УДК 638.2.082: 575.113

РОЛЬ ГЕТЕРОЗИГОТНОСТИ ГЕНОМА ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА В РЕАКЦИИ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ

Бойко Е. А., к. с.-х. н.
Институт животноводства НААН

В статье представлены результаты многолетних исследований, посвящённых роли эффекта гетерозиса и гетерозиготности генома тутового шелкопряда в реакции на низкоинтенсивное электромагнитное излучение. По ряду количественных признаков показана большая устойчивость гетерозисных клонпородных, межпородных и межлинейных гибридов шелкопряда к СВЧ и лазерному облучению по сравнению с родительскими формами, что свидетельствует о роли гетерозиготности генома организмов в реакции на облучение. Для объяснения полученных данных можно привлечь представления о связи большей устойчивости гибридных организмов с биофизическими особенностями их клеточных ядер.

Ключевые слова: **гетерозис, гетерозиготность, количественные признаки, тутовый шелкопряд, породы, гибриды, низкоинтенсивное электромагнитное излучение.**

Эффект гетерозиса – генетическое явление, которое широко используется для повышения продуктивности и неспецифической устойчивости растений и животных. Изучение природы данного явления проходило на всех этапах развития науки. Известны ряд гипотез, которые для объяснения гетерозиса привлекают инструменты классической, биохимической и молекулярной генетики [1]. В то же время универсальной теории до сих пор не создано и многие исследователи продолжают считать этот феномен “безнадёжно сложным” [2]. В связи с этим, заслуживает внимание биофизический подход, который применяется для изучения данного явления [3, 4], в рамках которого исследуются реакции инбредных и гибридных форм на действие физических факторов. В многочисленных экспериментах показана повышенная устойчивость гетерозисных гибридов растений и животных по сравнению с родительскими формами к температуре [5], ионизирующему [6], ультрафиолетовому излучению [7] и ряду других факторов.

Наименее изученным фактором при исследовании гетерозиса является низкоинтенсивное электромагнитное излучение (НИЭМИ). При этом, в связи с повсеместным использованием источников ЭМ полей общий фон НИЭМИ в последнее время значительно повысился. Известен также стимулирующий эффект данного физического фактора на организмы, что сейчас широко применяется для лечения и профилактики различных заболеваний человека. Однако, несмотря ряд работ, выполеннных по влиянию НИЭМИ на геном организмов, в частности на ДНК [8–10], вопросы роли гетерозиготности генома в реакции на данный физический фактор остаються открытыми.

Следует отметить, что тутовый шелкопряд является интересным объектом для проведения подобных исследований. Это связано с тем, что гетерозисные гибриды шелкопряда, которые широко применяются в практике шелководства, вместе с их родительскими формами, могут служить моделью для изучения роли гетерозиготности генома в реакции на НИЭМИ. При этом полученные данные, кроме теоретической ценности, могут иметь и практическое значение.

В представленной статье обобщены и проанализированы некоторые результаты многолетней работы лаборатории генетики Института шелководства УААН (позже сектора генетики отдела шелководства ННЦ «Институт экспериментальной и клинической ветеринарной медицины»), посвящённые вопросам роли эффекта гетерозиса и гетерозиготности генома тутового шелкопряда в реакции на НИЭМИ.

Материалы и методика исследований. Материалом исследования являлся тутовый шелкопряд – Bombyx mori L. (Lepidoptera, Bombycidae).

В экспериментах использовались:

- клон-породные гибриды и их родительские компоненты, а именно партеноклон Украинская-27 (Укр.-27), порода Украинская-15 (Укр.-15) и клон-породный гибрид Укр.-27×Укр.-15, а также партеноклон Украинская-28 (Укр.-28), порода Укр.-15 и клон-породный гибрид Укр.-28×Укр.-15;

- межпородные гибриды и их родительские компоненты, а именно породы Белококонная-1 улучшенная (Б-$1_{ул.}$), Белококонная-2 улучшенная (Б-$2_{ул.}$), гибрид Б-$1_{ул.}$×Б-$2_{ул.}$, породы Мерефа-6 (Мер.-6), Мерефа-7 (Мер.-7) и гибриды Мер.-6× Мер.-7, Мер.-7×Мер.-6; породы Украинская-19 (Укр.-19), Украинская-20 (Укр.-20) и гибрид Укр.-19×Укр.-20;

- межлинейные гибриды и линии с различной степенью инбридинга, полученные на основе породы Бухарская (были предоставлены Л. М. Чепель, Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина), а именно линии с 5, 7 и 10 степенью инбридинга (далее в тексте линии 5, 7 и 10, соответственно), и гибриды 4×6 и 4×9, полученные на основе линий с 4, 6 и 9 степенью инбридинга.

Инкубацию грены, выкормку гусениц и папильонаж проводили согласно принятым в шелководстве методикам. Размножение партеноклонов осуществляли методом искусственного термического амейотического партеногенеза по Б. Л. Астаурову [11].

Облучение опытной грены НИЭМИ проводили на вторые сутки инкубации. Контрольная грена не облучалась.

Обработка грены НИЭМИ проводилась на кафедре генетики ХНУ им. В. Н. Каразина. В качестве источников излучения использовались: генератор поля СВЧ диапазона с λ=1,6 см и плотностью мощности 700 мкВт/см^2; He-Ne лазер типа ЛНГ-111 с длиной волны 0,633 мкм и плотностью мощности 2,5 мВт/см ^{2}.

Изучение эмбриональной терморезистентности (ЭТР) с целью оценки неспецифической устойчивости проводили методом термотеста, адаптированном для тутового шелкопряда [5]. Прогревание проводили на стадии "побеления" грены в водном ультратермостате МТА Kutesz LP201/1 в течение 20 минут при температурах (43,5 – 45 °С), специально подобранных в предыдущих опытах. ЭТР определялась как отношение процента выхода гусениц из грены в прогретом варианте к соответствующему непрогретому. Каждый вариант опыта составлял 500 гренин (по 50 шт. в 10-кратной повторности).

На разных стадиях онтогенеза шелкопряда, согласно принятым в шелководстве методикам [11], проводили учет следующих количественных признаков: выход гусениц из грены (по 50 шт. в 10-кратной повторности), жизнеспособность гусениц (по 150 – 300 гусениц), средняя масса кокона, средняя масса шёлковой оболочки, средняя масса куколки, шелконосность коконов (по 30 коконов), плодовитость имаго (по 10 кладок).

Полученные результаты обрабатывали методами вариационной статистики [12].

Результаты исследований. Для изучения роли гетерозиготности генома тутового шелкопряда в реакции на НИЭМИ проводились исследования ряда количественных признаков у гетерозисных гибридов шелкопряда и их родительских форм после обработки грены СВЧ и лазерным излучением.

Для выявления различий между породами и гибридами шелкопряда по неспецифической устойчивости после СВЧ облучения исследовали показатель эмбриональной терморезистентности (ЭТР) [13]. При изучении контрольных значений ЭТР у Б-$1_{ул.}$ и Б-$2_{ул.}$ и Б-$1_{ул.}$×Б-$2_{ул.}$, у гибрида отмечен гетерозисный эффект по показателю ЭТР – превышение лучшей родительской породы (Б-$2_{ул.}$) составило 13,5 % ($P<0,05$) (рис. 1). Выявлены различия в изменении ЭТР у пород и гетерозисного гибрида после СВЧ воздействия. Так, у Б-$2_{ул.}$ существенное повышение показателя отмечено при экспозициях облучения 1 и 3 мин на 9,6 ($P<0,01$) и 13,7 % ($P<0,05$), а у Б-$1_{ул.}$×Б-$2_{ул.}$ ЭТР повышалась с увеличением экспозиции облучения: значительные увеличения показателя, в сравнение с контролем, наблюдались при 30 и 60 мин – на 11,4 ($P<0,05$) и 12,7 % ($P<0,01$), соответственно. То есть для изменения ЭТР у гибрида требовались большие экспозиции воздействия, чем для пород, что свидетельствует о его большей устойчивости к СВЧ воздействию.

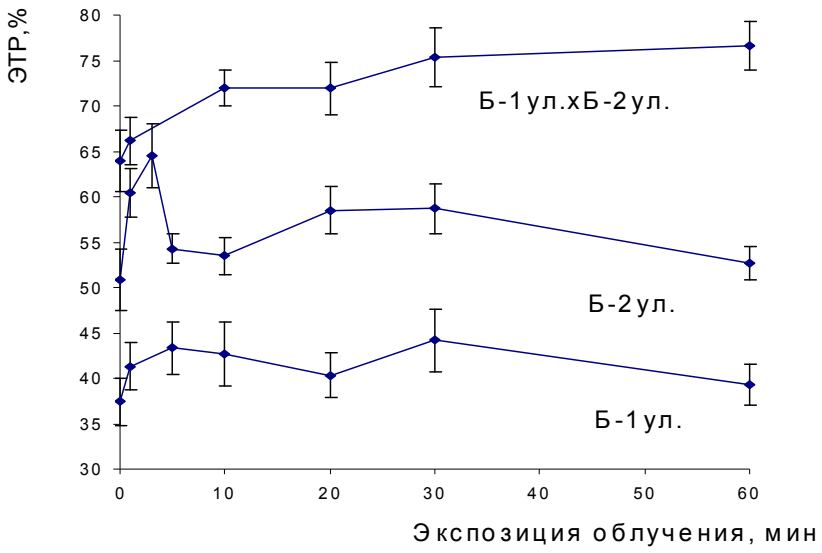
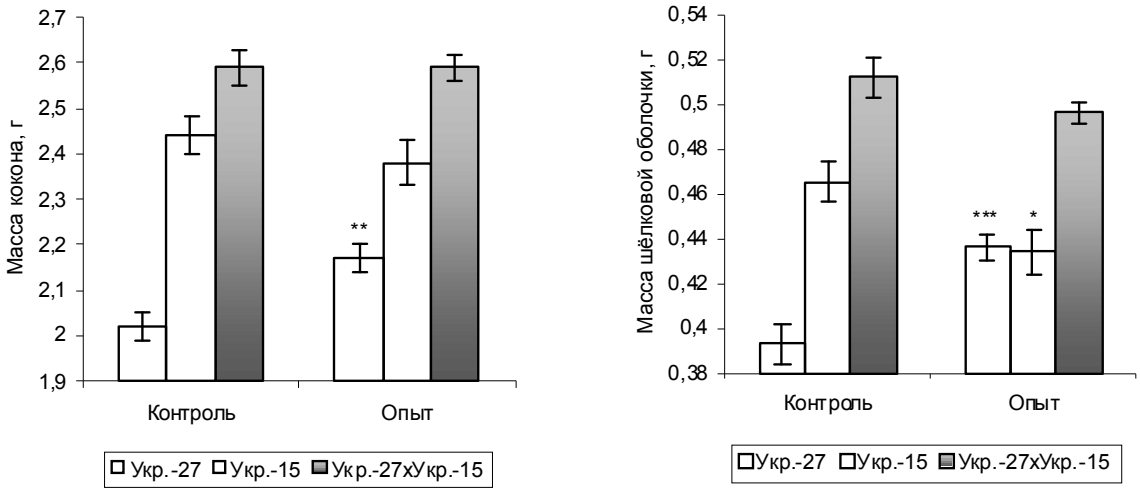


Рис. 1. Различия по показателю ЭТР у пород Б-$1_{ул.}$, Б-$2_{ул.}$ и гибрида Б-$1_{ул.}$×Б-$2_{ул.}$ после СВЧ облучения.

Дальнейшее исследование было направлено на выяснение различий в реакции на облучение у пород и гибридов шелкопряда по ряду количественных признаков на более поздних стадиях онтогенеза.

При изучении ряда хозяйственно-ценных признаков в контроле и после СВЧ облучения у партеноклона Укр.-27, породы Укр.-15 и клон-породного гибрида Укр.-27×Укр.-15 показано, что клон-породный гибрид Укр.-27×Укр.-15 в контроле характеризовался гетерозисным эффектом по показателям массы кокона и массы шёлковой оболочки (рис. 2) [14]. При этом превышение над лучшей породой Укр.-15 составляло 6,1 % ($P<0,05$) по массе кокона и 10,1 % ($P<0,01$) по массе оболочки. После СВЧ облучения (10 мин) у партеноклона Укр.-27 выявлено повышение, по сравнению с контролем, массы кокона на 7,4 % ($P<0,01$) и массы

шёлковой оболочки на 12 % (P<0,001). У породы Укр.-15 отмечено, напротив, снижение массы кокона на 6,7 % (P<0,05). У гибрида Укр.-27×Укр.-15 достоверных изменений указанных признаков не обнаружено. Таким образом, гибрид Укр.-27×Укр.-15 отличался от родительских форм большей устойчивостью к облучению. При этом гетерозисный эффект был выявлен как в контрольных, так и в опытных вариантах.

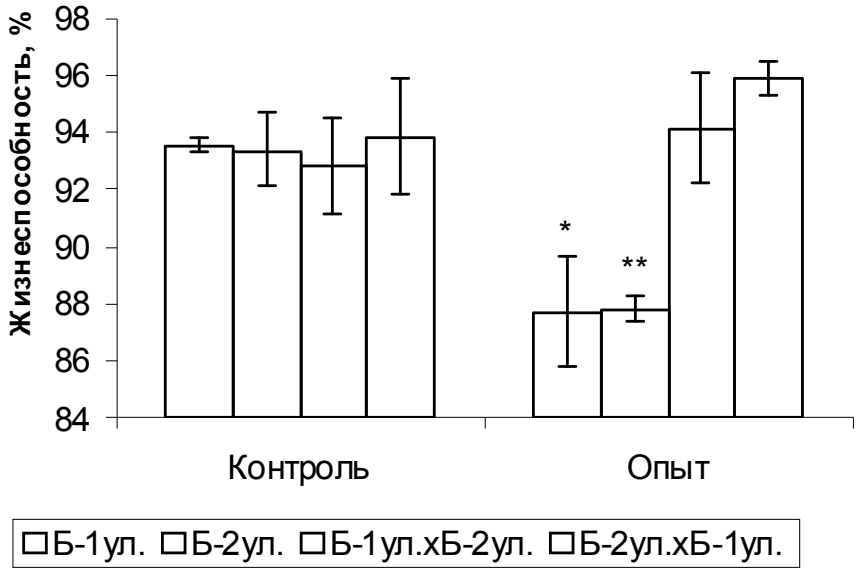


*Примечание: * – P<0,05; ** – P<0,01; *** – P<0,001.*

Рис. 2. Различия в реакции на СВЧ облучение у клон-породного гибрида Укр.-27×Укр.-15 и его родительских форм по показателям массы кокона и массы шёлковой оболочки.

Выявлены также различия в реакции клон-породного гибрида Укр.-28×Укр.-15 и его родительских форм на лазерное облучение грены [15]. Так, изменение ряда количественных признаков после облучения у партеноклона Укр.-28 и породы Укр.-15 наблюдалось при экспозиции 5 мин. Например, выявлено повышение массы кокона у Укр.-28 (на 9,7 %, P<0,001) и снижение показателя у самок Укр.-15 (на 4,1 %, P<0,05). В то же время у клон-породного гибрида достоверных изменений показателей при экспозиции 5 мин не наблюдалось. Изменения показателей коконов у Укр.-28×Укр.-15 выявлено только после облучения лазером при экспозиции 10 мин, т. е. клон-породный гибрид характеризовался большей устойчивостью к действию лазерного облучения, по сравнению с родительскими формами.

Большую устойчивость к СВЧ полям показали межпородные гибриды Б-$1_{ул.}$×Б-$2_{ул.}$, Б-$2_{ул.}$×Б-$1_{ул.}$ (рис. 3). Так, после облучения грены при экспозиции 20 мин выявлено снижение жизнеспособности, по сравнению с контролем, у породы Б-$1_{ул.}$ на 5,8 % (P<0,05), Б-$2_{ул.}$ – на 5,6 % (P<0,01). В то же время достоверных изменений признака у гибридов не отмечено. Вследствие различной реакции на облучение между гибридами и породами в варианте опыта у обоих гибридов выявлен гетерозисный эффект по жизнеспособности, который в контроле не наблюдался.



*Примечание: Опыт – облучение СВЧ на стадии грены. * – P<0,05; ** – P<0,01.*

Рис. 3. Жизнеспособность пород Б-1$_{ул.}$, Б-2$_{ул.}$ и гибридов Б-1$_{ул.}$×Б-2$_{ул.}$, Б-2$_{ул.}$×Б-1$_{ул.}$ после СВЧ облучения.

У пород Мер.-6, Мер.-7 и гибридов Мер.-6×Мер.-7, Мер.-7×Мер.-6 выявлены различия в модификациях жизнеспособности, массы кокона, массы шёлковой оболочки, шелконосности и плодовитости имаго после лазерного облучения грены (1 и 3 мин) [16]. Показаны существенные изменения этих признаков у пород, в то же время у гибридов достоверных отличий опытных показателей от контроля не выявлено. Так, например, у Мер.-6 после воздействия лазером отмечено достоверное уменьшение показателей коконов самок и самцов, по сравнению с контролем. Масса кокона уменьшилась на 6,3–9,1 %, масса оболочки на 8,1–13,2 %. Шелконосность снизилась только у самок на 4,8 и 6,0 % (P<0,05) при экспозициях 1 и 3 мин, соответственно. У породы Мер.-7, напротив, при лазерном облучении в течение 3 мин, наблюдалось незначительное увеличение массы кокона и шелконосности самцов, а также достоверное (P<0,05) повышение массы оболочки самцов на 9,3 %, по сравнению с контролем. Гибриды Мер.-6×Мер.-7 и Мер.-7× Мер.-6, в отличие от родительских пород характеризовались большей устойчивостью к действию лазера – достоверного влияния облучения на массу кокона, массу шёлковой оболочки и шелконосность у гибридов выявлено не было.

При изучении реакции пород и гибрида тутового шелкопряда на облучение в различных диапазонах длин волн при одинаковых энергетических дозах, использовали породы Укр.-19, Укр.-20 гибрид Укр.-19×Укр.-20 [17]. Энергетические дозы для СВЧ и лазерного излучений составляли 750 и 1500 мДж/см^2; при экспозиции лазерного излучения – 5 мин, СВЧ – 18 мин (для 750 мДж/см^2), а также, соответственно, 10 и 36 мин (1500 мДж/см^2). В результате исследований показано, что реакция шелкопряда на СВЧ и лазерное воздействие в большой мере определяется энергетической дозой излучения. Выявлены также различия в реакции на облучение между гибридом и родительскими породами по ряду количественных признаков – значительные изменения массы кокона и шёлковой оболочки у пород Укр.-19 и Укр.-20 наблюдались при энергетических дозах 750 и 1500 мДж/см^2, а у гибрида то-

лько при 1500 мДж/см^2. Так, например, у породы Укр.-19 после СВЧ облучения (750 мДж/см^2), выявлено существенное повышение массы шёлковой оболочки самцов – на 17,3 % (P<0,001). У породы Укр.-20 после облучения лазером (750 мДж/см^2) выявлено повышение массы оболочки самок и самцов, соответственно – на 11,7 (P<0,001) и 9,7 % (P<0,001), при воздействии СВЧ на – 14,1 (P<0,001) и 5,9 % (P<0,01), соответственно. При изучении признаков коконов у гибрида Укр.-19×Укр.-20 показано, что облучение грены дозой 750 мДж/см^2 (как для лазерного, так и для СВЧ излучения) не привело к достоверным изменениям показателей коконов, по сравнению с контролем. То есть энергетическая доза 750 мДж/см^2, которая приводила к значительным изменениям признаков у обеих пород, для подобных изменений у гибрида была недостаточной, что свидетельствует о его большей устойчивости НИЭМИ.

Таким образом, на клон- и межпородных гибридах шелкопряда по ряду признаков была показана их большая устойчивость к СВЧ и лазерному облучению, по сравнению с родительскими формами. Если принять, что большая устойчивость организма лазерному воздействию связана с его гетерозиготностью, то можно предположить, что межлинейные гибриды тутового шелкопряда, полученные на основе линий с разной степенью инбридинга внутри одной породы, также будут характеризоваться повышенной устойчивостью к облучению, по сравнению с исходными родительскими линиями. Поэтому была изучена реакция линий тутового шелкопряда с различной степенью инбридинга и их межлинейных гибридов по ряду количественных признаков на облучение лазером.

При изучении контрольных значений массы кокона, массы шёлковой оболочки и массы куколки у линий с разной степенью инбридинга показано, что линия 10 (с наибольшей степенью инбридинга) характеризовалась наименьшими значениями массы шёлковой оболочки самок, массы кокона и массы оболочки самцов по сравнению с линиями 5 и 7 [18]. По показателям массы кокона самок, а также массы куколки самок и самцов данная линия находилась на уровне линии 5. Таким образом, увеличение степени инбридинга до 10 приводило к снижению некоторых количественных показателей. При сравнении контрольных значений показателей коконов между линиями и межлинейными гибридами показано, что показатели гибрида 4×6 находились на уровне лучшей материнской линии 7. В то же время гибрид 4×9 характеризовался гетерозисным эффектом по всем изученным признакам. При этом, масса кокона, масса шёлковой оболочки, масса куколки самок и самцов гибрида была выше, чем у обеих родительских линий на 27,6 – 60,1 % (P<0,001).

Лазерное облучение грены (экспозиция 10 мин) приводило к достоверным изменениям показателей самцов исследуемых линий. При этом наблюдались различия в реакции линий с разной степенью инбридинга на лазерное воздействие. Так, показано существенное снижение массы шёлковой оболочки самцов линии 5 (на 11,6 %, P<0,001), по сравнению с контролем. У линии 7 наблюдалась лишь тенденция к снижению изученных признаков, в то время как у линии 10 выявлены, напротив, повышение массы кокона самцов на 10,5 % (P<0,05) и массы шёлковой оболочки самцов на 9,2 % (P<0,05), а также тенденция к повышению массы куколки. То есть повышение значений признаков коконов по отношению к контролю наблюдалось у линии с большей степенью инбридинга.

У обоих межлинейных гибридов (4×6 и 4×9) не было выявлено достоверных изменений ни одного из изученных признаков после облучения. При этом гетерозисный эффект, выявленный в контроле у гибрида 4×9 по всем изученным признакам, после облучения сохранился. Так, например, на рис. 4 представлены

воздействия данного физического фактора. Это предположение выходит из результатов ряда работ, которые свидетельствуют о конформационных перестройках хроматина, вызванных ослаблением связи ДНК с белком после низкоинтенсивного облучения организмов [19, 20]. Наследование эпигенетических изменений, по современным представлениям, объясняется с помощью механизмов клеточной памяти, в основе которых лежат белки [21, 22]. При этом показано, что способность «белков памяти» поддерживать перепрограммированное состояние хроматина возможно только в том случае, если это перепрограммирование было осуществлено в эмбриональный период [23]. В связи с этим можно предположить, что воздействие НИЭМИ на эмбриональной стадии шелкопряда приводило к конформационному изменению хроматина ряда генов. Это состояние, посредством вышеуказанных механизмов, сохранялось в ряду митотических делений клеток и на уровне организма выражалось в изменении проявлений количественных признаков, которые, как известно, имеют полигенную природу.

Выявленные различия в реакции пород и гибридов тутового шелкопряда на НИЭМИ свидетельствуют о значении генетического аппарата клетки в реакции на данный физический фактор, а именно существенной роли гетерозиготности генома. Для объяснения полученных данных можно привлечь представления о связи большей устойчивости гибридных организмов с биофизическими особенностями их клеточных ядер, обусловленными особенностями электростатического и резонансного взаимодействия компонентов гибридного организма [4, 24]. Исходя из этих работ, полученные различия у тутового шелкопряда в реакции на воздействие лазера и СВЧ, можно объяснить, допуская роль собственных электромагнитных свойств ядерного генома в механизмах взаимодействия НИЭМИ с живыми объектами и отличиями в этих свойствах у гибридов и их родительскиих форм.

Таким образом, представленные результаты свидетельствуют о роли гетерозиготности генома организмов в реакции на НИЭМИ и расширяют наши представления о природе гетерозиса, а также могут быть полезными в шелководстве при поиске путей управления этим явлением.

Выводы:

1. Гетерозисные клон-породные, межпородные и межлинейные гибриды тутового шелкопряда более устойчивы к низкоинтесивному СВЧ и лазерному облучению, по сравнению с их родительскими формами. Это выражается в отсутствии достоверных изменений признаков у гибридов, в то время как у пород при тех же условиях облучения установлены их существенные изменения.

2. Полученные на примере тутового шелкопряда данные свидетельствуют о роли гетерозиготности генома организмов в реакции на НИЭМИ, что расширяет наши представления о природе гетерозиса.

Библиографичный список

1. Шахбазов В. Г. Механизмы гетерозиса: история и современное состояние проблемы / В. Г. Шахбазов, В. Ф. Чешко, Ц. М. Шерешевская – Х. : Основа, 1990. – 280 с.

2. Birchler J. A. In search of molecular basis of heterosis / J. A .Birchler, D. L. Auger, N. C. Riddle // The Plant Cell. – 2003. – V. 15. – P. 2236 – 2239.

3. Шахбазов В. Г. Механизмы формирования и проявления гетерозиса / В. Г. Шахбазов // Природа, проявления и прогнозирование гетерозиса. – К. : Наукова думка, 1992. – С. 5 – 15.

4. Шахбазов В. Г. Новое в понимании биофизической природы эффекта гетерозиса / В. Г. Шахбазов // Труды по фундаментальной и прикладной генетике. –

ного излучения на структуру хроматина лимфоидных клеток in vivo и in vitro / Гапеев А. Б., Лушников К. В., Шумилина Ю. В. [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2003. – Т. 43, № 1. – С. 87 – 92.

21. Cavalli G. Epigenetic inheritance of active chromatin after removal of the main transactivator / G. Cavalli, R. Paro // Science. – 1999. – V. 286. – P. 955–958.

22. Histone methyltransferase activity of a Drosophila policomb group repressor complex / [Muller J., Hart C., Francis N. at al.] // Cell. – 2002. – V. 111. – P. 197–208.

23. Rank G. Transcription through intergenic chromosomal memory elements of the Drosophila bitorax complex correlates with an epigenetic switch / G. Rank, M. Prestel, R. Paro // Mol. Cell. Biol. – 2002. – V. 22. – P. 8026–8034.

24. Шахбазов В. Г. О физико-химических механизмах гетерозиса и инбредной депрессии / В. Шахбазов // Генетика. – 1974. – Т. 10, № 4. – С. 153 – 164.

РОЛЬ ГЕТЕРОЗИГОТНОСТІ ГЕНОМУ ШОВКОВИЧНОГО ШОВКОПРЯДА В РЕАКЦІЇ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ОПРОМІНЕННЯ

Бойко О. А., Інститут тваринництва НААН

У статті представлено результати багаторічних досліджень, присвячених ролі ефекту гетерозису і гетерозиготності генома шовковичного шовкопряда в реакції на низькоінтенсивне електромагнітне випромінювання. За рядом кількісних ознак показана більша стійкість гетерозисних клон-породних, міжпородних і міжлінійних гібридів шовкопряда до НВЧ і лазерного опромінення, порівняно з батьківськими формами, що свідчить про роль гетерозиготності генома організмів у реакції на опромінення. Для пояснення отриманих даних можна притягнути уявлення про зв'язок більшої стійкості гібридних організмів із біофізичними особливостями їх клітинних ядер.

Ключові слова: гетерозис, гетерозиготність, кількісні ознаки, шовковичний шовкопряд, породи, гібриди, низькоінтенсивне електромагнітне випромінювання.

SILKWORM GETEROSIS IMPACT ON ELECTRO-MAGNETIC RADIATION REACTION

Boyko O., Institute of animal science, NAAS

This article presents the experimental research results of long-term trials on silkworm geterosis impact on low-wave electro-magnetic radiation reaction.

Quantitative characteristics were identified. Clone, inter and linear bred geterosis, capacity was investigated on the hybrids to prove their stability on the abovementioned factor and laser radiation. Comparative analogous analysis was fulfilled on the ancestral forms. The test data analysis was fulfilled on hybrid organism stability with bio-physic characteristics on the nucleus.

Key words: geterosis, geterosigoity, quantitative characteristic, silkworm, breeds, hybrids, low-wave electro-magnetic radiation.

2003. – Вып. 2. – С. 58 – 70.

5. Шаламова О. А. Генетичні відмінності порід і гібридів шовковичного шовкопряда в реакції на термічні впливи: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец. 03.00.15 "Генетика" / О. А. Шаламова, 1997. – 19 с.

6. Авакян В. А. Радиоустойчивость гибридов у растений / В. А. Авакян // Радиобиология. – 1973. – Т. 15. – С. 102 – 107.

7. Григорьева Н. Н. О влиянии УФ-облучения на плодовитость инбредных линий Drosophila melanogaster / Н. Н. Григорьева, В. Г. Шахбазов // Вестн. ХГУ. Биология. – 1974. – № 105, вып. 6. – С. 64 – 66.

8. Blank M. Do electromagnetic fields interact directly with DNA? / M. Blank, R. Goodman // Bioelectromagnetics. – 1997. – N. 18. – P. 111 – 115.

9. Гаряев П. П. Волновой генетический код / П. П. Гаряев. – М. : ИЗДАТЦЕНТР, 1997. – 108 с.

10. Сёмин Ю. А. Зависимость эффекта ослабления микроволнами вторичной структуры ДНК от молекулярной массы полинуклеотида / Ю. А. Сёмин, Л. К. Шварцбург, Л. П. Жаворонков // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2002. – Т. 42, № 2. – С. 186 – 190.

11. Шовківництво / [Головко В. О., Злотин А. З., Браславський М. Ю. та ін.] – Х. : Оригинал, 1998. – 416 с.

12. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин– М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.

13. Шахбазов В. Г. Генетические основы эмбриональной тероморезистентности тутового шелкопряда и её изменение под действием электромагнитного облучения / В. Г. Шахбазов, Е. А. Бойко, С. В. Суханов // Труды по фундаментальной и прикладной генетике. – 2003. – Вып. 2. – С. 124 – 135.

14. Бойко Е. А. Эффект гетерозиса и наследование количественных признаков у тутового шелкопряда в условиях электромагнитного облучения / Е. А. Бойко, С. В. Суханов, В. Г. Шахбазов // Генетика. – 2004. – Т. 40, № 9. – С. 1209–1214.

15. Суханов С. В. Особливості реакції клон-породного гібрида шовкопряда та його батьківських форм на лазерне опромінення / С. В. Суханов, О. А. Бойко, Т. С. Хмельова // Шовківництво. – 2007. – Вип. 26. – С. 88 – 93.

16. Изменение некоторых биологических показателей Bombyx mori L. под влиянием лазерного облучения грены / Бойко Е. А., Шахбазов В. Г., Шаламова О. А. [и др.] // Фотобиология и экспериментальная фотомедицина. – 2000. – Т. 3, № 3, 4. – С. 90 – 93.

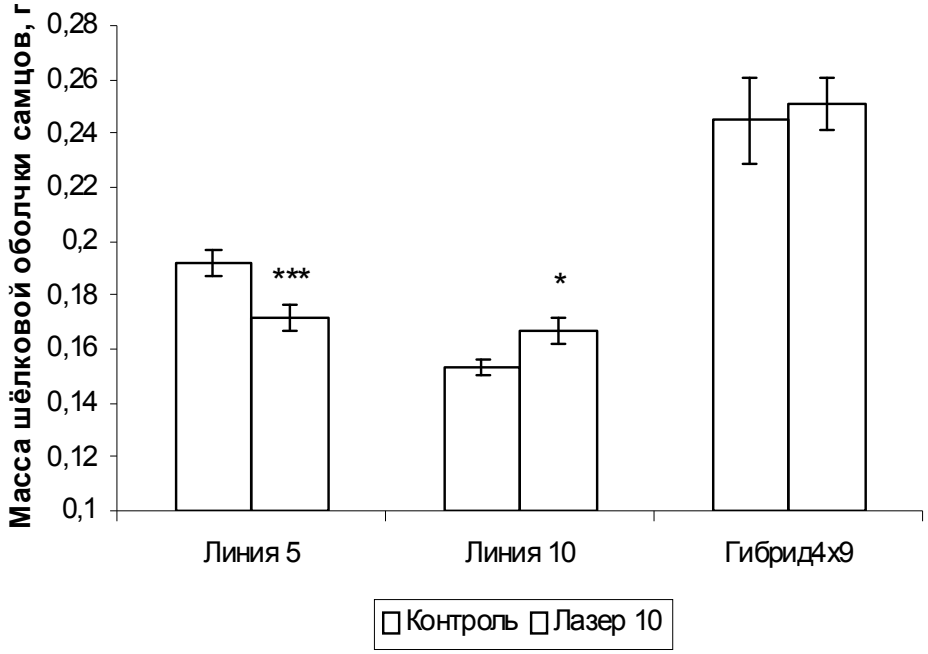
17. Бойко О. А. Вплив низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання для підвищення біологічних показників різних генотипів шовковичного шовкопряда / О. А. Бойко, С. В. Суханов // Науково-технічний бюллетень Інституту тваринництва. – 2006. – № 93. – С. 12 – 15.

18. Бойко Е. А. Влияние степени инбридинга родительских компонентов межлинейных гибридов тутового шелкопряда на проявление эффекта гетерозиса и реакцию на лазерное облучение / Е. А. Бойко, Л. М. Чепель, С. В. Суханов // Вісник Харьківського національного університету ім. В. Н. Каразіна. – 2008. – Вип. 8 (828). – С. 24 – 29. – (Серія «Біологія»).

19. Брилль Г. Е. Временная динамика образования пуфов de novo в политенных хромосомах хирономид под влиянием излучения гелий-неонового лазера / Г. Е. Брилль, Н. П. Панина, Н. М. Белик // Применение лазеров в медицине и биологии : материалы 11 междунар. науч.-практ. конф. (Ялта, 6 – 10 окт. 1998 г.). – Ялта, 1998. – С. 4 – 5.

20. Влияние низкоинтенсивного крайневысокочастнотного электромагнит-

результаты исследования массы шёлковой оболочки самцов линий 5, 10 и межлинейного гибрида 4×9 в контроле и после воздействия лазером. Как видно из рисунка, контрольные значения данного признака гибрида 4×9 были выше, чем у линий 5 и 7 на 39,1 % и 54,1 % (P<0,001), соответственно, т. е. отмечался гетерозисный эффект. После облучения у родительских линий наблюдались достоверные изменения массы шёлковой оболочки, в то время как у межлинейного гибрида значение показателя облучённого варианта находилось на уровне контроля.



*Примечание: * – P<0,05; *** – P<0,001.*

Рис. 4. Масса шёлковой оболочки самцов линий породы Бухарская и межлинейного гибрида после лазерного облучения.

При этом гетерозисный эффект после облучения сохранился: превосходство гибрида над линиями 5 и 7 составило, соответственно, 44,8 % и 58,7 % (P<0,001).

Таким образом, была выявлена большая устойчивость межлинейных гибридов тутового шелкопряда (в том числе гетерозисного) лазерному воздействию, что выражалось в отсутствии достоверных изменений изученных параметров у гибридов, в отличие от родительских линий, у которых были показаны снижения или повышения показателей. Полученные результаты согласуются с работами, проведенными нами на породах и межпородных гибридах шелкопряда, в которых была показана большая устойчивость межпородных гибридов шелкопряда НИЭМИ, по сравнению с родительскими породами.

Таким образом, в наших исследованиях показано, что внешние НИЭМИ могут быть значительным фактором, который влияет на реализацию генетической информации и проявления количественной наследственности. При объяснении полученных данных следует отметить, что, по мнению многих авторов, энергии НИЭМИ недостаточно, чтобы вызвать мутационные изменения. Изменение количественных признаков на различных стадиях онтогенеза тутового шелкопряда после влияния НИЭМИ на его эмбриональной стадии, вероятно, связано с некоторыми эпигенетическими изменениями генома шелкопряда, возникшими после