

ПЕРВЫЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ ИНДУЦИРОВАННОЙ ТРИПЛОИДИЗАЦИИ СУДАКА *SANDER LUCIOPERCA* В РОССИИ

© 2025 г. А.А. Лютиков (spin: 9187-6075), А.Е. Королев (spin: 7220-3286),
Н.А. Лютикова (spin: 6263-6401), В.А. Голотин (spin: 7198-3170)

Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), Россия, Санкт-Петербург, 199053
E-mail: tokmo@mail.ru

Поступила в редакцию 6.09.2025 г.

Представлены результаты исследования триплоидизации судака с применением гидростатического шока (7000 PSI) через 5 мин после осеменения икры с различной продолжительностью воздействия давлением – 5 и 10 мин. Показано, что оба режима позволяют получить высокую степень триплоидизации, близкую к 100%. Выживаемость икры за период инкубации была выше при меньшей продолжительности воздействия давлением: при воздействии 5 мин выживаемость составила 77,9%, при 10 мин – 73,4%, в контроле – 88,4%. Выращивание судаков-триплоидов до сеголеток показало их отставание в росте (от личинок массой 50–70 мг) и снижение выживаемости относительно диплоидов – конечная масса и выживаемость у триплоидов составляла 3,5 г и 46,4%, у диплоидов 4,0 г и 77,5%, соответственно.

Ключевые слова: судак, икра, личинки, сеголетки триплоиды, гидростатический шок, аквакультура.

ВВЕДЕНИЕ

Развиваясь быстрыми темпами аквакультура нуждается в технологиях, повышающих её эффективность. Особое внимание при этом уделяется совершенствованию методов, с акцентом на индустриальные технологии, гибридизацию и получение рыб-полиплоидов (Blecha et al., 2016; Stanivuk et al., 2026). Индуцированная триплоидизация (или полиплоидизация) достигается за счёт сохранения полярного тельца в оплодотворённой яйцеклетке, что приводит к развитию организма с тройным набором хромосом. Такой организм потенциально не способен к воспроизводству, что может привести к улучшению показателей его роста (Rougeot et al., 2003) повышая эффективность рыбоводных мероприятий.

Целью настоящего исследования было получить триплоидов судака *Sander lucioperca*. Судак является ценным промысловым видом

и потенциальным объектом для массового производства в аквакультуре. Возможность получения триплоидов судака ранее была продемонстрирована с использованием теплового и гидростатического шока (Blecha et al., 2016; Dadras et al., 2021; Káldy et al., 2021; Stanivuk et al., 2026). При этом воздействие на икру гидростатическим шоком является более эффективным средством для триплоидизации судака (на примере *Sander vitreus*) (Malison et al., 2001), чем тепловой, т.к. температурное воздействие, несмотря на высокую эффективность триплоидизации, приводит к низкой выживаемости икры (Blecha et al., 2016).

В проведённых ранее исследованиях на сиговых видах рыб, выполненных в рамках государственного задания, снижение экспозиции до 5 мин в процессе индуцированной триплоидизации посредством высокого давления позволило получить триплоидов нельмы с долей триплоидизации около 100% (Люти-

ков и др., 2023; Lyutikov et al., 2023). Для судака подобные протоколы получения триплоидов не отражены в научной литературе, что определяет актуальность настоящих исследований. Изучив существующий опыт триплоидизации судака в условиях аквакультуры, нами были проведены испытания относительно щадящих режимов воздействия гидростатическим шоком на икру, снизив время экспозиции до 5–10 мин, с последующей оценкой эффективности данного метода на основе степени триплоидизации судака и выживаемости эмбрионов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Икра судака была получена от производителей из маточного стада, выращенного в садках рыбоводного хозяйства (ООО «Форват», оз. Суходольское, Ленинградская обл., Россия) на искусственных экструдированных кормах. Половые продукты были получены от одной пары рыб, что позволяет исключить возможные генетические вариации, и разделены на три равные части. Спустя 5 мин после осеменения икру подвергали воздействию экстремального давления 7000 PSI (в соответствии с работой Káldy et al. (2021)) в течение 5 и 10 мин – группа 5Т и группа 10Т, соответственно. Контрольной была икра без обработки.

Сразу после окончания воздействия давлением каждая группа икры была помещена в раствор диатомита для обесклеивания – 1 г/л воды, экспозиция 3 мин. Далее икру промыли и помещали в 8-литровые аппараты Вейса, установленные в проточной системе инкубации. Температура воды во время активации гамет, оплодотворения, воздействия на икру давлением и обесклеивания икры составляла $14,7 \pm 0,2^\circ\text{C}$. В течение инкубационного периода (10 сут.) температура воды плавно повышалась до $16,4 \pm 0,1^\circ\text{C}$.

Ди- и триплоидных личинок выращивали в производственных квадратных бассейнах площадью 4 м² при плотности посадки 10 экз./л. Первым и единственным кормом в

период личиночного и раннего малькового развития судака был специализированный стартовый корм Rusander (ООО «Русло», Россия). Далее для кормления судака использовали коммерческий корм для молоди лососевых того же производителя с фракциями от 0,4 до 1,5 мм.

Плоидность судака определяли в период раннего постэмбрионального развития с использованием проточной цитометрии (Benfey et al., 1984). Для этого личинок расщепляли в трипсино-цитратном буфере с получением суспензии клеток с последующим окрашиванием йодидом пропидия. Затем измеряли относительную флуоресценцию каждого образца с помощью проточного цитофлуориметра (Challenbio LongCyte, Китай) (Golotin et al., 2023).

Данные обрабатывали с использованием пакета программ Statistica 6.0. Однородность дисперсий проверяли с помощью критерия Левена, а различия между группами – по критерию Стьюдента со степенью значимости $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование плоидности установило одинаковую степень триплоидизации судака, близкую к 100%, при экспозиции 5 и 10 мин (рис.).

Выживаемость эмбрионов и количество нормально вылупившихся личинок (долю личинок с уродствами не учитывали) имело тенденцию к снижению по мере увеличения продолжительности воздействия давлением на икру. Выживаемость икры за период инкубации в группе 5Т составила 77,9%, 10Т – 73,4%, выживаемость контрольной икры была 88,4%.

Выживаемость личинок повышалась с уменьшением времени обработки икры гидростатическим шоком с 3,3% в группе 10Т, до 14,9% в группе 5Т, что сопоставимо с контролем – 15,2% (табл.). По всей видимости, снижение плотности посадки из-за естественной смертности личинок в группе 10Т, дало

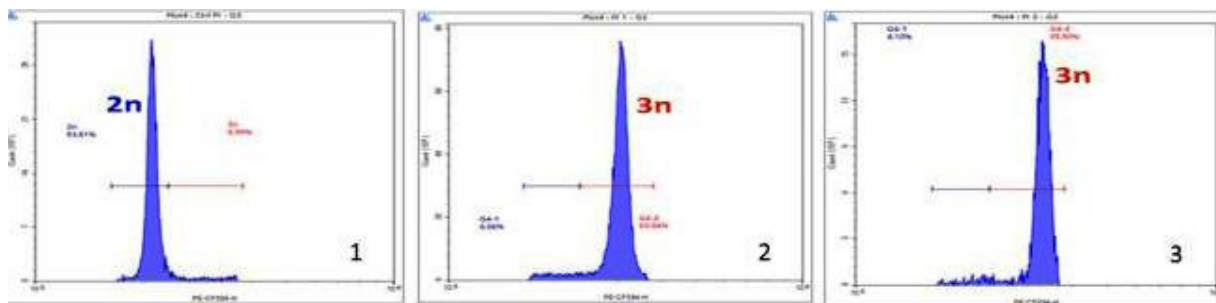


Рис. Иллюстрация анализа проточной цитометрии ядерной ДНК клеток эмбрионов нельмы, демонстрирующая интенсивность флуоресценции связавшегося пропидия иодида и соответствующую диплоидным или триплоидным клеткам. Значения содержания ядерной ДНК выражены в относительных единицах интенсивности флуоресценции (логарифмическая шкала) по оси x и количества событий (клеток) по оси y: 1 –Контроль (диплоиды); 2 –группа 5Т (триплоиды); 3 –группа 10Т (триплоиды).

Таблица. Сравнительные результаты выращивания ди- и триплоидных личинок судака (0–34 сут. после вылупления)

Показатели	5Т	10Т	Контроль
Выживаемость, %	14,91±1,29 ^a	3,26±1,22 ^b	15,22±1,63 ^a
Конечная масса, мг	48,22±6,60 ^a	68,84±24,46 ^b	46,90±5,84 ^a
Каннибалы, %	3,77±0,19 ^a	24,16±4,48 ^b	2,21±0,56 ^a
Масса каннибалов, мг	146,606±17,90 ^a	312,65±62,46 ^b	195,12±24,85 ^c

Примечание: Здесь и далее –данные в одной строке с различными буквенными индексами имеют достоверные отличия при $p \leq 0,05$.

преимущество в росте, что выразилось в увеличении конечной массы личинок, составившей на 34 сут. выращивания 68,8 мг. В группе 5Т этот показатель составил 48,2 мг, в контроле –46,9 мг.

Другой причиной повышения средней индивидуальной массы молоди в группе 10Т была высокая доля рыб-каннибалов – 24,2%, которые более чем в 15 раз были крупнее рыб, питающихся комбикормами. Каннибалы в группе 5Т и контрольной группе составили 3,8 и 2,2% от общего количества личинок, соответственно.

Из-за низкой выживаемости рыб в группе 10Т, дальнейшее опытное выращивание было продолжено только с триплоидами судака из группы 5Т. Триплоиды достоверно уступали контрольным рыбам по показателям роста и

выживаемости. Конечная масса тела сеголеток в контроле составляла 4,1 г, в группе 5Т –3,5 г, выживаемость –77,5 и 46,3% в контрольной и опытной группе, соответственно.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты настоящего исследования показали, что воздействие высокого давления (7000 PSI) на икру судака спустя 5 мин после осеменения с экспозицией в диапазоне от 5 до 10 мин, позволяет эффективно индуцировать триплоидизацию у судака с высокой выживаемостью эмбрионов, близкой к таковой в контроле. Используемые нами протоколы были заимствованы из более ранних работ (Káldy et al., 2021; Stanivuk et al., 2026), однако в них экспозиция воздействия давлением на икру составляла не менее 10 мин.

Другой особенностью наших исследований было достижение высокой степени триплоидизации с использованием давления 7000 PSI. В работе Káldy et al. (2021) эффективность такого давления позволяла получить не более 87–88% триплоидов, тогда как при 8000 и 9000 PSI степень триплоидизации икры увеличивалась до 96 и 97%. Однако при такой обработке значительно снижалась выживаемость эмбрионов – до 37–20% (Káldy et al., 2021). Это контрастирует с данными Stanivuk et al. (2026), в работе которых выживаемость эмбрионов с использованием протокола триплоидизации «5 мин после осеменения / 8000 PSI / 10 мин экспозиции» составляла 75,5%, что сопоставимо с результатами, полученными нами.

В целом, использование более щадящих режимов при триплоидизации икры приводит к повышению выживаемости эмбрионов. В нашем случае снижение экспозиции с 10 до 5 мин повышает выживаемость в среднем на 5%. Это подтверждается результатами других работ по триплоидизации судака с использованием гидростатического и температурного шока, в которых уменьшение экспозиции или силы воздействия какого-либо фактора неизменно приводило к повышению выживаемости икры, но не к триплоидному соотношению (Blecha et al., 2016; Dadras et al., 2021; Káldy et al., 2021).

Высокая степень триплоидизации (триплоидное соотношение), достигнутая в настоящем исследовании, сопоставима с другими более ранними работами для европейского судака – 96–100% (Káldy et al., 2021; Stanivuk et al., 2026), и американского судака *S. vitreus* – 98,5% (Fetherman et al., 2015).

По темпу росту и выживаемости личинки и сеголетки триплоидного судака уступали контрольной молодежи. Это согласуется с данными Stanivuk J. (2026), в соответствии с которыми триплоидизация не приводила к повышению показателей роста, но снижала жизнеспособность рыб. В случае с американским судаком walleye, триплоиды, выращенные в естественных водоёмах, как правило, были

меньше в длину (в среднем на 6,6%) и по весу (на 20,6%), по сравнению с одновозрастными диплоидами (Farrell et al., 2024). По данным того же автора, выживаемость сеголеток триплоидов была в 6,3 раза ниже, чем диплоидов. В нашем эксперименте разница между выживаемостью сеголеток триплоидов и диплоидов существенно меньше, и составляет 1,7 раза в пользу диплоидов. Вероятно, меньшая разница в выживаемости триплоидов относительно диплоидов в нашем случае связана с промышленными условиями выращивания судака, в отличие от исследований Farrell et al. (2024), который изучал выживаемость молоди, выпущенной в естественные водоёмы.

В целом низкую выживаемость личинок судака связывают с высокой гетерогенностью роста, приводящей к каннибализму (Kestemont et al., 2007; Naumowicz et al., 2017; Stanivuk et al., 2026). По всей видимости, индуцированная триплоидизация не решает проблему каннибализма у судака.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты настоящих исследований показывают, что эффективная триплоидизация судака, близкая к 100%, возможна при снижении экспозиции воздействия давлением до 5 мин. с использованием силы гидростатического шока 7000 PSI. Сама триплоидизация судака не подтвердила предположение относительно преимуществ триплоидов в росте, по крайней мере в первый год жизни. Также триплоидизация не оказала положительного эффекта на снижение каннибализма. Выживаемость триплоидных особей в эксперименте была ниже, чем у диплоидов. Тем не менее, в настоящем эксперименте, по всей видимости, впервые удалось вырастить жизнестойких сеголеток триплоидного судака в промышленной аквакультуре в производственном масштабе. Это позволяет продолжить исследования по изучению рыб-триплоидов более старших возрастов, что является целью нашей будущей работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Лютиков А.А., Костюничев В.В., Голотин В.А., Вылка М.М. Предварительные результаты исследований по искусственной триплоидизации сиговых рыб // Развитие и современные проблемы аквакультуры (Конференция «Аквакультура 2023»): сб. научных трудов III Межд. научно-практ. конф. (с. Дивноморское, 4–10 сентября 2023 г.) / ред. кол. Б.Ч. Месхи и др. Ростов-на-Дону. ДГТУ-Принт, 2023. С. 55–59.
- Benfey T.J., Sutterlin A.M., Thompson R.J. Use of erythrocyte measurements to identify triploid salmonids // Can J. Fish Aquat Sci. 1984. V. 41. Iss. 6. P. 980–984.
- Blecha M., Flajshans M., Lebeda I. et. al. Triploidisation of pikeperch (*Sander lucioperca*), first success // Aquaculture. 2016. V. 462. P. 115–117. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.05.016>.
- Dadras H., Blecha M., Malinovskyi O. et. al. Triploidization in pikeperch (*Sander lucioperca*) induced by cold shock // Aquaculture. 2021. V. 533. 736236. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736236>.
- Farrell C., Hansen A., Brandt M. et. al. An evaluation of the relative size, body condition, and survival of triploid walleye in the wild // North American J. of Fisheries Management. 2024. V. 44. P. 172–188. <https://doi.org/10.1002/nafm.10972>
- Fetherman E.R., Lepak J.M., Brown B.L., Harris D.J. Optimizing time of initiation for triploid walleye production using pressure shock treatment // North Am. J. Aquac. 2015. V. 77. P. 471–477.
- Golotin V., Lyutikov A., Filatova T. et. al. A rapid and simple procedure for the isolation of embryonic cells from fish eggs // Bio-protocol. 13 (19), e4836. DOI: 10.21769/BioProtoc.4836
- Káldy J., Várkonyi E., Fazekas, G. et.al. Effects of hydrostatic pressure treatment of newly fertilized eggs on the ploidy level and karyotype of pikeperch *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) // Life. 2021. 11. 1296. <https://doi.org/10.3390/life11121296>
- Kestemont P., Xueliang X., Hamza N. et. al. Effect of weaning age and diet on pikeperch larviculture // Aquaculture. 2007. V. 264. P. 197–204.
- Lyutikov A., Vylka M., Golotin V. The first success in artificial triploidization of nelma (Coregonidae) // Book of abstracts: 15th International Symposium on Biology and Management of Coregonid fishes (ISBMC), September 25-29, 2023. Evian-les-Bains, France. 2023. 64 p.
- Malison J.A., Held J.A., Weil L.S. et. al. Manipulation of ploidy in walleyes by heat shock and hydrostatic pressure shock // N. Am. J. Aquac. 2001. V. 63. P. 17–24. Doi: 10.1577/1548-8454(2001)063<0017:MOPIWB>2.0.CO;2.
- Naumowicz K., Pajdak J., Terech-Majewska E., Szarek J. Intracohort cannibalism and methods for its mitigation in cultured freshwater fish // Rev. Fish Biol. Fish. 2017. V. 27. P. 193–208. <https://doi.org/10.1007/s11160-017-9465-2>.
- Rougeot C., Minet L., Prignon C. et. al. Induce triploidy by heat shock in Eurasian perch, *Perca fluviatilis* // Aquat. Living Resour. 2003. V. 16. P. 90–94. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(03\)00030-5](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(03)00030-5).
- Stanivuk J., Marinović Z., Kitanović N. et. al. Evaluation of biotechnology approaches – Polyploidization and hybridization – For improvement of pikeperch (*Sander lucioperca*) larviculture and juvenile on-grow with special regard to morphological traits and gonadal development // Aquaculture. 2026. V. 610. 742938. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.742938>

AQUACULTURE AND ARTIFICIAL REPRODUCTION

**THE FIRST EXPERIENCE OF INDUCED
TRIPLOIDIZATION OF PIKE-PERCH
SANDER LUCIOPERCA IN RUSSIA**

© 2025 г. А.А. Lyutikov, А.Е. Korolev, N.A. Lyutikova, V.A. Golotin

*Saint Petersburg branch of State Scientific Center of the Russian Federation
«VNIRO», Russia, Sankt-Peterburg, 199053*

The results of a study on pikeperch triploidization using hydrostatic pressure shock (7000 PSI) applied 5 min after fertilization with varying exposure durations of 5 and 10 min are presented. It was shown that both protocols yielded close to 100% triploidy rate. Egg survival during the incubation period was higher with the shorter pressure exposure: after a 5-min exposure, the survival rate was 77,9%, after 10 min – 73,4%, and in the control group – 88,4%. Rearing triploid pikeperch to the fingerling stage revealed their growth retardation from larvae weighing 50-70 mg and reduced survival compared to diploids: the final mass and survival rate of triploids were 3,5 g and 46,4%, respectively, while for diploids, these values were 4,0 g and 77,5%.

Keywords: pikeperch, eggs, larvae, triploid fingerlings, hydrostatic shock, aquaculture.