

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

УДК: 595.79:591.54:59.08.184.1

DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-111-116

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
НА РАЗВИТИЕ И ПЛОДОВИТОСТЬ *HABROBRACON HEBETOR*

О.Н. Теличко, ведущий научный сотрудник отдела биологического метода защиты растений, olgatelichcko@yandex.ru, 8(924) 26-28-990, ORCID ID: 0000-0001-7948-4949;

О.В. Сырмолот, научный сотрудник отдела биологического метода защиты растений, oksanaszr@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-8318-1382;

Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки; Дальневосточный научно-исследовательский институт защиты растений – филиал Федерального научного центра агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки (ДВНИИЗР – филиал ФГБНУ «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки»);
692684, Приморский край, Ханкайский район, с. Камень-Рыболов, ул. Мира, д. 42а; e-mail: dalniizr@mail.ru

В настоящее время перспективным направлением в защите сельскохозяйственных культур является биологический метод, который базируется на применении экологически безопасных средств. Особое место в этом отношении занимают энтомофаги. В статье приведены данные по разведению и размножению в лабораторных условиях эктопаразита *Habrobracon hebetor* (Say, 1836), которого применяют для борьбы с чешуекрылыми вредителями на различных сельскохозяйственных культурах. Цель работы – исследовать в лабораторных условиях влияние абиотических факторов среды на плодовитость и развитие *H. hebetor*. Опыт заложен согласно методическим рекомендациям по технологии разведения и применения эктопаразита габробракона. Проведённые исследования позволили выявить оптимальные лабораторные условия для содержания энтомофага. Выявлено, что максимальная продолжительность жизни (16,8 сут.) самки наблюдается при температуре воздуха 26–28 °С (фотопериод 16 ч.). Так же при повышении температуры снижается преимагинальный период дочерних особей габробракона до 11,4–13,6 сут. Установлено, что оптимальными условиями для откладки яиц являются t=23–25 °С и фотопериод 16 ч. Повышение температуры воздуха до 26–28 °С положительно влияет на количество выживших личинок (91,5 %). Лучшими условиями для формирования куколок является температура 23–25 °С с фотопериодом 16 ч.

Ключевые слова: *Habrobracon hebetor* Say, температура, плодовитость, потомство, выживаемость, гибель.

Для цитирования: Теличко О.Н., Сырмолот О.В. Влияние абиотических факторов среды на развитие и плодовитость *Habrobracon hebetor* // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18, №3. С. 111-116. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-111-116.

THE INFLUENCE OF ABIOTIC ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE
DEVELOPMENT AND FERTILITY OF *HABROBRACON HEBETOR*

O.N. Telichko, leading researcher of the department of biological method of plant protection, olgatelichcko@yandex.ru, 8(924) 26-28-990, ORCID ID: 0000-0001-7948-4949;

O.V. Syrmolot, researcher of the department of biological method of plant protection, oksanaszr@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-8318-1382;

FSBSI "Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki; Far East Research Institute of Plant Protection – branch of the FSBSI "Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki (FERIPP – branch of the FSBSI of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki);
692684, Primorsky Krai, Khankaisky district, v. of Kamen-Rybolov, Mir str., 42A; e-mail: dalniizr@mail.ru

Biological methods based on the use of environmentally friendly agents are currently considered to be a promising approach to crop protection. Entomophagous insects are on a special place in this regard. The current paper has presented the data on the laboratory breeding and propagation of the ectoparasite *Habrobracon hebetor* (Say, 1836), which is used to control lepidopteran pests on various agricultural crops. The purpose of the current work was to study the influence of abiotic environmental factors on the fertility and development of *H. hebetor* in laboratory conditions. The trial was conducted in accordance with the recommendations for the cultivation and use of the ectoparasite *Habrobracon*. The conducted research has allowed identifying optimal laboratory conditions for maintaining entomophagous insects. There has been found that the maximum lifespan of a female (16.8 days) is at an air temperature of 26–28 °C (a 16-hour photoperiod). Also,

when the temperature increases, the premature phases of *Habrobracon* larvae decrease to 11.4–13.6 days. There has been established that the optimal conditions for oviposition are the temperature of 23–25°C and a 16-hour photoperiod. The air temperature increase to 26–28°C positively affects the survival rate of larvae (91.5%). The best conditions for pupal formation are 23–25°C and a 16-hour photoperiod.

Keywords: *Habrobracon hebetor* Say, temperature, fertility, offspring, survival, death.

Введение. Сегодня современные методы борьбы с вредными организмами в посевах сельскохозяйственных культур основаны преимущественно на использовании химических пестицидов (Бойко и др., 2021), которые ухудшают экологию. Их применение способствует накоплению в почве и растениях токсичных веществ. Поэтому, возникла потребность в поиске альтернативных путей защиты растений, которые обеспечат эффективный контроль вредных организмов, сводя при этом к минимуму негативные последствия для здоровья человека и окружающей среды. Наиболее перспективным в этом отношении является биологический метод защиты растений. Наиболее активным внедрением экологически безопасных средств защиты выделяются южные регионы нашей страны (Сидоров и др., 2024).

Одним из биологических мер борьбы с вредителями является применение энтомофагов (Agasyeva, 2021; Abedi et al., 2021). Это альтернативный и экологически безопасный способ борьбы с фитофагами. Они являются важнейшими агентами биологического метода и интегрированной защиты растений. Для борьбы с гусеницами чешуекрылых вредителей (мельничная огнёвка, кукурузный мотылек, восковая моль и др.) применяют эктопаразита габробракона *Habrobracon hebetor* (Say, 1836) (Исмаилов и др., 2020; Чучунов и др., 2023). Габробракон – это паразитическая оса длиной около 2-3 мм, весом менее 1 мг.

Для массового разведения эктопаразита необходимо знать оптимальные условия для их содержания в лабораториях. Обширная работа по этому вопросу проведена в ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений». Огромное влияние на развитие и репродуктивную способность *H. hebetor* оказывают температура и влажность воздуха, фотопериод (Богатырев и Агасьева, 2019; Ou et al., 2023; Huang et al., 2024; Mbata et al., 2021). Исследованиями выявлено, что оптимальными условиями для их развития являются температура +25–29 °C с относительной влажностью воздуха 75–90 %.

В связи с увеличением спроса к биоагентам возник интерес для проведения аналогичной работы в условиях

юга Дальнего Востока. Поэтому целью нашей работы являлось исследование в лабораторных условиях влияния абиотических факторов окружающей среды на плодовитость и развитие эктопаразита *H. hebetor* для выявления оптимальных условий разведения энтомофага.

Материалы и методы исследований. Лабораторный опыт по изучению внешних факторов на развитие *H. hebetor* был проведен в 2024–2025 гг. на базе отдела биометода Дальневосточного научно-исследовательского института защиты растений.

Условия проведения опыта: вариант 1 – температура – 20–22 °C, влажность – 35–50 %, фотопериод – 12 ч. (без дополнительного освещения); вариант 2 – температура – 23–25 °C, влажность – 31–45 %, фотопериод – 16 ч.; вариант 3 – температура – 26–28 °C, влажность – 27–48 %, фотопериод – 16 ч. Повторность – пятикратная для каждого варианта опыта.

Опыт заложен в соответствии с методическими рекомендациям ВНИИБЗР по технологии разведения и применения эктопаразита габробракона» (1995 г.).

В работе использовались имаго эктопаразита, вылетевшие в день закладки опыта. В качестве хозяина габробракона использовалась мельничная огнёвка *Ephestia kuehniella* (Zeller, 1879). Гусениц огнёвки (в количестве 10 особей), предназначенных для заражения, помещали в 0,5-и литровые банки. Сразу же, пока не сплетена паутина, к ним запускали *H. hebetor* (1 самку и 1 самца). Сверху ёмкости затягивали бязевой салфеткой с ватным тампоном, смоченным 20 %-ным сахарным сиропом для подкормки насекомых. Каждая банка маркировалась этикеткой с указанием даты заражения. Через каждые 3 дня маточных самок (до гибели) пересаживали на свежих гусениц огневки в соотношении 1:10. В случае гибели самца производили замену другим. Ежедневно проводили учёты и наблюдения за развитием *H. hebetor*.

Результаты и их обсуждение. В лабораторных условиях исследован жизненный цикл и плодовитость энтомофага *H. hebetor* (рис. 1) в зависимости от абиотических факторов среды.



Рис. 1. Имаго (самка) *H. Hebetor*

Fig. 1. Imago (female) *H. hebetor*

По нашим данным минимальная продолжительность жизни ($10,8 \pm 3,5$ сут.) самки габробракона зафиксирована при температуре воздуха $20-22^\circ\text{C}$ (рис. 2). Индивидуальная продолжительность жизни достигала 25–26 суток при температуре $26-28^\circ\text{C}$. При увеличении температуры воздуха до $26-28^\circ\text{C}$

увеличивается жизнеспособность самки до $16,8 \pm 0,2$ сут. Однако исследователями доказано, что температура существенно влияет на продолжительность жизни самок *H. hebetor*, которая уменьшается с повышением температуры (Huang et al., 2024).



Примечание. * Варианты:

1. Температура – $20-22^\circ\text{C}$, влажность – 35–50 %, фотопериод – 12 ч;
2. Температура – $23-25^\circ\text{C}$, влажность – 31–45 %, фотопериод – 16 ч;
3. Температура – $26-28^\circ\text{C}$, влажность – 27–48 %, фотопериод – 16 ч.

Рис. 2. Влияние внешних факторов на продолжительность жизни самки *H. hebetor* и её репродуктивную способность (2024–2025 гг.)

Fig. 2. The influence of external factors on the lifespan of a female *H. hebetor* and its reproductive capacity (2024–2025)

Увеличение и снижение температуры воздуха отрицательно влияет на репродуктивную способность самки *H. hebetor*. По нашим данным максимальной плодовитостью обладают самки при температуре $23-25^\circ\text{C}$, в среднем количество отложенных самкой яиц

(рис. 3) составляет $112,7 \pm 57,4$ шт. По данным зарубежных исследователей оптимальными температурами для откладки яиц являются 25 и 30°C , а наименее благоприятной – 35°C (Mbata et al., 2021).

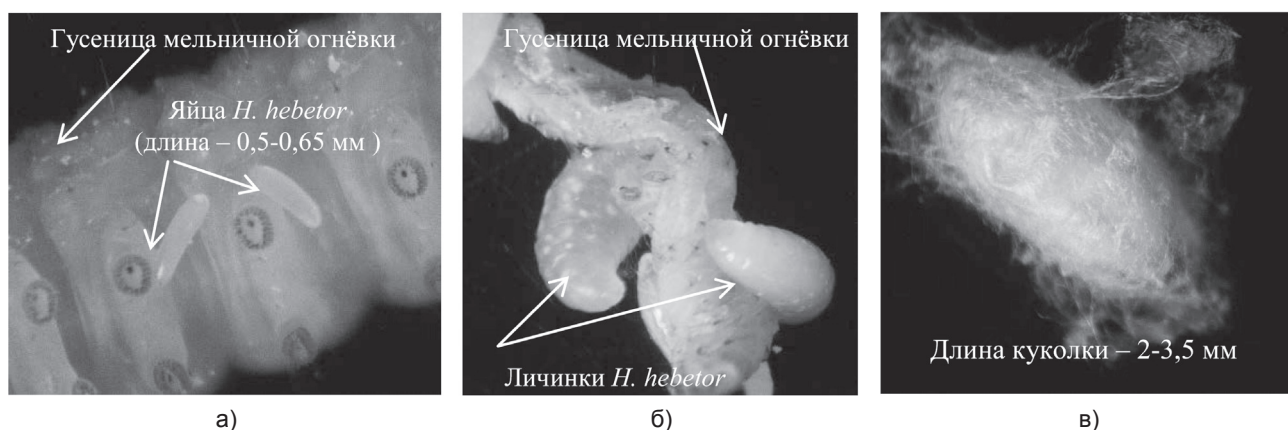


Рис. 3. Яйца (а), личинки (б) и куколка (в) *H. hebetor* (ориг.)

Fig. 3. Eggs (a), larvae (b), and pupa (c) of *H. hebetor* (orig.)

В ходе эксперимента было установлено, что наибольшее число дочерних особей (69 особи) получено при температуре 26–28 °С. Соотношение полов в популяции характеризует её качественное состояние, так как увеличение числа женских особей свидетельствует о тенденции к увеличению численности эктопаразита, а их сокращение и увеличение числа самцов – о противоположной тенденции. Выявлено, что количество самцов и самок зависит от условий разведения *H. hebetor*. Установлено, что максимальное число особей мужского пола формируется при пониженной температуре. Соотношение полов (самец : самка) в зависимости от внешних условий было 1,4:1,0 (20–22 °С) и 1:1,2 (23–25 °С и 26–28 °С). Примечательно, что при температуре 23–25 °С и 26–28 °С в среднем за два года исследований соотношение мужских и женских особей было одинаковое – 1:1,2. Это подтверждено опытами учёных из Китая. Так, по их данным наибольшее количество особей женского пола формируется при повышенных температурах (35 °С, 74%), а наименьшее

– при 15 °С (43%) (Mbata et al., 2021).

Для массового разведения габробракона важное значение имеют такие показатели, как выживаемость эмбрионов (табл. 1) и гибель личинок эктопаразита. Одним из признаков качества яиц насекомых является «количество отрождённых личинок». В результате исследований установлено, что наиболее высокий процент отродившихся из яиц и выживших личинок, а так же количество сформировавшихся куколок наблюдается при температуре 26–28 °С. Выявлено, что снижение температуры ведёт к уменьшению данных показателей. Это подтверждается исследованиями ФНЦБЗР (Богатырев и Агасьева, 2019). По их данным максимальная выживаемость личинок габробракона наблюдается при температуре 23–29 °С (влажность 75–90%).

В результате наших наблюдений выявлено, что наиболее максимальный преимагинальный период развития дочерних особей *H. hebetor* отмечается при температуре 20–22 °С (21,1±1,2 сут.)

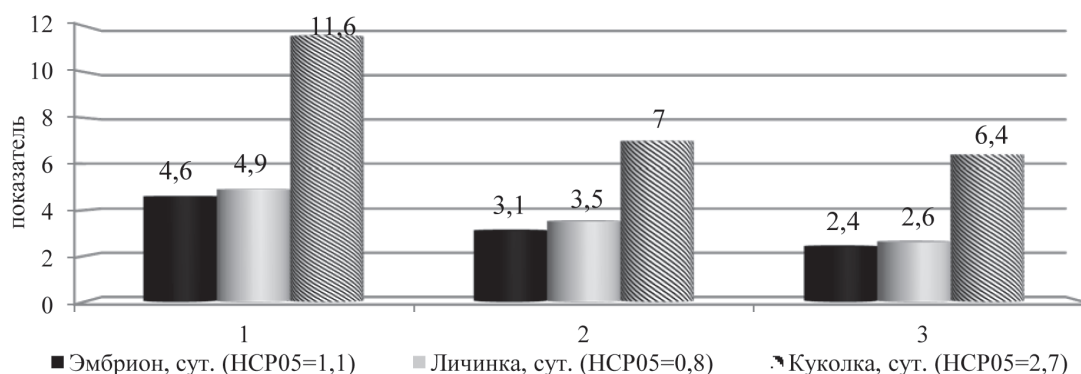
Таблица 1. Влияние абиотических факторов среды на выживаемость и цикл развития потомства самки *H. hebetor* (2024–2025 гг.)

Table 1. The influence of abiotic environmental factors on survival and development of *H. hebetor* female offspring (2024–2025)

Вариант опыта (температура / влажность)	Количество отродившихся личинок, шт.	Выживаемость эмбрионов, %	Количество образовавшихся куколок, шт.	Выживаемость личинок, %	Преимагинальный период развития потомства, сут.
20-22 °С, / (35–50 %)	63,3±1,5	75,2±2,0	42,8±4,6	67,6±2,4	21,1±1,2
23-25 °С / (31–45 %)	93,4±43,9	85,2±4,4	71,6±26,8	76,7±9,5	13,6±0,2
26-28 °С / (27–48 %)	91,1±11,4	87,5±4,3	83,5±12,5	91,7±2,3	11,4±1,8

Различный температурный режим и фотопериод повлияли на продолжительность стадий онтогенеза *H. hebetor* (рис. 4). Пониженные температуры способствуют увеличению периода развития эмбрионов, личинок и куколок до 4,6±2,4, 4,9±3,1 и 11,6±

1,4 сут. соответственно. При увеличении температуры до +26–28 °С продолжительность стадии эмбриогенеза снижается до 2,4±1,6 сут., личинок – до 2,6±1,4 и куколок – до 6,4±2,6.



Примечание. * Варианты:

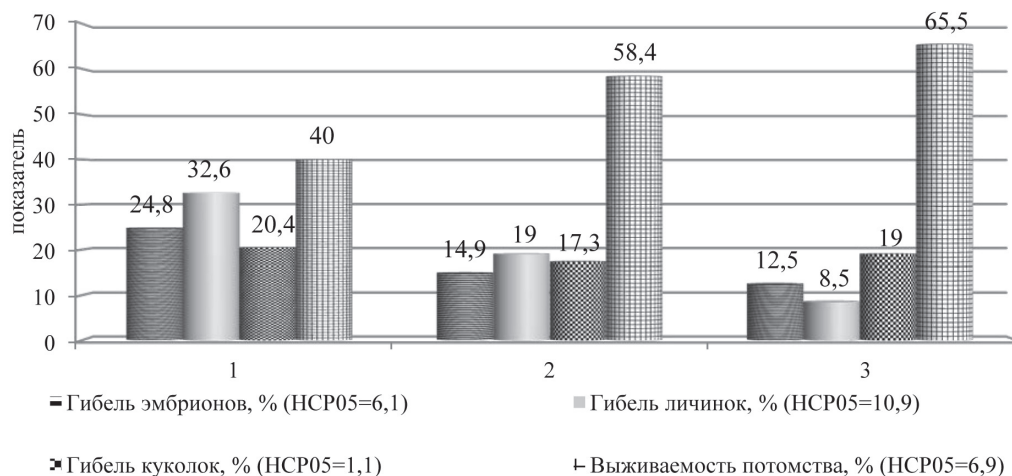
1. Температура – 20–22 °С, влажность – 35–50 %, фотопериод – 12 ч;
2. Температура – 23–25 °С, влажность – 31–45 %, фотопериод – 16 ч;
3. Температура – 26–28 °С, влажность – 27–48 %, фотопериод – 16 ч.

Рис. 4. Влияние внешних факторов среды на параметры разведения эктопаразита *H. hebetor* (2024–2025 гг.)

Fig. 4. The influence of external environmental factors on the ontogenesis of the *H. hebetor* ectoparasite (2024–2025)

По нашим данным гибель эмбрионов энтомофага при температуре +20–22 °С составила 24,8±2,4 %, при 23–25 °С – 14,9±4,4 % и при 26–28 °С – 12,5±4,3 %, а гибель личинок – 32,6±5,6 %, 19,0±9,5 % и 8,5±2,2 % соответственно (рис. 5). Для развития личинок оптимальной температурой является 26–28 °С, при которой процент выживших личинок был максимальным (91,5 %). При этом максимальная

гибель куколок наблюдается при повышенных и пониженных температурах. Высокая выживаемость потомства габробракона выявлена при температуре 26–28 °С (фотопериод 16 ч.) (65,5±13,3 %). Так же исследованиями Sohana S. доказано, что максимальное количество выживших личинок (до 87 %) и взрослых особей (до 98 %) получено при фотопериодах 16 ч. и 24 ч. (Sohana Saba, 2023).



Примечание. * Варианты:

1. Температура – 20–22 °С, влажность – 35–50 %, фотопериод – 12 ч;
2. Температура – 23–25 °С, влажность – 31–45 %, фотопериод – 16 ч;
3. Температура – 26–28 °С, влажность – 27–48 %, фотопериод – 16 ч.

Рис. 5. Влияние внешних факторов среды на параметры разведения эктопаразита *H. hebetor* (2024–2025 гг.)

Fig. 5. The influence of external environmental factors on the breeding parameters of the *H. hebetor* ectoparasite (2024–2025)

Выводы. В результате работы выявлено, что оптимальными условиями для жизнедеятельности самки и её репродуктивной способности являются температура 23–25 °С (фотопериод – 16 ч.), а для развития её потомства – 26–28 °С (фотопериод – 16 ч.). По нашим данным пониженные температуры способствуют увеличению периода развития эмбрионов, личинок и куколок, а при температуре 20–22 °С (фотопериод –

12 ч.) зафиксирована максимальная их смертность.

Финансирование. Работа выполнена за счет средств бюджета ДВНИИЗР – филиала ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» (государственное задание № 122030100112-5). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Библиографический список

1. Богатырев О.Д., Агасьева И.С. Массовое разведение энтомофага *Habrobracon hebetor* Say: технические решения, позволяющие снизить стоимость конечной продукции // Плодоводство и ягодоводство России. 2019. Т. 59, С. 207-211. DOI: 10.31676/2073-4948-2019-59-207-211
2. Бойко С.В., Трепашко Л.И., Немкевич М.Г., Ильюк О.В., Василевская Л.П. Химическая защита ячменя ярового от вредителей // Защита растений. 2021. № 45. С. 184-197. DOI: 10.47612/0135-3705-2021-45-184-197
3. Исмаилов В.Я., Агасьева И.С., Настасий А.С. *Habrobracon hebetor* Say – эффективный паразит в борьбе с яблонной плодовой жук // Садоводство и виноградарство. 2020. № 2. С. 52-57. DOI: 10.31676/0235-2591-2020-2-52-57
4. Сидоров Н.М., Астахов М.М., Жевнова Н.А., Асатурова А.М., Томашевич Н.С. Микробиологическая защита риса от пирикулярриоза с использованием БПЛА в условиях Краснодарского края // Защита и карантин растений. 2024. № 8. С. 18-21. DOI: 10.47528/1026-8634_2024_8_18
5. Чучунов В.А., Радзиевский Е.Б., Коноблеи Т.В., Самойлова Т.С., Перепелица М.А. Использование габробракона притупленного для защиты пчелиной суши // Вестник НГАУ. 2023. № 1 (66). С. 232-240. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-232-231
6. Abedi Z., Golizadeh A., Hassanpour M., Soufbaf M. Performance of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae) parasitizing *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) on different pomegranate cultivars // International Journal of Tropical Insect Science. 2021. Vol. 41, № 1. С. 95-105. DOI: 10.1007/s42690-020-00179-8
7. Agasyeva I. Ectoparasite *Habrobracon hebetor* Say is an efficient biological control agent of lepidopteran pests // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 285. С. 03010. DOI: 10.1051/e3sconf/202128503010
8. Huang Y., Liu W., Lu J., Wang W., Guo Ya. Temperature effect on the growth and development of *Habrobracon*

hebetor Say (Hymenoptera: Braconidae) reared on *Ephestia elutella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) larvae // Insects. 2024. T. 15, № 5. C. 336. DOI: 10.3390/insects15050336

9. Mbata G.N., Warsi S., Payton M.E. Influence of temperature and photoperiod on the fecundity of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) and on the paralysis of host larvae, *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) // Insects. 2021. T. 12, № 8. C. 753

10. Ou H., Wang X., Yu J., Huang Ya., Yu X., Wei L., Yang M. Asymmetric sex body size and reproductive fitness relation and offspring population parameters of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae) // Journal of Stored Products Research. 2023. Vol. 102. C. 102123. DOI: 10.1016/j.jspr.2023.102123

11. Sohana Saba. Effect of photoperiod regimes on the biological traits of parasitoid *Habrobracon hebetor* (Say) rearing on rice moth *corcyra cephalonica* (stainton) // Journal of Knowledge Learning and Science Technology. 2023. Vol. 1, № 1. P. 1-24.

References

1. Bogatyrev O.D., Agas'eva I.S. Massovoe razvedenie entomofaga *Habrobracon hebetor* Say: tekhnicheskie resheniya, pozvolyayushchie snizit' stoimost' konechnoj produktsii [Mass breeding of the entomophagous insect *Habrobracon hebetor* Say: technical solutions to reduce the cost of the final product] // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2019. T. 59, S. 207-211. DOI: 10.31676/2073-4948-2019-59-207-211

2. Bojko S.V., Trepashko L.I., Nemkevich M.G., Il'yuk O.V., Vasilevskaya L.P. Himicheskaya zashchita yachmenya yarovogo ot vreditel' [Chemical pest control of spring barley] // Zashchita rastenij. 2021. № 45. S. 184-197. DOI: 10.47612/0135-3705-2021-45-184-197

3. Ismailov V.YA., Agas'eva I.S., Nastasij A.S. *Habrobracon hebetor* Say – effektivnyj parazit v bor'be s yablonnoj plodozhorkoj [*Habrobracon hebetor* Say is an effective parasite in the fight against the codling moth] // Sadovodstvo i vinogradstvo. 2020. № 2. S. 52-57. DOI: 10.31676/0235-2591-2020-2-52-57

4. Sidorov N.M., Astahov M.M., Zhevnova N.A., Asaturova A.M., Tomashevich N.S. Mikrobiologicheskaya zashchita risa ot pirikulyarioza s ispol'zovaniem BPLA v usloviyah Krasnodarskogo kraja [Microbiological protection of rice from blast using UAVs in the Krasnodar Territory] // Zashchita i karantin rastenij. 2024. № 8. S. 18-21. DOI: 10.47528/1026-8634_2024_8_18

5. Chuchunov V.A., Radzievskij E.B., Konoblej T.V., Samojlova T.S., Perepelica M.A. Ispol'zovanie gabrobrakona pri tuplennogo dlya zashchity pchelinoj sushi [The use of *Habrobracon hebetor* Say to protect bee colonies] // Vestnik NGAU. 2023. № 1 (66). S. 232-240. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-232-231

6. Abedi Z., Golizadeh A., Hassanpour M., Soufbaf M. Performance of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae) parasitizing *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) on different pomegranate cultivars // International Journal of Tropical Insect Science. 2021. Vol. 41. № 1. C. 95-105. DOI: 10.1007/s42690-020-00179-8

7. Agasyeva I. Ectoparasite *Habrobracon hebetor* Say is an efficient biological control agent of lepidopteran pests // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 285. C. 03010. DOI: 10.1051/e3sconf/202128503010

8. Huang Y., Liu W., Lu J., Wang W., Guo Ya. Temperature effect on the growth and development of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) reared on *Ephestia elutella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) larvae // Insects. 2024. T. 15, № 5. C. 336. DOI: 10.3390/insects15050336

9. Mbata G.N., Warsi S., Payton M.E. Influence of temperature and photoperiod on the fecundity of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) and on the paralysis of host larvae, *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) // Insects. 2021. T. 12, № 8. C. 753.

10. Ou H., Wang X., Yu J., Huang Ya., Yu X., Wei L., Yang M. Asymmetric sex body size and reproductive fitness relation and offspring population parameters of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae) // Journal of Stored Products Research. 2023. Vol. 102. C. 102123. DOI: 10.1016/j.jspr.2023.102123

11. Sohana Saba. Effect of photoperiod regimes on the biological traits of parasitoid *Habrobracon hebetor* (Say) rearing on rice moth *corcyra cephalonica* (stainton) // Journal of Knowledge Learning and Science Technology. 2023. Vol. 1. № 1. P. 1-24.

Поступила: 06.06.25; доработана после рецензирования: 04.03.26; принята к публикации: 30.04.26.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Теличко О.Н. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи, проведение лабораторного опыта. Сырмолот О.В. – проведение лабораторного опыта.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.