

Всероссийская конференция «Морская биология в 21 веке: систематика, генетика, экология морских организмов» (памяти академика Олега Григорьевича Кусакина), Владивосток, 20-23 сентября 2022 г.

Рекомбинантные митохондриальные геномы как эффективные индикаторы антропогенной гибридизации инвазивных видов (на примере саланксовых рыб)

Е.С. Балакирев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского» Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток, esbalakirev@mail.ru

Гибридизация, опосредованная деятельностью человека (антропогенная гибридизация) возникает в тех случаях, когда между сосуществующими, но экологически различающимися таксонами, которые не скрещиваются в естественных условиях, разрушаются репродуктивные барьеры вследствие антропогенных нарушений, обусловленных интродукцией и трансплантацией видов, изменениями среды обитания и климата. Антропогенная гибридизация представляет одну из основных угроз для биологического разнообразия, являясь причиной деградации локально адаптированных генофондов природных популяций и создавая предпосылки для вымирания видов. Более того, антропогенная гибридизация может провоцировать инвазивный характер эволюции, что обычно приводит к появлению многочисленных экологических, эволюционных и экономических проблем. Трудности борьбы с инвазиями обусловлены тем, что гибридизация инвазивных видов способствует появлению нового генетического разнообразия, снижающего сдерживающие эффекты инбредной депрессии и увеличивающего возможности быстрой адаптации в новых условиях окружающей среды, обеспечивая дальнейшее развитие масштаба инвазии.



Саланксовые рыбы (семейство Salangidae), *Protosalanx chinensis* и *Neosalanx tangkahkeii*, являются коммерчески важными объектами аквакультуры в Китае. В последние 30 лет эти виды активно переселялись из озера Тайху в сотни других озер и водохранилищ Китая. Разрабатывались методы искусственного воспроизводства, включающие подращивание молоди с последующим выпуском в природную среду для повышения продуктивности и объёма промысла. Интродукция и трансплантация саланксовых рыб принесла значительные экономические выгоды, но одновременно существенно снизило и поставило под угрозу биоразнообразие в местных сообществах. При вселении в новые местообитания, оба вида, *P. chinensis* и *N. tangkahkeii*, часто проявляли качества, характерные для успешных инвайдеров (расширение ареалов и существенный урон окружающей биоте).



<https://read01.com/BnRyd7j.html#.Yus9a3ZByUk>

https://k.sina.cn/article_6358189355_17afa452b00100zefb.html



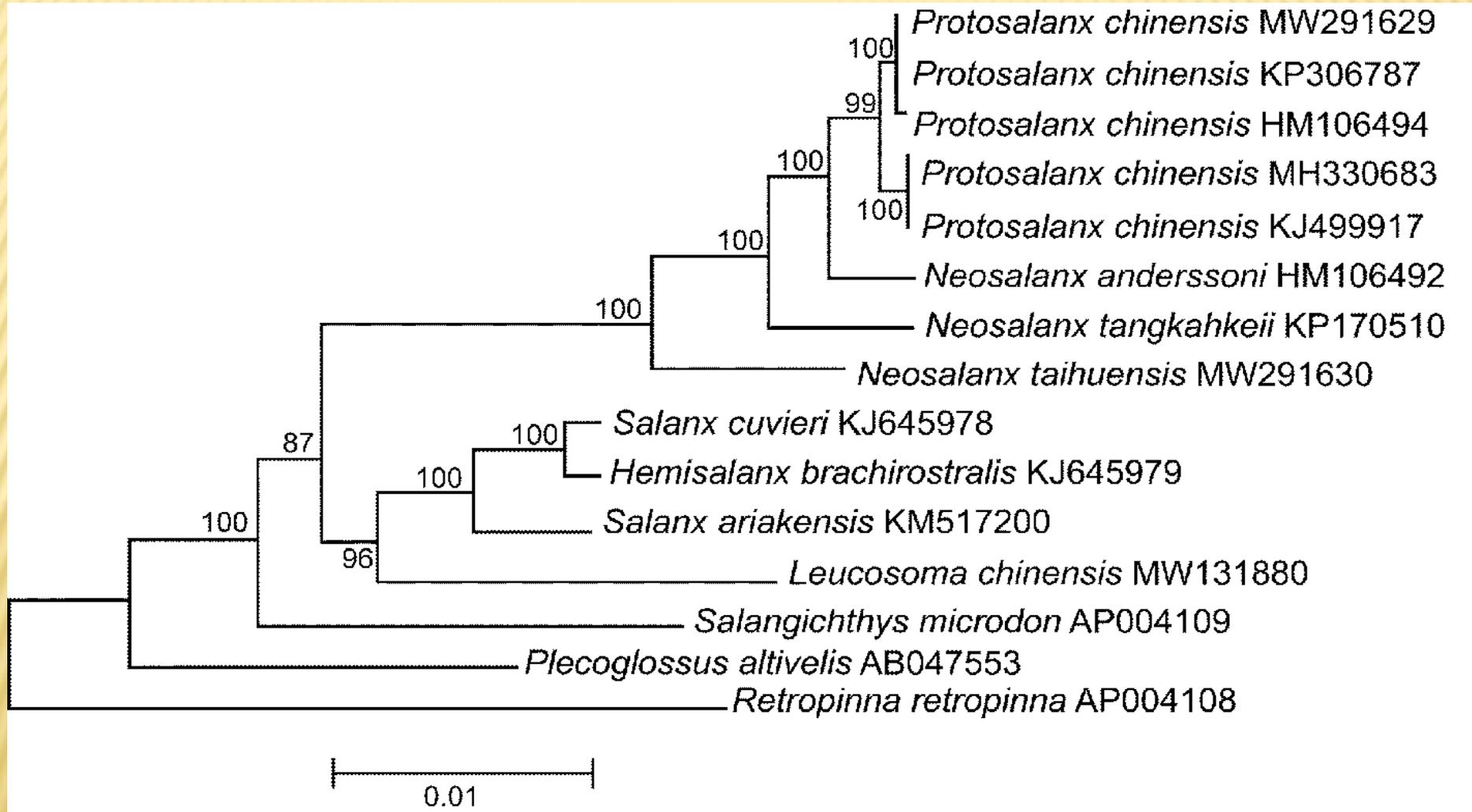
<https://read01.com/KBDA7G5.html#.Yus-I3ZByUk>

Эта рыбка проглотила свою добычу и картина была шокирующей. Её рот выглядит таким маленьким, что не ясно, как она может проглотить такую большую рыбу! Ты не задохнешься? В её желудке сайра была еще цела. Окружающие люди кричали и восклицали, что это слишком шокирует. **Такой свирепый и откровенный хищник действительно редкость.** Эта серебряная рыба продается по цене серебряной или по цене сайры? Исходный URL: <https://read01.com/KBDA7G5.html>

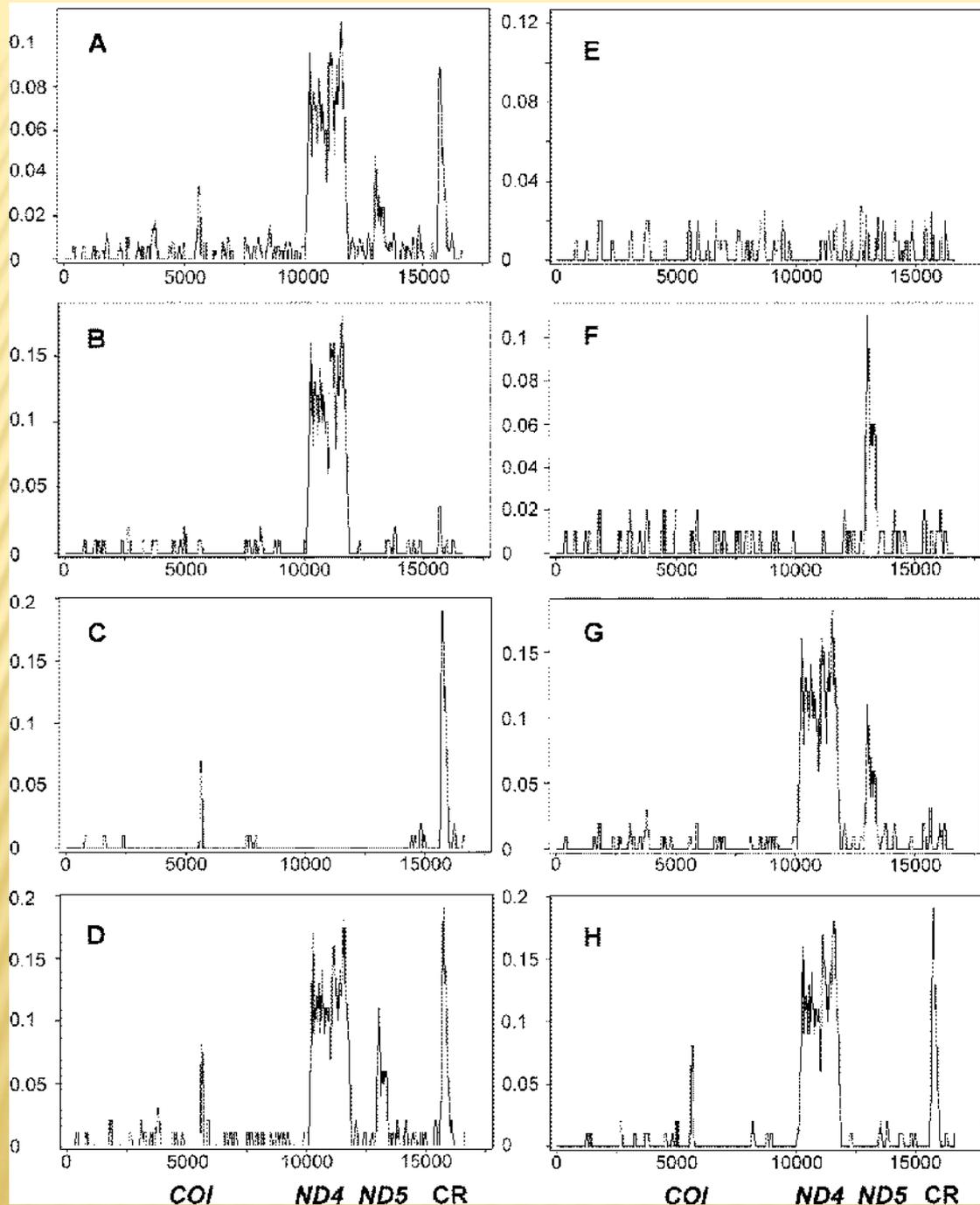


<https://chuidiaoguan.com/redian/zixun/37d1p.html>

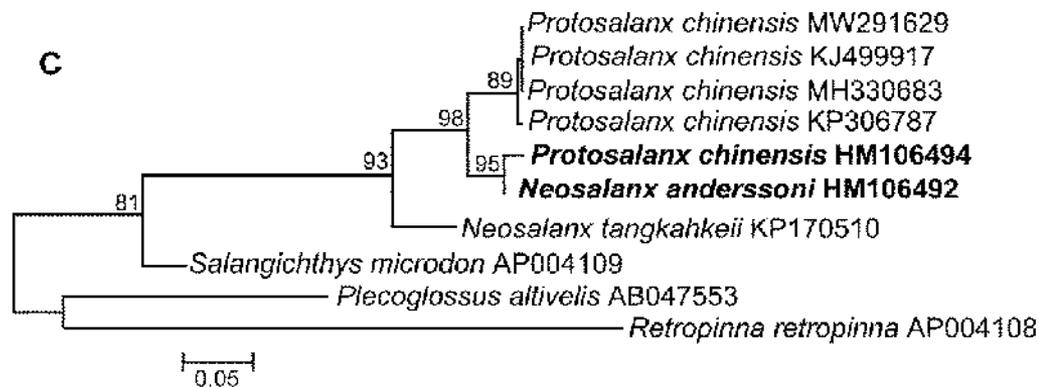
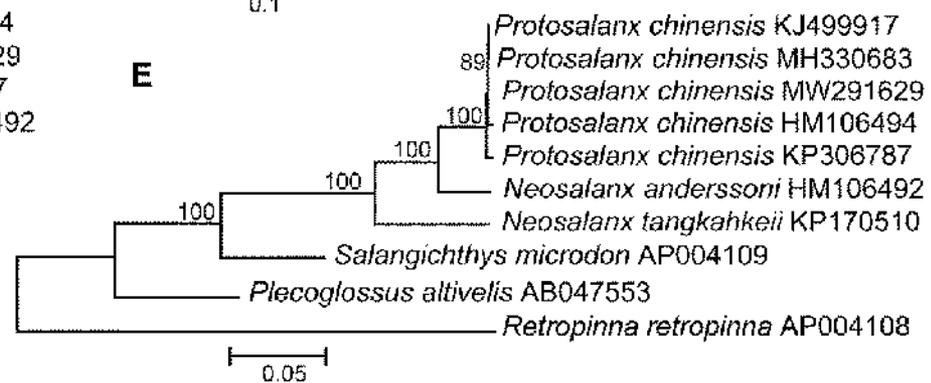
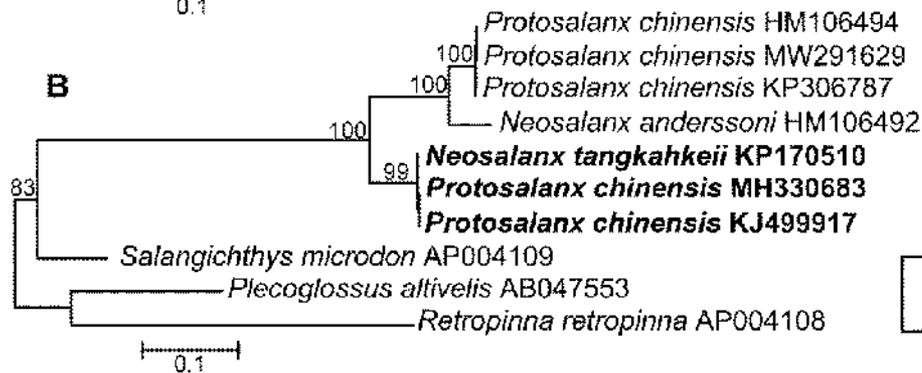
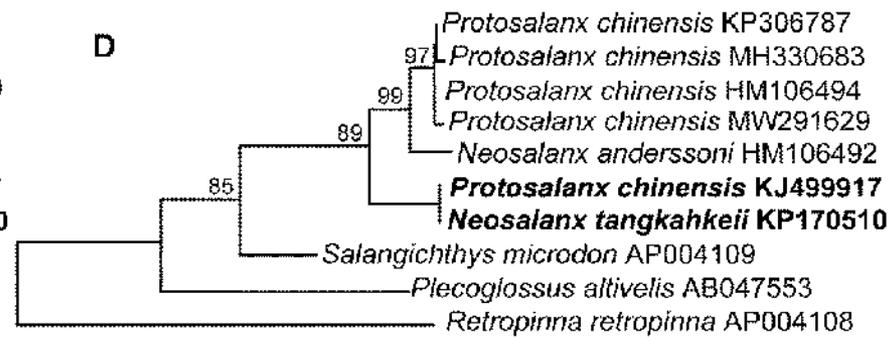
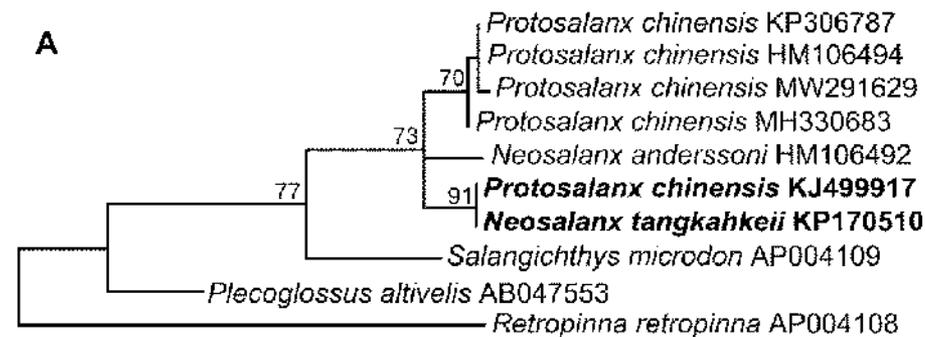
Филогенетические отношения саланксовых рыб



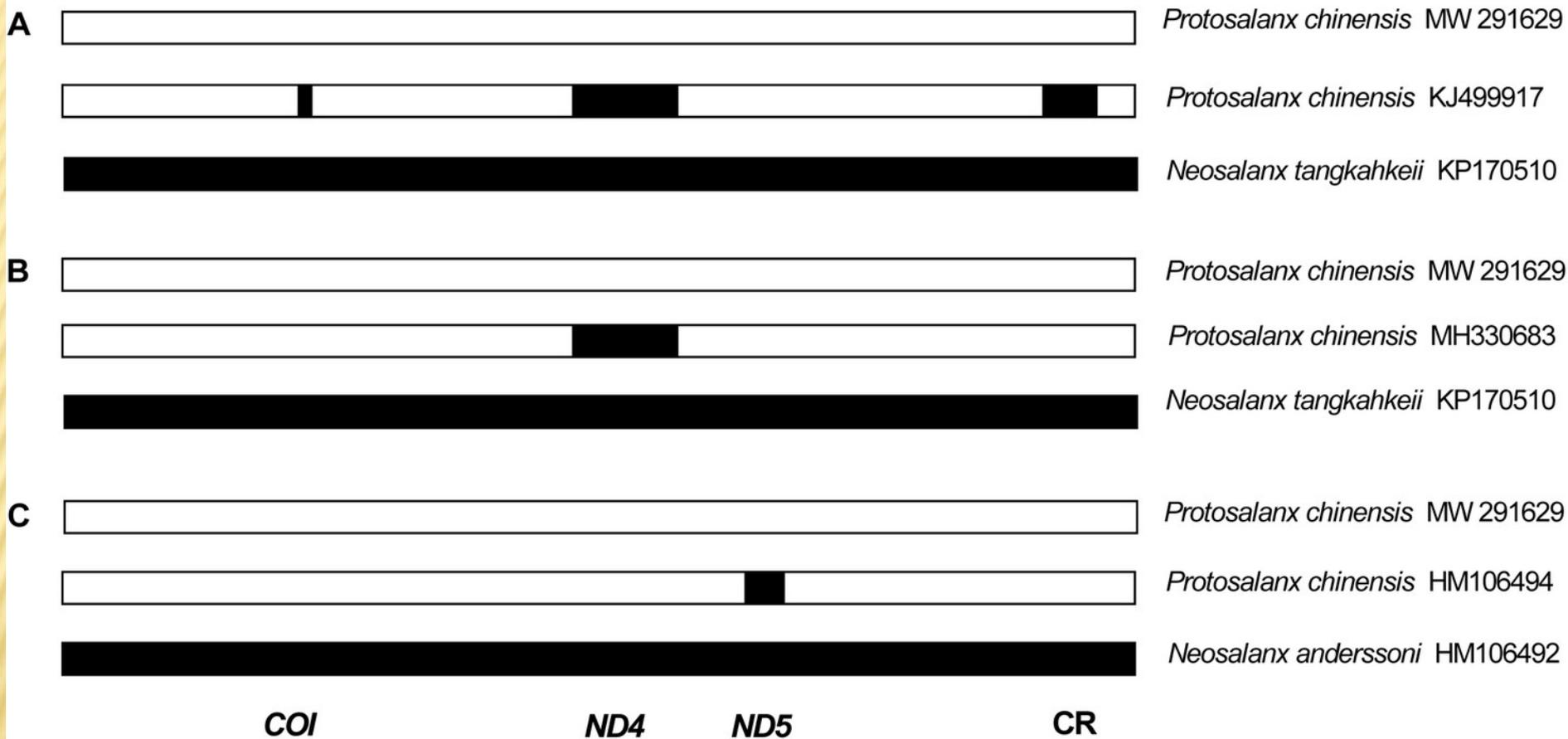
Учитывая тот факт, что преднамеренная интродукция и трансплантация являются одними из основных причин антропогенной гибридизации, китайские исследователи высказали опасение о возможной межвидовой гибридизации саланксовых рыб, что, однако, до сих пор не было подтверждено генетически. Это опасение не беспочвенно, поскольку даже при отсутствии генного потока (генетической интрогрессии), межвидовая гибридизация может иметь пагубные последствия для скрещивающихся видов.



Для того чтобы оценить вероятность межвидовой гибридизации у саланксовых рыб, в настоящей работе проанализированы паттерны генетического разнообразия и рекомбинации в полных митохондриальных (мт) геномах этих рыб, используя ресурсы генного банка. Анализ с использованием метода скользящих окон выявил неравномерное распределение внутривидовых различий у *P. chinensis* с четырьмя ярко выраженными пиками дивергенции, центрированными на гены *COI*, *ND4L-ND4* и *ND5*, а также на контрольный регион (CR).



Соответствующие дивергентные регионы у *P. chinensis* демонстрируют высокое сходство (99-100%) с родственными саланксовыми рыбами, *N. tangkahkeii* и *N. anderssoni*. Это наблюдение позволяет предположить, что дивергентные регионы *P. chinensis* могут представлять рекомбинантную ДНК, содержащую фрагменты мт геномов различных видов саланксовых рыб.



Действительно, четыре статистически существенных (парный тест на индекс гомоплазии, $P < 0,00001$) сигнала рекомбинации обнаружены в координатах, соответствующих дивергентным регионам. Рекомбинантные фрагменты не фиксированы и различные мт геномы *P. chinensis* мозаичны по числу и структуре рекомбинантных событий.

Полученные результаты важны для практических разработок методов ответственного управления аквакультурой и сохранения биоразнообразия. Рекомбинантные фрагменты, включающие гены *COI*, *ND4L-ND4* и *ND5*, а также *CR*, являются специфичными маркёрами для различения гибридов между *P. chinensis* и двумя видами *Neosalanx*. Два из них, *COI* и *CR*, проявляющие полную идентичность между *P. chinensis* и *N. tangkahkeii*, могут использоваться в качестве диагностических маркёров для мониторинга динамики современной гибридизации саланксовых рыб и их инвазивных фронтов. Для определения современных ареалов чистых видов *P. chinensis* и *N. tangkahkeii* и их гибридов, необходим обширный пространственно-временной анализ образцов из нативных и инвазивных регионов, что поможет разработать наиболее подходящие режимы аквакультуры, минимизирующие вероятности антропогенной гибридизации и других негативных последствий интродукции и трансплантации, снижающих биоразнообразие и подрывающих устойчивость экосистем.