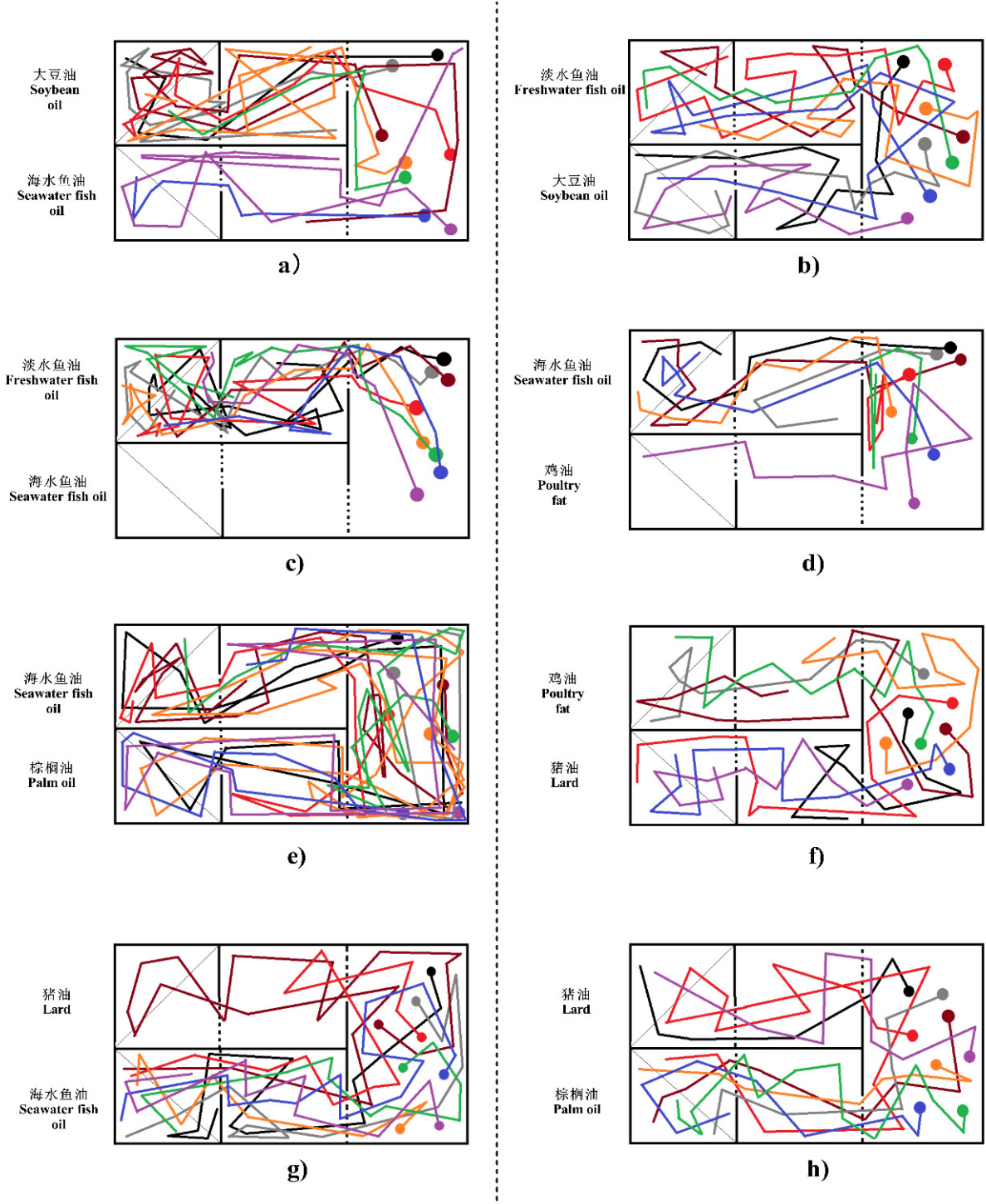
图 5g 为猪油组和海水鱼油组试验期间牛蛙的运动轨迹图。只有 1 只牛蛙从 A 区经过 B 区进入猪油组所在的 C2 区; 有 8 只牛蛙从 A 区经过 D 区进入猪油组所在的 E2 区。由此推测, 海水鱼油较猪油的诱食效果好。

图 5h 为猪油组和棕榈油组试验期间牛蛙的运动轨迹图。一共有 3 只牛蛙从 A 区经过 B 区进入猪油组所在的 C2 区; 有 6 只牛蛙从 A 区经过 D 区进入棕榈油组所在的 E2 区。可见, 棕榈油较猪油的诱食效果好。

由牛蛙运动轨迹推断, 各脂肪源的诱食效果顺序为: 淡水鱼油 = 大豆油 > 海水鱼油 ≥ 棕榈油 ≥ 鸡

油 > 猪油。

综合牛蛙摄食饲料的颗粒数、10 min 进入摄食区牛蛙的百分数、第一只牛蛙进入摄食区的时间和牛蛙运动轨迹, 推测六种脂肪源对牛蛙的诱食效果顺序为: 淡水鱼油 = 大豆油 > 棕榈油 = 海水鱼油 > 鸡油 > 猪油。



圆点为每只牛蛙的初位置, 不同颜色代表不同的牛蛙
The dot is the initial position of each bullfrog, and the different color represents a different bullfrog

图5 诱食试验期间牛蛙的运动轨迹图
Fig.5 The motion track of bullfrog during feeding experiment

3 讨论

3.1 牛蛙诱食装置的可行性分析

水产动物摄食行为的测定,受试验动物种类和试验方法等多种因素制约^[15]。潘训彬等^[16]研究发现,嗅觉能接受化学信号的刺激,且灵敏度高、范围广。诱食迷宫装置中设计遮蔽物遮挡动物的视线,动物主要依靠嗅觉和味觉进行觅食,因此,可以根据其摄食情况和运动轨迹分析诱食剂的诱食效果。牛蛙主要依靠视觉进行摄食,为了更好地分析促摄食物质对牛蛙的诱食效果,采用遮挡视线的迷宫法较合适。

本试验设计的牛蛙诱食迷宫装置可遮挡牛蛙视线,使牛蛙仅依靠嗅觉进行选择摄食,据此测定牛蛙的嗅觉在其摄食中的作用,并用此装置进行诱食剂的开发和筛选。当牛蛙处于有诱食剂存在的迷宫中时,其依靠嗅觉所表现出的选择性吞食可以代表诱食剂的诱食效果。通过录制视频,观察牛蛙在试验过程中的运动轨迹可以分析出牛蛙对诱食剂的选择性,更好地体现诱食剂对牛蛙的嗅觉诱食效果。通过牛蛙诱食迷宫装置的试验结果,证明了:本装置用于测定诱食剂对牛蛙的诱食效果是可行的;牛蛙的嗅觉对其摄食有帮助;脂肪源对牛蛙有诱食作用。与本试验方法类似,Hashimoto 等^[8]通过观察凡纳滨对虾在 Y 形迷宫中的行为反应,能够有效地对多种诱食剂进行评价;Katsuhiko 等^[11]通过设计的迷宫观察并记录每组黑鲍鱼进入和离开每一个隔间的时间,以及停留在隔间中的个数,对诱食剂进行评价;Hashimoto 等^[8]设计的试验水槽中,将日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*) 集中于一室,放入试验液一段时间后,检查集鱼室中试验鱼的尾数,以集鱼数作为试验液诱食效果的指标;林坤龙等^[17]的 VTMS 试验装置是将预先配好的刺激液悬挂在试验槽两端,通过计算机软件的记忆和分析功能记录鱼体在水槽中的活动轨迹,若鱼在某刺激液滴定区域的停留时间达 50% 以上,即判定该刺激物具有引诱性,在整个试验过程中,可以完全避免操作者的人为干扰。本试验过程中保证光照、温度、水位等因素一致,并全程录像以便分析牛蛙摄食运动轨迹,能更好地比较不同脂肪源的诱食效果。

3.2 不同脂肪源诱食效果的比较

脂肪是水产动物饲料的主要营养成分和脂溶性维生素载体^[4]。近年来也有试验表明脂肪对水产动物具有一定的引诱作用^[18]。胆固醇^[19]能够提高斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 的摄食、生长和存活。溶血卵磷脂可提高罗非鱼幼鱼^[20]和异育银鲫^[21]的生长性能。

本试验以海水鱼油组为基准分别与其他 5 种饲料进行分组比较试验,以饲料被摄食颗粒的百分数、进入摄食区牛蛙的百分数、第一只牛蛙进入的时间和牛蛙的运动轨迹为指标,对诱食效果进行评价。由试验结果推测,脂肪源对牛蛙有一定的诱食效果,且不同脂肪源的诱食效果存在差异,大豆油和淡水鱼油的诱食效果最好,其次是海水鱼油和棕榈油,再者是鸡油,猪油的效果最差。这与 Zhang 等^[12]对牛蛙配合饲料中脂肪源的研究结果相符,与鸡油和猪油相比,鱼油 (海水鱼油)、大豆油和棕榈油,更能促进牛蛙摄食率。此外,随着饲料脂肪水平的增加,牛蛙的摄食率显著升高,说明脂肪对牛蛙有很好的促摄食作用,并且鱼油、大豆油和棕榈油是牛蛙的优质脂肪源,鸡油和猪油次之。鱼油因富含多种不饱和脂肪酸,是水产动物理想的脂肪源^[22],因此,脂肪源中鱼油的诱食效果最好。淡水鱼油对牛蛙的诱食效果优于海水鱼油,可能与牛蛙在淡水中的生活习性有关。大豆油中富含十八碳系列高度不饱和脂肪酸^[23],可能是促进牛蛙诱食的主要原因;而棕榈油中脂肪酸的饱和度较高,因此其诱食效果低于大豆油。鸡油和猪油中富含高度不饱和脂肪酸,这可能是其对牛蛙诱食结果较差的主要原因。本试验结果中鸡油对牛蛙的诱食效果优于猪油,可能是因为鸡油和猪油的脂肪酸组成不同^[24]。而不同脂肪源对牛蛙的诱食结果不同,导致诱食结果差异的具体原因还需进一步研究。

4 结论

本试验设计的诱食迷宫装置可以用于牛蛙诱食剂的筛选;脂肪源对牛蛙有诱食效果;6 种脂肪源的诱食效果顺序为:淡水鱼油 = 大豆油 > 棕榈油 = 海水鱼油 > 鸡油 > 猪油。

[参考文献]

- [1] 夏腾,曲乐天,陈祥顺,等. 饵料中不同脂肪源对3种食性鱼类生长及肌肉脂肪酸组成的影响[J]. 饲料研究,2022,45(6):60-66.
- [2] 李婷婷,褚志鹏,李创举,等. 饲料中不同脂肪源对杂交鲟幼鱼生长性能、体成分、养分表观消化率、肝脏脂肪代谢酶活性和血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报,2021,33(6):3447-3460.
- [3] 罗江,蒋霞敏,杜学星. 不同脂肪源对管角螺生长和体成分的影响[J]. 生物学杂志,2014,31(1):45-50.
- [4] 张媛媛,刘波,戈贤平,等. 不同脂肪源对异育银鲫生长性能、机体成分、血清生化指标、体组织脂肪酸组成及脂质代谢的影响[J]. 水产学报,2012,36(7):1111-1118.
- [5] 薛敏,解绶启,崔奕波,等. 鱼类促摄食物物质研究进展[J]. 水生生物学报,2003,27(6):639-643.
- [6] 许诗亮,王士政,徐瑞,等. 几种诱食剂对蛇鲰诱食效果的比较[J]. 饲料工业,2020,41(02):15-19.
- [7] CAEE W, BLUMENTHAL K M, NETHERTON J C. Chemoreception in the pigfish, *Orthopristis chrysopterus*: the contribution of amino acids and betaine to stimulation of feeding behavior by various extracts [J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part A Physiology, 1977, 58(1):69-73.
- [8] HASHIMOTO Y, KONOSU S, FUSEYANI N, et al. Attractants for eels in the extracts of short-necked Clam-I: survey of constituents eliciting feeding behavior by the omission test [J]. Nsugaf, 1968(34):84-87.
- [9] 刘稳. 四种香精对黄颡鱼幼鱼的诱食、生长及 NPY 基因表达量的影响[D]. 武汉:武汉轻工大学,2017.
- [10] NUNES A J P, SÁ M V C, ANDRIOLA-NETO E F F, et al. Behavioral response to selected feed attractants and stimulants in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* [J]. Aquaculture, 2006, 260(1/2/3/4):244-254.
- [11] KATSUHIKO H, TAIKO M, SHIGEYASU K, et al. Studies on the feeding attractants for fishes and shellfishes. XXVI: probable feeding attractants in allspice *Pimenta officinalis* for black abalone *Haliotis discus* [J]. Aquaculture, 1996, 140(1/2):99-108.
- [12] ZHANG C X, HUANG K K, LU K L, et al. Effects of different lipid sources on growth performance, body composition and lipid metabolism of bullfrog *Lithobates catesbeiana* [J]. Aquaculture, 2016, 457:104-108.
- [13] 陈启亮,吴林林,杜小燕,等. 多种诱食剂对不同食性鱼类的诱食效果比较[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2018, 35(6):22-28.
- [14] 郭永均,邢克智,陈成勋,等. 几种中草药对鲤鱼诱食效果的研究[J]. 天津农学院学报, 2005, 12(3):1-5.
- [15] 吉红,李海梅,周继才,等. 4种植物粗提物对金鱼诱食效果的初步研究[J]. 水产科学, 2008(2):67-70.
- [16] 潘训彬,冼健安,寇红岩,等. 水产饲料诱食剂研究[J]. 饲料工业, 2014, 35(14):14-18.
- [17] 林坤龙,黄宝贵. 美洲鳗鲡及幼鳗对摄饵诱引物之行为反应[J]. 上海水产大学学报, 1998(7):397-399.
- [18] 张媛媛,刘波,戈贤平,等. 不同脂肪源对异育银鲫生长性能、机体成分、血清生化指标、体组织脂肪酸组成及脂质代谢的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(7):1111-1118.
- [19] BRIGGS M, BROWN J H, FOX C J. The effect of dietary lipid and lecithin levels on the growth, survival, feeding efficiency, production and carcass composition of post-larval *Penaeus monodon* fabricius [J]. Aquaculture Research, 2010, 25(3):279-294.
- [20] 李海涛,田丽霞,王银东,等. 溶血卵磷脂对奥尼罗非鱼生长性能、鱼体成分及血液指标的影响[J]. 大连水产学院学报, 2010, 25(2):143-146.
- [21] 李红霞,刘文斌,李向飞,等. 饲料中添加氯化胆碱、甜菜碱和溶血卵磷脂对异育银鲫生长、脂肪代谢和血液指标的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(2):292-299.
- [22] DOSANJH B S, HIGGS D A, PLOTMIKOFF M D, et al. Preliminary evaluation of canola oil, pork lard and marine lipid singly and in combination as supplemental dietary lipid sources for juvenile fall Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) [J]. Aquaculture, 1988, 68(4):325-343.
- [23] 刘玮,戴年华,任本根,等. 不同脂肪源饲料对团头鲂稚鱼生长的影响[J]. 水产学报, 1997, 21(增刊1):44-48.
- [24] 井银成,范璐,杨国龙,等. 基于脂肪酸分析识别猪油和鸡油[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2011, 32(6):40-44.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄力行)