

ГЕНЕТИКА

УДК 575:636.4

**ОСОБЛИВОСТІ СОМАТИЧНОГО МУТАГЕНЕЗУ КЛІТИН КРОВІ *BOS TAURUS* І *SUS SCROFA* В РІЗНИХ РАДІОЕКОЛОГІЧНИХ УМОВАХ УТРИМАННЯ**

**С. Костенко**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України  
вул. Генерала Родімеца, 19, Київ 03022, Україна  
e-mail: swetakostenko@mail.ru*

Проведено цитогенетичний аналіз великої рогатої худоби і свиней, які утримуються в різних радіоекологічних умовах. За хронічного низькодозового опромінення у тварин двох видів *Bos taurus* і *Sus scrofa* спостерігається підвищення частоти клітин із мікроядрами й анеуплоїдією. У свиней, на відміну від корів, виявлено також підвищення частоти хроматидних розривів, асинхронного розщеплення центромірних районів хроматид, появу дицентричних і кільцевих хромосом. Більша реактивність каріотипу *Sus scrofa* ніж *Bos taurus* може відображати різні темпи еволюції каріотипів цих видів.

*Ключові слова:* *Bos taurus*, *Sus scrofa*, хронічне низькодозове іонізуюче опромінення, еволюція, соматичний мутагенез.

Упродовж тривалого часу дані палеонтології [28] та порівняльної морфології слугували як основний інструментарій у припущеннях щодо часу, темпів і шляхів еволюції. Методологія оцінки еволюційних подій на основі швидкості спочатку амінокислотних, а згодом і нуклеотидних замін, що отримала назву молекулярного годинника (molecular clock), почала використовуватися у 60-ті роки минулого століття [13]. На думку деяких дослідників, палеонтологічні дані не завжди інтерпретуються вірно, що ускладнює оцінку часу розходження між видами, отриману на їх основі, та є джерелом протиріч при вивченні молекулярного годинника [25]. Гіпотеза молекулярного годинника до нашого часу залишається спірною з багатьох причин. Це стосується перш за все нерівнозначності замін. Оскільки мутації можуть впливати на життєздатність організмів, годинник може спрацьовувати лише за умови їх нейтральності та дрейфу генів. Іншою складністю інтерпретації нуклеотидних замін є їхня невідповідність у часі, якщо розглядати, наприклад, швидкість мутаційних змін за покоління, а не за рік [13].

Іншим підходом до оцінки еволюційних подій є реконструкція перебудов певних хромосом і їхніх фрагментів, оцінки синтенії на основі даних геномних проектів різних видів [26]. Параметри соматичного мутагенезу традиційно використовують з метою біоіндикації мутагенного впливу генотоксичних факторів середовища, лікарських препаратів тощо [1]. Свійські тварини є невід'ємною частиною агроєкосистем, генетичний моніторинг яких має як теоретичне, так і прикладне значення. Організми високопродуктивних тварин дедалі більше наближаються до межі фізіологічних можливостей, що обумовлює чутливість до мутагенних факторів [1, 12]. Цитогенетичні методи є провідними при вивченні мутагенності факторів і виявленні мутабільності у тваринництві [1, 10, 15–17].

За даними моніторингу популяцій великої рогатої худоби, які відтворюються на територіях, що постраждали від радіаційного та хімічного забруднення в результаті діяльності Семіпалатинського ядерного полігону і Чебулинського підземного ядерного

вибуху, у тварин різного напрямку продуктивності в різних кліматогеографічних умовах встановлений однаковий вектор впливу і біологічний ефект радіаційного забруднення, що виражалось у підвищенні кількості аномальних мітозів і пробілів хромосом. Виявлено зв'язок імунореактивності з ростом числових мутацій [17].

При цитогенетичних дослідженнях не завжди враховують видоспецифічність мінливості їх каріотипів, які описані, наприклад, у кількох видів мишоподібних гризунів, що відтворюються в умовах хронічного низькодозового опромінення [9].

Оскільки особливості соматичного мутагенезу тварин видів *Bos taurus* і *Sus scrofa*, які відтворюються в умовах постійного впливу іонізуючого опромінення, до цього часу вивчені мало [6–8], метою нашої роботи було виявлення видової специфіки мінливості їхніх цитогенетичних показників.

#### Матеріали та методи

Дослідження *Bos taurus* ( $2n=60$ ) проводили на коровах української чорнорябої молочної породи, а *Sus scrofa* ( $2n=38$ ) – на свиноматках великої білої породи, які є найбільш розповсюдженими в Україні. Дослідними слугували групи тварин, які утримуються на територіях підвищеного радіонуклідного забруднення. Корови утримували у таких господарствах Київської області: СГВК «Мрія» с. Горностайпіль Іванківського р-ну (6 гол.), СГВК ім. Мічуріна с. Дитятки Іванківського р-ну (14 гол.), що розташовані у зоні дії хронічного низькодозового іонізуючого опромінення (24–96 мкР/год), та СВК ім. Щорса Білоцерківського р-ну (24 гол.), СТОВ «Агросвіт» Миронівського р-ну (28 гол.), ТОВ «Княжичі» Броварського р-ну (6 гол.), що розташовані на територіях з експозиційною дозою опромінення 11–13 мкР/год (контроль). Свиноматки утримували в господарствах: СТЗОВ «Дружба» Ковельського р-ну Волинської обл. (10 гол.), ДП Агроінвест Чернігівської обл. (10 гол.), ТОВ «Луговське» Дніпропетровської обл. (10 гол., 11–15 мРн/год, контроль) і ТОВ «Шпилі» Іванківського р-ну Київської обл. (15 гол., 96 мРн/год, дослід).

Цитогенетичні препарати готували згідно з традиційною методикою культивування клітин крові *in vitro* [19]. У процесі досліджень враховували кількісні порушення хромосом – анеуплоїдію (А), поліплоїдію (ПП), частоту клітин із асинхронністю розщеплення центромірних районів хроматид (АРЦХ), структурні аберації – розриви хромосом і хроматид, дицентричні та кільцеві хромосоми. Мікроядерне тестування проводили на цих самих препаратах, підраховуючи одноядерні лімфоцити з мікроядрами (МЯ) на 1000 клітин (%), досліджуючи не менше 3000 клітин для кожної тварини. Фотографії метафазних пластинок і клітин з мікроядрами та двоядрених лімфоцитів розміщені на рис. 1–8.

Статистичну обробку результатів здійснювали загальноприйнятими методами Н. А. Плохинського [14].

#### Результати і їхнє обговорення

Показники цитогенетичної мінливості тварин, представлені в табл. 1–4, свідчать про те, що за дії хронічного низькодозового опромінення досліджені тварини характеризуються видоспецифічними особливостями дестабілізації каріотипу. Якщо контрольні показники соматичного мутагенезу і свиней, і корів перебувають у межах спонтанної мінливості, характерної для ссавців в умовах відсутності генотоксичного впливу факторів мутагенезу [1–4, 6–8, 15, 16, 18, 21], то за дії хронічного низькодозового опромінення спостерігаються яскраво виражені відмінності.

Аналіз даних цитогенетичного аналізу (табл. 1) свідчить про те, що досліджені корови української чорно-рябої породи характеризуються широким спектром мінливості таких показників як кількість клітин із мікроядрами та мітотичний індекс. Найнижчий рівень

клітин з МЯ був виявлений у тварин ТОВ «Княжичі» Броварського р-ну, а найвищий – СГВК ім. Мічуріна Іванківського р-ну. Слід зазначити, що незважаючи на відстань у 12 км між господарствами, розміщеними в Іванківському р-ні, у тварин спостерігається статистично вірогідна різниця за рівнем клітин з МЯ. Це може бути обумовлене тим, що СГВК ім. Мічуріна Іванківського р-ну розташоване на кордоні 30-км зони відчуження, внаслідок чого тварини цього господарства зазнають більш потужного впливу іонізуючого опромінення. Порівняння отриманих нами даних із результатами досліджень Т. Т. Глазко у 1988 (7,52%) та 1993 (6,5%), які були виконані на голштинізованих коровах у 30-км зоні відчуження ЧАЕС, слід зазначити відсутність суттєвих відмінностей між отриманими показниками. За частотою двоядерних лімфоцитів (6,9%) і мітотичної активності (7,4%) отримані нами показники вірогідно нижчі [1, 2], що може бути обумовлене як впливом використаних мітогенів, так і сезоном проведення досліджень.

Таблиця 1

Цитогенетичні показники корів чорно-рябої породи				
Господарство		МЯ, %	ДЯ, %	МІ, %
a	СВК ім. Щорса (n=24)	2,2±1,3***	2,9±1,2	4,1±2,7
b	СТОВ «Агросвіт» (n=28)	3,4±1,9*	4,0±2,28	8,0±5,26
c	ТОВ «Княжичі» Броварського р-ну (n=6) Територія з підвищеним рівнем іонізуючого опромінення	1,87±0,51***	1,07±0,24	2,4±0,34
d	СГВК ім. Мічуріна Іванківського р-ну (n=14)	7,52±0,35***	1,88±0,25	1,74±0,22
e	с. Горностайпіль, Іванківського р-ну (n=6)	4,76±0,25***	1,95±0,18%	1,80±0,21

Примітка. \* – при  $p < 0,05$ ; \*\* – при  $p < 0,01$ ; \*\*\* – при  $p < 0,001$ .

Таблиця 2

Результати цитогенетичного аналізу метафазних пластинок корів чорно-рябої породи, %

Господарство	% метафаз із цитогенетичними порушеннями				
	A-I	ПП	Хромосомні розриви	Хроматидні розриви	АРЦРХ
СВК ім. Щорса	9,9±7,10	0,8±2,10	2,4± 2,30	2,2± 2,10	1,3±1,10
СТОВ «Агросвіт»	17,8±9,22	–	5,3±4,82	3,2±3,78	2,4±1,58
ТОВ «Княжичі» Броварського р-ну	4,23±1,28*	1,25±0,78	1,18±0,73	1,17±0,2	3,82±1,14
Територія з підвищеним рівнем іонізуючого опромінення					
СГВК ім. Мічуріна Іванківського р-ну	8,25±1,2*	0,81±0,54	1,24±0,6	1,76±0,69	3,16±0,83

Примітка. \* – при  $p < 0,05$ .

Таблиця 3

Цитогенетичні показники свиноматок великої білої породи (*Sus scrofa*)

Господарство		МЯ, %	ДЯ, %	МІ, %
a	СТЗОВ «Дружба» Ковельського р-ну Волинської обл. (10)	2,12±0,30***	0,49±0,11***	1,89±0,40
b	ТОВ Агроінвест Чернігівської обл. (n=10)	1,97±0,14***	0,33±0,11***	2,11±0,11
c	ТОВ «Луговське» Дніпропетровської обл. (n=10) Територія з підвищеним рівнем іонізуючого опромінення	2,5±0,29***	1,53±0,14***	1,97±0,34
d	ТОВ «Шпилі» Іванківського р-ну Київської обл. (n=15)	7,13±0,82***	2,07±0,33***	1,4±0,81

Примітка. \*\*\* – при  $p < 0,001$  (по частоті МЯ між a і d, b і d, c і d групами; по частоті ДЯ – між a і d, b і d, a і c, b і c групами).

Таблиця 4

Результати цитогенетичного аналізу метафазних пластинок свиноматок, %

Господарство	АІ	ПП	АРЦРХ	Хроматидні розриви	Хромосомні розриви
ТОВ «Луговське» Дніпропетровської обл. (n=10)	4,52±0,03***	–	1,34±0,02	–	–
СТЗОВ «Дружба» Ковельського р-ну Волинської обл. (n=10)	4,50±0,98***	1,73±0,63	2,85±0,76	3,31±0,98*	2,11±0,84
Територія з підвищеним рівнем іонізуючого опромінення					
ТОВ «Шпилі» Іванківського р-ну Київської обл. (n=15)	18,55±3,39***	2,98±1,75	2,89±0,03	5,69±0,12*	1,32±0,02

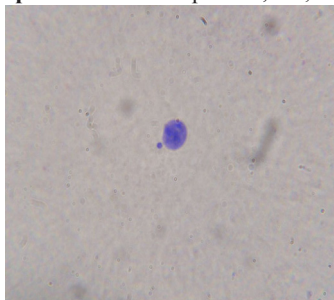
Примітка. \*\*\* – При  $P > 0,999$ ; \* – при  $P > 0,95$ .

Рис. 1. Лімфоцит із мікроядром (МЯ).

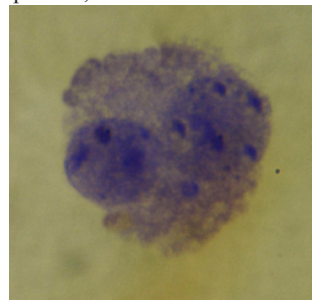
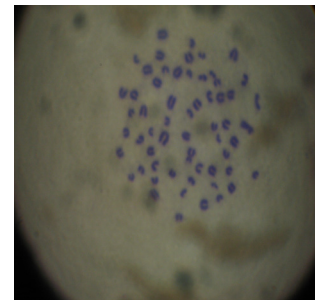
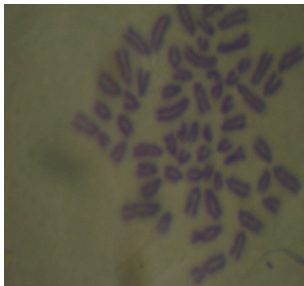
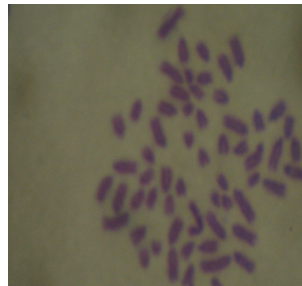
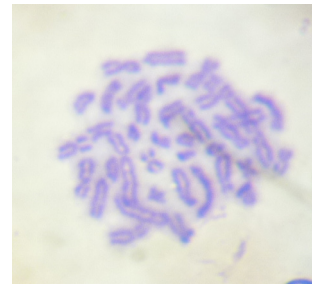
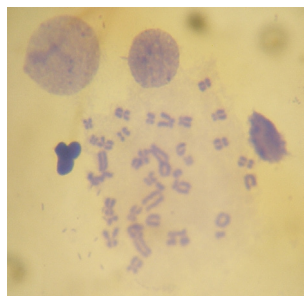


Рис. 2. Двоядерний лімфоцит (ДЯ).

Рис. 3. Асинхронне розщеплення центромірних районів хроматид (АРЦРХ) *B. taurus*.Рис. 4. Розрив хроматид *B. taurus*.Рис. 5. Анеуплоїдія (А;  $2n \pm 2$ ),  $2n=58$  *B. taurus*.Рис. 6. Прицентромірний хроматидний розрив (*S. scrofa*).Рис. 7. Кільцева хромосома в метафазній пластинці *S. scrofa*.Рис. 8. Дицентрична хромосома в метафазній пластинці *S. scrofa*.

Серед геномних порушень у корів в умовах хронічного низькодозового опромінення варто відзначити достовірно вищі (при  $p < 0,05$ ) значення відсотка анеуплоїдії порівняно з тваринами, що утримуються на територіях, благополучних щодо радіоактивного забруднення (табл. 2). Подібна тенденція була відзначена нами також і для свиноматок великої білої породи, що утримуються за впливу низькодозового іонізуючого опромінення (табл. 4) [3].

Порівняння цитогенетичних показників корів двох господарств із різними системами утримання тварин слід зазначити деякі особливості спонтанного мутагенезу. Одноядерні лімфоцити з мікроядрами у корів господарства СТОВ «Агросвіт» траплялися з частотою 3,4%, що у 1,5 разу більше ніж у тварин СВК ім. Щорса, із достовірною різницею середніх значень при  $P > 0,99$ . Двоядерних лімфоцитів (4,0%) у 1,3 разу більше із достовірною різницею середніх значень при  $P > 0,99$  у СТОВ «Агросвіт» порівняно з СВК ім. Щорса. Однак ці дані не перевищують показників, характерних для тварин даної породи, умовно контрольної групи (МЯ –  $6,0 \pm 0,6\%$  і ДЯ –  $6,0 \pm 0,5\%$ ), які виявили Т. Т. Глазко і Н. А. Сафонова [15]. Це свідчить про відсутність прямого токсичного впливу на організм тварин двох господарств.

За іншими порушеннями геному соматичних клітин корів української чорно-рябої молочної породи не знайдено вірогідних відмінностей. Не відзначено збільшення маркерної ознаки ВРХ молочною напрямом продуктивності – частоти асинхронного розщеплення центромірних районів хромосом у тварин при хронічному іонізуючому опроміненні. Взагалі, частоти АРЦРХ у досліджених нами корів двох дослідних груп були на порядок нижчими за значення аналогічних показників, одержаних при цитогенетичному аналізі тварин голштинізованої чорно-рябої молочної породи в 30-км зоні відчуження ЧАЕС. Так, згідно з результатами Т. Т. Глазко, у них частота асинхронного розщеплення центромірних районів хромосом досягала 9%. За відсотком анеуплоїдних (15,0%) і поліплоїдних (9,0%) клітин дані автора також переважають наші результати [2]. Пояснити такого роду розбіжності за частотами хромосомних порушень у соматичних клітинах організму в умовах впливу іонізуючого опромінення низької потужності можна з огляду на індивідуальні особливості цитогенетичної мінливості досліджених корів, а також на малі вибірки тварин, для яких проводили цитогенетичний контроль.

За рівнем структурних порушень отримані нами показники соматичного мутагенезу великої рогатої худоби є нижчими за показники аналогічних, наведених у роботах інших авторів [2, 18]. При цитогенетичних дослідженнях корів нами не виявлено метафаз із аберраціями хромосом за типом транслокацій і тварин – носіїв конститутивних цитогенетичних аномалій. Це збігається з даними С. С. Сунцова і співавторів. Ними встановлено відсутність кореляції ( $r = 0,02$ ) між частотою Робертсонівських транслокацій у соматичних клітинах тварин ВРХ симентальської породи, які відтворюються в умовах підвищеного рівня радіаційного забруднення (Семипалатинський полігон), і ефективною дозою поглинутої ними радіації. Особини носіїв-транслокацій, найімовірніше, успадковували їх від батьківських форм. Відповідно, іонізуюче опромінення низької потужності не призводить до підвищення утворення Робертсонівських транслокацій у каріотипі досліджених тварин *de novo* [17].

Аналізуючи результати кореляційного аналізу між різними цитогенетичними параметрами соматичних клітин досліджених корів, слід зауважити наявність прямого достовірного (при  $p < 0,05$ ) зв'язку високої сили ( $r = 0,717$ ) між відсотком анеуплоїдії та частотою ЛМЯ у тварин господарства СГВК ім. Мічуріна.

Отже, за низькодозового іонізуючого опромінення у корів чорно-рябої молочної породи не відбувається підвищення рівня структурних аберацій хромосом. Основною

реакцією каріотипу є кількісні зміни хромосом соматичних клітин за типом анеуплоїдії та підвищення частоти клітин із мікроядрами.

Дані, представлені в табл. 3, свідчать про те, що свиноматки, які утримуються в умовах фонового рівня опромінення, мають частоту клітин з МЯ, характерну для контрольних показників ссавців [21]. Найвищий рівень лімфоцитів із МЯ був характерний для тварин, що утримуються в умовах підвищеного іонізуючого опромінення – 7,13% ( $P > 0,999$ ). Отриманий показник перевищує верхню межу параметрів умовного контролю клітин з МЯ для ссавців (5,6%) [21]. Рівень індивідуальної мінливості тварин становив  $4,0 \pm 0,57\%$  –  $10,0 \pm 0,57\%$ , що може свідчити про різну чутливість досліджених тварин до хронічного низькодозового опромінення.

За даними D. Hasanbasic і D. Rukavina, у свиней при опроміненні дозами 1–2 Гр спостерігається підвищення частоти мікроядер у лімфоцитах периферичної крові порівняно з неопроміненими тваринами [27]. Слід зазначити, що в контролі досліджень кількість клітин із МЯ становила 5,8%. При опроміненні дозою в 1 Гр у свиней було 35,8% клітин з МЯ, дозою в 2 Гр – 69,2%. Збільшення дози опромінення до 3-х Гр зумовило до зростання частоти клітин з МЯ до 76,2%. Відсутність лінійної залежності між дозою опромінення і виходом МЯ автори пояснили насиченням клітин опроміненого організму хромосомними порушеннями при збільшенні дози опромінення і, відповідно, асоціаціями різних порушень між собою [27].

Результати цитогенетичного аналізу метафазних пластинок свиней представлені в табл. 4. **У свиноматок, які утримуються на території з підвищеним радіаційним фоном, спостерігається статистично достовірне підвищення частоти анеуплоїдних метафаз і клітин із хроматидними розривами.** У тварин, що утримуються в умовах хронічного низькодозового опромінення, були також виявлені метафазні пластинки з дицентричними ( $0,55 \pm 0,24\%$ ) і кільцевими ( $0,47 \pm 0,14\%$ ) хромосомами, які є цитогенетичними маркерами впливу іонізуючої радіації. Дані контрольних груп відповідали цитогенетичним показникам, отриманим іншими дослідниками [4].

Слід зазначити, що згідно з даними І. Г. Кобідзе (1989), частота метафазних пластинок з анеуплоїдією у тварин великої білої породи в контрольних умовах коливається в межах 4,5–19,4% [7]. Таким чином, отриманий нами показник відповідає спонтанному рівневі, характерному для великої білої породи.

Кореляційний аналіз отриманих даних свідчить про те, що між анеуплоїдією і мікроядрами спостерігається пряма залежність, яка зростає при впливі хронічного низькодозового опромінення. Якщо у свиноматок, що перебувають у Дніпропетровській обл., коефіцієнт кореляції був 0,662 ( $P > 0,99$ ), то в Іванківському р-ні Київської обл. – 0,962 ( $P > 0,999$ ).

У свиноматок, яких утримують в умовах хронічного низькодозового опромінення, виявлені менші показники багатоплідності і збереження поросят. Вищий відсоток аварійних опоросів у тварин, які відтворюються на радіаційно неблагополучних територіях, а також підвищена частота анеуплоїдних клітин, котра його супроводжує, можуть свідчити про те, що хронічне низькодозове опромінення призводить до втрат потомства внаслідок анеуплоїдії. На користь цього припущення свідчить наявність кореляції ( $r = -0,75$ ) між частотою анеуплоїдних клітин і багатоплідністю, а також даних про те, що у тварин із підвищеною частотою анеуплоїдії спостерігається збільшення відсотка мертвонароджених поросят [6].

Це стосується більш високого рівня частот метафаз із анеуплоїдією, АРЦРХ, хромосомними та хроматидними розривами у *S. scrofa* в умовах хронічного низькодозового іонізуючого опромінення. У свиней були також виявлені метафази з дицентричними та кільцевими хромосомами, наявність яких вважають цитогенетичними індикаторами іо-

нізуючого опромінення. Що стосується частоти клітин із мікроядрами, то її підвищення було характерним для двох досліджених видів. Також було виявлено статистично достовірне підвищення рівня клітин з анеуплоїдією порівняно з контролем, як у *S. scrofa*, так і у *B. taurus*. Кореляційний аналіз між кількістю клітин з анеуплоїдією та мікроядрами виявив статистично достовірний позитивний зв'язок, який зростає в умовах хронічного низькодозового опромінення від 0,45 (*S. scrofa*) та 0,62 (*B. taurus*) до 0,96 (*S. scrofa*) та 0,7 (*B. taurus*). Таким чином, можна припустити, що підвищення частоти клітин в умовах хронічного низькодозового опромінення в переважній більшості відбувається за рахунок втрат окремих хромосом у тварин двох досліджених видів.

Відмінності реактивності каріотипу на вплив хронічного іонізуючого опромінення (рис. 9) можуть бути обумовлені різними причинами. Це стосується як особливостей каріотипу [9], так і роботи репаративної, імунної систем [5], ефективності функціонування імплантаційного бар'єру [19], експресії генів [5] тощо. Одним із аспектів, який розглядається у зв'язку з видоспецифічністю відповіді на іонізуюче опромінення, є відмінності репродуктивного потенціалу тварин. Слід зазначити також те, що у *S. scrofa* значно швидше, ніж у *B. taurus*, відбувається зміна поколінь. Одноплідні тварини, на відміну від багатоплідних, характеризуються нижчим рівнем мінливості, що може бути обумовлено більш суворим тиском відбору [12]. Порівняння частоти народження тварин-носіїв конститутивних порушень каріотипу серед свиней і великої рогатої худоби свідчить про те, що види суттєво відрізняються. Якщо для *B. taurus* у переважній більшості діагностуються лише робертсонівські транслокації, в які залучена переважно перша хромосома (Rb 1;29) та інверсії, а також анеуплоїдії статевих хромосом, то у *S. scrofa* виявлено залучення у перебудови усіх хромосом каріотипу. Поширення Rb 1;29 серед м'ясних порід великої рогатої худоби має дискусійний характер: на думку одних вчених, мова йде про те, що бугаї-плідники її отримують від матерів, які не були каріотиповані, інші не виключають виникнення цих транслокацій *de novo* [22]. У *S. scrofa* 0,4% молодих кнурців є носіями конститутивних порушень каріотипу, які виникли *de novo* [23, 24]. Таким чином, можна припустити, що каріотип свиней характеризується меншою стабільністю, яка може бути обумовлена наявністю ламких (фрагільних, *fragily*) сайтів, знаходження яких асоційоване з контрольними точками еволюційних подій [29].

Згідно з моделлю нерівномірного розподілу точок розривів, у геномах ссавців є райони з високою і низькою частотою хромосомних перебудов. Наявність «гарячих точок», де розриви та інверсії хромосом відбувалися частіше, ніж у інших районах хромосом, підвищує ймовірність виникнення одного і того ж розриву (або дуже схожого) або інверсії в різних лініях філогенетичного дерева [29].

За даними А.П. Кулемзіної, отриманими шляхом порівняльного хромосомного пейнтингу, швидкість еволюції каріотипів групи *Suina* значно вище, ніж *Bovidae* [11]. З початку формування каріотипів давніх верблюджих (63 млн років) до дивергенції сучасних видів (11 млн років) відбулося 14 перебудов, що відповідає 0,28 перебудов/млн років. Каріотип верблюдів і лам після відділення один від одного не зазнали більше жодних міжхромосомних перебудов і залишаються консервативними останні 11 млн років, що має подібність до темпів хромосомної еволюції каріотипів носорогів і тапірів Нового світу. Період видимої зупинки еволюції каріотипів усередині групи *Pesocera* триває від утворення предкового каріотипу цієї групи до відділення *Giraffidae*, а потім виявляється у великої рогатої худоби після утворення предкового каріотипу *Bovidae*. Для *Cetartiodactyla* найшвидші темпи перетворення спостерігаються при формуванні предкового каріотипу *Suina* (1,76 перебудов/млн). Після дивергенції цієї групи швидкість фіксації перебудов у *S. scrofa* впала у сім разів [11].

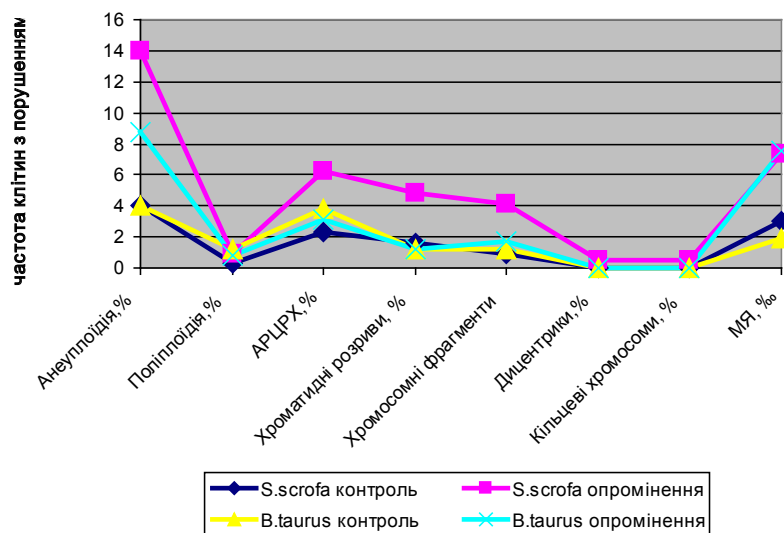


Рис. 9. Показники цитогенетичної мінливості тварин видів *Sus scrofa* і *Bos taurus* у різних радіоекологічних умовах.

Таким чином, серед показників соматичного мутагенезу у *S. scrofa* та *B. taurus* в умовах хронічного низькодозового опромінення частота анеуплоїдних і мікроядерних клітин є невидоспецифічною реакцією каріотипу. Переважна більшість клітин із мікроядрами у досліджених видів утворюється за рахунок анеуплоїдії. У *S. scrofa*, на відміну від *B. taurus*, спостерігається підвищення частоти клітин з АРЦРХ, хромосомними і хроматидними фрагментами, дицентричними та кільцевими хромосомами. Реактивність показників соматичного мутагенезу за умов хронічного низькодозового опромінення віддзеркалює швидкість еволюційних змін і стабільність каріотипу виду.

Щиро вдячна моїм аспірантам П. П. Джус, О. М. Коновал, Л. Ф. Стародуб, О. В. Сидоренко, Ю. Ф. Куриленко, О. В. Федорві за допомогу у виконанні експериментальної частини роботи та с.н.с. Н. В. Тряпичній за слушні зауваження.

Робота виконана за підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень України.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Глазко Т. Т. Мікроядерний тест у великої рогатої худоби // Вісн. аграрної науки. 2001. Т. 39. С. 45–48.
2. Глазко Т. Т., Дубицький С. Е., Косовский Г. Ю. Частоты встречаемости цитогенетических аномалий в клетках крови крупного рогатого скота разных направлений продуктивности при действии низких доз ионизирующего излучения // Сельскохозяйственная биология. 2007. № 6. С. 58–62.
3. Джус П. П., Костенко С. О., Сидоренко О. В. Цитогенетичний аналіз свиней, яких утримують в різних радіоекологічних умовах // Наук. вісн. Львів. нац. ун-ту ветерин. медицини та біотехнології ім. С.З.Гжицького. Сер. харчові технології. 2010. Т. 12. № 2 (44). Част. 4. С. 178–182.
4. Дзіцюк В. В. Використання цитогенетичних методів у селекції плідників. К.: Аграрна наука, 2009. 60 с.



5. Ильинских Н. Н., Бочаров Б. Ф. Цитогенетический гомеостаз и иммунитет. Новосибирск: Наука, 1984. 256 с.
6. Кленовицкий П. М., Завада А. Н., Лобан Н. А. и др. Вопросы прикладной цитогенетики свиней // III Междунар. науч.-практ. конф. (Дубровицы, 2005). Т. 2. С. 183–186.
7. Кобидзе И. Г. Цитогенетическое обследование племенных хрячков пород крупная белая и ландрас // Вопросы производства свиней. Бюлл. науч. работ ВИЖа. 1989. Вып. 93. С. 56–58.
8. Кобозева Н. А. Цитогенетична мінливість у ВРХ у зв'язку з різними факторами добору: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.15. К., 2001. 17 с.
9. Костенко С. О., Глазко Т. Т., Бунтова Е. Г. Видоспецифичность дестабилизации кариотипа в условиях радионуклидного загрязнения (ЧАЭС) у полевок *Microtus oeconomus*, *Microtus arvalis*, *Clethrionomys glareolus* // Цитология і генетика. 2001. Т. 35. № 2. С. 11–18.
10. Красота В. Ф., Семенов А. С., Бакай А. И. Цитологический скрининг коров с нарушениями воспроизводительной функции // Сельскохозяйственная биология. 2007. № 6. С. 58–62.
11. Кулемзина А. И. Сравнительная цитогенетика основных таксонов в отрядах Perissodactyla и Cetartiodactyla (Laurasiatheria, Mammalia): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.07. Новосибирск, 2010. 20 с.
12. Моссэ И. Б. Существуют ли радиационно-индуцированные мутации у человека? // Фактори експериментальної еволюції організмів: зб. наук. пр. НАН України, УАН України, НАМН України, Укр. т-во генетиків і селекціонерів ім. М. І. Вавилова; [редкол.]; за ред. В. А. Кунах. К.: Логос, 2011. Т. 10. С. 124–128.
13. Ней М., Кумар С. Молекулярная эволюция и филогенетика. К.: КВІЦ, 2004. 418 с.
14. Плохинский Н.А. Биометрия. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1970. 367 с.
15. Сафонова Н. А., Глазко Т. Т. Меж- и внутрипородная цитогенетическая нестабильность у крупного рогатого скота // Зб. наук. праць Ін-ту агроєкології та біотехнології УАН. 2000. № 4. С. 198–209.
16. Семенов А. С. Цитогенетический скрининг в различных популяциях голштинизированного скота: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук: 06.02.07. Новосибирск, 2010. 16 с.
17. Сунцов С. С., Лобанова Т. В. Взаимосвязь аномалий крупного рогатого скота с их иммунным статусом в районе Семипалатинского полигона // Зоотехния. 2010. №2. С. 66–68.
18. Шельов А. В. Цитогенетична оцінка племінних ресурсів сільськогосподарських тварин: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.15. с. Чубинське, 2008. 17 с.
19. Шельов А. В., Дзіцюк В. В. Методика приготування метафазних хромосом лімфоцитів периферійної крові тварин // Методики наукових досліджень із селекції, генетики та біотехнології у тваринництві: наук. зб. К., 2005. С. 210–213.
20. Эрнст Л. К., Жигачев А. И. Мониторинг генетических болезней животных в системе крупномасштабной селекции. М., 2006. 383 с.
21. Sea G. F., Etcheberry K. F., Dulout F. N. Induction of micronuclei in mouse bone-marrow cells by the flavonoid 5,3',4'-trihydroxy-3,6,7,8-tetramethoxy-flavone (THTMF) // Mutat Res. 1983. Mar. N 119(3). P. 339–342.
22. Citek J., Rubes J., Hajkova J. Short communication: Robertsonian translocations, chimerism, and aneuploidy in cattle // J. Dairy Sci. Vol. 92. Issue 7. July 2009. P. 3481–3483.
23. Ducos A., Berland H. M., Bonnet N. et al. Chromosomal control of pig populations in France: 2002–2006 survey // Genet Sel Evol. 2007. Vol. 39. P. 583–597.
24. Ducos A., Revay T., Kovacs A. et al. Cytogenetic screening of livestock populations in Europe: an overview // Cytogenet Genome Res. 2008. N 120. P. 26–41.

25. *Jing-Fen Kang, Xiang-Long Li, Rong-Yan Zhou et al.* Bioinformatics analysis of lactoferrin gene for several species // *Biochem. Genet.* 2008. Vol. 46. P. 312–322.
26. *Haig D.* The complex history of distal human chromosome 1q // *Genomics.* 2005. N 86. P. 767–770.
27. *Hasanbasic D., Rukavina D.* Micronuclei in lymphocytes of horses and pigs after in vitro irradiation // *Acta Veterinaria.* 2007. Vol. 57. No 4. P. 341–350.
28. *Farina S.* Late Pleistocene-Holocene mammals from “Canale delle Acque Alte (Canale Mussolini)” (Agro Pontino, Latium) // *Bollettino della Società Paleontologica Italiana.* 2011. N 50 (1). P. 11–22.
29. *Picone B., Sineo L.* Reconstructing the phylogeny of the human chromosome 4 synteny using comparative karyology and genomic data analysis // *Cariologia.* 2010. Vol. 63. N 3. P. 314–334.

## CHARACTERISTICS SOMATIC MUTAGENESIS OF *BOS TAURUS* AND *SUS SCROFA* BLOOD CELLS IN DIFFERENT RADIOECOLOGICAL CONDITIONS

S. Kostenko

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
19, General Rodimcev St., Kyiv 03022, Ukraine  
e-mail: swetakostenko@mail.ru*

Cytogenetic analysis of cattle and swine kept in different radioecological conditions. In chronic low-dose irradiation animals of these species (*Bos taurus* and *Sus scrofa*) observed increase in the frequency of cells with micronucleus and aneuploidy. Pigs unlike cows also revealed increased frequency of chromatid breaks, asynchronous cleavage of centromere regions chromatids dicentric and ring chromosomes. This may reflect the different rates of evolution of the karyotypes of these species.

*Keywords: Bos taurus, Sus scrofa, chronic low doses of irradiations, evolution, somatic mutagenesis.*

## ОСОБЕННОСТИ СОМАТИЧЕСКОГО МУТАГЕНЕЗА КЛЕТОК КРОВИ *BOS TAURUS* И *SUS SCROFA* В РАЗНЫХ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ СОДЕРЖАНИЯ

С. Костенко

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины  
ул. Генерала Родимцева, 19, Киев 03022, Украина  
e-mail: swetakostenko@mail.ru*

Проведен цитогенетический анализ крупного рогатого скота и свиней, содержащихся в различных радиоэкологических условиях. При хроническом низкодозовом облучении у животных двух видов *Bos taurus* и *Sus scrofa* наблюдается повышение частоты клеток с микроядрами и анеуплоидией. У свиней, в отличие от коров, выявлено также повышение частоты хроматидных разрывов, асинхронного расщепления центромерных районов хроматид, появление дицентричных и кольцевых хромосом. Более высокая реактивность кариотипа *Sus scrofa*, по сравнению с *Bos taurus*, может отображать различные темпы эволюции кариотипов этих видов.

*Ключевые слова: Bos taurus, Sus scrofa, хроническое низкодозовое ионизирующее облучение, эволюция, соматический мутагенез.*