


<https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2026-18-3-992-1006>
<https://www.zoobank.org/References/67AB104D-CF23-4D62-B5AC-704A09ED3D77>

УДК 537.523:638.221.3[638.262]

Искусственное оживление грены тутового шелкопряда током высокого напряжения

В. Г. Евлагин✉, Е. Г. Евлагина, Е. Ф. Лейнвебер, Е. Н. Юматов

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, ул. Никонова, д. 49, 356241, г. Михайловск, Россия

Сведения об авторах

Евлагин Виктор Григорьевич

E-mail: evlaginvg@mail.ru

SPIN-код: 3338-9222

ResearcherID: X-2077-2019

ORCID: 0000-0002-2404-4222

Евлагина Елена Григорьевна

E-mail: gnu_rnis_silk@mail.ru

SPIN-код: 4180-3725

ResearcherID: AAA-4116-2019

ORCID: 0000-0003-1050-9970

Лейнвебер Евдокия Федотовна

E-mail: tutovod@mail.ru

SPIN-код: 7447-3924

ORCID: 0000-0002-5284-0840

Юматов Евгений Николаевич

E-mail: trast1207@mail.ru

SPIN-код: 9562-6641

ORCID: 0000-0002-8300-2380

Аннотация. В статье представлены результаты многофакторных опытов по искусственному оживлению грены отечественной моновольтинной породы тутового шелкопряда Кавказ-2 током высокого напряжения, целью которых являлось определение оптимальных параметров воздействия электрического (искрового) разряда на яйца тутового шелкопряда для прерывания диапаузы. В ходе исследований были учтены следующие факторы, определяющие параметры обработки электрическим (искровым) разрядом: напряжение 5 и 10 кВ, при постоянной силе тока 0,2 мА, экспозиция воздействия от 1 до 10 минут; определен наиболее чувствительный для снятия диапаузы возраст обрабатываемых яиц тутового шелкопряда (от 1 до 24 часов); проведен анализ трех режимов хранения грены до обработки: при пониженной температуре (22...23 °С), оптимальной (24...25 °С) и повышенной (26...27 °С). В результате установлены оптимальные параметры снятия диапаузы: напряжение 10 кВ; экспозиция 3–4 минуты; возраст обрабатываемых яиц 2, 11, 24 часа; режим хранения грены до обработки при пониженных температурах — 22...23 °С. Режим обработки грены током высокого напряжения с применением представленных параметров способствует прерыванию естественной диапаузы и дружному выходу гусениц из яиц (оживление 94,8–97,4 %), не оказывает отрицательного влияния на последующие стадии развития тутового шелкопряда, что подтверждается результатами проведенных выкормок: продолжительность выкормочного периода — 31 день, жизнеспособность — 95,9–96,8 %, урожай коконов — 3,978–4,083 кг.

Права: © Авторы (2026). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY 4.0.

Ключевые слова: тутовый шелкопряд (*Bombyx mori*), диапауза, гrena (яйца), искусственное оживление грены, возраст грены, ток высокого напряжения, биологические и продуктивные показатели

Artificial revival of silkworm eggs by high-voltage current

V. G. Evlagin✉, E. G. Evlagina, E. F. Leinweber, E. N. Yumatov

North Caucasus Federal Agricultural Research Centre, 49 Nikonova Str., 35624, Mikhailovsk, Russia

Authors

Viktor G. Evlagin
E-mail: evlaginvg@mail.ru
SPIN: 3338-9222
ResearcherID: X-2077-2019
ORCID: 0000-0002-2404-4222

Elena G. Evlagina
E-mail: gnu_rnis_silk@mail.ru
SPIN: 4180-3725
ResearcherID: AAA-4116-2019
ORCID: 0000-0003-1050-9970

Evdokia F. Leinweber
E-mail: tutovod@mail.ru
SPIN: 7447-3924
ORCID: 0000-0002-5284-0840

Evgeny N. Yumatov
E-mail: trast1207@mail.ru
SPIN: 9562-6641
ORCID: 0000-0002-8300-2380

Copyright: © The Authors (2026).
Published by Herzen State Pedagogical
University of Russia. Open access under
CC BY License 4.0.

Abstract. The article presents the results of multifactorial experiments on the artificial revival of eggs of the Russian monovoltine silkworm breed Kavkaz-2 using high-voltage current. The aim was to determine the optimal parameters of electric (spark) discharge treatment for interrupting diapause. The following factors were assessed: voltage (5 and 10 kV at a constant current of 0.2 mA), exposure time (1 to 10 minutes), the most sensitive egg age for diapause interruption (1 to 24 hours), and three egg storage regimes prior to treatment: low temperature (22–23 °C), optimal (24–25 °C), and elevated (26–27 °C). The optimal parameters for diapause interruption were established as: voltage 10 kV; exposure 3–4 minutes; egg age 2, 11, or 24 hours; and storage at low temperature (22–23 °C). Treatment under these parameters effectively interrupted natural diapause and resulted in a synchronous larval hatching (revival rate 94.8–97.4 %), with no negative effects on subsequent developmental stages, as confirmed by rearing results: feeding period of 31 days, viability of 95.9–96.8 %, and cocoon yield of 3.978–4.083 kg.

Keywords: silkworm (*Bombyx mori*), diapause, grain (eggs), artificial revival of eggs, egg age, high-voltage current, biological and productive indicators

Введение

История шелка — натурального волокна, получаемого посредством промышленного разведения тутового шелкопряда (*Bombyx mori*), насчитывает более пяти тысяч лет и берет свое начало в Китае. Шелк известен роскошным внешним видом и текстурой и уникальными физико-механическими и гигиеническими свойствами, помимо традиционной текстильной промышленности, находит широкое применение во многих отраслях экономики и областях науки, в последнее время очень активно в биомедицине. По сравнению с натуральными биоматериалами, к примеру коллагеном, и даже с некоторыми синтетическими волокнами (нейлон, кевлар, волокно из высокопрочной стали (стальное)), шелк обладает сопоставимыми или превосходящими свойствами (Liu et al. 2022; Hari, Kandasubramanian 2025).

Сегодня шелк используется не только для наложения хирургических швов, но и в изготовлении повязок, пластырей, гелевых пленок для заживления ран, а также других

материалов и изделий для различных медицинских целей. На основе шелка разрабатываются и разрабатываются разнообразные биомедицинские изделия: сердечно-сосудистые имплантаты; хирургические сетки, применяемые для лечения пролапса тазовых органов, грыж и других дефектов фасций; протезы для замещения поврежденных связок и сухожилий и многое другое. Благодаря своим уникальным свойствам, а также универсальности шелк активно используется исследователями для создания новых биосистем с заданными свойствами: таких как системы ультрафильтрации; системы диагностики, в том числе медицинской, на основе биосенсоров и биочипов; системы доставки лекарств (направленный транспорт лекарственного вещества в заданную область организма, органа или клетки) и другие (Ji et al. 2025).

Производство шелка тесно взаимосвязано с циклом развития тутового шелкопряда и наступлением диапаузы, т. е. вольтичностью, которая наследственно закреплена и обуславливает появление диапаузирующих и недиапаузирующих

яиц. Тутовый шелкопряд диапаузирует на стадии яйца (эмбриональная диапауза), при этом выделяют следующие генотипы: моновольтинные — одно поколение в год; бивольтинные — два поколения; поливольтинные — несколько (до восьми) поколений. Диапауза — это сложный процесс, протекающий под действием гормонов в организме тутового шелкопряда на стадии куколки и бабочки, который при би- и поливольтинном цикле зависит от внешних условий (температура, влажность воздуха, освещенность) и физиологического состояния предшествующего поколения. Физиологически диапауза характеризуется резким замедлением роста и развития эмбриона, снижением интенсивности метаболизма, что продолжается в течение нескольких месяцев (Kankanawadi et al. 2025).

При промышленном производстве шелка естественный цикл развития тутового шелкопряда не всегда совпадает с оптимальными условиями выращивания или рыночным спросом. Именно поэтому исследования биологии диапаузы тутового шелкопряда, в частности механизмов ее прерывания (снятия), было и остается актуальной задачей ученых, имеющей и прикладной характер: для производителей шелка это возможность эффективного составления, корректировки, контроля графика и объемов производства (Mundkur et al. 2010).

Известно, что искусственное прерывание диапаузы происходит в результате изменения в активности генов, регулирующих окислительное фосфорилирование и динамическую модификацию архитектуры хроматина, которое достигается химическим и физическим воздействием (обработка кислотой, охлаждение, регулирование освещения (фотопериод), применение тока высоковольтного напряжения и др.). Поэтому необходима интеграция данных о физиологии и молекулярных механизмах управления диапаузой, что позволит более эффективно регулировать цикличность развития тутового шелкопряда (Rudramuni et al. 2021).

Далее остановимся на наиболее значимых исследованиях и разработках в области снятия диапаузы тутового шелкопряда. Самым простым приемом является применение пониженных температур во время инкубации. Так, в исследованиях японских ученых на гибриде тутового шелкопряда изучалось влияние светового режима и температуры 18 °C в период инкубации яиц, в результате отмечено следующее: бабочки откладывали яйца без диапаузы независимо от продолжительности светового дня (Kato 1974). Эксперименты по инкубации в условиях пониженной температуры при 15 °C были проведены на различных моновольтинных породах тутового шелкопряда: из 87 исследованных только от 5 пород были получены недиапаузирующие яйца (Kosegawa et al. 2000). Метод охлаждения не всегда дает дружное оживление. В настоящее время данный способ используется в сочетании с дополнительной обработкой грены соляной кислотой.

В поисках способа снятия эмбриональной диапаузы химическим воздействием в Японии с 1900 г. впервые были развернуты масштабные исследования по применению соляной кислоты для обработки грены (солянокислый метод). С 1956 по 1964 гг. в ходе обширных исследований, проводимых на различных партиях яиц тутового шелкопряда, были определены оптимальные параметры обработки грены: концентрация соляной кислоты, температура раствора, время обработки. Установлено следующее: необходимо поддерживать оптимальную концентрацию соляной кислоты (удельный вес 1,072) в растворе, так как слишком разбавленный раствор недостаточно проникает через защитную оболочку яйца и не может эффективно прерывать диапаузу, напротив, слишком концентрированный раствор способен негативно повлиять на развитие эмбриона; температура обработки 46,1 °C представляет собой оптимальный баланс между химической активностью и безопасностью для эмбриона, при такой температуре соляная кислота

становится более активной и эффективнее проникает в оболочку яйца; обработка в течение 5,0–5,5 минут способствует проникновению соляной кислоты в оболочку яйца, вызывая необходимые биохимические процессы, без чрезмерного воздействия, которое может навредить эмбриону (Hirobe et al. 1956; Mizuta, Tomabeji 1962; Mizuta, Sato 1964).

В Индии велся поиск эффективного способа снятия эмбриональной диапаузы различными химическими соединениями: уксусная, холевая, соляная кислоты, фенол, лаурилсульфат натрия, мыло. Исследования проводились на грене тутового шелкопряда в возрасте от 3 до 27 часов при комнатной температуре 25 ± 1 °C в течение 70 минут. Доказано, что использование раствора соляной кислоты (удельный вес 1,110) способствует высокому оживлению грены от 90,45 до 96,31 % у всех исследуемых пород тутового шелкопряда летней и осенней генерации, в сравнении с остальными применяемыми химическими соединениями. Проведенные исследования подтверждают эффективность использования соляной кислоты, при этом отмечено, что в отличие от других кислот, которые могут реагировать непредсказуемо или вызывать нежелательные побочные эффекты, соляная кислота при правильном использовании дает стабильные результаты, ее молекулярная структура позволяет эффективно запускать биохимические процессы, необходимые для выхода из диапаузы, не нанося чрезмерного вреда развивающемуся эмбриону (Rather, Aijaz 2000).

В Египте с целью искусственного оживления грены тутового шелкопряда проводили обработку яиц — сразу и через 12, 24, 36 часов после откладки самкой — соляной кислотой различной концентрации (соотношение $H_2O : HCl$ — 1 : 1,5, 1 : 2,0 и 1 : 2,5) при экспозиции 5, 10 и 15 минут. В результате отмечен высокий процент оживления грены (более 90 %), обработанной через 24 часа после откладки, при применяемых в исследовании концентрациях соляной кислоты и времени обработки.

Оживление яиц тутового шелкопряда, обработанных сразу после откладки, составило не более 30,7 %, через 12 часов — от 32,2 до 88,4 %, через 36 часов — от 10,6 до 84,7 % (Abdelmegeed 2016).

В Сирии проведен ряд опытов по снятию диапаузы с яиц тутового шелкопряда в возрасте 1, 12, 24, 36 и 48 часов соляной кислотой (удельный вес 1,100) при экспозиции 10, 20 и 30 минут. При этом зафиксирован высокий процент оживления (96 %) грены в возрасте 24 часов после откладки при обработке соляной кислотой в течение 30 минут (Okasha et al. 2024).

Обработка яиц тутового шелкопряда соляной кислотой требует исключительной точности в соблюдении необходимых параметров. Добиться этого возможно при использовании автоматизированных систем синхронизации, которые обеспечивают соблюдение концентрации, температуры и продолжительности обработки каждой партии яиц. Так как даже небольшие колебания температуры могут повлиять на эффективность обработки, возникает необходимость использования сложных систем контроля температуры с несколькими датчиками. Обработка вручную не позволяет точно синхронизировать процесс, в связи с чем могут возникать отклонения, снижающие эффективность снятия диапаузы.

Учеными из Китая была разработана технология искусственного оживления грены тутового шелкопряда более простым способом, как альтернатива солянокислому методу. Данный способ основан на использовании прибора, преобразующего ток высокого напряжения. Исследования проводились на яйцах тутового шелкопряда различного возраста — от 0,5 до 4 часов с разницей в полчаса и 20 часов, при воздействии коронного разряда (напряжение 12 кВ) в течение 5, 10, 30 секунд, 1, 1,5, 2, 5 и 10 минут, расстояние от иглы до яиц составляло 8 мм. Наилучший результат (оживление грены 92,17–97,15 %) отмечен при обработке яиц в возрасте от 2 до 4 часов, а также 20 часов с экспозицией

воздействия коронного разряда от 30 секунд до 5 минут (Zhang et al. 2022).

Проведенные в Японии исследования по прерыванию диапаузы грены тутового шелкопряда посредством воздействия коронного разряда также демонстрируют эффективность данного метода: при напряжении 15 кВ, силе тока 0,16 и 0,3 мА и экспозиции 5 минут оживление яиц в возрасте 2 часа составляет 81,0 %, в возрасте 4 часа — 82,6 %; при напряжении 10 кВ, силе тока 0,1 мА и экспозиции 3 минуты, а также при напряжении 15 кВ, силе тока 0,2 мА с экспозицией 2 минуты оживление яиц в возрасте 24 часа составило 92,3 %, при этом расстояние между иглами (4 шт.) до поверхности для размещения яиц тутового шелкопряда регулируемое — 10–30 мм (Yamada et al. 2022).

Таким образом, искусственное оживление грены тутового шелкопряда током высокого напряжения имеет ряд преимуществ по сравнению с обработкой соляной кислотой, а именно: отсутствие возможного химического загрязнения, потребности в сложных системах контроля и вентиляции для удаления паров соляной кислоты, простота эксплуатации, безопасность и т. д. Однако при обработке яиц тутового шелкопряда током высокого напряжения возникает ряд вопросов, которые необходимо решить: выявить наиболее оптимальные параметры обработки (напряжение, экспозиция), определить наиболее

чувствительный возраст грены для снятия диапаузы, а также подобрать температурный режим хранения яиц до обработки, что определяет актуальность проводимых нами исследований, новизна которых заключается в разработке способа искусственного оживления грены.

Цель исследований — определить оптимальные параметры воздействия тока высокого напряжения на диапаузирующую грену тутового шелкопряда для разработки способа искусственного оживления.

Материал и методы

Опыты по определению оптимальных параметров воздействия тока высокого напряжения с целью разработки способа искусственного оживления грены проводили на отечественной породе — Кавказ-2, содержащейся в биоколлекции пород тутового шелкопряда Научно-исследовательской станции шелководства — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (Ставропольский край, г. Железноводск, пос. Иноземцево). Порода Кавказ-2 — моновольтинная, дает одно поколение в год, т. е. естественная диапауза наступает на ранних стадиях эмбрионального развития.

Для получения опытных партий грены отбирали оплодотворенных бабочек-самок в период весенне-летних выкормок



Рис. 1. Спаривание бабочек и откладка яиц самками тутового шелкопряда

Fig. 1. Mating of butterflies and egg laying by female silkworms

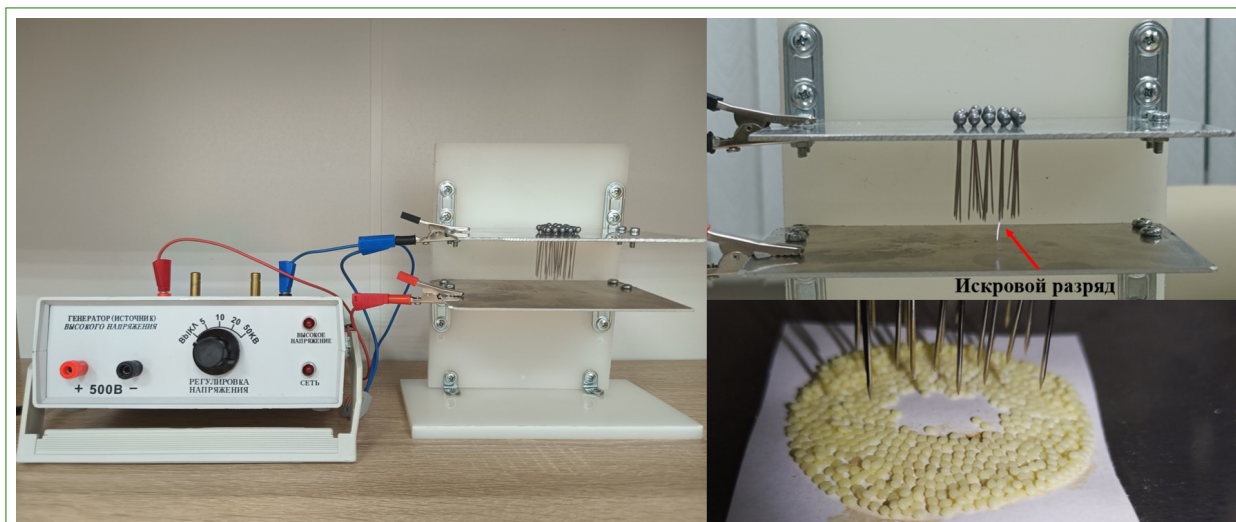


Рис. 2. Обработка грены тутового шелкопряда током высокого напряжения
Fig. 2. High-voltage current treatment of silkworm eggs

тутового шелкопряда 2025 г. Спаривание бабочек проводили рано утром в течение 2–3 часов, так как бабочки выходят из коконов с восходом солнца (5–6 часов утра). В качестве изоляции бабочек-самок в период откладки яиц применяли пластиковые стаканчики с внутренним диаметром 37 мм. Для каждого варианта опыта отбирали отдельные партии грены (кладка или часть кладки), т. е. потомство одной самки, которая откладывала яйца через 2–3 часа после спаривания (рис. 1).

В качестве контроля использовали грену породы Кавказ-2, которая не подвергалась обработке током высокого напряжения, была получена в 2024 г, хранилась при общепринятом режиме эстивации и зимнего хранения (при пониженных плюсовых температурах +2...+4 °С), — зимующая гrena. Данный процесс хранения естественным образом способствует снятию, а также продлению диапаузы и может занимать более 9 месяцев. Оживление зимующей грены породы Кавказ-2 определяли по результатам контрольного оживления, проведенного в 2025 г. в сроки инкубации опытных партий грены.

За возраст яиц (грены) тутового шелкопряда принято время в часах, прошедшее от откладки яиц до обработки током высокого напряжения. С целью точного учета возраста яиц партии грены отбирали каждый час после начала откладки яиц бабоч-

кой-самкой и хранили их по отдельности.

Обработку грены током высокого напряжения производили с использованием высоковольтного источника и специально собранной нами лабораторной установки; принцип действия и конструкция установки схожи со схемой, представленной в работе японских авторов (Yamada et al. 2022). Принципиальными отличиями разработанной нами установки являются: 1) верхняя металлическая пластина с иглами — катод (–), параллельная ей нижняя пластина, на которой размещается гrena, — анод (+); 2) количество игл регулируется в зависимости от обрабатываемой площади (количества грены); 3) при применяемых параметрах тока высокого напряжения между пластинами создается электрический (искровой) разряд (рис. 2).

На первом этапе опытов по искусственному оживлению определяли оптимальные параметры электрического (искрового) разряда, создаваемого при помощи высоковольтного источника и лабораторной установки: при постоянной силе тока 0,2 мА напряжение устанавливали 5 кВ (режим 1) и 10 кВ (режим 2), время обработки (экспозиция) составляло от 1 до 10 минут. Обработка током высокого напряжения проводилась на кладках суточной грены (возраст яиц 24 часа), которая хранилась от откладки до обработки при температуре 24...25 °С.

Температура 24...25 °С является общепринятой для хранения грены после ее откладки бабочкой-самкой в первые месяцы эстивации — периода летне-осеннего хранения.

На втором этапе опытов оценивали реакцию грены различного возраста (от 1 до 24 часов) на стимулирующее действие тока высокого напряжения.

На третьем этапе опытов определяли отзывчивость грены на искусственное оживление в зависимости от температуры хранения яиц до обработки током высокого напряжения и возраста грены (от 1 до 24 (суточная) часов). Яйца тутового шелкопряда до обработки хранили при трех режимах: при пониженной температуре 22...23 °С; при оптимальной (общепринятый режим) 24...25 °С — контроль; при повышенной 26...27 °С; относительная влажность воздуха (ОВВ) 75–80 %.

Инкубацию опытных и контрольных партий грены тутового шелкопряда (по три повторности каждая) проводили в специальной климатической камере при соблюдении необходимых параметров температуры и влажности воздуха, в соответствии с режимом, представленным в таблице 1.

Примечание: ¹ ОВВ — относительная влажность воздуха; ² полная темнота на 8–9-й дни инкубации; ³ дополнительное освещение за 1–2 часа до восхода солнца на 10–11-й дни инкубации.

Note: ¹ RHA — relative humidity of air; ² total darkness on the 8th–9th days of incubation; ³ additional lighting 1–2 hours before sunrise on the 10th–11th days of incubation.

Процент оживления яиц (грены) тутового шелкопряда определяли по результатам подсчета количества яиц, взятых на инкубацию, и количества неживших яиц после инкубации по следующей формуле (1):

$$O = \frac{Kя - Кня}{Кя} \times 100, \quad (1)$$

где О — оживление яиц (грены), %; Кя — количество яиц, взятых на инкубацию, шт.; Кня — количество неживших яиц после инкубации, шт.

Экспериментальные выкормки гусениц тутового шелкопряда с оценкой биологических и продуктивных показателей проводили по методике А. А. Климовой (Klimova 1990). Опытные группы, полученные после обработки электрическим (искровым) разрядом, и контроль (без обработки, полученные из зимующей грены 2024 г.) выкармливали в количестве 300 гусениц одного дня выхода из яиц в трехкратной повторности.

Биометрическую обработку и анализ статистических данных проводили путем вычисления ошибки среднего ($\pm m$) и расчета критерия Стьюдента для трех уровней достоверности при $P \leq 0,05$; $P \leq 0,01$; $P \leq 0,001$ с использованием программы StatPlus 7.1.

Режим инкубации яиц тутового шелкопряда
Incubation regime for silkworm eggs

Таблица 1

Table 1

Дни инкубации	Режим инкубации	
	температура, °С	ОВВ ¹ , %
1	25	75–80
2		
3		
4		
5		
6	25,5...26	
7	26	
8–9 ²	26	
10–11 ³	25	

Результаты и обсуждение

Известно, что при инкубации грены тутового шелкопряда выход гусениц из яиц может продолжаться до пяти суток. При этом гусеницы последних дней выхода более подвержены заболеваниям, отличаются низкой жизнеспособностью и отстают в развитии в период выкормки, по сравнению с гусеницами первого дня массового выхода. Соответственно, чем позже выход гусениц из яиц, тем хуже показатели выкормки, урожай коконов и качество грены (Kovalev 1960). В связи с этим оценка результатов опытов по определению оптимальных параметров воздействия тока высокого напряжения, а именно электрического (искрового) разряда, с целью разработки способа искусственного оживления грены проводилась только в первый день массового выхода гусениц из яиц; гусеницы, вышедшие из яиц позже, не учитывались.

Выход гусениц из яиц, по сути, является индикатором в оценке качества грены, жизнеспособности гусениц и продуктивности выкормки. В зависимости от рас-

сматриваемых параметров и режимов воздействия тока высокого напряжения на грену тутового шелкопряда получены различные результаты (табл. 2–6), которые являются основой для разработки способа искусственного оживления грены.

В таблице 2 представлены результаты опытов по определению длительности обработки (экспозиция от 1 до 10 минут) током высокого напряжения 5 и 10 кВ кладок суточной грены тутового шелкопряда. Воздействие электрического (искрового) разряда на грену при двух режимах обработки оценивалось по выходу гусениц из яиц, каждый вариант опыта проводили на отдельной кладке породы Кавказ-2 (количество яиц в кладке было не менее 600 шт.). Лучшие результаты по оживлению (более 92 %) были получены:

1) при воздействии тока напряжением 5 кВ в течение 8 минут оживление грены составило 93,3 %, в течение 9 минут — 94,5 %;

2) при воздействии тока напряжением 10 кВ в течение 3 и 4 минут — 95,1 и 94,7 % соответственно.

Таблица 2

Оживление грены тутового шелкопряда в зависимости от режима обработки током высокого напряжения, n = 3

Table 2

Revival of silkworm eggs depending on high-voltage current treatment parameters, n=3

Режим обработки суточной грены (возраст яиц 24 часа)			Без обработки
Экспозиция, минуты	Напряжение, кВ		Результаты контрольного оживления грены (контроль)
	5 (режим 1)	10 (режим 2)	
	Оживление грены, %		
1	43,1 ± 0,38***	90,2 ± 0,21***	96,3 ± 0,34
2	57,9 ± 0,26***	92,1 ± 0,40***	
3	66,3 ± 0,33***	95,1 ± 0,38*	
4	76,2 ± 0,28***	94,7 ± 0,29**	
5	81,5 ± 0,21***	91,2 ± 0,34***	
6	84,6 ± 0,32***	88,1 ± 0,22***	
7	90,4 ± 0,42***	83,4 ± 0,23***	
8	93,3 ± 0,35**	80,3 ± 0,25***	
9	94,5 ± 0,42*	69,8 ± 0,33**	
10	92,2 ± 0,27***	58,1 ± 0,20**	

Примечание: разность показателей достоверна: *P ≤ 0,05; **P ≤ 0,01; ***P ≤ 0,001.

Note: the difference in indicators is significant: *P ≤ 0,05; **P ≤ 0,01; ***P ≤ 0,001.



Рис. 3. Оживление грены после обработки током высокого напряжения

Fig. 3. Reviving eggs after high-voltage current treatment

Данные параметры обработки грены являются оптимальными. Следует отметить, что грена после искусственного оживления и инкубации развивалась нормально, что подтверждает выход из яиц жизнеспособных гусениц (рис. 3).

Результаты оценки реакции грены различного возраста на стимулирующее действие тока высокого напряжения при отмеченных выше режимах и оптимальных параметрах обработки представлены в таблице 3.

За возраст грены был принят временной период после откладки яиц оплодотворенной бабочкой-самкой, который составлял от 1 до 24 часов; партии грены до искусственного оживления хранились при 24...25 °С — общепринятый режим.

По данным таблицы 3 можно определить оптимальный временной период для снятия диапаузы воздействием на грену электрического (искрового) разряда при выбранных двух режимах обработки:

1) высокие результаты оживления (более 90 %) отмечены в партиях яиц тутового шелкопряда 1–2, 11–13 и 21–24-часового возраста;

2) партии грены в возрасте от 3 до 10 и от 14 до 20 часов имели невысокий процент оживления (от 60 до 90 %), что свидетельствует о недостаточном уровне реакции на

стимулирующее действие тока высокого напряжения: грена, отложенная бабочкой-самкой в данные временные промежутки, менее чувствительна к искусственному оживлению.

Из выявленных оптимальных временных промежутков, а именно 1–2, 11–13 и 21–24 часа, определен возраст грены для обработки током высокого напряжения — 2, 11 и 24 часа, характеризующийся достаточно высоким выходом гусениц из яиц при применяемых режимах: оживление грены в возрасте 2 часа составило 92,9–93,5 %; в возрасте 11 часов — 91,4–91,7 %; в возрасте 24 часа — 93,9–94,3 %.

Следует также отметить, что при рассматриваемых режимах обработки током высокого напряжения — 5 кВ в течение 8–9 минут и 10 кВ в течение 3–4 минут — существенных различий по оживлению яиц тутового шелкопряда не выявлено. От режима с применением напряжения 5 кВ в дальнейшем отказались по причине длительности процесса — экспозиция 8–9 минут.

В таблице 4 приведены результаты по оживлению грены током высокого напряжения (10 кВ в течение 3–4 минут) в зависимости от возраста грены и температуры хранения яиц до обработки.

На основании данных таблицы 4 можно отметить следующее:

Таблица 3

Оживление грены тутового шелкопряда в зависимости от возраста при обработке током высокого напряжения, $n = 3$

Table 3

Revival of silkworm eggs depending on age at the time of high-voltage current treatment, $n=3$

Режим обработки грены			Без обработки
Возраст грены, часы	5 кВ в течение 8–9 минут	10 кВ в течение 3–4 минут	Результаты контрольного оживления грены (контроль)
	Оживление грены, %		
1	90,5 ± 0,18***	90,3 ± 0,30***	94,9 ± 0,25
2	92,9 ± 0,30***	93,5 ± 0,23**	
3	73,5 ± 0,22***	73,4 ± 0,24***	
4	70,8 ± 0,20***	71,2 ± 0,35***	
5	83,0 ± 0,42***	83,2 ± 0,29***	
6	84,3 ± 0,20***	84,2 ± 0,42***	
7	75,8 ± 0,15***	75,2 ± 0,28***	
8	72,0 ± 0,25***	73,1 ± 0,31***	
9	79,5 ± 0,30***	80,2 ± 0,38***	
10	82,3 ± 0,32***	83,7 ± 0,20***	
11	91,4 ± 0,34***	91,7 ± 0,21***	
12	90,5 ± 0,23***	91,0 ± 0,34***	
13	90,0 ± 0,33***	90,4 ± 0,28***	
14	60,7 ± 0,32***	62,2 ± 0,37***	
15	69,3 ± 0,24***	69,1 ± 0,22***	
16	73,7 ± 0,20***	74,0 ± 0,32***	
17	81,2 ± 0,17***	81,4 ± 0,17***	
18	79,7 ± 0,30***	80,1 ± 0,41***	
19	89,4 ± 0,21***	88,7 ± 0,33***	
20	89,2 ± 0,22***	89,4 ± 0,24***	
21	90,3 ± 0,32***	89,5 ± 0,37***	
22	92,2 ± 0,28***	93,6 ± 0,42*	
23	93,4 ± 0,25**	94,0 ± 0,22**	
24	93,9 ± 0,30**	94,3 ± 0,26*	

Примечание: разность показателей достоверна: * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$.

Note: the difference in indicators is significant: * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$.

1) снижение оживления грены по всем исследуемым возрастам при хранении до обработки током высокого напряжения при повышенной температуре 26...27 °С объясняется низкой восприимчивостью яиц к искусственному оживлению и обусловлено ускорением метаболизма и интенсивным развитием эмбриона;

2) улучшение искусственного оживления грены при хранении до обработки током высокого напряжения при пониженной температуре 22...23 °С во всех возрас-

тах, в сравнении с хранением до обработки при общепринятом режиме (температура 24...25 °С, ОВВ 75–80 %), что объясняется более медленным развитием эмбриона, которое сказывается на повышении чувствительности к воздействию, направленному на снятие диапаузы.

Наиболее высокий выход гусениц из яиц получен при пониженной температуре (22...23 °С) хранения грены до обработки током высокого напряжения: оживление грены в возрасте 2 часа составило 96,5 %, 11 часов — 94,8 %, 24 часа — 97,4 %.

Таблица 4

Оживление грены тутового шелкопряда током высокого напряжения в зависимости от возраста и температуры хранения до обработки, $n = 3$

Table 4

Revival of silkworm eggs by high-voltage current depending on age and storage temperature before treatment, $n=3$

Возраст грены, час	Режим обработки грены: 10 кВ в течение 3–4 минут		
	Режим хранения грены до обработки: ООВ ¹ 75–80 %, температура:		
	22...23 °C	24...25 °C (общепринятый) — контроль	26...27 °C
	Оживление грены, %		
1	92,8 ± 0,25**	90,3 ± 0,30	88,9 ± 0,20*
2	96,5 ± 0,28**	93,5 ± 0,23	89,4 ± 0,36**
3	76,1 ± 0,19**	73,4 ± 0,24	70,5 ± 0,22**
4	73,5 ± 0,27*	71,2 ± 0,35	69,0 ± 0,21*
5	85,3 ± 0,24*	83,2 ± 0,29	81,1 ± 0,33*
6	86,4 ± 0,34*	84,2 ± 0,42	80,8 ± 0,25**
7	78,7 ± 0,26**	75,2 ± 0,28	72,3 ± 0,21**
8	76,5 ± 0,17**	73,1 ± 0,31	71,4 ± 0,32*
9	82,4 ± 0,33*	80,2 ± 0,38	78,1 ± 0,20*
10	86,7 ± 0,21**	83,7 ± 0,20	81,4 ± 0,26**
11	94,8 ± 0,16**	91,7 ± 0,21	87,6 ± 0,34**
12	92,2 ± 0,28	91,0 ± 0,34	88,1 ± 0,40**
13	91,3 ± 0,35	91,4 ± 0,28	84,6 ± 0,29**
14	67,5 ± 0,41**	62,2 ± 0,37	58,5 ± 0,32**
15	72,8 ± 0,29**	69,1 ± 0,22	64,1 ± 0,42**
16	76,1 ± 0,19*	74,0 ± 0,32	70,3 ± 0,31**
17	83,3 ± 0,24*	81,4 ± 0,17	79,8 ± 0,20*
18	82,9 ± 0,33*	80,1 ± 0,41	78,5 ± 0,42*
19	92,5 ± 0,20**	88,7 ± 0,33	83,1 ± 0,32**
20	93,1 ± 0,34**	89,4 ± 0,24	85,2 ± 0,40**
21	92,4 ± 0,40**	89,5 ± 0,37	87,8 ± 0,35**
22	96,8 ± 0,24**	93,6 ± 0,42	90,3 ± 0,19**
23	96,5 ± 0,18**	94,0 ± 0,22	89,8 ± 0,22**
24	97,4 ± 0,21**	94,3 ± 0,26	90,5 ± 0,30**

Примечание: ¹ ООВ — относительная влажность воздуха. Разность показателей достоверна: * $P \leq 0,01$; ** $P \leq 0,001$.

Note: ¹ RHA — relative humidity of air. The difference in indicators is significant: * $P \leq 0,01$; ** $P \leq 0,001$.

Для определения влияния электрического (искрового) разряда при искусственном оживлении грены на последующие стадии развития тутового шелкопряда были сформированы группы с учетом результатов проведенных опытов и проведены экспериментальные выкормки тутового шелкопряда. Искусственное оживление грены в возрасте 2, 11, 24 часа, хра-

нившейся до обработки при температуре 22...23 °C, осуществляли током высокого напряжения 10 кВ при экспозиции 3–4 минуты; в качестве контроля использовалась гrena без обработки, подготовленная заранее и хранившаяся до инкубации при температуре +2...+4 °C.

Сравнительный анализ динамики развития гусениц тутового шелкопряда по-

Таблица 5

Динамика развития гусениц тутового шелкопряда породы Кавказ-2 после обработки грены током высокого напряжения 10 кВ, n = 3

Table 5

Development dynamics of Kavkaz-2 silkworm caterpillars after high-voltage current treatment of eggs (10 kV), n=3

Группа / Возраст гренy	Продолжительность развития, дни					Выкормочный период, дни
	Возраст гусениц*					
	I	II	III	IV	V	
Контроль (без обработки)	5	4	5	6	11	31
№ 1 / 2 часа	5	4	5	6	11	31
№ 2 / 11 часов	5	4	5	6	11	31
№ 3 / 24 часа	5	4	5	6	11	31

Примечание: * с учетом периода линьки.

Note: * taking into account the molting period.

роды Кавказ-2, полученных путем искусственного оживления с применением тока высокого напряжения, представлен в таблице 5.

Как видно из таблицы 5, искусственное снятие диапаузы не оказывает влияния на продолжительность развития гусениц по возрастам и на выкормочный период, который составил 31 день, разница не выявлена как между опытными группами, так и в сравнении с контролем.

Полученные по результатам выкармливания биологические и продуктивные показатели породы Кавказ-2 представлены в таблице 6.

Результаты выкормки гусениц породы Кавказ-2, полученных в ходе искусственного оживления грены, во всех опытных группах сопоставимы с контролем: жизне-

способность в опытных группах — 95,9–96,8 % (контроль 96,5 %); урожай коконов с 1 г гусениц — комплексный показатель, характеризующий продуктивность, в опытных группах составил 3,978–4,083 кг, в контроле — 4,063 кг. Существенной разницы в полученных биологических и продуктивных показателях не выявлено, что подтверждает эффективность и целесообразность применения обработки током высокого напряжения диапаузирующей грены тутового шелкопряда как способа искусственного оживления.

Искусственное оживление грены тутового шелкопряда током высокого напряжения относительно новый способ. В своей работе при подборе оптимальных параметров воздействия электрического (искрового) разряда на диапаузирующую

Таблица 6

Биологические и продуктивные показатели породы Кавказ-2 по результатам выкормки после обработки грены током высокого напряжения 10 кВ, n = 3

Table 6

Biological and productive indicators of the Kavkaz-2 breed based on rearing results following 10 kV high-voltage current treatment of eggs, n=3

Группа / Возраст грены	Оживление грены, %	Жизнеспособность, %	Средняя масса кокона, г	Процент шелковой оболочки, %	Урожай коконов с 1 г гусениц, кг
Контроль (без обработки)	95,8 ± 0,30	96,5 ± 0,72	1,91 ± 0,045	20,0 ± 0,18	4,063 ± 0,079
№ 1 / 2 часа	96,5 ± 0,28	96,3 ± 0,52	1,90 ± 0,034	19,8 ± 0,22	4,061 ± 0,065
№ 2 / 11 часов	94,8 ± 0,16	95,9 ± 0,63	1,89 ± 0,052	20,3 ± 0,31	3,978 ± 0,083
№ 3 / 24 часа	97,4 ± 0,21	96,8 ± 0,65	1,90 ± 0,044	20,5 ± 0,25	4,083 ± 0,076

грену тутового шелкопряда мы опирались на публикации китайских и японских ученых.

Способ, разработанный в Китае, заключается в следующем: грена тутового шелкопряда в возрасте от 0,5 до 4 часов с разницей в полчаса и 20 часов после откладки бабочкой-самкой хранилась при температуре 25 °С до обработки коронным разрядом при напряжении 12 кВ и экспозиции 5, 10, 30 секунд, 1, 1,5, 2, 5 и 10 минут. Лучшие результаты оживления 95,6–97,1 % были получены при обработке грены в возрасте 2, 2,5 и 4 часа и экспозиции от 1 до 1,5 минуты (Zhang et al. 2022).

Метод искусственного оживления грены, разработанный в Японии, несколько отличается от описанного выше: яйца тутового шелкопряда до обработки хранились также при температуре 25 °С, при этом применяли коронный разряд при напряжении 10 и 15 кВ с экспозицией 2, 3, 5 минут, воздействие тока высокого напряжения осуществлялось на грену в возрасте 2, 4 и 24 часа. В результате при напряжении 15 кВ и экспозиции 5 минут получены неудовлетворительные результаты оживления грены: в возрасте 2 часа — 81,0 %; 4 часа — 82,6 %. Оживление суточной грены более 92 % было достигнуто при следующих параметрах: напряжение 10 кВ с экспозицией 3 минуты и 15 кВ при экспозиции 2 минуты (Yamada et al. 2022).

Основные отличия нашей работы по искусственному оживлению грены, которые также подтверждают новизну наших исследований, следующие:

1) применялся электрический (искровой) разряд;

2) более широко рассмотрена реакция грены различного возраста на стимулирующее действие тока высокого напряжения;

3) проведена оценка хранения грены до искусственного оживления при повышенных и пониженных температурах с учетом возраста яиц;

4) проанализированы параметры воздействия тока высокого напряжения не только на основе результатов оживления

грены, но и с учетом биологических и продуктивных показателей выкормки гусениц, полученных в результате искусственного снятия диапаузы.

Выводы

На основании проведенных нами многофакторных опытов по искусственному оживлению грены током высокого напряжения можно сделать следующие выводы:

1. Оптимальными параметрами электрического (искрового) разряда для снятия диапаузы являются: напряжение 10 кВ; экспозиция воздействия 3–4 минуты; возраст обрабатываемых яиц 2, 11, 24 часа; температурный режим хранения грены до обработки при пониженных температурах 22...23 °С.

2. Данные параметры режима обработки грены электрическим (искровым) разрядом способствуют прерыванию естественной диапаузы и дружному выходу гусениц из яиц, оживление яиц тутового шелкопряда составляет 94,8–97,4 %.

3. Представленный режим обработки грены током высокого напряжения не оказывает отрицательного влияния на последующие стадии развития тутового шелкопряда, что доказывают полученные по результатам проведенных выкормок биологические и продуктивные показатели: продолжительность выкормочного периода — 31 день, жизнеспособность — 95,9–96,8 %, урожай коконов — 3,978–4,083 кг. Искусственное оживление грены током высокого напряжения может быть использовано при проведении повторных выкормок тутового шелкопряда.

4. Выявленные оптимальные параметры воздействия тока высокого напряжения на диапаузирующую грену тутового шелкопряда являются основой для разработки способа искусственного оживления. Тем не менее необходимо продолжить исследования и отработать представленный режим на грене не только породы Кавказ-2, но и на грене других пород тутового шелкопряда.

Финансирование

Исследование выполнено на средства гранта Российского научного фонда № 25-26-00376.

Funding

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation № 25-26-00376.

References

- Abdelmegeed, S. M. (2016) Artificial hatching of monovoltine silkworm *Bombyx mori* L. eggs by using hydrochloric acid. *Journal of Plant Protection and Pathology*, vol. 7, no. 4, pp. 237–240. (In English)
- Hari, A. S., Kandasubramanian, B. (2025) Silk biopolymer in cosmetics: Efficacy, utilization and commercial perspectives. In: B. Kandasubramanian, N. Jaya Prakash (eds.). *Engineering natural silk*. Singapore: Springer Publ., pp. 155–176. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7901-7_9 (In English)
- Hirobe, T., Ooi, H., Minagawa, I., Ubukata, S. (1956) Studies on an artificial hatching method of *Bombyx*-silkworm eggs using hydrochloric acid in lower temperature. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, vol. 25, no. 6, pp. 375–381. <https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.25.375> (In Japan)
- Kankanawadi, N., Shravanilakshmi, V., Tejaswini, A. S. et al. (2025) Recent advances in elucidating the mechanism of embryonic diapause in silkworm, *Bombyx mori* L. *Journal of Advances in Biology and Biotechnology*, vol. 28, no. 7, pp. 1612–1622. <https://doi.org/10.9734/jabb/2025/v28i72676> (In English)
- Kato, M. (1974) On the chemical and physical environmental factors for embryonic diapause in silkworm *Bombyx mori* fed on artificial diet. *Environment Control in Biology*, vol. 12, no. 1, pp. 1–4. <https://doi.org/10.2525/ecb1963.12.1> (In English)
- Klimova, A. A. (1990) *The method of conducting experimental silkworm breeding. Methodological recommendations on sericulture*. Inozemtsevo: Rosshelkstantsiya Publ., 17 p. (In Russian)
- Kosegawa, E., Reddy, G. V., Shimizu, K., Okajima, T. (2000) Induction of non-diapause egg by dark and low temperature Incubation in local variety of the silkworm, *Bombyx mori*. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, vol. 69, no. 9, pp. 369–375. <https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.69.369> (In Japanese)
- Kovalev, P. A. (1960) *Breeding in sericulture*. Moscow: Sel'khozgiz Publ., 248 p. (In Russian)
- Liu, H., Sun, Z., Guo, C. (2022) Chemical modification of silk proteins: Current status and future prospects. *Advanced Fiber Materials*, vol. 4, no. 4, pp. 705–719. <https://doi.org/10.1007/s42765-022-00144-9> (In English)
- Mizuta, Y., Sato, M. (1964) Studies on the artificial hatching of diapausing eggs by hydrochloric acid treatment in the silkworm. Relation between the specific gravity of acid and the effective length of treatment. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, vol. 33, no. 1, pp. 59–62. <https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.33.59> (In Japanese)
- Mizuta, Y., Tomabeji, S. (1962) Studies on the artificial hatching of diapausing silkworm eggs by hydrochloric acid treatment. Relation between temperature of the acid and effective length of the treatment. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, vol. 31, no. 5, pp. 355–358. <https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.31.355> (In Japanese)
- Mundkur, R., Katti, S. R., Chandrakala, M. V. et al. (2010) Diapause in silkworm, *Bombyx mori*, with special reference to the paternal influence: A review. *Sericologia*, vol. 50, no. 2, pp. 145–170. (In English)
- Okasha, I., Arab, A., Al-Roz, H. (2024) Diapause termination of eggs of silkworm, *Bombyx mori* using hydrochloric acid and its effect on the insect's biological characteristics. *Arab Journal of Plant Protection*, vol. 42, no. 2, pp. 149–154. <https://doi.org/10.22268/AJPP-001229> (In English)
- Rather, A. Q., Aijaz, M. (2000) Artificial hatching of diapausing silkworm (*Bombyx mori* L.) eggs at different hours of oviposition through alternative chemicals. *Sericologia*, vol. 40, no. 3, pp. 389–398. (In English)
- Rudramuni, K., Neelaboina, B. K., Shivkumar, S. et al. (2021) Variation of embryonic diapause induction in bivoltine silkworm *Bombyx mori* L (Lepidoptera: Bombycidae) under controlled conditions. *International Journal of Industrial Entomology*, vol. 43, no. 2, pp. 37–44. <https://doi.org/10.7852/ijie.2021.43.2.37> (In English)
- Ji, X, Li, Y, Wang, J. et al. (2025) Silk protein gene engineering and its applications: Recent advances in biomedicine driven by molecular biotechnology. *Drug Design, Development and Therapy*, vol. 19, pp. 599–626. <https://doi.org/10.2147/DDDT.S504783> (In English)

- Yamada, N., Kojima, K., Mise, Y. et al. (2022) Experimental study of corona discharge in the production of transgenic silkworms from diapause strains. *Journal of Insect Biotechnology and Sericology*, vol. 91, no. 2, pp. 27–32. https://doi.org/10.11416/jibs.91.2_027 (In English)
- Zhang, Y.-L., Huang, Y., Wang, P.-Y. et al. (2022) Very early corona treatment-mediated artificial incubation of silkworm eggs and germline transformation of diapause silkworm strains. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 10, article 843543. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.843543> (In English)

Для цитирования: Евлагин, В. Г., Евлагина, Е. Г., Лейнвебер, Е. Ф., Юматов, Е. Н. (2026) Искусственное оживление грены тутового шелкопряда током высокого напряжения. *Амурский зоологический журнал*, т. XVIII, № 3, с. 992–1006. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2026-18-3-992-1006>

Получена 7 ноября 2025; прошла рецензирование 29 июня 2026; принята 16 июля 2026.

For citation: Evlagin, V. G., Evlagina, E. G., Leinweber, E. F., Yumatov, E. N. (2026) Artificial revival of silkworm eggs by high-voltage current. *Amurian Zoological Journal*, vol. XVIII, no. 3, pp. 992–1006. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2026-18-3-992-1006>

Received 7 November 2026; reviewed 29 June 2026; accepted 16 July 2026.