

<https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2025-17-1-146-162><https://zoobank.org/References/77C234BA-C970-440B-8DDB-32F38ABE2CC3>

УДК 638.244

Продуктивность тутового шелкопряда породы Кавказ-2 на искусственной питательной среде ИПС №1 с применением синтетических аминокислот

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

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

Газарян Юлия Александровна

E-mail: ulia.gazaryan@mail.ru

ORCID: 0009-0000-9736-983X

Аннотация. В статье представлены данные по результатам выкормки породы тутового шелкопряда Кавказ-2 на запатентованной нами искусственной питательной среде (ИПС №1) с добавлением синтетических аминокислот с целью повышения биологических показателей, шелковой продуктивности и улучшения репродуктивных свойств тутового шелкопряда. В результате проведенных исследований установлено, что введение в состав ИПС №1 выверенных дозировок аминокислот: 0,5 % L-глицина, 0,7 % L-аланина, 0,8 % L-серина, 1,1 % L-тирозина, 0,3 % L-метионина — способствует сокращению продолжительности процесса выкормки за счет сокращения периода 5-го возраста гусениц на двое суток, повышению жизнеспособности гусениц в 5-м возрасте на 99,6 %, увеличению массы кокона на 4,2 %, средней массы оболочки кокона на 9,2 %, шелконосности кокона на 5,0 %, увеличению количества яиц в кладке на 5,5 %, средней массы одного яйца на 1,4 % и массы одной кладки на 5,4 % по сравнению с выкормкой на свежем листе шелковицы.

Права: © Авторы (2025). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

Ключевые слова: тутовый шелкопряд (*Bombyx mori*), искусственная питательная среда, аминокислоты, динамика развития, жизнеспособность, продуктивные показатели, репродуктивные показатели

Productivity of Kavkaz-2 silkworm strain on artificial diet IPS-1 with synthetic amino acid supplementation

V. G. Evlagin[✉], E. G. Evlagina, E. F. Leinweber, E. N. Yumatov, U. A. Gazaryan

North Caucasus Federal Agricultural Research Centre, 49 Nikonova Str., 356241, 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

Uliya A. Gazaryan

E-mail: ulia.gazaryan@mail.ru

ORCID: 0009-0000-9736-983X

Copyright: © The Authors (2025).

Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under CC BY-NC License 4.0.

Abstract. This study presents data on rearing the Kavkaz-2 silkworm strain (*Bombyx mori*) using our patented artificial diet (IPS-1) supplemented with synthetic amino acids to enhance biological parameters, silk productivity, and reproductive performance. The research demonstrated that incorporating specific amino acid concentrations into IPS-1 (0.5 % L-glycine, 0.7 % L-alanine, 0.8 % L-serine, 1.1 % L-tyrosine, and 0.3 % L-methionine) resulted in: 1) reduced rearing duration by shortening the fifth instar larval stage by 2 days; 2) increased fifth instar larval viability (99.6 %); 3) improved cocoon weight (4.2 %), average cocoon shell weight (9.2 %), and silk yield (5.0 %); and 4) enhanced reproductive parameters including clutch size (5.5 %), average egg weight (1.4 %), and total clutch weight (5.4 %) compared to traditional mulberry leaf feeding.

Keywords: silkworm (*Bombyx mori*), artificial diet, amino acids, developmental dynamics, viability, productivity parameters, reproductive performance

Введение

Шелководство — это искусство, культура и наука о выращивании тутового шелкопряда с целью получения натурального шелкового волокна и побочных продуктов, которые имеют широкий спектр применения в современном мире. Шелк — структурный белок, состоящий из сдвоенных нитей белка фиброина, склеенных между собой другим белком — серицином, благодаря которым создается прочный кокон (Altman, Farrell 2022).

В последнее время всестороннее изучение белков шелка становится важной задачей в различных научных направлениях в связи с широким спектром их использования: полимеры, биоматериалы, косметическая, пищевая промышленность, в том числе многоцелевым в области биомедицины для разработки биосовместимых материалов с целью замены или стимуляции регенерации поврежденных органов или

тканей. Современные инновации подчеркивают растущий спрос на шелк и побочные продукты шелководства для различных областей науки (Jaiswal et al. 2021; Saha et al. 2022; Kishore et al. 2024).

В ряде научных работ отмечается, что главным фактором для успешного выращивания тутового шелкопряда является корм — качество листьев шелковицы, обусловленное сортовыми различиями, биохимическим составом, который должен соответствовать определенной стадии развития гусениц тутового шелкопряда. Следует отметить следующие практические трудности в выращивании тутового шелкопряда: недостаток кормовой базы в регионах, где шелковица практически не произрастает, поражение листьев рядом бактериальных и грибковых заболеваний, наличие пестицидов, проведение выкормов в дождливый период, что создает дополнительные трудозатраты на сушку листа. Мокрый, пораженный и загрязненный

лист шелковицы провоцирует тяжелые заболевания тутового шелкопряда, приводящие к гибели гусениц и ухудшающие качество коконов (Gupta, Dubey 2021; Tajamul et al. 2023).

В 1960 г. в Японии для решения основных проблем шелководства были начаты научные изыскания по созданию искусственных питательных сред для тутового шелкопряда. В настоящее время данное направление развивается по всему миру, разрабатываются искусственные рационы различного состава, позволяющие выращивать гусениц с 1-го по 5-й возраст для определенных целей, в том числе для получения коконов. Достижения в области производства искусственных кормов наглядно демонстрируют применимость биотехнологий в шелководстве и позволяют производить шелк круглый год, независимо от сезонных ограничений, что еще больше повышает производительность и гибкость шелководства (Borthakur, Kaushik 2022; Gautam et al. 2022; Giora et al. 2022).

Известно, что получение шелка происходит в результате биохимических и физико-химических процессов в организме тутового шелкопряда, синтез и высвобождение шелковой нити являются важным этапом процесса белкового обмена. Тутовый шелкопряд является продуцентом шелка, состоящего из белков, структурными элементами которых служат аминокислоты. Около 90% фиброина шелка составляют четыре аминокислоты — глицин, аланин, серин и тирозин, значительное накопление которых происходит в период активного развития шелкоотделительной железы в 5-м возрасте гусениц (Shivkumar et al. 2020; Bekkamov et al. 2023).

Несмотря на то, что в настоящее время искусственный рацион для выкармливания гусениц тутового шелкопряда находит широкое использование, низкий выход шелка остается проблемой, ограничивающей промышленное применение. На потребление и усвоение искусственного корма гусеницами тутового шелкопряда оказывают влияние: породные особенности (ге-

нотип), период развития гусениц тутового шелкопряда, вкусовые качества, консистенция, кислотность, влажность, процесс приготовления, условия хранения (Song et al. 2021; Hăbeanu et al. 2024).

Аминокислоты являются важными органическими соединениями для каждого живого организма, тутовый шелкопряд как продуцент белка нуждается в аминокислотах как структурных элементах на всех этапах выращивания, поэтому за рубежом исследования направлены на изучение влияния отдельных аминокислот на продуктивность тутового шелководства и разработку более питательных искусственных рационов, обогащенных синтетическими аминокислотами, с целью достижения масштабирования производства шелка (Yin et al. 2023; Tatsuke, Tomita 2024).

В 1981 г. японские ученые Ито и Инокучи изучали влияние D- и L-форм тринадцати аминокислот на жизнеспособность гусениц тутового шелкопряда первых трех возрастов, выращиваемых на искусственном рационе. В результате проведенных исследований было отмечено, что D-форма аминокислот является токсичной для тутового шелкопряда (Ito, Inokuchi 1981).

В работе профессора Лаза из Бангладеша, проведенной в 2010 г., изучалось влияние таких аминокислот, как метионин и триптофан, на продуктивность тутового шелкопряда, выкармливаемого на листьях шелковицы. В результате было установлено, что аминокислоты метионин и триптофан способствовали снижению гибели гусениц, увеличению продолжительности гусеничного периода, значительному повышению плодовитости и оплодотворяемости бабочек (Laz 2010).

Учеными из Бразилии в 2014 г. был проведен опыт по изучению влияния на процесс образования коконов двух аминокислот (треонин и валин) путем их добавления к листьям шелковицы, скармливаемым гусеницам тутового шелкопряда, при этом оценивали шелковую продуктивность: качество коконов, структурные и механические свойства получаемого шелка. Ис-

следования показали, что при обработке листьев треолином увеличивалась масса кокона и предел прочности нити при растяжении (Nicodemo et al. 2014).

В работах, проведенных в период с 2018 по 2020 г., исследователями из Индии и Египта отмечено, что обработка листьев шелковицы растворами серина 0,25 % и глицина 0,5–1,0 % способствует увеличению массы тела гусеницы, массы кокона, повышению выхода шелка, при этом значительное увеличение длины шелковой нити выявлено при обработке глицином (Ramesh et al. 2018; Saad et al. 2019; Shivkumar et al. 2020).

В дальнейшем подобные исследования были продолжены группой ученых из Индии в 2021 г., проведена оценка влияния аминокислот глицина, аланина и серина на продуктивность гусениц тутового шелкопряда, выкармливаемых на листьях шелковицы. Отмечено, что все изучаемые концентрации исследуемых аминокислот положительно влияют на массу гусеницы, выход шелка и длину нити, а также значительно сокращают продолжительность 5-го возраста гусениц (Murugesh et al. 2021a; 2021b).

Наиболее интересными являются результаты исследований ученых из Китая, которые рассматривали важную роль аминокислот в регуляции выработки шелка у тутового шелкопряда, выращенного на искусственном рационе. Отмечено, что введение аминокислот глицина и треонина в искусственный рацион увеличивает урожай (выход) шелка, глицин повышает эффективность преобразования аминокислот в белки шелка и снижает уровень мочевины в гемолимфе гусениц тутового шелкопряда (Chen et al. 2022).

Приведенные выше исследования позволяют сделать определенные выводы, установить действие отдельных аминокислот на биологические и продуктивные показатели тутового шелкопряда, выращиваемого как на естественном, традиционном рационе — свежие листья шелковицы, так и на искусственном корме, а также выявить оптимальные, нетоксичные концентрации изученных аминокислот.

Вышеизложенное подчеркивает необходимость и актуальность исследований по применению комплекса аминокислот для корректировки состава по аминокислотному профилю разработанной нами искусственной питательной среды для круглогодичного выращивания тутового шелкопряда, а именно дополнительного введения аминокислот глицина, аланина, тирозина, серина и метионина с целью повышения шелковой продуктивности и улучшения репродуктивных показателей тутового шелкопряда.

Материал и методы

Объектом исследования являлась районированная в РФ желтухоустойчивая порода Кавказ-2, содержащаяся в биобанке породы тутового шелкопряда Научно-исследовательской станции шелководства — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (Ставропольский край, г. Железноводск, пос. Иноземцево).

Экспериментальные выкормки гусениц тутового шелкопряда с оценкой биологических, продуктивных и репродуктивных показателей проводили по методике А. А. Климовой (Klimova 1990).

За опытную и контрольную единицу (вариант опыта) принято по 0,15 г гусениц одного дня выхода из грены в трехкратной повторности. Контроль — выкормка на свежем листе шелковицы.

Опыт проведен на разработанной нами и запатентованной (патент РФ на изобретение № 2821318 от 20.06.2024 г.) искусственной питательной среде — условное обозначение ИПС №1, состав которой представлен в таблице 1.

С первого дня 5-го возраста гусениц были сформированы четыре дополнительные опытные группы, выкармливаемые на ИПС №1, в которую дополнительно были введены синтетические аминокислоты L-формы: глицин, аланин, серин, тирозин и метионин. Вводимые дозировки аминокислот представлены в таблице 2.

Таблица 1

Характеристика ИПС №1

Table 1

Composition and nutritional characteristics of IPS-1 artificial diet for silkworm rearing

Наименование компонентов Component / Nutrient	Содержание компонентов, % Content, %	
	Возраст гусениц Developmental stage	
	1–4-й from the 1 st to the 4 th instar	5-й 5 th instar
1	2	3
Порошок из листьев шелковицы Mulberry leaf powder	60	50
Кукурузная мука Corn flour	10,4	14,8
Мука пшеничная (цельнозерновая) Whole grain wheat flour	26,1	31,2
β-ситостерол β-sitosterol	0,3	0,45
Аскорбиновая кислота Ascorbic acid	2	2,2
Витамины группы В (смесь) ¹ B vitamin complex ¹	0,2	0,3
Пропионовая кислота Propionic acid	0,84	0,86
Сорбиновая кислота Sorbic acid	0,15	0,17
Антибиотик (флорфеникол) Florfenicol (antibiotic)	0,01	0,02
Всего Total	100	100
Химический состав и питательность в 100 г сухого вещества Chemical composition and nutritional value per 100 g of dry matter		
Сухое вещество, % Dry matter, %	92,5	94,3
Сырой протеин, % Crude protein, %	16,7	15,6
Сырой жир, % Crude fat, %	1,9	2,0
Сырая клетчатка, % Crude fiber, %	9,1	8,9
Сырая зола, % Crude ash, %	5,2	4,6
БЭВ ² , % NFE ² , %	59,6	63,2
Углеводы, % Carbohydrates, %	38,3	43,1
Глицин, % Glycine, %	0,89	0,82

Таблица 1. Окончание
Table 1. End

1	2	3
Аланин, % Alanine, %	0,81	0,88
Серин, % Serine, %	0,80	0,53
Тирозин, % Tyrosine, %	0,53	0,50
Метионин, % Methionine, %	0,2	0,31
Энергетическая ценность, ккал/ кДж Energy value, kcal/kJ	380,09/ 1590,31	370,31/ 1549,37
ЭКЕ ³ EFU ³	0,16	0,15

Примечания: ¹ Витамины группы В (г/100 г): В₁ — 0,43, В₂ — 0,47, В₃ — 2,31, В₄ — 46,48, В₅ — 3,49, В₆ — 0,70, В₇ — 0,05, В₈ — 46,00, В₉ — 0,07. ² Безазотистые экстрактивные вещества. ³ Энергетическая кормовая единица.

Note: 1 — B-vitamin complex composition (g/100g): В₁ — 0.43, В₂ — 0.47, В₃ — 2.31, В₄ — 46.48, В₅ — 3.49, В₆ — 0.70, В₇ — 0.05, В₈ — 46.00, В₉ — 0.07; 2 — nitrogen-free extractives; 3 — energy feed unit.

ИПС готовили следующим образом: сухие компоненты тщательно смешивали до однородной массы, растворяли в дистиллированной воде органические кислоты (аскорбиновая, пропионовая и сорбиновая кислоты), β-ситостерол, витамины группы В, синтетические аминокислоты (глицин, аланин, серин, тирозин, метионин) и антибиотик, сухие компоненты перемешивали до пастообразной консистенции с дистиллированной водой в соотношении 1 : 1,9 для гусениц 1–4-го возраста, 1 : 1,8 для гусениц 5-го возраста. Полученную массу подвергали термической обработке с использованием микроволн (режим: 800–900 Вт, 2,5 мин), горячую массу формовали, охлаждали до комнатной температуры, упаковывали в полиэтиленовую пленку и помещали в холодильную камеру при температуре 4 ± 0,5 °С. Готовая искусственная питательная среда представляет собой массу темно-зеленого цвета однородной плотной консистенции, которая сформована в брикеты массой 264 ± 5 г, влажность готовой ИПС — 65 ± 2 %. Нарезку ИПС для

кормления гусениц осуществляли в форме тонких пластин с использованием ручного кормоизмельчителя (рис. 1).

Кормление гусениц ИПС проводили 2 раза в сутки, утром и вечером, исключая периоды линьки. В период выкормки гусениц тутового шелкопряда на листе шелковицы корм задавался 3 раза в сутки, утром, в обед и вечером, в периоды линьки кормление прекращали.

Гусеницы тутового шелкопряда содержались в специальных лабораторных камерах для предотвращения высыхания корма с соблюдением необходимого гигротермического режима (табл. 3).

При проведении исследований учитывались следующие показатели:

1) биологические: динамика развития гусениц тутового шелкопряда, жизнеспособность гусениц;

2) продуктивные: средняя масса коконов, средняя масса оболочек коконов, шелконосность, урожай коконов;

3) репродуктивные: количество яиц в кладке, средняя масса одного яйца, масса кладки.

Таблица 2

Схема проведения опыта по выкормке гусениц тутового шелкопряда на искусственной питательной среде с применением аминокислот

Table 2

Experimental design for silkworm caterpillar feeding trials using amino acid-supplemented artificial diets

Группа Group	Дозировки синтетических аминокислот в ИПС в период 5-го возраста гусениц, % Amino acid supplementation during the 5 th instar, %				
	L-глицин L-glycine	L-аланин L-alanine	L-серин L-serine	L-тирозин L-tyrosine	L-метионин L-methionine
Контроль (лист шелковицы) Control (mulberry leaf)	—	—	—	—	—
ИПС №1 (без аминокислот) IPS-1 (no amino acids)	—	—	—	—	—
ИПС №1.1 IPS-1.1	0,3	0,5	0,6	0,8	0,1
ИПС №1.2 IPS-1.2	0,5	0,7	0,8	1,0	0,3
ИПС №1.3 IPS-1.3	0,7	0,9	1,0	1,2	0,5
ИПС №1.4 IPS-1.4	0,9	1,1	1,2	1,4	0,7

Жизнеспособность гусениц за каждый возраст (в %) вычисляли по формуле (1):

$$Ж_n = \frac{K_k}{K_n} \times 100 \quad (1)$$

где K_k — количество гусениц в начале последующего возраста, шт.; K_n — количество гусениц в начале возраста, шт.

Жизнеспособность гусениц за весь выкормочный период (в %) вычисляли по формуле (2):

$$Ж = \frac{Ж_1 \times Ж_2 \times Ж_3 \times Ж_4 \times Ж_5}{100\ 000\ 000}, \quad (2)$$

где $Ж_{1-5}$ — жизнеспособность за каждый возраст, %.

Процесс завивки коконов гусеницами тутового шелкопряда осуществлялся на естественных растительных коконниках с применением многолетнего растения кермек татарский (*Limonium tataricum*), при плотности размещения 1000 гусениц на 1 м² (рис. 2).

Оценку таких показателей, как средняя масса кокона, средняя масса шелковой оболочки, шелконосность и урожай коконов, проводили на 9-й день со дня массовой завивки. Взвешивали образцы коконов от каждой партии (контрольные и опытные группы) в количестве 50 шт.: 25 самцов и 25 самок.

Таблица 3

Гигротермический режим выкормки гусениц тутового шелкопряда

Table 3

Hygrothermal conditions for silkworm caterpillar rearing

Возраст гусениц Developmental stage	Температура, °C Temperature, °C	Относительная влажность воздуха, % Relative humidity, %
I \ 1 st instar	25–26	85–90
II \ 2 nd instar		
III \ 3 rd instar		
IV \ 4 th instar	23–24	80–85
V \ 5 th instar		



Рис. 1. Процесс приготовления и нарезка ИПС
Fig. 1. IPS-1 artificial diet cooking and cutting

Среднюю массу кокона рассчитывали по формуле (3):

$$\text{Ср. масса кокона, г} = \frac{\text{Масса коконов (г)}}{50} \quad (3)$$

Среднюю массу оболочки кокона определяли после взрезки и удаления куколки из кокона по формуле (4):

$$\text{Ср. масса оболочки кокона, г} = \frac{\text{Масса коконов (г) без куколки}}{50} \quad (4)$$

Шелконосность рассчитывали по формуле (5):

$$\text{Шелконосность, \%} = \frac{\text{Ср. масса оболочки кокона (г)}}{\text{Ср. масса кокона (г)}} \times 100 \quad (5)$$

Урожай коконов с 1 г гусениц (в кг) определяли расчетным путем по формуле (6):

$$\text{Урожай коконов, кг} = \frac{\text{Ср. масса кокона (г)} \times (\text{Ог} \times \text{Ж})}{100\,000} \quad (6)$$

где Ог — количество вышедших гусениц в 1 г, шт.; Ж — жизнеспособность за весь выкормочный период, %.

После спаривания бабочек в каждой группе бабочек-самок отсаживали в специальные мешочки для откладки яиц, изготовленные из эмульсированной пергаментной бумаги (рис. 3).

Определение репродуктивных показателей проводили на грене первого дня откладки ее бабочкой. Количество яиц в кладке подсчитывали, затем взвешивали для определения средней массы одного яйца по формуле (7):

$$\text{Ср. масса одного яйца, мг} = \frac{\text{Масса кладки (мг)}}{\text{Количество яиц в кладке}} \quad (7)$$

Массу кладки определяли по формуле (8):

$$\text{Масса кладки, мг} = \text{Ср. масса одного яйца (мг)} \times \text{Количество яиц в кладке (шт.)} \quad (8)$$

Биометрическую обработку и анализ статистических данных проводили путем вычисления ошибки среднего ($\pm m$) и расчета критерия Стьюдента для трех уров-



Рис. 2. Завивка коконов
Fig. 2. Cocoon formation

ней достоверности при $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$, $P \leq 0,001$ с использованием программы Stat-Plus 7.1.

Результаты и обсуждение

В ходе проведения экспериментальных выкормок на разработанных нами ИПС, в сравнении с традиционной выкормкой на листе шелковицы, оценивали динамику развития гусениц тутового шелкопряда породы Кавказ-2 по продолжительности каждого возраста гусениц и всего выкормочного периода (табл. 4, рис. 4).

Продолжительность выкормки гусениц является одним из основных показателей, имеющих важное хозяйственно-практическое значение. Развитие гусениц тутового шелкопряда породы Кавказ-2 с 1-го по 4-й

возраст в опытных группах и контроле не отличалось. В 5-м возрасте гусениц при одних и тех же гигротермических условиях выкормки на различных по составу ИПС нами получены следующие результаты: наблюдается отставание от одних до девяти суток в зависимости от рецептуры ИПС; наиболее продолжительный выкормочный период отмечен при выкормке гусениц 5-го возраста на ИПС №1.4, самый короткий — на ИПС №1.2. Наибольшее отставание (9 суток) по продолжительности выкормки 5-го возраста в сравнении с контролем и выкормочный период 40 суток отмечены на ИПС №1.4, содержащей 0,9 % L-глицина, 1,1 % L-аланина, 1,2 % L-серина, 1,4 % L-тирозина и 0,7 % L-метионина. Наиболее короткий выкормочный период составил



Рис. 3. Спаривание и откладка яиц бабочками тутового шелкопряда
Fig. 3. Reproductive behavior of *B. mori* adults: mating pairs and oviposition

Таблица 4
Динамика развития гусениц тутового шелкопряда породы Кавказ-2

Table 4
Developmental timeline of Kavkaz-2 silkworm caterpillars under different feeding regimens

Группа Group	Продолжительность развития, сутки Developmental duration (days)					Выкормочный период, сутки Total feeding, days
	Возраст гусениц* Instar*:					
	1-й 1 st instar	2-й 2 nd instar	3-й 3 rd instar	4-й 4 th instar	5-й 5 th instar	
Контроль (лист шелковицы) Control (mulberry leaf)	5	4	5	6	11	31
ИПС №1 (без аминокислот) IPS-1 (no amino acids)	5	4	5	6	18	38
ИПС №1.1 \ IPS-1.1	5	4	5	6	12	32
ИПС №1.2 \ IPS-1.2	5	4	5	6	9	29
ИПС №1.3 \ IPS-1.3	5	4	5	6	16	36
ИПС №1.4 \ IPS-1.4	5	4	5	6	20	40

Примечание: *с учетом периода линьки.

Note: * — developmental durations include molting periods between instars

29 суток на ИПС №1.2 с добавлением 0,5 % L-глицина, 0,7 % L-аланина, 0,8 % L-серина, 1,0 % L-тирозина и 0,3 % L-метионина.

Жизнеспособность гусениц имеет большое значение для получения высокого урожая коконов и в значительной степени зависит от кормовых качеств и питательной ценности корма (в том числе листа шелковицы), от адаптационной способности гусениц к искусственной питательной среде, условий кормления и содержания. Данные по жизнеспособности гусениц по возрастам и за весь выкормочный период представлены в таблице 5.

Анализ данных по жизнеспособности (табл. 5) позволяет отметить следующее: в 1-м возрасте выживаемость гусениц в опытных группах (выкормка на ИПС) относительно контроля (выкормка на листе шелковицы) была ниже в среднем на 9,0 %; во 2-м возрасте — на 5,5 %; в 3-м — на 5,2 %; в 4-м — на 5,6 %. Аналогичные результаты получены в опытных вариантах в 5-м возрасте гусениц тутового шелкопряда: жизнеспособность их на ИПС №1 была ниже по сравнению с контролем на 9,6 %; на ИПС №1.1 — на 4,5 %; на ИПС №1.3 — на 28,5 %; на

ИПС №1.4 — на 81,5 %. Исключением стала выкормка гусениц на ИПС №1.2: жизнеспособность гусениц 5-го возраста составила 99,6 %, существенных различий по сравнению с выкормкой на листе шелковицы не выявлено. По выкормке на других составах ИПС отмечено превышение значения показателя жизнеспособности на 9,5 %, 4,4 %, 28,1 % и 81,4 % (наибольшее значение) по сравнению с выкормкой на ИПС №1, ИПС №1.1, ИПС № 1.3 и ИПС №1.4 соответственно. В период выкормки гусениц 5-го возраста зафиксирована низкая жизнеспособность в варианте на ИПС №1.4, содержащей L-глицина 0,9 %, L-аланина 1,1 %, L-серина 1,2 %, L-тирозина 1,4 % и L-метионина 0,7 %, что предположительно связано с токсичностью введенных дозировок аминокислот для гусениц тутового шелкопряда. Суммарная жизнеспособность за весь выкормочный период составила: контроль — 97,6 %; ИПС №1 — 70,9 %; ИПС №1.1 — 74,8 %; ИПС №1.2 — 78,6 % (наилучший результат); ИПС №1.3 — 55,7 %; ИПС №1.4 — 14,4 % (самое низкое значение).

При проведении исследований на искусственных питательных средах выявля-



Рис 4. Процесс выкормки гусениц на листе шелковицы и искусственной питательной среде

Fig. 4. Feeding caterpillars on mulberry leaves and artificial diet

но, что ИПС №1.4 оказывает наибольшее негативное влияние на выживаемость гусениц тутового шелкопряда, что привело к невозможности получения необходимого количества живых коконов и, как следствие, статистически достоверных данных. Проведение дальнейших исследований с ИПС №1.4 признано нецелесообразным. Поэтому далее приведены данные по продуктивным и репродуктивным показателям, полученным на искусственных питательных средах, за исключением ИПС №1.4 (табл. 6 и 7).

Реакцию тутового шелкопряда на пищевой фактор (выкормка на искусственной питательной среде) оценивали по шелковой продуктивности породы Кавказ-2. Учитывая, что объем синтезируемого шелка в шелкоотделительной железе напрямую коррелирует с качеством и количеством поступающих питательных веществ, а также их усвояемостью, в наших исследованиях уделено значительное внимание изучению изменений массы кокона, массы оболочки кокона, шелконосности, а также урожая коконов (табл. 6).

По данным таблицы 6 видно, что у породы Кавказ-2 показатели средней массы

кокона, средней массы оболочки кокона, шелконосности в опытной группе на ИПС №1.2 выше по сравнению с контролем на 4,2 %, на 9,2 %, на 5,0 % соответственно. Эти результаты свидетельствуют о позитивном влиянии комплекса аминокислот: 0,5 % L-глицина, 0,7 % L-аланина, 0,8 % L-серина, 1,1 % L-тирозина, 0,3 % L-метионина, содержащегося в ИПС №1.2, на шелковую продуктивность тутового шелкопряда (рис. 5).

Средняя масса кокона, полученная при выкормке на ИПС №1 (без введения аминокислот), составила 1,56 г, что ниже значений, полученных на искусственных питательных средах, содержащих аминокислоты: по сравнению с ИПС №1.1 — на 16,1 %, ИПС №1.2 — на 21,2 %, ИПС №1.3 — на 13,3 %, а также контролем — на 17,9 %.

Средняя масса кокона при кормлении ИПС №1.3 ниже на 9,1 %, чем на ИПС №1.2, при этом шелконосность коконов отличалась незначительно, что доказывает оптимальное соотношение аминокислот в ИПС №1.2. Это является подтверждением того, что дальнейшее увеличение дозировок аминокислот приводит к снижению про-

Таблица 5

Жизнеспособность гусениц тутового шелкопряда породы Кавказ-2

Table 5

Viability of Kavkaz-2 silkworm caterpillars under different feeding regimens

Группа Group	Жизнеспособность, % \ Viability, %					За весь выкормочный период Total feeding period viability
	Возраст гусениц \ Developmental stage					
	1-й 1 st instar	2-й 2 nd instar	3-й 3 rd instar	4-й 4 th instar	5-й 5 th instar	
Контроль (лист шелковицы) Control (mulberry leaf)	99,2±0,61	99,5±0,98	99,4±1,13	99,8±1,87	99,7±2,34	97,6±2,19
ИПС №1 (без аминокислот) IPS-1 (no amino acids)	90,3±1,36***	98,7±0,72	94,1±0,81*	93,9±1,43	90,1±1,28*	70,9±1,86***
ИПС №1.1 IPS-1.1	90,5±1,28	98,2±1,06	93,9±0,92*	94,2±1,62	95,2±0,98	74,8±1,93***
ИПС №1.2 IPS-1.2	90,1±1,14***	98,9±1,54	94,3±1,22*	94,4±1,86	99,6±2,01	78,6±2,28***
ИПС №1.3 IPS-1.3	90,0±0,83***	98,2±1,03	94,2±0,96*	93,8±1,49	71,2±1,95***	55,7±1,95***
ИПС №1.4 IPS-1.4	90,2±0,97***	98,0±0,67	94,5±1,42*	94,4±1,67	18,2±2,09***	14,4±2,32***

Примечание: разность показателей достоверна при *P ≤ 0,05; **P ≤ 0,01; ***P ≤ 0,001.
Note: The difference in indicators is significant at *P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01; ***P ≤ 0.001.

дуктивных показателей тутового шелкопряда либо может оказаться токсичным.

Урожай коконов, напрямую зависящий от жизнеспособности и массы кокона тутового шелкопряда, имеет важное экономическое значение, так как характеризует объемы производства коконов, рентабельность шелководства.

Как видно из таблицы 6, относительно невысокий урожай коконов с 1 г гусениц (3,424 кг) при выкормке на ИПС №1.2, по сравнению с контролем (4,079 кг), оказался выше в сравнении с результатами, полученными при выкормке на ИПС №1, ИПС №1.1, ИПС №1.3, на 28,9 %, 10,6 %, 35,6 % соответственно.

Применение различных дозировок синтетических аминокислот в составе искусственной питательной среды оказало влияние и на репродуктивные показатели тутового шелкопряда (табл. 7).

Наилучшие результаты по репродуктивным показателям отмечены при выкормке на ИПС №1.2: увеличились ко-

личество яиц в кладке на 5,5 %, средняя масса одного яйца на 1,4 %, масса одной кладки на 5,4 % в сравнении с контролем. Полученные результаты указывают на положительное влияние подобранного сочетания и дозировок аминокислот, в частности серосодержащей аминокислоты метионина, которая в наибольшей степени влияет на репродуктивные качества бабочек тутового шелкопряда (Laz 2010). Содержание L-метионина в ИПС №1.2 (0,3 %) можно считать оптимальным, что подтверждают результаты наших опытов.

В имеющихся в открытом доступе опубликованных источниках практически отсутствуют сведения о применении аминокислот при выращивании тутового шелкопряда на искусственном рационе.

Наиболее близким по направлению исследований к осуществленной нами экспериментальной работе является опыт научного коллектива из Китая по применению различных аминокислот в составе

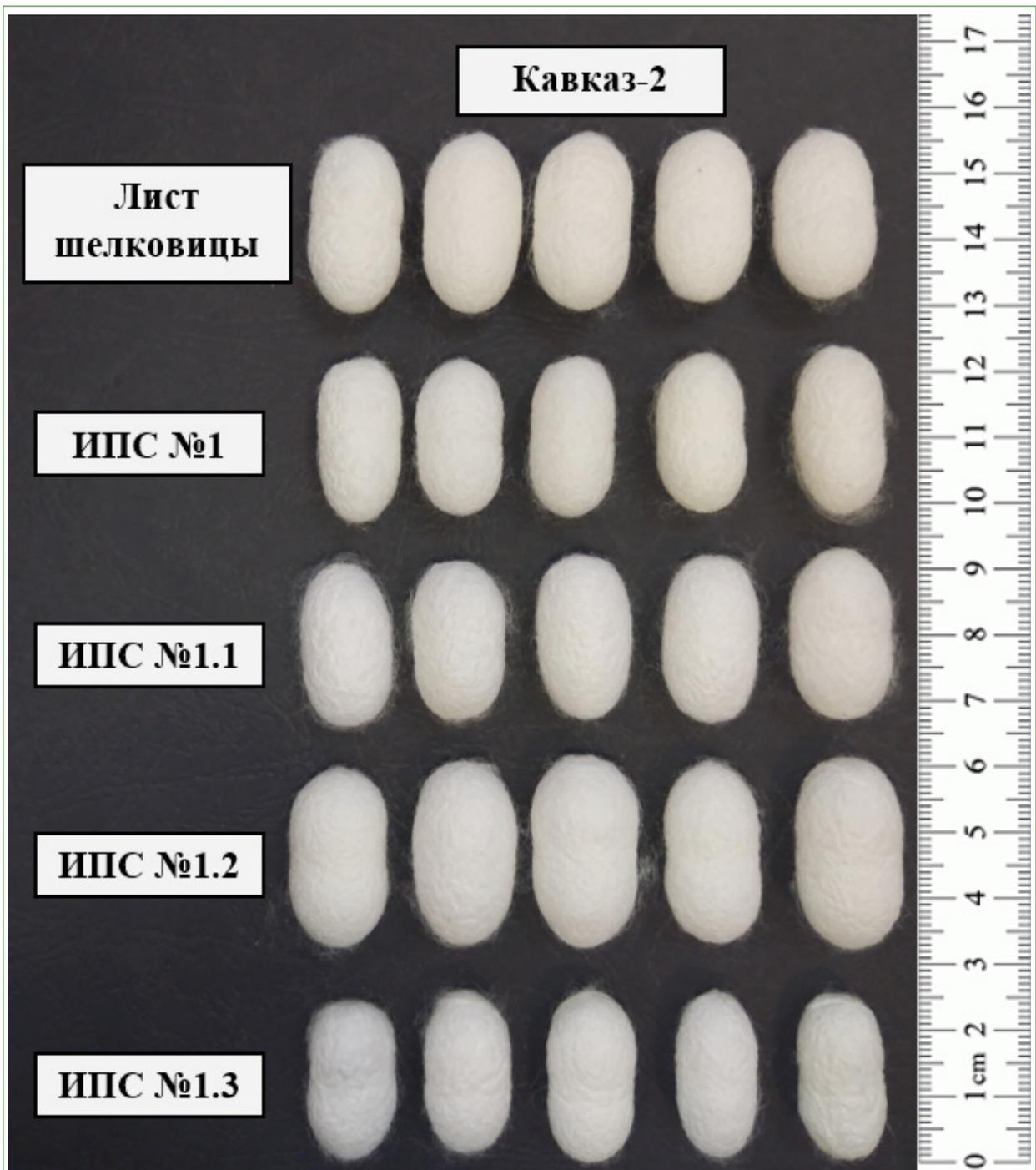


Рис. 5. Внешний вид и размер коконов тутового шелкопряда породы Кавказ-2 на листе шелковицы и искусственной питательной среде

Fig. 5. Comparative morphology of Kavkaz-2 silkworm cocoons reared on a mulberry leaf diet and IPS-1 artificial diet

искусственной питательной среды и изучению их влияния на увеличение массы кокона, массы оболочки кокона и шелконосности. Китайские исследователи использовали в эксперименте ИПС, которая имела следующий состав: 35 % порошка из листьев шелковицы, 35 % порошка соевых бобов, 15 % порошка из зеленых веточек

шелковицы, 9,4 % крахмала, 1,5 % витамина С, 1,5 % комплекса витаминов группы В, 2 % лимонной кислоты, 0,4 % кротонной кислоты и 0,2 % хлорид холина. Компоненты ИПС смешивались с дистиллированной водой в соотношении 1 : 1,9 и стерилизовались при 100 °С в течение 60 минут, затем охлаждались, помещались

Таблица 6

Продуктивные показатели тутового шелкопряда породы Кавказ-2

Table 6

Productivity parameters of Kavkaz-2 silkworm caterpillars under different feeding regimens

Группа Group	Средняя масса кокона, г Cocoon weight, g	Средняя масса оболочки кокона, мг Cocoon shell weight, mg	Шелконосность, % Silk yield, %	Урожай коконов с 1 г гусениц, кг Cocoon yield (kg/g caterpillars)
Контроль (лист шелковицы) Control (mulberry leaf)	1,90±0,025	381±9,12	20,0±0,15	4,079±0,095
ИПС №1 (без аминокислот) IPS-1 (no amino acids)	1,56±0,022**	274±8,31*	15,6±0,23**	2,433±0,112***
ИПС №1.1 IPS-1.1	1,86±0,021	380±10,18	20,4±0,32	3,060±0,092***
ИПС №1.2 IPS-1.2	1,98±0,015*	416±8,16*	21,0±0,28*	3,424±0,120*
ИПС №1.3 IPS-1.3	1,80±0,014	376±10,52	20,9±0,36	2,205±0,102***

Примечание: разность показателей достоверна при *P ≤ 0,05; **P ≤ 0,01; ***P ≤ 0,001.
Note: The difference in indicators is significant at *P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01; ***P ≤ 0.001.

в герметичные пакеты и хранились при температуре 4 °С. Выкормка гусениц тутового шелкопряда проводилась при температуре 25–27 °С в условиях 12-часового освещения в течение всего выкормочного периода. Для проверки роли аминокислот в регуляции синтеза шелка в ИПС добавляли различные концентрации глицина, треонина, аланина, тирозина, валина, фенилаланина, изолейцина и лейцина в период 5-го возраста гусениц тутового шелкопряда.

В результате было установлено, что добавление 1,4 % глицина в ИПС являлось эффективным и способствовало увеличению массы оболочки кокона на 8,53 % (407 мг), шелконосности на 2,36 % (21,67 %), но приводило к снижению массы кокона с 1,94 г на листе шелковицы до 1,87 г на ИПС. Введение в ИПС 0,6 % треонина увеличивало массу оболочки кокона на 6,66 % (400 мг), шелконосность на 1,11 % (20,42 %), массу кокона на 2,47 % (1,98 г). Добавление различных дозировок аминокислот (аланин,

тирозин, валин, фенилаланин, изолейцин, лейцин) не приводило к увеличению рассматриваемых показателей шелковой продуктивности.

Приведенные результаты исследований сопоставимы с нашими экспериментальными данными по шелковой продуктивности тутового шелкопряда: введение оптимальных дозировок аминокислот — 0,5 % L-глицина, 0,7 % L-аланина, 0,8 % L-серина, 1,1 % L-тирозина, 0,3 % L-метионина — способствовало увеличению массы кокона на 4,2 %. В работе китайских исследователей, в отличие от проведенной нами, не рассматривались биологические и репродуктивные показатели тутового шелкопряда, не учитывался такой важный показатель, как урожай коконов.

Выводы

На основании экспериментальных выкормок гусениц тутового шелкопряда породы Кавказ-2, проведенных на разработан-

Таблица 7
Репродуктивные показатели бабочек тутового шелкопряда породы Кавказ-2

Table 7
Reproductive parameters of Kavkaz-2 silkworm adults under different larval feeding regimens

Группа Group	Средняя масса одного яйца, мг Egg weight, mg	Количество яиц в кладке, шт. Clutch size (eggs)	Масса одной кладки яиц, мг Total clutch weight, mg
Контроль (лист шелковицы) Control (mulberry leaf)	0,647±0,001	745,6±9,12	489,1±3,6
ИПС №1 (без аминокислот) IPS-1 (no amino acids)	0,624±0,002*	431,3±9,16***	268,9±10,5***
ИПС №1.1 IPS-1.1	0,640±0,004*	628,5±7,68***	402,2±9,8**
ИПС №1.2 IPS-1.2	0,656±0,007*	786,3±6,41*	515,6±2,4**
ИПС №1.3 IPS-1.3	0,628±0,004*	492,1±5,09***	309,0±8,8***

Примечание: разность показателей достоверна при *P ≤ 0,05; **P ≤ 0,01; ***P ≤ 0,001.
Note: The difference in indicators is significant at *P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01; ***P ≤ 0.001.

ной и запатентованной нами искусственной питательной среде и модификациях состава посредством введения различных дозировок аминокислот, а также по результатам полученных биологических, продуктивных и репродуктивных показателей можно сделать следующие выводы:

1. Введение синтетических аминокислот (L-глицина, L-аланина, L-серина, L-тирозина и L-метионина) в искусственный рацион тутового шелкопряда позволяет сократить продолжительность выкармливания гусениц за счет сокращения периода 5-го возраста, который является самым продолжительным, требующим наибольшего количества корма и трудозатратным, повысить жизнеспособность гусениц в 5-м возрасте, способствует увеличению массы кокона, оболочки кокона и шелконосности.

2. Применение серосодержащей аминокислоты метионина в составе искусственных питательных сред позволяет улучшить репродуктивные показатели тутового шелкопряда, при этом оптимальная дозировка L-метионина составляет 0,3 %.

3. Отмеченные изменения жизнеспособности по возрастам гусениц породы Кавказ-2 на искусственном рационе, а также взаимосвязь между суммарной жизнеспособностью в период выкармливания и урожаем коконов являются новым ориентиром в разработке искусственных рационов. Возникает необходимость проведения дополнительных исследований по изучению применения аминокислот в период с 1-го по 4-й возраст гусениц с целью повышения их жизнеспособности и, как следствие, урожая коконов.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00247, <https://rscf.ru/project/23-26-00247/>.

Funding

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 23-26-00247, <https://rscf.ru/project/23-26-00247/>.

References

- Altman, G. H., Farrell, B. D. (2022) Sericulture as a sustainable agroindustry. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, vol. 2, article 100011. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100011> (In English)
- Bekkamov, Ch. I., Turg'unboeva, N. A., Allanazarova, G. A. et al. (2023) The effect of the amount of basic amino acids contained in the silk liquid synthesized in the silk gland of the mulberry silkworm on the properties of silk fiber. *European Journal of Interdisciplinary Research and Development*, vol. 13, pp. 41–47. (In English)
- Borthakur, I., Kaushik, A. (2022) Seri-Biotech: A step towards the future. In: M. Hazarika, N. Borah (eds.). *Current Research and Innovation in Entomology. Vol. 1*. Kota: Vital Biotech Publ., pp. 185–198. (In English)
- Chen, X., Ye, A., Wu, X. et al. (2022) Combined analysis of silk synthesis and hemolymph amino acid metabolism reveal key roles for glycine in increasing silkworm silk yields. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 209, pp. 1760–1770. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.143> (In English)
- Gautam, M. P., Singh, D. K., Singh, S. N. (2022) A review on silkworm (*Bombyx mori* Linn.) an economic important insect. *Biological Forum — An International Journal*, vol. 14, no. 4a, pp. 482–491. (In English)
- Giora, D., Marchetti, G., Cappellozza, S. et al. (2022) Bibliometric analysis of trends in mulberry and silkworm research on the production of silk and its by-products. *Insects*, vol. 13, no. 7, article 568. <https://doi.org/10.3390/insects13070568> (In English)
- Gupta, S. K., Dubey, R. K. (2021) Environmental factors and rearing techniques affecting the rearing of silkworm and cocoon production of *Bombyx mori* Linn. *Acta Entomology and Zoology*, vol. 2, no. 2, pp. 62–67. <https://doi.org/10.33545/27080013.2021.v2.i2a.46> (In English)
- Hăbeanu, M., Gheorghe, A., Dinita, G., Mihalcea, T. (2024) An in-depth insight into the profile, mechanisms, functions, and transfer of essential amino acids from mulberry leaves to silkworm *Bombyx mori* L. pupae and fish. *Insects*, vol. 15, no. 5, article 332. <https://doi.org/10.3390/insects15050332> (In English)
- Ito, T., Inokuchi, T. (1981) Nutritive effects of d-amino acids on the Silkworm, *Bombyx mori*. *Journal of Insect Physiology*, vol. 27, no. 7, pp. 447–453. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(81\)90095-0](https://doi.org/10.1016/0022-1910(81)90095-0) (In English)
- Jaiswal, K. K., Banerjee, I., Mayookha, V. P. (2021) Recent trends in the development and diversification of sericulture natural products for innovative and sustainable applications. *Bioresource Technology Reports*, vol. 13, article 100614. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100614> (In English)
- Kishore, S. M., Sowmya, K., Krishnaveni, A. et al. (2024) Revolutionizing sericulture: New trends in biotechnological applications and by-product utilization. *Journal of Scientific Research and Reports*, vol. 30, no. 9, pp. 397–410. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i92363> (In English)
- Klimova, A. A. (1990) *Metodika provedeniya eksperimental'nykh vykormok tutovogo shelkopryada. Metodicheskie rekomendatsii po shelkovodstvu [The method of conducting experimental silkworm breeding. Methodological recommendations on sericulture]*. Inozemtsevo: Rosshelkstantsiya Publ., 17 p. (In Russian)
- Laz, R. (2010) Effects of methionine and tryptophan on some quantitative traits of silkworm, *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae). *University Journal of Zoology, Rajshahi University*, vol. 28, pp. 15–19. <https://doi.org/10.3329/ujzru.v28i0.5280> (In English)
- Muruges, K. A., Aruna, R., Chozhan, K. (2021a) Influence of amino acids on the economic characters of silkworm, *Bombyx mori* L. *Madras Agricultural Journal*, vol. 108, no. 7-9, pp. 376–382. <https://doi.org/10.29321/MAJ.10.000516> (In English)
- Muruges, K. A., Chozhan, K., Aruna, R. (2021b) Enhancement of larval and cocoon traits of silkworm, *Bombyx mori* L. through the application of amino acids. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, vol. 9, no. 1, pp. 2198–2203. (In English)
- Nicodemo, D., Oliveira, J. E., Sedano, A. A. (2014) Impact of different silkworm dietary supplements on its silk performance. *Journal of Materials Science*, vol. 49, no. 18, pp. 6302–6310. <https://doi.org/10.1007/s10853-014-8355-4> (In English)
- Ramesh, V., Pushparaj, K., Ganesh, P. P., Rajasekar, P. (2018) Nutritional supplementation of amino acid l-serine on silkworm *Bombyx mori* (L.) larvae in relation to growth rate and silk production. *Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Sciences*, vol. 4, no. 5, pp. 301–312. <https://doi.org/10.26479/2018.0405.24> (In English)
- Saad, M. S. I., Helaly, W. M. M., El-Sheikh, A. E.-S. (2019) Biological and physiological effects of pyriproxyfen insecticide and amino acid glycine on silkworm, *Bombyx mori* L. *Bulletin of the National Research Centre*, vol. 43, no. 1, article 145. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0181-z> (In English)

- Saha, S., Kumar, P., Raj, S. et al. (2022) Sericulture: Management and practices of mulberry silkworm. *International Journal of Pharmaceutical Research and Applications*, vol. 7, no. 2, pp. 35–46. (In English)
- Shivkumar, Kumar, N. B., Ravindra, M. A. et al. (2020) Supplement of amino acids on mulberry leaf influence the cocoon yield and silk production in the temperate region of Jammu & Kashmir. *Research Journal of Agricultural Sciences*, vol. 11, no. 1, pp. 87–91. (In English)
- Song, W. T., Zhu, F. F., Chen, K.-P. (2021) The molecular mechanisms and factors affecting the feeding habits of silkworm (Lepidoptera: Bombyxidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, vol. 24, no. 4, pp. 955–962. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2021.08.010> (In English)
- Tajamul, I., Shabir, A. B., Firdous, A. M. et al. (2023) Feeding of different mulberry varieties and its impact on silk gland of silkworm, *Bombyx mori* L. *Biological Forum – An International Journal*, vol. 15, no. 1, pp. 488–492. (In English)
- Tatsuke, T., Tomita, S. (2024) Differential expression of fibroin-related genes in middle silk glands is induced by dietary differences in a strain-dependent manner in *Bombyx mori*. *Journal of Insect Physiology*, vol. 158, article 104695. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2024.104695> (In English)
- Yin, X., Zhang, Y., Yu, D. et al. (2023) Effects of artificial diet rearing during all instars on silk secretion and gene transcription in *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae). *Journal of Economic Entomology*, vol. 116, no. 4, pp. 1379–1390. <https://doi.org/10.1093/jee/toad102> (In English)

Для цитирования: Евлагин, В. Г., Евлагина, Е. Г., Лейнвебер, Е. Ф., Юматов, Е. Н., Газарян, Ю. А. (2025) Продуктивность тутового шелкопряда породы Кавказ-2 на искусственной питательной среде ИПС №1 с применением синтетических аминокислот. *Амурский зоологический журнал*, т. XVII, № 1, с. 146–162. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2025-17-1-146-162>

Получена 2 ноября 2024; прошла рецензирование 22 января 2025; принята 28 февраля 2025.

For citation: Evlagin, V. G., Evlagina, E. G., Leinweber, E. F., Yumatov, E. N., Gazaryan, U. A. (2025) Productivity of Kavkaz-2 silkworm strain on artificial diet IPS-1 with synthetic amino acid supplementation. *Amurian Zoological Journal*, vol. XVII, no. 1, pp. 146–162. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2025-17-1-146-162>

Received 2 November 2024; reviewed 22 January 2025; accepted 28 February 2025.