

ПОЛІМОРФНІ ГЕНИ ВОВНОВОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ОВЕЦЬ

І. М. Свістула*, аспірант

ORCID: 0000-0002-7981-7923

Інститут тваринництва степових районів імені М. Ф. Іванова
«Асканія-Нова» - Національний науковий селекційно-генетичний
центр з вівчарства

вул. Соборна, 1, смт Асканія-Нова, Чаплинський р-н,
Херсонська обл., 75230, Україна
e-mail: ascitsr_priemnaya@ukr.net

Надійшла 01.06.2021

Мета. Проаналізувати літературні джерела стосовно поліморфізму *KAP* та *KRT*-генів та зв'язок їх генотипів з вовною продуктивністю овець. **Методи.** Генетичний аналіз. **Результати.** За результатами літературного огляду встановлено рівень поліморфізму *KAP* та *KRT*-генів та асоціативні зв'язки різних генотипів з вовною продуктивністю овець. Показано, що ці гени є поліморфними і за методом *PCR-RFLP* детермінують двома кодомінантними алелями, зокрема *KAP1.3*: *KAP1.3^A*, *KAP1.3^B* та *KRT1.2*: *KRT1.2^M*, *KRT1.2^N*. Окрім цього виявлено, що генотипи обох генів пов'язані з вовною продуктивністю певних генотипів овець різного походження. **Висновки.** У результаті проведеного аналізу з'ясовано, що *KAP* та *KRT*- гени є поліморфними та пов'язані з рівнем розвитку вовнової продуктивності овець різного походження.

Ключові слова: вівці, гени кератинових білків, поліморфізм, вовнова продуктивність.

DOI: <https://doi.org/10.33694/2617-0787-2021-1-14-200-210>

POLYMORPHIC GENES the WOOL PRODUCTIVITY of SHEEP

*Науковий керівник: Іовенко Василь Миколайович, доктор с.-г. наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України.

I. M. Svistula*, a Graduate Student

ORCID: 0000-0002-7981-7923

“Ascania Nova” Institute of Animal Breeding in the Steppe Regions
named after M. F. Ivanov - National Scientific Selection-Genetics

Center for Sheep Breeding

1, Soborna Street, Askania Nova, Chaplynka district,

Kherson region, 75230, Ukraine

e-mail: ascitsr_priemnaya@ukr.net

Aim. Analyze literary sources has been done in relation to polymorphism of KAP and KRT-genes and the relationship of their genotypes with wool productivity of sheep. **Methods.** Genetic analysis. **Results.** Based on the results of the literature review, the level of polymorphism of KAP and KRT genes and the associative relationships of various genotypes with wool productivity of sheep were established. It was shown that these genes are polymorphic and are determined by two codominant alleles by the PCR-RFLP method. In particular, these are KAP1.3: KAP1.3A, KAP1.3B and KRT1.2: KRT1.2M, KRT1.2N. In addition, it was found that the genotypes of both genes are associated with certain wool productivity gene pools of sheep different origins. **Conclusions.** Based on the results of analysis the literature on this topic, it was found that KAP and KRT-genes are polymorphic and are associated with the development of wool productivity level in sheep of various origins.

Keywords: sheep, keratin protein genes, polymorphism, wool productivity.

DOI: <https://doi.org/10.33694/2617-0787-2021-1-14-200-210>

ПОЛИМОРФНЫЕ ГЕНЫ ШЕРСТНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ОВЕЦ

И. М. Свистула*, аспирант

ORCID: 0000-0002-7981-7923

Институт животноводства степных районов имени М. Ф. Иванова
«Аскания-Нова» – Национальный научный селекционно-генети-
ческий центр по овцеводству

* Scientific adviser: Iovenko Vasyl Mykolayovych, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine.

Цель. Проанализировать литературные источники, в отношении полиморфизма KAP и KRT-генов и связь их генотипов с шерстной продуктивностью овец. **Методы.** Генетический анализ. **Результаты.** По результатам литературного обзора установлен уровень полиморфизма KAP и KRT-генов и ассоциативные связи различных генотипов с шерстной продуктивностью овец. Показано, что эти гены являются полиморфными и по методу PCR-RFLP детерминируются двумя кодоминантными аллелями. В частности, это - KAP1.3: KAP1.3^A, KAP1.3^B и KRT1.2: KRT1.2^M, KRT1.2^N. Кроме того установлено, что генотипы обоих генов связаны с шерстной продуктивностью определенных генотипов овец разного происхождения. **Выводы.** В результате проведенного анализа установлено, что KAP и KRT- гены являются полиморфными и связаны с уровнем развития шерстной продуктивности овец различного происхождения.

Ключевые слова: овцы, гены кератиновых белков, полиморфизм, шерстная продуктивность.

DOI: <https://doi.org/10.33694/2617-0787-2021-1-14-200-210>

Постановка проблемы. Кератинові білки – основні компоненти у вовні овець, що виконують структурну та механічну функції. Вони поділяються на дві групи: до першої відносяться кератинові проміжні філаменти (KRT), а до другої – кератин-асоційовані білки (KAP), що відповідно кодуються KRT та KAP-генами. Ці гени мають високі поліморфні властивості у більшості породах овець. Багато досліджень різних порід овець доводять, що KRT та KAP-гени є перспективними щодо впливу на якісні та кількісні характеристики вовни [23].

Результати досліджень.

1 Молекулярно-генетичні особливості генів родини KAP. Білки з високим вмістом гліцин-тироzinу (HGTP), як кератин-асоційовані білки (KAP), відіграють ключову роль стосовно механічних властивостей волосяного покриву.

Їх поділяють на три основні групи в залежності від вмісту цистеїну та амінокислотного складу:

*Научный руководитель: Иовенко Василий Николаевич, доктор с.-х. наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники Украины.

I група – білки з вмістом цистеїну 16-30%: KAP1, KAP2, KAP3, KAP10, KAP11, KAP12, KAP13, KAP15, KAP23, KAP24, KAP25, KAP26, KAP27, KAP29;

II група – з вмістом 30%: KAP4, KAP5, KAP9, KAP16, KAP17;

III група – 30-60% гліцину та тирозину: KAP6, KAP7, KAP8, KAP19, KAP20, KAP21, KAP22 [25].

Вченими відповідно до гомології нуклеотидної та амінокислотної послідовностей у різних видів ссавців ідентифіковано всього 27 родин KAP-генів, з них у породах овець відомо 22 родини: KAP1 – KAP13, KAP15 – KAP17, KAP19, KAP21, KAP24, KAP26, KAP27, KAP29. На сьогодні всі відомі KAP-гени у цих тварин розташовані у трьох хромосомах, а саме гени родин KAP1, KAP3, KAP4 – одинадцята хромосома; KAP6, KAP7, KAP8, KAP11, KAP13, KAP24 – перша хромосома; KAP5 – двадцять перша хромосома. Місце розташування генів KAP2.3 та KAP5.5 точно не встановлено, оскільки доступні тільки їх часткові послідовності ДНК [7].

Родина KAP1 включає чотири гени: KAP1.1, KAP1.2, KAP1.3 та KAP1.4. Вони в основному відрізняються між собою кількістю консервативних повторів декапептиду «QTSCCQPXXX». KAP1.1 містить у своєму складі від трьох до п'яти декапептидних повторів, в той час як KAP1.2, KAP1.3 та KAP1.4 містять три, два та п'ять декапептидних повторів відповідно [14].

Ген KAP 1.1 досліджують PCR-SSCP методом. У більшості досліджених порід овець він детермінується трьома алелями: KAP1.1^A, KAP1.1^B та KAP1.1^C і має високі поліморфні властивості. Наприклад, у породах овець хіос, ківірчік, авасі встановлено чотири генотипи цього гену: KAP1.1A/A, KAP1.1A/B, KAP1.1B/B, KAP1.1C/C; у породі сквара – шість генотипів: KAP1.1A/A, KAP1.1A/B, KAP1.1A/C, KAP1.1B/B, KAP1.1B/C та KAP1.1C/C [21].

За методом PCR-SSCP досліджено поліморфізм гену KAP1.2, де виявлено 11 алелей: KAP1.2^A, KAP1.2^B, KAP1.2^C, KAP1.2^D, KAP1.2^E, KAP1.2^F, KAP1.2^G, KAP1.2^H, KAP1.2^I, KAP1.2^J, KAP1.2^K [11].

Дослідники методом PCR-SSCP у гені KAP1.3 у сукупності виявили дев'ять алелей: KAP1.3^A, KAP1.3^B, KAP1.3^C, KAP1.3^D, KAP1.3^E, KAP1.3^F, KAP1.3^G, KAP1.3^H, KAP1.3^I. У породі меринос виявлено вісім алелей (окрім алелю KAP1.3^B), у хіос – сім алелей (окрім алелей KAP1.3^A та KAP1.3^D), у ківірчік – п'ять алелей: KAP1.3^C, KAP1.3^E, KAP1.3^G, KAP1.3^H, KAP1.3^I; у породі авасі – чотири алелі: KAP1.3^C, KAP1.3^G, KAP1.3^H, KAP1.3^I [2].

У першому екзоні гену KAP1.3 методом PCR-RFLP з використанням рестрикційного ферменту BsrI визначено два алелі: KAP1.3^A та KAP1.3^B [20].

У гені KAP1.4 аналізом PCR-SSCP виявлено дев'ять алелей: KAP1.4^A, KAP1.4^B, KAP1.4^C, KAP1.4^D, KAP1.4^E, KAP1.4^F, KAP1.4^G, KAP1.4^H, KAP1.4^I [9].

Родина KAP2 у породах овець включає лише дві білкові послідовності ВІІІА3А (KAP2.1) та ВІІІА3 (KAP2.3), що гомологічні на 95%. Поліморфізм генів у цій родині не виявлено [24].

Родина KAP3 у різних породах овець охоплює в собі три гени: KAP3.1, KAP3.2 та KAP3.3. Гени KAP3.1 та KAP3.3 є малодослідженими. У них поліморфізму не виявлено. В залежності від інших генів KAP3.2, досліджений методом PCR-SSCP, детермінується двома алелями KAP3.2^A та KAP3.2^B і має високі поліморфні властивості. Наприклад, у породі сандіно встановлено два генотипи KAP3.2 A/A та KAP3.2 A/B; у рамбульє – три генотипи KAP3.2 A/A, KAP3.2 A/B та KAP3.2 B/B [4].

Родина KAP5 включає в собі три повних (KAP5.1, KAP5.2, KAP5.4) і одну часткову (KAP5.5) послідовності ДНК. Із вищезазначених генів поліморфізм встановлений лише у гені KAP5.4. У цьому гені вчені Gong H. et al. за допомогою аналізу PCR-SSCP виявили п'ять алелей: KAP5.4^A, KAP5.4^B, KAP5.4^C, KAP5.4^D, KAP5.4^E [12].

Родина KAP6 містить у своєму складі п'ять генів: KAP6.1, KAP6.2, KAP6.3, KAP6.4, KAP6.5. Їх поліморфізм вивчений із застосуванням методу PCR-SSCP. У гені KAP6.1 виявлено п'ять алелей: KAP6.1^A, KAP6.1^B, KAP6.1^C, KAP6.1^D, KAP6.1^E; KAP6.2 – шість алелей: KAP6.2^A, KAP6.2^B, KAP6.2^C, KAP6.2^D, KAP6.2^E, KAP6.2^F; KAP6.3 – п'ять алелей: KAP6.3^A, KAP6.3^B, KAP6.3^C, KAP6.3^D, KAP6.3^E; KAP6.4 – три алелі: KAP6.4^A, KAP6.4^B, KAP6.4^C; KAP6.5 – шість алелей: KAP6.5^A, KAP6.5^B, KAP6.5^C, KAP6.5^D, KAP6.5^E, KAP6.5^F [8].

Родина KAP7 у породах овець містить тільки один ген KAP7.1. При вивченні поліморфізму цього гену методом PCR-SSCP виявлено два алелі KAP7.1^A та KAP7.1^B. Поліморфізм гену KAP7.1 також досліджується аналізом PCR-RFLP. McLaren R. J. et al. повідомили про виявлення двох алелей із використанням рестрикції ендонуклеази BglII та чотирьох алелей із використанням рестрикції ендонуклеази Msp I [17].

Родина KAP8 включає два гени KAP8.1 та KAP8.2, що досліджені аналізом PCR-SSCP. Ген KAP8.1 детермінується п'ятьма алелями: KAP8.1^A, KAP8.1^B, KAP8.1^C, KAP8.1^D, KAP8.1^E і має високі поліморфні властивості. Наприклад, у китайської породи овець тан виявлено три алелі: KAP8.1^A, KAP8.1^D, KAP8.1^E, а у гібридів саут-даун×крос – п'ять алелей. У гені KAP8.2 виявлено лише два алелі: KAP8.2^A та KAP8.2^B [3].

Родина KAP11 має у своєму складі один ген KAP11.1, що детер-

мінується шістьма алелями KAP11.1^A, KAP11.1^B, KAP11.1^C, KAP11.1^D, KAP11.1^E, KAP11.1^F [10].

Родина KAP13 у породах овець включає в себе один ген KAP13.3, що містить п'ять алелей KAP13.3^A, KAP13.3^B, KAP13.3^C, KAP13.3^D, KAP13.3^E [13].

Родина KAP24 містить у собі один ген KAP24.1 досліджений методом PCR-SLCP та детермінується чотирма алелями: KAP24.1^A, KAP24.1^B, KAP24.1^C, KAP24.1^D [26].

2 Молекулярно-генетичні особливості генів родини KRT

Білки кератинових проміжних філаментів (KRT-IF) поділяють на дві родини: KRT-IF I та KRT-IF II, кодованих окремими локусами генів, розташованих на одинадцятій та третій хромосомах відповідно. Із найбільш досліджених генів кератинових проміжних філаментів, до KRT-IF I належить ген: KRT1.2. До KRT-IF II – KRT2.10 та KRT2.13 [22].

У першому екзоні гену KRT1.2 (K33) методом PCR-RFLP з використанням рестрикційного ферменту MspI виявлено два алелі KRT1.2^M та KRT1.2^N. У багатьох породах овець методом PCR-RFLP встановлено, що цей ген має високі поліморфні властивості. Наприклад, у індійських породах овець, а саме: чокла, сонаді, налі, нелоре, гароле, магра, декані, патанваді, кендрапара, марварі встановлено три генотипи: KRT1.2M/M, KRT1.2M/N та KRT1.2N/N; у породах: малпура, авікалін, дамба – два генотипи KRT1.2M/M та KRT1.2M/N. Окрім цього, за проведеним дослідженням Сениной Р. Ю. та ін. у породі черноземельський меринос виявлено три генотипи KRT1.2M/M, KRT1.2M/N, KRT1.2N/N; у породах овець: кавказька, едильбаєвська, грозненська тонкорунна – два генотипи KRT1.2M/M та KRT1.2M/N [1].

У гені KRT1.2 (K33) методом PCR-SSCP виявлено сім алелей: KRT1.2^A, KRT1.2^B, KRT1.2^C, KRT1.2^D, KRT1.2^E, KRT1.2^F, KRT1.2^G. У породі новозеландських мериносів виявлено п'ять алелей: KRT1.2^A, KRT1.2^B, KRT1.2^C, KRT1.2^D, KRT1.2^E; у єгипетської породи овець виявлено сім алелей [15].

Вчені McLaren et al. у гені KRT2.10 аналізом PCR-RFLP з використанням рестрикційного ферменту BsrDI виявили два алелі [19].

У гені KRT2.13 аналізом PCR-SSCP у різноманітних породах овець виявлено дев'ять алелей: KRT2.13^A, KRT2.13^B, KRT2.13^C, KRT2.13^D, KRT2.13^E, KRT2.13^F, KRT2.13^G, KRT2.13^H, KRT2.13^I [18].

3 Асоціації генів KAP1.3 та KRT1.2 з рівнем розвитку вовнової продуктивності овець різних генофондів

Зв'язки генів KAP та KRT, зокрема KAP1.3 та KRT1.2, з вовною продуктивністю різних порід овець досліджено у роботах багатьох вчених світу. Так Farag I. M. et al. за результатами проведеного до-

слідження методом PCR-SSCP повідомляють, що ген KAP1.3 пов'язаний з виходом вовни, довжиною та міцністю штапелю. У єгипетських породах овець (баркі, рахмані, осімі, авасі) та гібридів (осімі×баркі, баладі×авасі) найбільш довгий та найміцніший штапель отримано від овець з генотипами KAP1.3D/J та KAP1.3A/B відповідно. Найменший діаметр волокна встановлено у гомозигот KAP1.3C/C, а найбільший настриг вовни отримано від гетерозигот KAP1.3F/G [6].

Mahajan V. et al. за результатами проведеного дослідження методом PCR-RFLP вказали, що ген KAP1.3 пов'язаний з довжиною, діаметром волокна та з виходом вовни. У породі рамбульє найбільшу довжину штапелю та найбільший настриг вовни отримано від гомозиготних овець KAP1.3B/B. Найменший настриг вовни, водночас найменший діаметр волокна, отримано від овець з генотипом KAP1.3A/A. За даними Chen H. Y. et al. у китайських мериносів найменший діаметр волокна мають гомозиготи KAP1.3A/A [16].

Farag I. M. et al. за результатами проведеного дослідження методом PCR-SSCP встановлено, що ген KRT1.2 пов'язаний з діаметром волокна, настригом вовни, а також міцністю і довжиною штапелю. За результатами досліджень у єгипетських породах овець найдовший штапель мали гетерозиготи KRT1.2D/F, а найміцніший штапель гомозиготи KRT1.2D/D. Найменший діаметр волокна спостерігається у генотипі KRT1.2D/E. Найбільшу масу виходу вовни отримано від овець KRT1.2D/E [5].

Висновки У результаті проведеного аналізу літературних джерел з'ясовано, що KAP та KRT- гени є поліморфними та пов'язані з рівнем розвитку вовнової продуктивності різних порід овець.

Список використаної літератури

1. Сенина Р. Ю., Калашникова Л. А., Лушников В. П., Павлов М. Б. Поліморфізм гена KRT 1.2 у отечественных пород овец. *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2018. № 3. С. 20–23.
2. Arora R., Yadav H. S., Bhatia S., Mishra B. P. Genetic polymorphism in the KAP 1.3, CYHR1 and BMP 15 genes in Indian Sheep. *Indian Journal of Animal Sciences*, vol. 64, 2011, pp. 219–225.
3. Bai L., Zhou H., Gong H., Tao J., Ma Q., Ding W., Hickford J. G. H. Variation in the ovine KAP8-1 gene affects wool fibre uniformity in Chinese Tan sheep. *Small Ruminant Research*, vol. 178, 2019, pp. 18–21. doi: 10.1016/j.smallrumres.2019.07.008.
4. Bharathesree R., Saravanan R., Jeyakumar M., Murali N. A Study on Keratin-Associated Protein (KAP) 3.2 Gene and Its Polymorphism in Sandyno Breed of Sheep. *Biotechnology Journal International*, vol. 24, no 4, 2020, pp. 40 – 45. doi: 10.9734/bji/2020/v24i430112.

5. Farag I. M., Darwish H. R., Darwish A. M., Eshak M. G., Ahmed R. W. Genetic Polymorphism of KRT1.2 Gene and its Association with Improving of Some Wool Characteristics in Egyptian Sheep. *Asian Journal of Scientific Research*, vol. 11, no 2, 2018, pp. 295 – 300. doi: 10.3923/ajsr.2018.295.300.
6. Farag I. M., Darwish H. R., Darwish A. M., El-Shorbagy H. M., Ramadan W. A. Effect of Genetic Polymorphisms of the KAP 1.1 and KAP 1.3 Genes on Wool Characteristics in Egyptian Sheep. *Journal of Biological Sciences*, vol. 18, 2018, pp. 158 – 164. doi: 10.3923/jbs.2018.158.164.
7. Gong H., Zhou H., Forrest R. H. J., Li S., Wang J., Dyer J. M., Luo Y., Hickford J. G. H. Wool Keratin-Associated Protein Genes in Sheep – A Review. *Genes*, vol. 24, no 7, 2016, pp. 1 – 16. doi: 10.3390/genes 7060024.
8. Gong H., Zhou H., Hickford J. G. H. Diversity of the glycine/tyrosine-rich keratin-associated protein 6 gene (KAP6) family in sheep. *Molecular biology reports*, vol. 38, 2011, pp. 31 – 35. doi: 10.1007/s11033-010-0074-6.
9. Gong H., Zhou H., Hickford J. G. H. Polymorphism of the ovine keratin-associated protein 1-4 gene (KRTAP1-4). *Molecular biology report*, vol. 37, 2010, pp. 3377 – 3380. doi: 10.1007/s11033-009-9925-4.
10. Gong H., Zhou H., Dyer J. M., Hickford J. G. H. Identification of the ovine KAP11-1 gene (KRTAP11-1) and genetic variation in its coding sequence. *Molecular biology report*, vol. 38, 2011, pp. 5429 – 5433. doi: 10.1007/s11033-011-0697-2.
11. Gong H., Zhou H., Hodge S., Dyer J. M., Hickford J. G. H. Association of wool traits with variation in the ovine KAP1-2 gene in Merino cross lambs. *Small Ruminant Research*, 2015, pp. 1 – 6. doi: 10.1016/j.smallrumres.2015.01.009.
12. Gong H., Zhou H., Plowman J. E., Dyer J. M., Hickford J. G. H. Analysis of variation in the ovine ultra-high sulphur keratin-associated protein KAP5-4 gene using PCR-SSCP technique. *Electrophoresis*, vol. 31, 2010, pp. 3545 – 3547. doi: 10.1002/elps.201000301.
13. Gong H., Zhou H., Plowman J. E., Dyer J. M., Hickford J. G. H. Identification of the keratin-associated protein 13-3 (KAP13-3) gene in sheep. *Open Journal of Genetics*, vol. 1, 2011, pp. 60 – 64. doi: 10.4236/ojgen.2011.1301.
14. Gong H., Zou H., Yu Z., Dyer J., Plowman J. E., Hickford J. H. Identification of the ovine keratin-associated protein KAP1-2 gene (KRTAP1-2). *Experimental Dermatology*, vol. 20, 2011, pp. 815 – 819. doi: 10.1111/j.1600-0625.2011.01333.x.
15. Itenge-Mweza T. O., Forrest R. H. J., McKenzie G. W., Hogan A., Abbott J., Amofo O., Hickford J. G. H. Polymorphism of the KAP1.1, KAP1.3 and K33 genes in Merino. *Molecular and Cellular Probes*, 2007, pp. 338 – 342. doi: 10.1016/j.mcp.2007.04.002.
16. Kumar R., Meena A. S., Kumari R., Jyotsana B., Prince L. L., Kumar S. Polymorphism of KRT 1.2 and KAP 1.3 Genes in Indian Sheep Breeds. *Indian Journal of Small Ruminants*, vol. 22, no 1, 2016, pp. 28 – 31. doi: 10.5958/0973-9718.2016.00018.0.
17. Mahajan V., Das A. K., Taggar R. K., Kumar D., Sharma R. Polymorphism of keratin-associated protein (KAP) 7 gene and its association with wool traits in Rambouillet sheep. *Indian Journal of Animal Sciences*, vol. 88, 2017, pp. 206 – 209.

18. McKenzie G. W., Arora R., Hickford J. G. H. Genetic variation in the 5'UTR of the KRT2.13 gene of sheep. *Animal Science Journal*, vol. 83, 2018, pp. 194 – 198. doi: 10.1111/j.1740-0929.2011.00933.x.
19. McLaren R. J., Rogers G. R., Davies K. P., Maddox J. F., Montgomery G. W. Linkage mapping of wool keratin and keratin-associated protein genes in sheep. *Mammalian Genom*, vol. 8, 1997, pp. 938 – 940.
20. Meena A. S., Kumar R., Jyotsana B., Narula H. K., Kumar S. Genetic polymorphism of KRT 1.2, kap 1.3 and THH gene in magra sheep. *Indian Journal of Small Ruminants*, vol. 24. no. 1, 2018, pp. 27 – 30. doi: 10.5958/0973-9718.2018.00015.6.
21. Nyoni N. F., Itenge T. O., Shipandeni M. N. T. Genetic variation in the KAP1.1 gene, and its potential to Supplement Indigenous Knowledge Systems within the Swakara sheep in Namibia. In *African Association for the study of Indigenous Knowledge Systems: Proceedings of the 5th International Conference of AASIKS*. University of Venda. Thohoyandou. South Africa. 2019, pp. 43 – 50.
22. Powell B. C., Walker S. K., Bawden C. S., Sivaprasad A. V., Rogers G. E. Transgenic sheep and wool growth: Possibilities and current status. *Reproduction, Fertility and Development*, vol. 6, 1994, pp. 615 – 623. doi: 10.1071/RD9940615.
23. Purvis I. W., Franklin I. R. Major genes and QTL influencing wool production and quality: a review. *Genetics Selection Evolution*, vol. 37, 2005, pp. 97 – 107. doi: 10.1051/gse:2004028.
24. Rogers M. A., Langbein L., Winter H., Ehmann C., Praetzel S., Korn B., Schweizer J. Characterization of a cluster of human high/ultrahigh sulfur keratin-associated protein genes embedded in the type I keratin gene domain on chromosome 17q12-21. *Journal of biological chemistry*, vol. 276, 2001 pp. 19440 – 19451. doi: 10.1074/jbc.M100657200.
25. Yu Z., Plowman J. E., Maclean P., Wilderboth J. E., Brauning R., McEwan J.C., Maqbool N. J. Ovine keratome: identification, localisation and genomic organisation of keratin and keratin-associated proteins. *Stichting International Foundation for Animal Genetics*, vol. 49, 2018, pp. 361 – 370. doi: 10.1111/age.12694.
26. Zhou H., Gong H., Yan W., Luo Y., Hickford J. G. H. Identification and sequence analysis of the keratin-associated protein 24-1 (KAP24-1) gene homologue in sheep. *Gene*, vol. 511, 2012, pp. 62 – 65. doi: 10.1016/j.gene.2012.08.049.

References

1. Senina, R. Yu., Kalashnikova, L. A., Lushnikov, V. P., & Pavlov, M. B. (2018). Polimorfizm gena KRT 1.2 u otechestvennykh porod ovets [KRT 1.2 gene polymorphism in domestic sheep breeds]. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo - Sheep, Goats, and Wool Business*, 3, 20–23 [in Russian].
2. Arora R., Yadav H. S., Bhatia S., Mishra B. P. Genetic polymorphism in the KAP 1.3, CYHR1 and BMP 15 genes in Indian Sheep. *Indian Journal of Animal Sciences*, vol. 64, 2011, pp. 219–225.
3. Bai L., Zhou H., Gong H., Tao J., Ma Q., Ding W., Hickford J. G. H. Varia-

tion in the ovine KAP8-1 gene affects wool fibre uniformity in Chinese Tan sheep. *Small Ruminant Research*, vol. 178, 2019, pp. 18–21. doi: 10.1016/j.smallrumres.2019.07.008.

4. Bharathesree R., Saravanan R., Jeyakumar M., Murali N. A Study on Keratin-Associated Protein (KAP) 3.2 Gene and Its Polymorphism in Sandyno Breed of Sheep. *Biotechnology Journal International*, vol. 24, no 4, 2020, pp. 40 – 45. doi: 10.9734/bji/2020/v24i430112.

5. Farag I. M., Darwish H. R., Darwish A. M., Eshak M. G., Ahmed R. W. Genetic Polymorphism of KRT1.2 Gene and its Association with Improving of Some Wool Characteristics in Egyptian Sheep. *Asian Journal of Scientific Research*, vol. 11, no 2, 2018, pp. 295 – 300. doi: 10.3923/ajsr.2018.295.300.

6. Farag I. M., Darwish H. R., Darwish A. M., El-Shorbagy H. M., Ramadan W. A. Effect of Genetic Polymorphisms of the KAP 1.1 and KAP 1.3 Genes on Wool Characteristics in Egyptian Sheep. *Journal of Biological Sciences*, vol. 18, 2018, pp. 158 – 164. doi: 10.3923/jbs.2018.158.164.

7. Gong H., Zhou H., Forrest R. H. J., Li S., Wang J., Dyer J. M., Luo Y., Hickford J. G. H. Wool Keratin-Associated Protein Genes in Sheep – A Review. *Genes*, vol. 24, no 7, 2016, pp. 1 – 16. doi: 10.3390/genes7060024.

8. Gong H., Zhou H., Hickford J. G. H. Diversity of the glycine/tyrosine-rich keratin-associated protein 6 gene (KAP6) family in sheep. *Molecular biology reports*, vol. 38, 2011, pp. 31 – 35. doi: 10.1007/s11033-010-0074-6.

9. Gong H., Zhou H., Hickford J. G. H. Polymorphism of the ovine keratin-associated protein 1-4 gene (KRTAP1-4). *Molecular biology report*, vol. 37, 2010, pp. 3377 – 3380. doi: 10.1007/s11033-009-9925-4.

10. Gong H., Zhou H., Dyer J. M., Hickford J. G. H. Identification of the ovine KAP11-1 gene (KRTAP11-1) and genetic variation in its coding sequence. *Molecular biology report*, vol. 38, 2011, pp. 5429 – 5433. doi: 10.1007/s11033-011-0697-2.

11. Gong H., Zhou H., Hodge S., Dyer J. M., Hickford J. G. H. Association of wool traits with variation in the ovine KAP1-2 gene in Merino cross lambs. *Small Ruminant Research*, 2015, pp. 1 – 6. doi: 10.1016/j.smallrumres.2015.01.009.

12. Gong H., Zhou H., Plowman J. E., Dyer J. M., Hickford J. G. H. Analysis of variation in the ovine ultra-high sulphur keratin-associated protein KAP5-4 gene using PCR-SSCP technique. *Electrophoresis*, vol. 31, 2010, pp. 3545 – 3547. doi: 10.1002/elps.201000301.

13. Gong H., Zhou H., Plowman J. E., Dyer J. M., Hickford J. G. H. Identification of the keratin-associated protein 13-3 (KAP13-3) gene in sheep. *Open Journal of Genetics*, vol. 1, 2011, pp. 60 – 64. doi: 10.4236/ojgen.2011.1301.

14. Gong H., Zou H., Yu Z., Dyer J., Plowman J. E., Hickford J. H. Identification of the ovine keratin-associated protein KAP1-2 gene (KRTAP1-2). *Experimental Dermatology*, vol. 20, 2011, pp. 815 – 819. doi: 10.1111/j.1600-0625.2011.01333.x.

15. Itenge-Mweza T. O., Forrest R. H. J., McKenzie G. W., Hogan A., Abbott J., Amofo O., Hickford J. G. H. Polymorphism of the KAP1.1, KAP1.3 and K33 genes in Merino. *Molecular and Cellular Probes*, 2007, pp. 338 – 342. doi: 10.1016/j.mcp.2007.04.002.

16. Kumar R., Meena A. S., Kumari R., Jyotsana B., Prince L. L., Kumar S. Polymorphism of KRT 1.2 and KAP 1.3 Genes in Indian Sheep Breeds. *Indian*

Journal of Small Ruminants, vol. 22, no 1, 2016, pp. 28 – 31. doi: 10.5958/0973-9718.2016.00018.0.

17. Mahajan V., Das A. K., Taggar R. K., Kumar D., Sharma R. Polymorphism of keratin-associated protein (KAP) 7 gene and its association with wool traits in Rambouillet sheep. *Indian Journal of Animal Sciences*, vol. 88, 2017, pp. 206 – 209.

18. McKenzie G. W., Arora R., Hickford J. G. H. Genetic variation in the 5'UTR of the KRT2.13 gene of sheep. *Animal Science Journal*, vol. 83, 2018, pp. 194 – 198. doi: 10.1111/j.1740-0929.2011.00933.x.

19. McLaren R. J., Rogers G. R., Davies K. P., Maddox J. F., Montgomery G. W. Linkage mapping of wool keratin and keratin-associated protein genes in sheep. *Mammalian Genom*, vol. 8, 1997, pp. 938 – 940.

20. Meena A. S., Kumar R., Jyotsana B., Narula H. K., Kumar S. Genetic polymorphism of KRT 1.2, kap 1.3 and THH gene in magra sheep. *Indian Journal of Small Ruminants*, vol. 24. no. 1, 2018, pp. 27 – 30. doi: 10.5958/0973-9718.2018.00015.6.

21. Nyoni N. F., Itenge T. O., Shipandeni M. N. T. Genetic variation in the KAP1.1 gene, and its potential to Supplement Indigenous Knowledge Systems within the Swakara sheep in Namibia. *In African Association for the study of Indigenous Knowledge Systems: Proceedings of the 5th International Conference of AASIKS*. University of Venda. Thohoyandou. South Africa. 2019, pp. 43 – 50.

22. Powell B. C., Walker S. K., Bawden C. S., Sivaprasad A. V., Rogers G. E. Transgenic sheep and wool growth: Possibilities and current status. *Reproduction, Fertility and Development*, vol. 6, 1994, pp. 615 – 623. doi: 10.1071/RD9940615.

23. Purvis I. W., Franklin I. R. Major genes and QTL influencing wool production and quality: a review. *Genetics Selection Evolution*, vol. 37, 2005, pp. 97 – 107. doi: 10.1051/gse:2004028.

24. Rogers M. A., Langbein L., Winter H., Ehmann C., Praetzel S., Korn B., Schweizer J. Characterization of a cluster of human high/ultrahigh sulfur keratin-associated protein genes embedded in the type I keratin gene domain on chromosome 17q12-21. *Journal of biological chemistry*, vol. 276, 2001 pp. 19440 – 19451. doi: 10.1074/jbc.M100657200.

25. Yu Z., Plowman J. E., Maclean P., Wilderboth J. E., Brauning R., McEwan J.C., Maqbool N. J. Ovine keratome: identification, localisation and genomic organisation of keratin and keratin-associated proteins. *Stichting International Foundation for Animal Genetics*, vol. 49, 2018, pp. 361 – 370. doi: 10.1111/age.12694.

26. Zhou H., Gong H., Yan W., Luo Y., Hickford J. G. H. Identification and sequence analysis of the keratin-associated protein 24-1 (KAP24-1) gene homologue in sheep. *Gene*, vol. 511, 2012, p. 62-65. doi: 0.1016/j.gene.2012.08.049