

А.К. Сибатаев*, С.С. Алексеева, Ю.В. Андреева, И.Э. Вассерлауф

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

*Автор для корреспонденции: anuar@mail.tsu.ru

Исследование инвазивного вида кровососущего комара *Aedes koreicus* (Diptera: Culicidae) Казахстана

Аннотация. Проведен морфологический и кариотипический анализ инвазивного вида комара *Aedes koreicus* из Республики Казахстан. Показано, что личинки *Ae. koreicus* из Республики Казахстан имеют типичную для этого вида морфологию. Также были изучены метафазные хромосомы данного вида, полученные из имагинальных дисков личинок 4-го возраста. Проведено лактоацетоорсеиновое окрашивание хромосом, рассчитаны значения относительных длин и центромерный индекс хромосом *Ae. koreicus*. Показано, что все три пары хромосом *Ae. koreicus* являются метацентрическими, хромосома 1 значительно короче хромосом 2 и 3 и является гомоморфной, как и у других видов рода *Aedes*.

Ключевые слова: Казахстан, кровососущие комары, инвазивный вид, *Aedes koreicus*, метафазные хромосомы.

DOI: 10.32523/2616-7034-2022-139-2-123-131

Введение

Среди инвазивных видов комаров, зарегистрированных по всему миру, наиболее распространенными являются комары рода *Aedes*, которые представляют опасность для здоровья человека, т.к. являются признанными или потенциальными переносчиками возбудителей заболеваний [1, 2].

Одним из таких видов является *Ae. koreicus* Edwards 1917, который активно распространяется по территориям стран, где ранее его наличие не было зарегистрировано. Впервые как инвазивный вид он был обнаружен в 2008 г. в Бельгии [3], позднее в Италии [4], России [5, 6], Германии [7] и в других странах Европы [8]. Естественным ареалом *Ae. koreicus* являются Корея, Китай, Япония и Дальний Восток России [9]. Комары этого вида считаются потенциальными переносчиками вируса японского энцефалита, дирофиляриозов, вируса чикунгунья [10].

В связи с распространением инвазивных видов комаров в ранее несвойственные им регионы они стали объектом массовых исследований. В последние десятилетия молекулярные и цитогенетические методы начали играть важную роль в традиционной систематике комаров. Большую популярность приобрели молекулярные методы исследования, к числу которых относятся анализ регионов рДНК (ITS1, ITS2), метод ДНК – штрихкодирования (ген COI митохондриальной ДНК), микросателлитные ДНК и др. [2]. Наряду с этими методами используются и цитогенетические исследования. Кровососущие комары уже много лет являются объектами интенсивного цитогенетического изучения. Анализ кариотипов разных видов комаров позволяет выявлять их видовую принадлежность, а также используется в изучении эволюции и таксономии видов.

Одним из факторов распространения инвазивных видов стало растущее движение товаров и людей по всему миру. На территории Средней Азии и Казахстана давно не проводилось фаунистических исследований немалярийных комаров с использованием молекулярных и

цитогенетических методов. Последние сведения по видовому составу кровососущих комаров Республики Казахстан принадлежат Дубицкому А.М. (1970) [11]. Согласно его данным, фауна комаров р. *Aedes* в Казахстане была представлена 38 видами. Достаточно теплый климат южных регионов Казахстана и развивающаяся экономика страны являются весьма благоприятными факторами для распространения инвазивных видов комаров на ее территории.

Материалы и методы

Материалом для данного исследования послужили выборки личинок комаров четвертого возраста, собранные в 2018, 2019 г.г. в г. Алматы (табл. 1). Личинок фиксировали в растворе Карнуа (в соотношении 3:1 – этанол: ледяная уксусная кислота).

Морфологическое определение видов личинок проводили при помощи стереомикроскопов Olympus (Япония), «Stemi 2000–С» («Carl Zeiss», Germany), руководствуясь определителями комаров [9, 12]. Фотографии выполнены при помощи камеры Olympus C-7070 (Япония).

Исследование хромосом было проведено на метафазных клетках имагинальных дисков личинок раннего четвертого возраста. Для анализа структуры метафазных хромосом имагинальных дисков были применены методы рутинного лактоацетоорсеинового окрашивания [13]. Имагинальные диски были выделены из личинок комаров *Ae. koreicus* в фиксаторе Карнуа и окрашивались в капле лактоацетоорсеинового красителя в течение 15 мин., затем отмывались в 45% растворе уксусной кислоты [14, 15, 16]. Окрашенные имагинальные диски накрывали покровным стеклом и, слегка постукивая по нему, получали давленные препараты, которые затем анализировали с помощью светового микроскопа Zeiss Axioimager A1 (Zeiss, Германия). Хромосомы классифицировались в соответствии с классификацией McDonald и Rai 1970 [17], где хромосома 1 – является самой короткой, хромосома 2 – самой длинной и хромосома 3 является средней по длине. Длины хромосом были измерены при помощи программы ImageJ. Был вычислен центромерный индекс хромосом и их относительная длина.

Результаты

Видовой состав личинок комаров, взятых из бассейна в зоопарке, был установлен нами на основе морфологического и молекулярного анализа [18]. Анализ соотношения трех видов в данной выборке показал существенное превосходство численности *Ae. koreicus* над местными видами (табл. 1).

Таблица 1

Соотношение видов в выборках личинок комаров

	<i>Aedes koreicus</i>	<i>Culiseta longiareolata</i>	<i>Culex pipiens</i>
Almaty; 43°15'N 76°58' E; September 19, 2018	75.3±2.3 % n=262	21.0±2.2% n=73	3.7±1.0 % n=13
Almaty; May 16, 2019	100 % n=51	0	0

Личинки *Ae. koreicus* из Республики Казахстан имеют типичную для этого вида морфологию. Лобные волоски на голове личинок 4 стадии *Ae. koreicus* смещены к переднему краю лобного щитка (рис. 1).

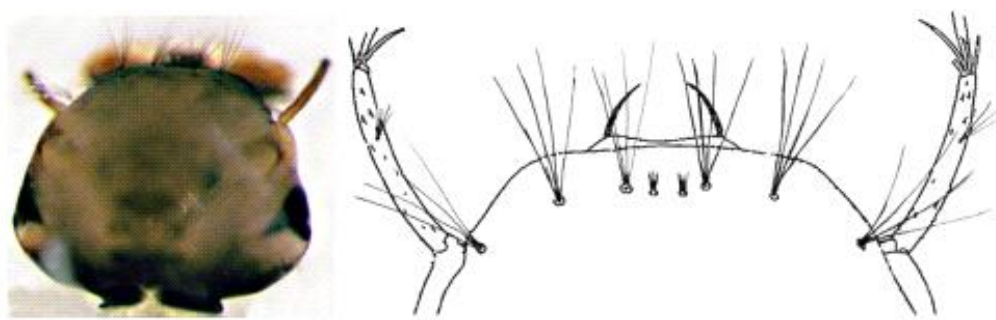
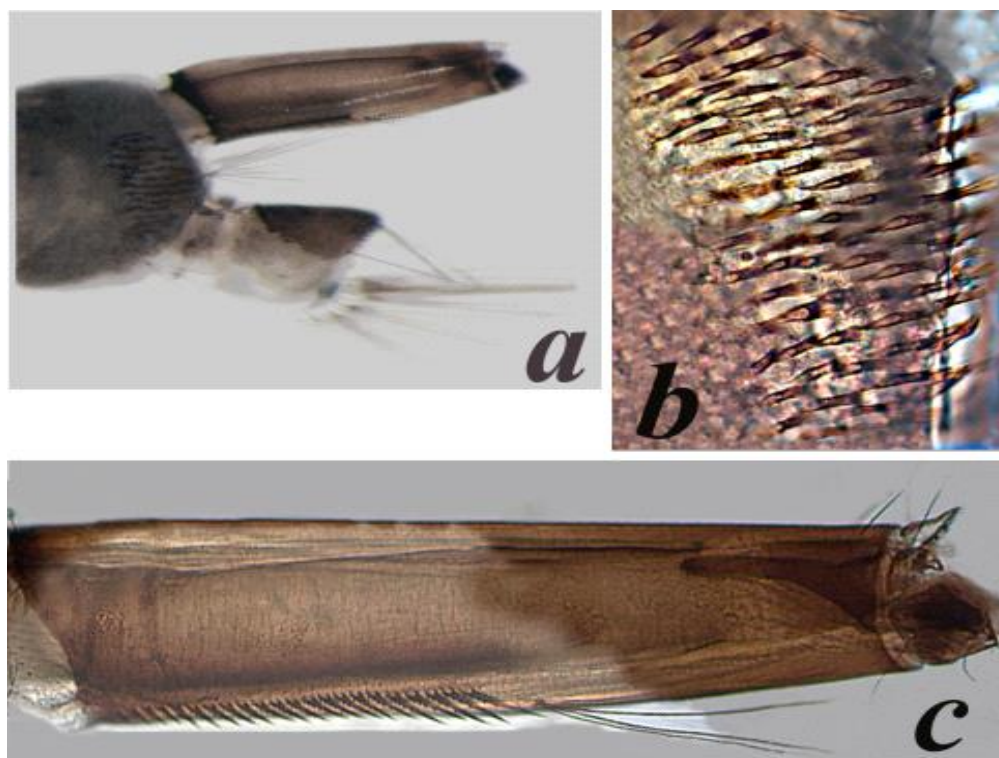


Рисунок 1. Лобные волоски на голове личинки *Ae. koreicus* IV возраста

Щетка на VIII членике брюшка из 30-72 (54) широких, веслообразных чешуек, не имеющих главного шипа (рис. 2 b). Зубцы гребня расположены на приблизительно равном расстоянии друг от друга (рис. 2 а, с) в отличие от близкого по морфологическим признакам *Ae. japonicus*, у которого наиболее дистальные зубцы гребня в числе 1-4 более широко расставлены в виде крупных шипов, лежащих под более острым углом к продольной оси трубки [9, 12]. Индекс дыхательной трубки *Ae. koreicus* в среднем 3,1. Жабры длиннее последнего членика, узкие и заострены на концах. Морфологически *Ae. koreicus* близок *Ae. japonicus*, тем более что существуют значительные внутривидовые изменения у обоих видов, что приводит к перекрывающимся морфологическим признакам [12, 19]. Поэтому нами также была проведена идентификация этого вида на основе молекулярного метода [18].



Обозначения: а – задний конец брюшка, b – чешуйки щетки, с – гребень на сифоне

Рисунок 2. Задний конец брюшка личинки *Ae. koreicus* IV возраста

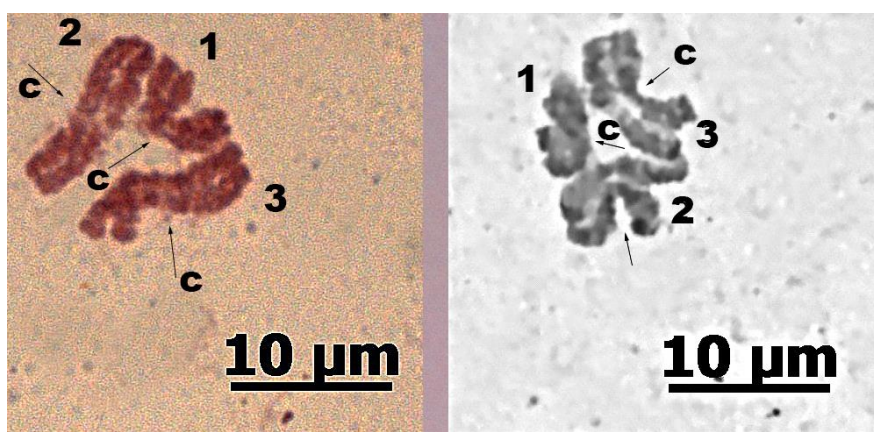
Были изучены метафазные хромосомы, полученные из имагинальных дисков личинок *Ae. koreicus*. Идентификацию хромосом проводили по соотношению плеч и размерам хромосом, в соответствии с классификацией хромосом [17]. Измерение длин хромосом и их плеч проводили при помощи программы imageJ. Центромерный индекс вычисляли по формуле: $I_c = p/(p+q)100$, где p – короткое плечо хромосомы, q – длинное плечо. Относительную длину хромосом вычисляли по формуле:

$$I_r = \frac{\text{Длина хромосомы}}{\text{Сумма длин всех хромосом}} \times 100\%$$

где I_r – относительная длина хромосомы, выраженная в процентном эквиваленте.

С помощью программы imageJ были измерены длины всех хромосом и их плеч. В результате измерений было установлено, что центромерный индекс хромосомы 1 равен 49%, хромосомы 2 – 48% и хромосомы 3 – 49%, а относительная длина хромосомы 1 – 25%, хромосомы 2 – 39% и хромосомы 3 – 36%. Анализ значения относительных длин хромосом и центромерный индекс хромосом *Ae. koreicus*, показывают, что они соответствуют параметрам метацентрических хромосом.

С помощью лактоацетоорсеиновой окраски митотических хромосом имагинальных дисков была выявлена видоспецифичная окраска первой хромосомы, в то время как вторая и третья хромосомы имеют большую «исчерченность», что затрудняет выявление специфического бэндинга (рисунок 3). Лактоацетоорсеиновые паттерны равномерно расположились вдоль хромосомы 1, которая значительно короче хромосом 2 и 3. Хромосомы 2 и 3 при окраске лактоацетоорсеином имеют множество различных бэндов на хромосомах, что затрудняет выявление специфических маркеров, однако все три пары хромосом имеют выраженные блоки вблизи центромер.



С – центромеры метафазных хромосом имагинальных дисков;
1, 2, 3 хромосомы

Рисунок 3. Кариотип метафазных хромосом имагинальных дисков *Ae. koreicus*

Обсуждение

Комары *Ae. koreicus*, как и большинство представителей подрода *Finlaya*, встречаются в основном в населенных пунктах и развиваются в местах сбора воды в искусственных водоемах (бочки, ведра, покрышки, дуплах деревьев и т.д.) [9, 12, 20]. Самки питаются как на человеке, так и на сельскохозяйственных животных [9, 20]. Кариотип $2n=6$ характерен для всех исследованных видов кулицид. Единственное исключение — *Chagasia bathana* ($2n = 8$) подсемейства Anophelinae, который обладает тремя аутосомными парами и гетероморфной парой половых хромосом [21]. Метафазный кариотип комара *Ae. koreicus* включает три пары хромосом. Общая длина хромосом среди различных родов колеблется почти в пять раз, в пределах рода *Aedes* существует трехкратное изменение длины хромосомы [22]. Все три хромосомы *Ae. koreicus* имеют лактоацетоорсеиновые блоки в прицентромерных районах хромосом. Видоспецифичный лактоацетоорсеиновый бэндинг был изучен нами и на других видах рода *Aedes* [15, 16]. Хромосомы комаров были идентифицированы по их длине: хромосома 1 — самая короткая, хромосома 2 — самая длинная, а хромосома 3 имеет промежуточную длину по сравнению с другими хромосомами. У комаров подсемейства Culicinae, к которым относится и род *Aedes*, пол обычно определяется геном в одном локусе. Этот локус располагается в самой короткой хромосоме [23]. Соответственно, пол комаров рода *Aedes* определяется гомоморфной хромосомой 1. Изучение кариотипа *Ae. koreicus* позволит в дальнейшем использовать эти данные для исследования линейной дифференцировки и эволюции хромосом данного инвазивного вида.

Таким образом, основным вопросом остается дальнейшее распространение *Ae. koreicus* на территории Казахстана. Необходимы регулярные мониторинговые исследования фауны комаров в связи с развитием путей сообщения, расширением торговых и экономических связей, которые способствуют интродукции новых видов на территории, где они ранее не были зарегистрированы.

Заключение

В данной работе был проведен морфологический и кариотипический анализ инвазивного вида комара *Aedes koreicus*, выборки которого были сделаны на территории Республики Казахстан. Таким образом, основным вопросом остается дальнейшее распространение *Ae. koreicus* на территории Казахстана. Необходимы регулярные мониторинговые исследования фауны комаров в связи с развитием путей сообщения, расширением торговых и экономических связей, которые способствуют интродукции новых видов на территории, где они ранее не были зарегистрированы.

Авторский вклад. ЮВА и АКС выполнили идентификацию комаров и дали описание, ССА и ИЭВ провели цитогенетический анализ и участвовали в написании статьи. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Благодарности. Авторы благодарят Абылкасымову Г.М. за предоставленные выборки личинок.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 0721-2020-0019).

Список литературы

1. Medlock J.M., Hansford K.M., Versteirt V., Cull B., Kampen H., Fontenille D., Hendrickx G., Zeller H., Van Bortel W., Schaffner F. An entomological review of invasive mosquitoes in Europe // Bulletin of Entomological Research. – 2015. – 105(6). – P. 637-663.
2. Schenkel C.D., Kamber T., Schaffner F., Mathis A., Silaghi C. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) for the identification of invasive *Aedes* mosquito species // Medical and Veterinary Entomology. – 2019. – 33(3). – P. 345-351.
3. Versteirt V., De Clercq E.M., Fonseca D.M., Pecor J., Schaffner F., Coosemans M., Van Bortel W. Bionomics of the established exotic mosquito species *Aedes koreicus* in Belgium, Europe // Journal of Medical Entomology. – 2012. – 49(6). – P. 1226-1232.
4. Capelli G., Drago A., Martini S., Montarsi F. et al. First report in Italy of the exotic mosquito species *Aedes* (Finlaya) *koreicus*, a potential vector of arboviruses and filariae // Parasites and Vectors. – 2011. – 4 (188).
5. Безжонова О.В., Патраман И.В., Ганушкина Л.А., Вышемирский О.И., Сергиев В.П. Первая находка инвазивного вида *Aedes* (Finlaya) *koreicus* (Edwards, 1917) в Европейской части России // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. – 2014. – № 1. – С. 16-19.
6. Ganushkina L.A., Patraman I.V., Rezza G., Migliorini L., Litvinov S.K., Sergiev V.P. Detection of *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, and *Aedes koreicus* in the Area of Sochi, Russia // Vector Borne Zoonotic Dis. – 2016. – Vol.16. – №1. – P. 58-60.
7. Werner D., Zielke D., Kampen H. First record of *Aedes koreicus* (Diptera: Culicidae) in Germany // Parasitology Research. – 2016. – 115(3). – P. 1331-1334.
8. Suter, T., Flacio, E., Fariña, B.F., Engeler L., Tonolla M., Müller P. First report of the invasive mosquito species *Aedes koreicus* in the Swiss-Italian border region // Parasites and Vectors. – 2015. – № 8. – P. 402.
9. Гупевич А.И., Мончадский А.С., Штакельберг А.А. Комары (семейства Culicidae). – В кн: Фауна СССР. Насекомые двукрылые. – Ленинград: Наука, 1970. – 384 с.
10. Ciocchetta S., Prow N.A., Darbro J.M., Frentiu F. D., Savino S., Montarsi F., Capelli G., Aaskov J.G., Devine G.J. The new European invader *Aedes* (Finlaya) *koreicus*: a potential vector of chikungunya virus // Pathog Glob Health. – 2018. – 112(3). – P.107-114.
11. Дубицкий А.М. Кровососущие комары (Diptera: Culicidae) Казахстана. – Алма-Ата: Изд-во «Наука» Казахской ССР, 1970. – 222 с.
12. Tanaka K.K., Mizusawa K., and E.S. Saugstad. A revision of the adult and larval mosquitoes of Japan (including the Ryukyu Archipelago and the Ogasawara Islands) and Korea (Diptera: Culicidae) // Contrib. Am. Entomol. Inst. – 1979. – №16: 1Ð 987.
13. Кабанова В.М., Карташова Н.Н. Кариотипы кровососущих комаров рода *Aedes* (Diptera, Culicidae) // Генетика. – 1972. – Т.8. – №. 3. – С. 47-51.
14. Sharakhova M.V., Timoshevskiy V.A., Yang F., Demin S.Iu., Severson D.W., Sharakhov I.V. Imaginal discs—a new source of chromosomes for genome mapping of the yellow fever mosquito *Aedes aegypti* // PLOS Neglected Tropical Diseases. – 2011. – 5(10). e1335.
15. Wasserlauf I.E., Alekseeva S.S., Andreeva Y.V., Sibataev A.K., Stegnyy V.N. A comparative analysis of the metaphase karyotypes of *Aedes excrucians*, *Ae. behningi*, and *Ae. euedes* (Diptera: Culicidae) imaginal discs // Journal of Vector Ecology. – 2018. – Vol.43. – № 2. – P. 245-251.
16. Alekseeva S.S., Andreeva Y.V., Wasserlauf I.E., Sibataev A.K., Stegnyy V.N. Analysis of the Metaphase Chromosome Karyotypes in Imaginal Discs of *Aedes communis*, *Ae. punctor*, *Ae. intrudens*, and *Ae. rossicus* (Diptera: Culicidae) Mosquitoes // Insects. – 2020. – Vol. 11. – № 1. – P. 63.
17. McDonald P.T., Rai K.S. Correlation of linkage groups with chromosomes in the mosquito, *Aedes aegypti* // Genetics. – 1970. – Vol. 66. – № 3. – P. 475- 485.

18. Andreeva Yu.V., Khrabrova N.V., Alekseeva S.S., Abylkassymova G.M., Simakova A.V., Sibataev A.K. First record of the invasive mosquito species *Aedes koreicus* (Diptera, Culicidae) in the Republic of Kazakhstan // *Parasite*. – 2021. – Vol. 28. – № 52. – P. 1-6.
19. Miyagi I. Notes on the *Aedes* (Finlaya) *chrysolineatus* subgroup in Japan and Korea (Diptera: Culicidae). // *Tropical Medicine*. – 1971. – Vol. 3. – №13. – P. 141-151.
20. Montarsi F., Martini S., Dal Pont M., Delai N., Ferro Milone N., Mazzucato M. Distribution and habitat characterization of the recently introduced invasive mosquito *Aedes koreicus* (*Hulecoeteomyia koreica*), a new potential vector and pest in north-eastern Italy. // *Parasites and Vectors*. – 2013. – № 6. – P. 292.
21. Kreutzer R.D. A mosquito with eight chromosomes: *Chagasia bathana* Dyar // *MosqNews*. – 1978. – № 38. – P. 554-558.
22. Rai K.S., Black IV W.C. Mosquito Genomes: Structure, Organization and Evolution // *Adv Genetics*. – 1999. – № 41. – P. 1-33
23. Gilchrist B.M. and Haldane J.B.S. Sex linkage and sex determination in a mosquito, *Culex molestus* // *Hereditas*. – 1947. – № 33. – P. 175.

А.К. Сибатаев, С.С. Алексева, Ю.В. Андреева, И.Э. Вассерлауф
Томск мемлекеттік ұлттық зерттеу университеті, Томск, Ресей

Қазақстанда *Aedes koreicus* (Diptera: Culicidae) қан соратын масаның инвазивті түрін зерттеу

Аңдатпа. Қазақстан Республикасына келген *Aedes koreicus* масасының инвазиялық түріне морфологиялық және кариотиптік талдау жүргізілді. Қазақстан Республикасына келген *Ae. koreicus* дернәсілдерінің осы түрге тән морфологиясы бар екені көрсетілген. 4 жастағы личинкалардың қиял дискілерінен алынған осы түрдің метафаза хромосомалары да зерттелді. Хромосомалардың лактоацетоорсеин бояуы жүргізілді, салыстырмалы ұзындықтардың мәні және *Ae. koreicus* хромосомаларының центромералық индексі есептелді. *Ae. koreicus* хромосомаларының барлық үш жұбы метацентрлік, 1 хромосома 2 және 3 хромосомаларына қарағанда едәуір қысқа және *Aedes* тұқымының басқа түрлеріндегідей гомоморфты екендігі көрсетілген.

Түйін сөздер: Қазақстан, қан соратын масалар, инвазивті түрлер, *Aedes koreicus*, метафаза хромосомалары.

A.K. Sibataev, S.S. Alekseeva, Yu.V. Andreeva, I.E. Wasserlauf
National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Investigation of an invasive species of the blood-sucking mosquito *Aedes koreicus* (Diptera: Culicidae) Kazakhstan

Abstract. The authors carried out a morphological and karyotypic analysis of an invasive species of *Aedes koreicus* mosquito from the Republic of Kazakhstan. It is shown that the larvae of *Ae. koreicus* from the Republic of Kazakhstan have a morphology typical for this species. The authors studied the Metaphase chromosomes of this species obtained from imaginal disks of larvae of the 4th age. The authors carried out Lactoacetoorsein staining of chromosomes and calculated values of relative lengths, and centromeric index of *Ae. koreicus* chromosomes. It is shown that all three pairs of *Ae. koreicus* chromosomes are metacentric, chromosome 1 is significantly shorter than chromosomes 2 and 3, and is homomorphic, as in other species of the genus *Aedes*.

Keywords: Kazakhstan, blood-sucking mosquitoes, invasive species, *Aedes koreicus*, metaphase chromosomes.

References

1. Medlock J.M., Hansford K.M., Versteirt V., Cull B., Kampen H., Fontenille D., Hendrickx G., Zeller H., Van Bortel W., Schaffner F. An entomological review of invasive mosquitoes in Europe, *Bulletin of Entomological Research*, 105(6), 637-663 (2015).
2. Schenkel C.D., Kamber T., Schaffner F., Mathis A., Silaghi C. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) for the identification of invasive *Aedes* mosquito species, *Medical and Veterinary Entomology*, 33(3), 345-351 (2019).
3. Versteirt V., De Clercq E.M., Fonseca D.M., Pecor J., Schaffner F., Coosemans M., Van Bortel W. Bionomics of the established exotic mosquito species *Aedes koreicus* in Belgium, Europe, *Journal of Medical Entomology*, 49(6), 1226-1232 (2012).
4. Capelli G., Drago A., Martini S., Montarsi F. et al. First report in Italy of the exotic mosquito species *Aedes* (Finlaya) *koreicus*, a potential vector of arboviruses and filariae, *Parasites and Vectors*. 4(188), (2011).
5. Bezzhonova O.V., Patraman I.V., Ganushkina L.A., Vyshemirskij O.I., Sergiev V.P. Pervaya nahodka invazivnogo vida *Aedes* (Finlaya) *koreicus* (Edwards, 1917) v Evropejskoj chasti Rossii, *Medicinskaya parazitologiya i parazitarnye bolezni* [The first finding of the invasive species *Aedes* (Finlaya) *koreicus* (Edwards, 1917) in the European part of Russia, *Medical parasitology and parasitic diseases*]. 1, 16-19 (2014). [in Russian]
6. Ganushkina L.A., Patraman I.V., Rezza G., Migliorini L., Litvinov S.K., Sergiev V.P. Detection of *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, and *Aedes koreicus* in the Area of Sochi, Russia, *Vector Borne Zoonotic Dis.*, 16(1), 58-60 (2016).
7. Werner D., Zielke D., Kampen H. First record of *Aedes koreicus* (Diptera: Culicidae) in Germany, *Parasitology Research*, 115(3), 1331-1334 (2016).
8. Suter T., Flacio E., Fariña B.F., Engeler L., Tonolla M., Müller P. First report of the invasive mosquito species *Aedes koreicus* in the Swiss-Italian border region, *Parasites and Vectors*, 8, 402 (2015).
9. Gucevich A.I., Monchadskij A.S., SHtakel'berg A.A. Komary (semejstva Culicidae) [Mosquitoes (family Culicidae)]. *Fauna SSSR. Nasekomye dvukrylye* [Fauna of the USSR]. (Leningrad, Nauka, 1970, 384 s.). [in Russian]
10. Ciocchetta S., Prow N.A., Darbro J.M., Frentiu F.D., Savino S., Montarsi F., Capelli G., Aaskov J.G., Devine G.J. The new European invader *Aedes* (Finlaya) *koreicus*: a potential vector of chikungunya virus, *Pathog Glob Health*, 112(3), 107-114 (2018).
11. Dubickij A.M. Krovososushchie komary (Diptera: Culicidae) Kazahstana [Blood-sucking mosquitoes (Diptera: Culicidae) of Kazakhstan]. (Alma-Ata: Izd-vo «Nauka» Kazahskoj SSR, 1970, 222 s.). [in Russian]
12. Tanaka K.K., Mizusawa K., Saugstad E.S. Arevision of the adult and larval mosquitoes of Japan (in-cluding the Ryukyu Archipelago and the Ogasawara Is-lands) and Korea (Diptera: Culicidae), *Contrib. Am. Entomol. Inst.*, 16, 1Ð 987 (1979).
13. Kabanova V.M., Kartashova N.N. Kariotipy krovososushchih komarov roda *Aedes* (Diptera, Culicidae), *Genetika* [Karyotypes of blood-sucking mosquitoes of the genus *Aedes* (Diptera, Culicidae), *Genetics*]. 8(3), 47-51 (1972). [in Russian]
14. Sharakhova M.V., Timoshevskiy V.A., Yang F., Demin S.Iu., Severson D.W., Sharakhov I.V. Imaginal discs--a new source of chromosomes for genome mapping of the yellow fever mosquito *Aedes aegypti*, *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 5(10), e1335 (2011).

15. Wasserlauf I.E., Alekseeva S.S., Andreeva Y.V., Sibataev A.K., Stegnyy V.N. A comparative analysis of the metaphase karyotypes of *Aedes excrucians*, *Ae. behningi*, and *Ae. euedes* (Diptera: Culicidae) imaginal discs, *Journal of Vector Ecology*, 43(2), 245-251 (2018).
16. Alekseeva S.S., Andreeva Y.V., Wasserlauf I.E., Sibataev A.K., Stegnyy V.N. Analysis of the Metaphase Chromosome Karyotypes in Imaginal Discs of *Aedes communis*, *Ae. punctor*, *Ae. intrudens*, and *Ae. rossicus* (Diptera: Culicidae) Mosquitoes, *Insects*, 11(1), 63 (2020).
17. McDonald P.T., Rai K.S. Correlation of linkage groups with chromosomes in the mosquito, *Aedes aegypti*, *Genetics*, 66(3), 475-485 (1970).
18. Andreeva Yu.V., Khrabrova N.V., Alekseeva S.S., Abylkassymova G.M., Simakova A.V., Sibataev A.K. First record of the invasive mosquito species *Aedes koreicus* (Diptera, Culicidae) in the Republic of Kazakhstan, *Parasite*, 28(52), 1-6 (2021).
19. Miyagi I. Notes on the *Aedes* (Finlaya) *chrysolineatus* subgroup in Japan and Korea (Diptera: Culicidae), *Tropical Medicine*, 3(13), 141-151 (1971).
20. Montarsi F., Martini S., Dal Pont M., Delai N., Ferro Milone N., Mazzucato M. Distribution and habitat characterization of the recently introduced invasive mosquito *Aedes koreicus* (*Hulecoeteomyia koreica*), a new potential vector and pest in north-eastern Italy, *Parasites and Vectors*, 6, 292 (2013).
21. Kreutzer R.D. A mosquito with eight chromosomes: *Chagasia bathana* Dyar, *MosqNews*, 38, 554-558 (1978).
22. Rai K.S., Black IV W.C. Mosquito Genomes: Structure, Organization and Evolution, *Adv Genetics*, 41, 1-33 (1999).
23. Gilcrist B.M. and Haldane J.B.S. Sex linkage and sex determination in a mosquito, *Culex molestus*, *Hereditas*, 33, 75 (1947).

Сведения об авторах:

Сибатаев А.К. – доктор биологических наук, профессор кафедры сельскохозяйственной биологии Биологического института Томского государственного университета, Томск, Россия.

Алексеева С.С. – младший научный сотрудник лаборатории экологии, генетики и охраны окружающей среды Томского государственного университета, Томск, Россия.

Андреева Ю.В. – кандидат биологических наук, доцент кафедры сельскохозяйственной биологии Биологического института Томского государственного университета, Томск, Россия.

Вассерлауф И.Э. – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории эволюционной цитогенетики НИИ биологии и биофизики Томского государственного университета, Томск, Россия.

Sibataev A.K. – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Agricultural Biology, Biological Institute of Tomsk State University, Tomsk, Russia.

Alekseeva S.S. – Junior researcher, Laboratory of Ecology, Genetics and Environmental Protection, Tomsk State University, Tomsk, Russia.

Andreeva Yu.V. – Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Biology of the Biological Institute of Tomsk State University, Tomsk, Russia.

Wasserlauf I.E. – Ph.D. of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Evolutionary Cytogenetics of the Research Institute of Biology and Biophysics of Tomsk State University, Tomsk, Russia.