

УДК 597.58.639.32

ПРИСУТСТВУЮТ ЛИ АТЛАНТИЧЕСКИЕ ВИДЫ РОДА *TRACHINOTUS* (CARANGIDAE), *T. FALCATUS* И *T. OVATUS*, В АЗИАТСКОЙ МАРИКУЛЬТУРЕ?

© 2024 г. А. М. Шадрин^{1, *}, А. В. Семенова^{1, 2}, Нгуен Тхи Хай Тхань³

¹Московский государственный университет, Москва, Россия

²Институт общей генетики РАН – ИОГен РАН, Москва, Россия

³Приморское отделение Совместного российско-вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра, Нячанг, Вьетнам

*E-mail: shadrin-mail@mail.ru

Поступила в редакцию 01.11.2023 г.

После доработки 15.01.2024 г.

Принята к публикации 09.02.2024 г.

Согласно многочисленным сведениям в научной литературе и коммерческим предложениям, в настоящее время в марикультуре Тайваня и Юго-Восточной Азии, в частности Вьетнама, культивируют два вида помпано: *Trachinotus blochii* и *T. falcatus*. Также считается, что в хозяйствах материкового Китая выращивают *T. blochii* и *T. ovatus*. Таксономическая идентификация по морфологическим признакам видов помпано из хозяйства в южной части Центрального Вьетнама и результаты применения метода ДНК-баркодинга показали, что один из этих видов действительно является *T. blochii*, а второй – не *T. falcatus*, а *T. anak*. Анализ литературных источников, в которых нет ни одного доказанного (аргументированного) свидетельства как интродукции, так и присутствия *T. falcatus* и *T. ovatus* в настоящее время в Азии, и сравнение выявленных нуклеотидных последовательностей с таковыми, хранящимися в генетических базах данных (GenBank, BOLD), позволили заключить, что эти виды в азиатской марикультуре, скорее всего, отсутствуют, а упоминания о них в многочисленных научных публикациях из этого региона являются результатом ошибочной идентификации *T. anak*.

Ключевые слова: *Trachinotus*, помпано, таксономическая идентификация, ДНК-баркодинг, марикультура Азии, Вьетнам, Китай.

DOI: 10.31857/S0042875224050072 EDN: QYOJDE

В настоящее время таксономический состав объектов марикультуры рода *Trachinotus* (Carangidae) – помпано, культивируемых во Вьетнаме и Китае, не представляется ясным в полной мере. Согласно многочисленным научным публикациям, в хозяйствах региона представлены три вида: *T. blochii* и *T. falcatus* во Вьетнаме и *T. blochii* и *T. ovatus* в Китае.

T. blochii (Lacépède, 1801) ввели в садковую марикультуру Вьетнама в 2003 г. и в настоящее время успешно выращивают в разных частях страны (Thu et al., 2016). Другой вид, также довольно широко распространённый здесь в качестве объекта промышленного разведения, в научной литературе фигурирует под названием *T. falcatus* (Linnaeus, 1758) (Lazado et al., 2015, 2017; Erikson et al., 2019). Эти виды различаются длиной непарных плавников, и на рыбоводных

фермах Вьетнама их называют соответственно длиннопёрый и короткопёрый помпано.

T. blochii в естественной среде обитания широко распространён по всему Индийскому и в западной и центральной частях Тихого океанов, включая острова Самоа, Тонга, Марианские и Маршалловы (Smith-Vaniz, 1984). Коммерческое разведение *T. blochii* началось в Азии в начале 1990-х гг. в Сингапуре и появилось в Китае во второй половине 2000-х. В настоящее время этот вид культивируют и в других азиатских странах, включая Индонезию, Малайзию, Индию, Филиппины и Вьетнам (FAO, 2023a). Воды этих стран являются частью ареала *T. blochii*, и его успешное распространение в марикультуре Азии выглядит вполне естественным.

Ареал *T. falcatus* ограничен Западной Атлантикой от Бермудских островов и Массачусетса до Южной Бразилии и по всей Вест-Индии (Smith-Vaniz, 2002). История появления и распространения именно этого вида в аквакультуре Сингапура, Тайваня и Вьетнама не имеет убедительного подтверждения в виде научных публикаций или других документов, а существующие немногочисленные данные имеют приблизительный и противоречивый характер. В одной из публикаций (Nguyen et al., 2018) указано, что из Флориды *T. falcatus* в 1980-х гг. завезли в аквакультуру Тайваня, а оттуда вид попал в Сингапур и остальную Юго-Восточную Азию, однако авторы не подтверждают эту информацию ссылкой на её источники.

В одном из двух существующих сообщений Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций — FAO (FAO, 2023b) указано, что, по данным неизвестного и безымянного источника, интродукцию *T. falcatus* в марикультуру Тайваня выполнил неизвестный оператор, дата не приведена. При этом FAO ссылается на публикацию Ляо с соавторами (Liao et al., 2001), в которой указан год (1997) первого успешного разведения этого вида на Тайване. Другое сообщение FAO (FAO, 2023c) противоречиво информирует о том, что *T. falcatus* интродуцирован в марикультуру Сингапура из Тайваня ещё в 1992 г. и также неизвестным оператором. Таким образом, получается, что *T. falcatus* интродуцировали в Сингапур из Тайваня до того, как там были получены первые положительные результаты по его разведению.

Логично предположить, что причиной интродукции в 1990-е гг. в азиатский регион *T. falcatus* в качестве объекта марикультуры мог послужить удачный опыт его разведения в Западной Атлантике, но успехов не было ни тогда, ни позже. Изучение *T. falcatus* в качестве потенциального объекта марикультуры в районах его естественного ареала начали в 1980-е гг. Тогда исследователи столкнулись с серьёзными проблемами: рыбы не созревали в неволе, и материал для экспериментов по выращиванию молоди отлавливали в естественной среде обитания (Jorg et al., 1985). В проведённых позже исследованиях также отмечена проблема отсутствия маточного стада этого вида в отличие от *T. goodei* и *T. carolinus* (Thouard et al., 1990). При этом на *T. carolinus* к этому времени были уже проведены успешные эксперименты по разведению и выращиванию (Hoff et al., 1972, 1978), что, казалось бы, дела-

ло его более предпочтительным объектом аквакультуры. Позже *T. carolinus* стали рассматривать в качестве перспективного объекта с детально разработанной технологией разведения (Weirich et al., 2021). Информация об успешном разведении *T. falcatus* в омываемых водами Западной Атлантики странах отсутствует и в настоящее время. Экономическое значение вида ограничивается небольшим объёмом коммерческого промысла и рекреационным рыболовством (Crabtree et al., 2002; Holder et al., 2020).

Также определённые сомнения вызывает факт присутствия в марикультуре Азии ещё одного представителя рода — *T. ovatus* (Linnaeus, 1758). Чаще всего название этого вида встречается в многочисленных научных работах (Du, Luo, 2004; Liu, Chen, 2009; Liu X.-W. et al., 2011; Lin et al., 2012; Kou et al., 2015; Ma et al., 2016 a, 2016b; Meng et al., 2017; Zhang X. et al., 2018; Liu B. et al., 2019; Zhang D. et al., 2019; Lei et al., 2021; Liu Y. et al., 2022) и в коммерческих предложениях из Китая. Таких источников настолько много, что мы привели ссылки лишь на их малую часть. Есть публикации о *T. ovatus* и из Вьетнама (Tran et al., 2019). Западная Пасифика не входит в естественный ареал *T. ovatus*, однако существуют публикации, авторы которых (Sun et al., 2013; Xie et al., 2014) обсуждают состояние “естественной популяции” *T. ovatus* в водах Китая, при том что этот вид распространён в Балтийском, Северном, Средиземном и Мраморном морях, в Восточной Атлантике, от британских и скандинавских вод до юга Анголы (Smith-Vaniz, 1986; Fricke et al., 2023) и обоснованных свидетельств его присутствия в Тихом океане нет.

Естественное географическое распространение, габитуальные особенности и отсутствие данных об интродукции в районы Индо-Вест-Пасифики являлись основанием уже высказанных ранее призывов обратить внимание на неверную идентификацию *T. ovatus* в азиатской литературе (Welch, 2013), однако публикации с результатами исследования китайского *T. ovatus* выходят и в настоящее время. Путаница усиливается и тем, что в базах генетических данных размещено множество нуклеотидных последовательностей ДНК “*T. ovatus*” с локализацией в Китае, а в китайской литературе содержится много ошибочных идентификаций *T. anak* или *T. mookalee* как “*T. ovatus*” (Smith-Vaniz, Walsh, 2019).

Таксономический состав объектов рода *Trachinotus* в марикультуре Азии, очевидно, вызывает ряд вопросов. Ни одной научной публи-

кации, достоверно подтверждающей видовую принадлежность исследуемых объектов из этой группы на основании проведённого морфологического анализа, нет.

В дополнение к видам, культивируемым во Вьетнаме, материковом Китае, Тайване и Сингапуре, известным там под названиями “*T. blochii*, *T. falcatus* и *T. ovatus*”, в этом регионе существуют и естественные популяции *T. mookalee* Cuvier, 1832, *T. anak* Ogilby, 1909 и *T. baillonii* (Lacépède, 1801) (Smith-Vaniz, 1999; Smith-Vaniz, Walsh, 2019), представителей которых также необходимо рассматривать при выяснении таксономического состава относящихся к роду *Trachinotus* объектов азиатской марикультуры.

Цель нашего исследования — с использованием морфологических и молекулярно-генетических методов выявить видовую принадлежность культивируемых во Вьетнаме и Китае объектов марикультуры рода *Trachinotus*.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор материала

Сбор материала и его первичную обработку провели на базе Приморского отделения Совместного российско-вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра в 2012, 2019 и 2020 гг. Источником материала было одно из крупных морских садковых хозяйств, расположенных в зал. Нячанг. Хозяйство специализировалось на разведении нескольких видов рыб, в частности, двух видов рода *Trachinotus* — короткопёрого и длиннопёрого помпано. Перечень выполняемых в нём работ включал инкубацию икры, собранной в садках после нереста производителей, выкармливание личинок и подращивание молоди для пополнения собственного маточного стада и для продажи в другие хозяйства с целью производства товарной рыбы.

Идентификация по морфологическим признакам

Из подробных морфологических описаний видов рода *Trachinotus* (Smith-Vaniz et al., 1995; Lin, Shao, 1999; Smith-Vaniz, 1999, 2002) использовали только те признаки, которые были удобны и достаточны для выполнения задачи по идентификации видов, в естественные ареалы которых входит западная часть Тихого океана (*T. anak*, *T. blochii*, *T. mookalee*, *T. baillonii*), а также *T. falcatus* и *T. ovatus*. В качестве таких признаков

были выбраны: форма первой *supraneurale*, наличие гиперостозных рёбер, форма *supraoccipitale*, число колючих и ветвистых лучей в спинных и анальном плавниках, наличие тёмных пятен на боках тела.

По морфологическим признакам идентифицировали 2 экз. длиннопёрого (*T. blochii*) помпано длиной по Смитту (*FL*) 290 и 330 мм и 2 экз. короткопёрого помпано *FL* 431 и 310 мм, культивируемого как *T. falcatus*. Ещё одного короткопёрого помпано *FL* 298 мм использовали для рентгенографического анализа (метод рентгенографии тотального препарата). Остеологический препарат фрагмента нейрокраниума и части посткраниального скелета получили вывариванием объекта и отделением костных элементов от мягких тканей.

Методы выделения ДНК, полимеразной цепной реакции (ПЦР) и секвенирования

Тотальную ДНК длиннопёрого и короткопёрого (по 2 образца) помпано выделили с использованием набора DiatomPrep 100 (“Изоген”, Россия) по протоколу производителя. Сегмент длиной ~ 650 пар нуклеотидов амплифицировали из области митохондриального гена *COI* с использованием праймеров FF2d и FR1d (Ivanova et al., 2007). Амплификацию проводили в 20 мкл смеси, включающей 10 мкл набора GenPak PCR MasterMix Core kit (“Изоген”, Россия), по 2.5 мкл каждого праймера (0.01 мм) и 5 мкл ДНК-матрицы. Условия проведения ПЦР: I — 5 мин при температуре 95°C; II — 30 с при 94°C, 45 с при 52°C, 60 с при 72°C (35 циклов); III — 10 мин при 72°C.

Фрагменты ДНК очищали и секвенировали в коммерческой лаборатории (Центр коллективного пользования “Геном”). Нуклеотидные последовательности идентифицировали в базе данных GenBank (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) с применением BLAST-поиска и в базе BOLD (<https://www.boldsystems.org>). Пороговым для идентификации видовой принадлежности образцов считали уровень сходства >98%.

Генетический анализ

Множественное выравнивание нуклеотидных последовательностей проводили в программе ClustalW (Thompson et al., 1994). Все новые последовательности депонировали в GenBank (№ ON545978, ON545984, ON554252, ON556552). Двухпараметрическую оценку расстояния Кимуры (K2P) использовали для сравнения последовательностей (Kimura, 1980), генетических

расстояний и кластеризации методом ближайшего соседа (NJ) в программе MEGA 5 (Tamura et al., 2011). Для дополнительного сравнительного анализа использовали уже известные последовательности *COI* шести видов *Trachinotus* из баз данных GenBank и BOLD.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Идентификация особей, культивируемых под названием *T. blochii*, или длиннопёрый помпано (рис. 1а), с использованием морфологических признаков показала, что исследованные экземпляры являются *T. blochii*. Эти рыбы не имели гиперостозных расширений на рёбрах, а первая *supraneurale* была с гиперостозом, за счёт которого представлена в виде плоской, довольно массивной кости, имеющей форму перевёрнутой капли или овального диска, что отличает *T. blochii* от всех остальных рассматриваемых в нашей работе видов (*T. mookalee*, *T. anak*, *T. baillonii*, *T. falcatus* и *T. ovatus*) (Smith-Vaniz et al., 1995). Кроме этого, *maxillare* исследованных рыб достигала только уровня передней границы зрачка, что является дополнительным признаком, отличающим их от *T. anak* и *T. falcatus*, у которых задний край *maxillare* относительно глаза заходит немного дальше (Lin, Shao, 1999; Smith-Vaniz, 2002).

По результатам молекулярно-генетического исследования, образцы, полученные от исследованных *T. blochii* (K2P между образцами 0.3%), были идентифицированы также как *T. blochii* на основании >98% сходства с 40 гомологичными нуклеотидными последовательностями *COI* в GenBank и BOLD. Почти половина этих последовательностей принадлежит рыбам из аквакультурных хозяйств Китая и Индонезии.

Кроме того, в GenBank и BOLD под названием *T. blochii* содержится ещё 11 нуклеотидных последовательностей рыб из вод Индии и Малайзии, имеющих сходство с нашими образцами на уровне 91.3–91.7%, которые, очевидно, *T. blochii* не являются. Последующий анализ этих данных показал, что эти фрагменты ДНК принадлежат *T. anak* и *T. mookalee*.

Морфологические признаки рыб, культивируемых под названием *T. falcatus*, или короткопёрый помпано (рис. 1б), позволили идентифицировать их как *T. anak*. Первая *supraneurale* исследованных особей имела форму перевёрнутой большой латинской буквы “L” без признаков гиперостоза (рис. 2а), что отличает их

от *T. blochii*. Кроме того, Лин и Шао (Lin, Shao, 1999) в своём описании видов рода, ссылаясь на личное сообщение Smith-Vaniz, отмечают, что *T. anak* имеет яйцевидно-эллипсообразную форму тела, а *T. blochii* высокую яйцевидную и сжатую с боков, что также хорошо видно на рис. 1. *T. blochii* и *T. anak* также различаются длиной непарных плавников, что определило их названия среди местных рыбодоводов. В первом спинном плавнике исследованных экземпляров было шесть коротких колючих лучей в отличие от *T. falcatus*, у которого их только пять (Lin, Shao, 1999; Smith-Vaniz, 1999, 2002).

У исследованного по рентгенограмме молодого экземпляра короткопёрого помпано FL 298 мм на 1-й, 2-й и 3-й парах рёбер были уже сформировавшиеся гиперостозные расширения (рис. 2в), что отличает этот вид от *T. falcatus*, у которых гиперостозные разрастания присутствуют на 2-й, 3-й и 4-й парах рёбер, и от *T. blochii*, у которых гиперостоза на рёбрах нет (Smith-Vaniz et al., 1995; Smith-Vaniz, 2002). Также у исследованных экземпляров короткопёрого помпано *supraoccipitale* была тонкой и лезвиеобразной (рис. 2б) в отличие от симпатрического *T. mookalee*, у особей которого она крупнее, ~ 300 мм, и эта кость имеет хорошо выраженное, массивное дистальное утолщение в виде “колбаски” (sausage-shaped) (Lin, Shao, 1999; Smith-Vaniz, 1999, 2002).

Хозяйство, послужившее источником материала для исследования, ведёт активную хозяйственную и коммерческую деятельность, широко распространяя посадочный материал для культивирования не только в провинции Кханьхоа, но и за её пределами. Можно с уверенностью утверждать, что *T. anak* распространён в аквакультуре района широко.

Сравнительный анализ результатов молекулярно-генетического исследования двух экземпляров *T. anak* (генетические различия между ними отсутствовали) выявил наличие более 50 нуклеотидных последовательностей в GenBank и BOLD с уровнем сходства с нашими образцами 99.37–99.84%. При этом большинство (>80%) из этих гомологичных последовательностей внесены в базы данных под названием *T. ovatus* с исключительно азиатской локализацией, преимущественно из Южно-Китайского моря, 10.0–13.5% были указаны как *T. anak* и ~ 5% как *T. blochii*.

Межвидовая генетическая дифференциация *T. anak* и *T. blochii* хорошо выражена (для наших



Рис. 1. Объекты разведения из садкового хозяйства в зал. Нячанг (Вьетнам): а – *Trachinotus blochii* FL 264 мм, известный у рыбоводов под названием “длиннопёрый помпано”; б – *T. anak* FL 255 мм, культивируемый под названием “*T. falcatus*, или короткопёрый помпано”.

образцов K2P 9.43%), что гарантирует возможность дифференцировки данных видов на основании их генетических характеристик. Аналогичная ситуация наблюдается и с *T. ovatus*. Генетические различия по *COI* между *T. anak* и *T. ovatus* с внешним видом, реально соответству-

ющим виду *T. ovatus* из мест, расположенных в пределах его естественного ареала, т.е. настоящим *T. ovatus* (Costa et al., 2012; Keskin, Atar, 2013; Landi et al., 2014), также довольно велики. Межвидовая генетическая дистанция K2P между нашими образцами *T. anak* и *T. ovatus* из Средиземного

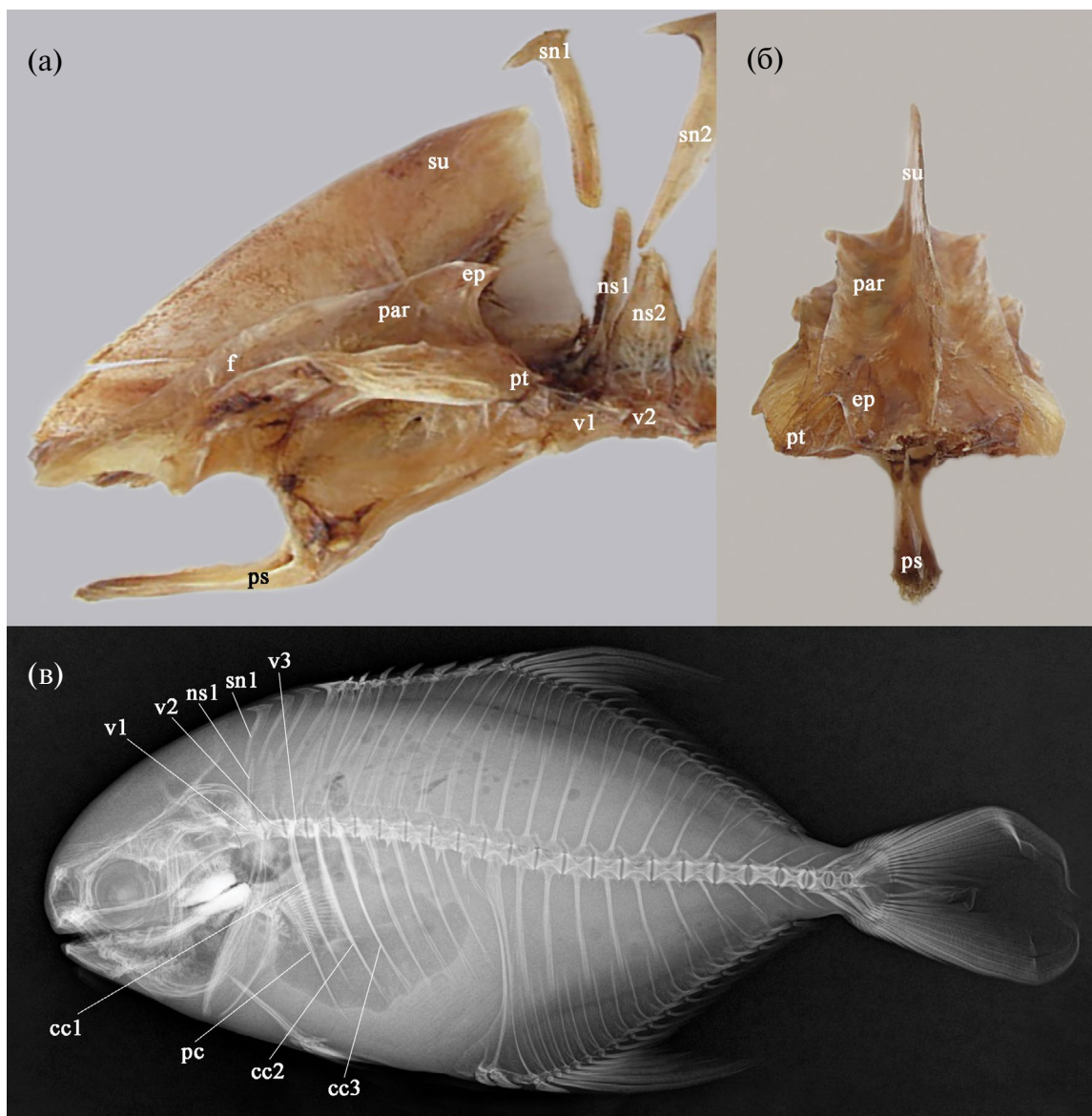


Рис. 2. Элементы скелета *Trachinotus anak* FL 431 мм из морского садкового хозяйства в зал. Нячанг (Вьетнам): а – фрагмент нейрокраниума с элементами посткраниального скелета, вид сбоку, supraneurale 1 без гиперостоза в виде перевёрнутой латинской буквы “L”; б – фрагмент нейрокраниума того же экземпляра, вид сзади, supraoccipitale тонкая и лезвиеобразная; в – рентгенограмма не крупного экземпляра FL 298 мм; отчётливо видны гиперостозные расширения на рёбрах 1, 2 и 3; в 1-м спинном плавнике шесть коротких колючих лучей. cc1–cc3 – corpus costae 1, 2, 3; ep – epioticum, f – frontale; ns1, ns2 – neurale 1, 2; par – parietale, pc – postcleithrum, ps – parasphenoideum, pt – pteroticum; sn1, sn2 – supraneurale 1, 2; su – supraoccipitale; v1–v3 – corpus vertebrae 1, 2, 3.

моря составляет 12.8%. Следовательно, можно уверенно утверждать, что гомологичные нашим (полученным для *T. anak*) нуклеотидные последовательности *COI*, размещённые в базах генетических данных под названием *T. blochii* и *T. ovatus*, являются ошибочно идентифицированными.

В GenBank и BOLD размещены многочисленные последовательности фрагментов *COI* “*T. ovatus*” азиатского происхождения. Неко-

торые из них сопровождаются изображениями исследованных рыб (Zhang, Hanner, 2012), которые, очевидно, не соответствуют названию вида.

У *T. ovatus* характерная внешняя морфология и его невозможно спутать с *T. anak*, *T. blochii*, *T. mookalee* и *T. falcatus*. У него умеренно длинное тело с расположенными на боках тремя–пятью тёмными, вытянутыми вертикально пятнами, а окончания лопастей второго спинного, аналь-

ного и хвостового плавников чёрные. Во втором спинном и анальном плавниках соответственно 23–27 и 22–25 мягких лучей (Smith-Vaniz, Berry, 1981; Bauchot, 2003), что значительно больше, чем у любого другого из рассматриваемых видов рода *Trachinotus*. Ни у одного из трёх внешне

похожих видов (*T. blochii*, *T. mookalee* и *T. anak*) в любом возрасте нет пятен на боках (Smith-Vaniz, 1999; Smith-Vaniz, Walsh, 2019). Все изображения объектов маркикультуры под названием *T. ovatus*, обнаруженные в научных источниках (Sun et al., 2020; Yu et al., 2021) и многочисленных коммер-

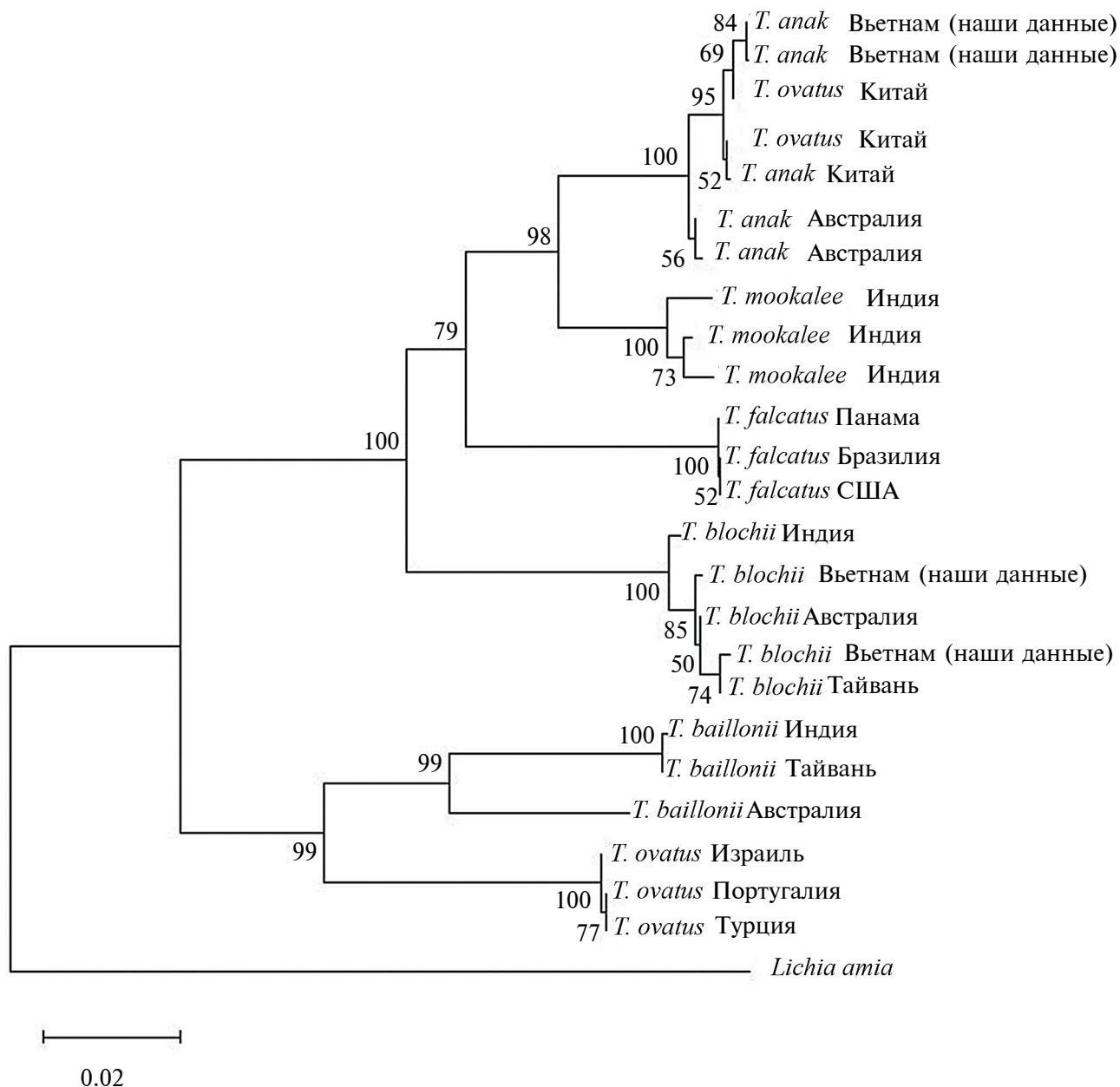


Рис. 3. Филогенетическое дерево, построенное по расстояниям Кимуры (K2P) методом ближайшего соседа (NJ) на основании последовательностей *COI* у шести видов рода *Trachinotus* и *Lichia amia* (Sparangidae) в качестве аут-группы. У основания ветвей указаны бутстреп-оценки (в %), определённые по 1000 репликаций. Используемые номера *COI* последовательностей из баз данных (BOLD и GenBank): *T. anak* (BOLD: AAC3391; GenBank: EF609479.1, KP641583.1); “*T. ovatus*” из Китая (GenBank: OL494293.1, OL494296.1); *T. mookalee* (GenBank: KU296862–KU296864); *T. falcatus* (BOLD: AAB9494; GenBank: LIDM1349-08, MW538659.1); *T. blochii* (GenBank: EF609481.1, MW008796.1, KU943808.1); *T. baillonii* (BOLD: AAC0922, AAC0923; GenBank: MZ577580); *T. ovatus* (BOLD: BIM405-15, AZB012-20; GenBank: MT491971.1). Шкала — численные расстояния Кимуры.

ческих предложениях из Юго-Восточной Азии, без сомнения, изображениями этого вида не являются. На этих иллюстрациях, очевидно, представлены *T. blochii* или *T. anak*, которые, как упомянуто выше, реально присутствуют в марикультуре региона и по внешнему виду соответствуют приведённым изображениям.

Взрослые особи *T. baillonii* имеют некоторое сходство с *T. ovatus* прежде всего за счёт наличия трёх–семи чёрных пятен, расположенных вдоль боковой линии. Этот признак отсутствует только у мелких особей $FL < 100–130$ мм (Smith-Vaniz, Walsh, 2019).

По сравнению с *T. ovatus*, у *T. baillonii* заметно более мелкие, округлые и более контрастные пятна по бокам, лопасти второго спинного, анального и хвостового плавников без чёрных кончиков, а спинной и анальный плавники с меньшим числом лучей. То есть этот вид внешне также хорошо узнаваем и отличается от всех видов рода *Trachinotus*, рассматриваемых в работе. Он, как и *T. ovatus*, отсутствует на изображениях, приведённых в научных статьях и коммерческих предложениях из азиатского региона. Информации о разведении этого вида нет. В базах генетических данных для него имеется множество нуклеотидных последовательностей участка *COI* с широкой географической локализацией, но полученных от искусственно культивируемых особей генетических данных нет. Изложенные обстоятельства исключают вероятность присутствия *T. baillonii* и *T. ovatus* в марикультуре Азии.

Как было отмечено ранее, не существует ни одного конкретного и достоверного свидетельства как самого факта интродукции *T. falcatus* в азиатскую марикультуру, так и того, что именно он присутствовал там когда-либо. Наряду с этим в GenBank и BOLD нет ни одной последовательности ДНК из Азии, реально ему соответствующей или размещённой под его названием. При этом в этих базах данных имеются сведения о более 50 фрагментах *COI*, принадлежащих *T. falcatus* исключительно из вод Западной Атлантики, это позволяет заключить, что, скорее всего, *T. falcatus* в азиатской марикультуре отсутствует.

T. mookalee имеет определённое внешнее сходство с реально культивируемыми в Азии *T. blochii* и *T. anak*. Однако немногочисленные нуклеотидные последовательности ДНК, принадлежащие этому виду, часть из которых в генетических базах данных размещена под названием *T. blochii*, имеют исключительно индийское происхождение. Высказанное ранее замечание (Smith-Vaniz,

Walsh, 2019) о том, что “*T. ovatus*” в китайской научной литературе является результатом ошибочной идентификации *T. anak* или *T. mookalee*, на самом деле относится только к *T. anak*, так как нуклеотидных последовательностей митохондриального гена цитохромоксидазы *COI* *T. mookalee* из Китая под названием “*T. ovatus*” в базах данных нет.

Построение филогенетической NJ-дендрограммы на основании нуклеотидных последовательностей *COI* шести видов рода *Trachinotus* (рис. 3) продемонстрировало высокий уровень бутстреп-поддержки результатов кластеризации и значительную генетическую дифференциацию между всеми исследуемыми видами помпано. Так, представители *T. anak* из Австралии, Вьетнама (наши данные) и “*T. ovatus*” из Китая размещены в пределах одной клады со 100%-ной бутстреп-поддержкой. Также отдельные клады со 100%-ной поддержкой были сформированы *T. ovatus* из естественного ареала — Средиземного моря; *T. blochii* из Австралии, Индии и Вьетнама (наши образцы); *T. falcatus* из США и Бразилии; *T. baillonii* из Австралии, Индии и Тайваня; и *T. mookalee* из Индии. Результаты филогенетического анализа убедительно демонстрируют то, что “*T. ovatus*” из Китая и Вьетнама генетически гомологичны нашим образцам и последовательностям *T. anak*, а короткопёрый помпано с вьетнамских ферм не является *T. falcatus*, как предполагалось ранее.

Таким образом, идентификация объектов марикультуры рода *Trachinotus* по морфологическим признакам, их генетическое исследование, анализ состава генетических баз данных и опубликованных источников показали, что не только в садковых хозяйствах зал. Нячанг во Вьетнаме, но и в других районах азиатского побережья Тихого океана, скорее всего, присутствуют только два вида помпано: *T. blochii* и *T. anak*.

Мы присоединяемся к уже высказанной озабоченности (Collins, Cruikshank, 2013; Li et al., 2018) происходящими в настоящее время изменениями состояния молекулярных баз данных, связанными с многочисленными случаями обнаружения в них нуклеотидных последовательностей ДНК под ошибочными научными названиями, что происходит в результате неверной предварительной таксономической идентификации изучаемых образцов. Последующее использование таких данных в научных исследованиях ведёт к заведомо некорректным заключениям. В качестве примера можно привести

факт использования нуклеотидных последовательностей *T. anak* из вод Китая под названием “*T. ovatus*” в исследованиях, опубликованных в авторитетных научных журналах (Xie et al., 2013, 2014; Santini, Garnevale, 2015; Thu et al., 2019).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предварительное изучение различных источников показало, что в научной литературе отсутствуют обоснованные данные об обстоятельствах интродукции *T. falcatus* и других видов рода *Trachinotus* из Атлантики в марикультуру Азии, а также присутствия в последней.

Наше исследование, проведённое с применением морфологических и молекулярно-генетических методов, показало, что в аквакультуре Центрального Вьетнама достоверно присутствуют только два вида рода *Trachinotus* — *T. blochii* и *T. anak*, для которых Западная Пацифика является естественным ареалом. *T. anak* используют в марикультуре Вьетнама под ошибочным названием “*T. falcatus*”. Научные труды, посвящённые “*T. falcatus*”, проводимые во Вьетнаме, с большой вероятностью являются исследованиями *T. anak*. При этом другие представители рода, в естественный ареал которых входит западная часть Тихого океана, очевидно, в марикультуре региона не представлены.

Все многочисленные нуклеотидные последовательности митохондриального гена цитохромоксидазы *COI*, размещённые в международных базах генетических данных GenBank и BOLD и обозначенные как “*T. ovatus*” из Китая, принадлежат *T. anak*. Многочисленные ссылки на *T. ovatus* с азиатским происхождением в научной литературе и коммерческих предложениях из Азии также ошибочны и, очевидно, также относятся к *T. anak*. Вероятнее всего, виды рода *Trachinotus* атлантического происхождения — *T. falcatus* и *T. ovatus* — в азиатском регионе отсутствуют.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы очень признательны дирекции и сотрудникам Приморского отделения Совместного российско-вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра за помощь в организации и проведении этих исследований.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при поддержке исследовательской программы Эколан Э 3.1 Совместного российско-вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Bauchot M.L. 2003. Carangidae // The fresh and brackish water fishes of West Africa. V. 1. Paris: IRD Éditions. P. 464–483.
- Collins R.A., Cruickshank R.H. 2013. The seven deadly sins of DNA barcoding // Mol. Ecol. Resour. V. 13. № 6. P. 969–975.
<https://doi.org/10.1111/1755-0998.12046>
- Costa F.O., Landi M., Martins R. et al. 2012. A ranking system for reference libraries of DNA barcodes: application to marine fish species from Portugal // PloS One. V. 7. № 4. Article e35858.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035858>
- Crabtree R.E., Hood P.B., Snodgrass D. 2002. Age, growth, and reproduction of permit (*Trachinotus falcatus*) in Florida waters // Fish. Bull. V. 100. № 1. P. 26–34.
- Du T., Luo J. 2004. Comparison study on artificial breeding between *Trachinotus ovatus* and *Trachinotus blochii* // Mar. Sci. V. 28. № 7. P. 76–78.
- Erikson U., Truong H.T.M., Le D.V. et al. 2019. Harvesting procedures, welfare and shelf life of ungutted and gutted shortfin pompano (*Trachinotus falcatus*) stored in ice // Aquaculture. V. 498. P. 236–245.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.085>
- FAO. 2023a. *Trachinotus blochii*. Cultured Aquatic Species Information Programme (https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/trachinotus_spp/en. Version 10/2023).
- FAO. 2023b. *Trachinotus falcatus* (<https://www.fao.org/fishery/en/introsp/8550/en>. Version 10/2023).
- FAO. 2023c. *Trachinotus falcatus* (<https://www.fao.org/fishery/en/introsp/2681/en>. Version 10/2023).
- Fricke R., Eschmeyer W.N., van der Laan R. (eds.). 2023. Eschmeyer's catalog of fishes: genera, species, references (<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. Version 10/2023).
- Hoff F., Rowell C., Pulver T. 1972. Artificially induced spawning of the Florida pompano under controlled conditions // Proc. World Maric. Soc. V. 3. № 1–4. P. 53–64.
<https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1972.tb00047.x>
- Hoff F.H., Mountain J., Frakes T., Halscott K. 1978. Spawning, oocyte development and larval rearing of the Florida pompano, *Trachinotus carolinus* // Ibid. V. 9. № 1–4. P. 279–297.
<https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1978.tb00252.x>
- Holder P.E., Griffin L.P., Adams A.J. et al. 2020. Stress, predators, and survival: exploring permit (*Trachinotus falcatus*) catch-and-release fishing mortality in the Florida Keys // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. V. 524. Article 151289.
<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2019.151289>
- Ivanova N.V., Zemlak T.S., Hanner R.H., Hebert P.D.N. 2007. Universal primer cocktails for fish DNA barcoding // Mol. Ecol. Notes. V. 7. № 4. P. 544–548.
<https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2007.01748.x>

- Jory D.E., Iversen E.S., Lewis R.H. 1985. Culture of fishes of the genus *Trachinotus* (Carangidae) in the western Atlantic: prospects and problems // J. World Maric. Soc. V. 16. № 1–4. P. 87–94.
<https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1985.tb00190.x>
- Kesk n E., Atar H.H. 2013. DNA barcoding commercially important fish species of Turkey // Mol. Ecol. Resour. V. 13. № 5. P. 788–797.
<https://doi.org/10.1111/1755-0998.12120>
- Kimura M. 1980. A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences // J. Mol. Evol. V. 16. P. 111–120.
<https://doi.org/10.1007/BF01731581>
- Kou H., Xu S., Wang A.-L. 2015. Effect of replacing canola meal for fish meal on the growth, digestive enzyme activity, and amino acids, of ovate pompano, *Trachinotus ovatus* // Isr. J. Aquac. Bamidgeh. V. 67. Article 1144.
<https://doi.org/10.46989/001c.20720>
- Landi M., Dimech M., Arculeo M. et al. 2014. DNABarcoding for species assignment: the case of Mediterranean marine fishes // PloS One. V. 9. № 9. Article e106135.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106135>
- Lazado C.C., Lund I., Pedersen P.B., Nguyen H.Q. 2015. Humoral and mucosal defense molecules rhythmically oscillate during a light–dark cycle in permit, *Trachinotus falcatus* // Fish Shellfish Immunol. V. 47. № 2. P. 902–912.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.10.037>
- Lazado C.C., Pedersen P.B., Nguyen H.Q., Lund I. 2017. Rhythmicity and plasticity of digestive physiology in a euryhaline teleost fish, permit (*Trachinotus falcatus*) // Comp. Biochem. Physiol. Pt. A. Mol. Integr. Physiol. V. 212. P. 107–116.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2017.07.016>
- Lei C., Fan B., Tian J. et al. 2021. PPAR γ regulates *fabp4* expression to increase DHA content in golden pompano (*Trachinotus ovatus*) hepatocytes // Brit. J. Nutr. V. 127. № 1. P. 3–11.
<https://doi.org/10.1017/S0007114521000775>
- Li X., Shen X., Chen X. et al. 2018. Detection of potential problematic *Cytb* gene sequences of fishes in GenBank // Front. Genet. V. 9. Article 30. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00030>
- Liao I.C., Su H.M., Chang E.Y. 2001. Techniques in finfish larviculture in Taiwan // Aquaculture. V. 200. № 1–2. P. 1–31.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00692-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00692-5)
- Lin P.-L., Shao K.-T. 1999. A review of the carangid fishes (Family Carangidae) from Taiwan with descriptions of four new records // Zool. Stud. V. 38. № 1. P. 33–68.
- Lin H., Chen X., Chen S. et al. 2012. Replacement of fish meal with fermented soybean meal in practical diets for pompano *Trachinotus ovatus* // Aquac. Res. V. 44. № 1. P. 151–156.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03000.x>
- Liu C., Chen C. 2009. The biology and cultured technology of Pompano (*Trachinotus ovatus*) // Shandong Fish. V. 26. P. 32–33.
- Liu X.-W., Wang H.-L., Zhang H.-T., Xu D. 2011. Optimum dietary protein to energy ratio in juvenile pompano, *Trachinotus ovatus* // Fish. Sci. V. 30. P. 136–139.
- Liu B., Guo H., Zhu K. et al. 2019. Salinity effect on intestinal microbiota in golden pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus, 1758) // Isr. J. Aquac. Bamidgeh. V. 71. Article 1538.
<https://doi.org/10.46989/001c.20995>
- Liu Y.-M., Fu Y.-W., Hou T.-L. et al. 2022. *Neobenedenia giirellae* (Monogenea) infection on cultured golden pompano *Trachinotus ovatus* in Zhanjiang, China // Aquaculture. V. 548. Pt. 1. Article 737669.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737669>
- Ma Z., Guo H., Zheng P. et al. 2016a. Effect of salinity on the rearing performance of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus 1758) // Aquac. Res. V. 47. № 6. P. 1761–1769.
<https://doi.org/10.1111/are.12633>
- Ma Z., Zhang N., Qin J.G. et al. 2016b. Water temperature induces jaw deformity and bone morphogenetic proteins (BMPs) gene expression in golden pompano *Trachinotus ovatus* larvae // SpringerPlus. V. 5. Article 1475.
<https://doi.org/10.1186/s40064-016-3142-0>
- Meng D., Guo M., Qian Y., Han G. 2017. Occurrence and dietary exposure assessment of PFOS and PFOA in cultured *Trachinotus ovatus* in China // J. Environ. Sci. Health. Pt. B. V. 52. № 9. P. 690–698.
<https://doi.org/10.1080/03601234.2017.1331672>
- Nguyen H.Q., Chu T.C., Nguyen T.T.L., Lund I. 2018. Effects of dietary digestible protein and energy levels on growth performance, feed utilization, and body composition of juvenile permit, *Trachinotus falcatus* (Linnaeus, 1758) // J. World Aquac. Soc. V. 49. № 5. P. 943–952.
<https://doi.org/10.1111/jwas.12433>
- Santini F., Carnevale G. 2015. First multilocus and densely sampled timetree of trevallies, pompanos and allies (Carangoidei, Percomorpha) suggests a Cretaceous origin and Eocene radiation of a major clade of piscivores // Mol. Phylogenet. Evol. V. 83. P. 33–39.
<https://doi.org/10.1016/j.ympev.2014.10.018>
- Smith-Vaniz W.F. 1984. Carangidae // FAO species identification sheets for fishery purposes. Western Indian Ocean. Fishing Area 51. V. 1. Rome: FAO. Pag. var.
- Smith-Vaniz W.F. 1986. Carangidae // Fishes of the North-Eastern Atlantic and the Mediterranean. V. II. Paris: UNESCO. P. 815–844.
- Smith-Vaniz W.F. 1999. Carangidae. Jacks and scads (also trevallies, queenfishes, runners, amberjacks, pilotfishes, pampanos, etc.) // FAO species identification guide for fishery purposes. The living marine resources of the Western Central Pacific. V. 4. Bony fishes. Pt. 2 (Mugilidae to Carangidae). Rome: FAO. P. 2659–2756.

- Smith-Vaniz W.F. 2002. Carangidae // FAO species identification guide for fishery purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists special publication. № 5. The living marine resources of the Western Central Atlantic. V. 3. Bony fishes. Pt. 2 (Opistognathidae to Molidae), sea turtles and marine mammals. Rome: FAO. P. 1426–1466.
- Smith-Vaniz W.F., Berry F.H. 1981. Carangidae. // FAO species identification sheets for fishery purposes. Eastern Central Atlantic. Fishing area 34, 47 (in part). V. 1. Rome: FAO. Pag. var.
- Smith-Vaniz W.F., Walsh S.J. 2019. Indo-West Pacific species of *Trachinotus* with spots on their sides as adults, with description of a new species endemic to the Marquesas Islands (Teleostei: Carangidae) // Zootaxa. V. 4651. № 1. P. 1–37.
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.4651.1.1>
- Smith-Vaniz W.F., Kaufman L.S., Glowacki J. 1995. Species-specific patterns of hyperostosis in marine teleost fishes // Mar. Biol. V. 121. № 4. P. 573–580.
<https://doi.org/10.1007/BF00349291>
- Sun L., Zhang D., Jian S. et al. 2013. Isolation and characterization of 21 polymorphic microsatellites in golden pompano *Trachinotus ovatus* // Conserv. Genet. Resour. V. 5. № 4. P. 1107–1109.
<https://doi.org/10.1007/s12686-013-9942-4>
- Sun J., Liu G., Guo H. et al. 2020. Skeletal anomalies in cultured golden pompano *Trachinotus ovatus* at early stages of development // Dis. Aquat. Organ. V. 137. P. 195–204.
<https://doi.org/10.3354/dao03436>
- Tamura K., Peterson D., Peterson N. et al. 2011. MEGA5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods // Mol. Biol. Evol. V. 28. № 10. P. 2731–2739.
<https://doi.org/10.1093/molbev/msr121>
- Thompson J.D., Higgins D.G., Gibson T.J. 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice // Nucleic Acids Res. V. 22. № 22. P. 4673–4680.
<https://doi.org/10.1093/nar/22.22.4673>
- Thouard E., Soletchnik P., Marion J.-P. 1990. Selection of finfish species for aquaculture development in Martinique (F.W.I.) // Aquaculture. V. 89. № 2. P. 193–197.
[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90310-J](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90310-J)
- Thu T.T.N., Hieu T.T.T., Dat N.T., Hung T.Q. 2016. Apparent digestibility of some commercial feeds for snubnose pompano, *Trachinotus blochii* // J. Fish. Environ. V. 40. № 2. P. 11–16.
- Thu P.T., Huang W.-C., Chou T.-K. et al. 2019. DNA barcoding of coastal ray-finned fishes in Vietnam // PLoS One. V. 14. № 9. Article e0222631.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222631>
- Tran T.T.H., Luu T.H.G., Vu T.T. et al. 2019. Identification and genetic assessment of the pompano based on the molecular markers // Vietnam Agric. Sci. J. V. 17. P. 204–215.
- Weirich C.R., Riley K.L., Riche M. et al. 2021. The status of Florida pompano, *Trachinotus carolinus*, as a commercially ready species for U.S. marine aquaculture // J. World Aquac. Soc. V. 52. № 3. P. 731–763.
<https://doi.org/10.1111/jwas.12809>
- Welch A. 2013. Pompano. *Trachinotus carolinus* and *Trachinotus blochii*. Seafood Watch report. Monterey: Monterey Bay Aquarium, 72 p.
- Xie Z., Li S., Yao M. et al. 2013. The complete mitochondrial genome of the *Trachinotus ovatus* (Teleostei, Carangidae) // Mitochondrial DNA. V. 26. № 4. P. 644–646.
<https://doi.org/10.3109/19401736.2013.836516>
- Xie Z.Z., Huang M.W., Xu W. et al. 2014. Nineteen polymorphic microsatellite markers developed for *Trachinotus ovatus* // Genet. Mol. Res. V. 13. № 4. P. 10518–10522.
<https://doi.org/10.4238/2014.december.12.13>
- Yu C., Hu Z., Han B. et al. 2021. Intelligent measurement of morphological characteristics of fish using improved U-net // Electronics. V. 10. № 12. Article 1426.
<https://doi.org/10.3390/electronics10121426>
- Zhang J., Hanner R. 2012. Molecular approach to the identification of fish in the South China Sea // PLoS One. V. 7. № 2. Article e30621.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030621>
- Zhang X., Zhou H., Chang L. et al. 2018. Study of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) freshness forecasting method by utilizing Vis/NIR spectroscopy combined with electronic nose // Int. J. Food Prop. V. 21. № 1. P. 1257–1269.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1440239>
- Zhang D.-C., Guo L., Guo H.-Y. et al. 2019. Chromosome-level genome assembly of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) in the family Carangidae // Sci. Data. V. 6. № 1. Article 216.
<https://doi.org/10.1038/s41597-019-0238-8>

ARE THERE ATLANTIC SPECIES OF THE GENUS *TRACHINOTUS* (CARANGIDAE), *T. FALCATUS* AND *T. OVATUS*, IN ASIAN MARICULTURE?

A. M. Shadrin^{1, *}, A. V. Semenova^{1, 2}, and Nguyen Thi Hai Thanh³

¹*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

²*Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

³*Coastal Branch of the Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Nha Trang, Vietnam*

*E-mail: shadrin-mail@mail.ru

According to numerous scientific publications and commercial offers, two species of pompano, *Trachinotus blochii* and *T. falcatus*, are currently cultivated in the mariculture in Taiwan and Southeast Asia, particularly, in Vietnam. It is also believed that *T. blochii* and *T. ovatus* are grown in aquatic farms of mainland China. Taxonomic identification by morphological characters of pompano species from a farm in the southern part of Central Vietnam and the results of the DNA barcoding showed that one of these species is indeed *T. blochii*, while the second one is not *T. falcatus*, but *T. anak*. Analysis of the literature data did not reveal any confirmed evidence of either introduction or presence of *T. falcatus* and *T. ovatus* in Asian waters. Moreover, the comparison of the generated nucleotide sequences with the sequences from genetic databases (GenBank and BOLD), allowed us to conclude that these species are unlikely to be present in mariculture, and all the mentions of them in numerous scientific publications from this region are the result of misidentification of *T. anak*.

Keywords: *Trachinotus*, pompano, taxonomic identification, DNA barcoding, Vietnam, China, Asian aquaculture.