

Радіогенні зміни вмісту РНК та ДНК у селезінці за різних режимів опромінення тварин

Л. Г. Петрина

Івано-Франківська державна медична академія МОЗ України
Вул. Галицька, 2, Івано-Франківськ, 76000, Україна

Досліджено вміст нуклеїнових кислот у селезінці щурів Вістар після одноразового опромінення їх γ -квантами в дозах 1,0; 5,0 та 9,0 Гр за потужності доз 0,001; 0,01; 0,1 та 1,0 Гр/хв. З'ясовано, що під впливом γ -випромінювання вміст РНК та ДНК змінюється. Величина цих змін, їхній напрямок і тривалість прояву залежать від дози опромінення. Отримані результати свідчать про те, що зменшення інтенсивності випромінювання призводить до зростання часу досягнення екстремуму і до зниження величини ефекту в точці екстремуму. Обговорюється питання про взаємозалежність між змінами вмісту РНК і ДНК при опроміненні тварин у широкому діапазоні доз за різних інтенсивностей іонізуючої радіації.

Вступ. Невизначеність характеру дозової залежності біологічних ефектів слабоіонізуючої радіації різних видів та інтенсивності ускладнює вирішення цілої низки проблем фундаментального (радіаційний мутагенез і канцерогенез) і прикладного значення (оцінка і прогноз генетичного та канцерогенного ризику, санітарно-гігієнічне нормування, біологічна дозиметрія та ін.) [1—3].

Аналіз залежності ефекту доз γ -випромінювань від їхньої потужності здійснено в роботах [4, 5], де показано, що при опроміненні в малих дозах у вузькому діапазоні потужностей доз (від 0,1 до 35 сГр/хв) виникають так звані ефекти малих доз. Результати дослідження впливу γ -радіації в напівлетальних та летальних дозах за названого діапазону потужностей мають суперечливий характер через неоднорідність біооб'єктів, час обстеження (з урахуванням сезонної та добової радіочутливості), гетерогенність клітин та їхніх включень [1, 2]. Іонізуюча радіація дозозалежно впливає на функціональні підсистеми організму, активує захисні системи, які зводять до мінімуму пряму дію опромінення, відновлюють функції і репарують пошкодження. Ефект впливу радіації після реалізації відновлюючих процесів залежить від їхнього співвідношення з процесами прямої дії. Особливу роль

у процесах відновлення відіграють макромолекули РНК і ДНК. Співвідношення деструктивно-некротичних і відновних процесів у селезінці певною мірою відображає коефіцієнт РНК/ДНК. Літературні дані свідчать про те, що вміст нуклеїнових кислот у селезінці змінюється залежно від функціонального стану організму і розвитку патологічного процесу. Розбіжність літературних даних стосовно змін вмісту нуклеїнових кислот у селезінці опромінених щурів [6—8] спонукала нас до експериментальних досліджень для оцінювання показників нуклеїнового гомеостазу в лабораторних тварин після їхнього γ -опромінення в широкому діапазоні доз за різних режимів опромінення, а також для з'ясування, чи існує взаємозалежність між змінами вмісту ДНК і РНК при цих умовах. Мета нашої роботи полягала в дослідженні впливу випромінювання різної потужності (0,001; 0,01; 0,1 та 1,0 Гр/хв), що охоплює вищезгаданий діапазон, за різної дози радіації на метаболізм РНК, ДНК селезінки щурів.

Матеріали і методи. Експериментальні дослідження проводили на щурах-самцях лінії Вістар масою 150—180 г. Тварин утримували на лабораторному кормі при вільному доступі до води. Одноразове опромінення тварин в дозах 1,0; 5,0 та 9,0 Гр здійснювали від джерела ^{60}Co при потужностях доз 0,001; 0,01; 0,1 та 1,0 Гр/хв. Адекватним контролем служили удавано опромінені тварини

Таблиця 1

Вміст РНК та ДНК у тимусі щурів після одноразового тотального опромінення їх γ -квантами ^{60}Co в дозі 1,0 Гр при різних потужностях дози (мг)

Термін після опромінення, доба	Потужність дози, Гр/хв							
	0,001		0,01		0,1		1,0	
	Експозиція, хв							
	1000		100		10		1	
	РНК	ДНК	РНК	ДНК	РНК	ДНК	РНК	ДНК
0,5	3,6±0,3	5,4±0,5	3,6±0,5	5,3±0,6	3,7±0,3	5,6±0,5	3,5±0,4	5,2±0,5
1	3,5±0,4	5,0±0,6	3,5±0,4	4,9±0,5	3,6±0,4	5,2±0,4	2,6±0,3***	3,5±0,3***
2	2,9±0,3*	4,2±0,5*	2,6±0,3*	4,0±0,5*	2,6±0,2*	4,1±0,3*	1,9±0,3***	2,3±0,2***
4	2,5±0,3*	3,5±0,4*	2,2±0,3*	3,1±0,4*	1,9±0,2***	2,6±0,3***	2,1±0,3*	2,7±0,3***
6	2,4±0,3*	3,5±0,5*	2,5±0,2*	3,2±0,5*	2,6±0,3*	3,5±0,3*	3,1±0,3**	3,8±0,5*
8	3,1±0,4	3,8±0,4*	3,4±0,3	4,1±0,4*	3,6±0,4	4,6±0,4*	3,7±0,4	4,7±0,4***
10	3,2±0,3	4,5±0,3*	3,5±0,4	4,7±0,5*	3,7±0,4	5,0±0,4	3,6±0,5	5,2±0,6*
14	2,9±0,3*	4,5±0,4*	3,0±0,3	4,6±0,5*	3,1±0,3	4,6±0,5*	3,3±0,4	5,0±0,5
15	2,8±0,2*	4,6±0,5*	3,0±0,4	4,6±0,5*	3,0±0,2*	4,7±0,5*	3,3±0,4	5,1±0,6
20	3,2±0,3	5,1±0,6	3,3±0,4	5,3±0,5	3,3±0,3	5,3±0,4	3,5±0,3	5,5±0,5
30	3,7±0,3	5,9±0,5	3,7±0,5	5,8±0,7	3,7±0,5	5,7±0,3	3,8±0,4	5,9±0,7

Примітка. Тут і в табл. 2, 3 *різниця з контролем достовірна ($p < 0,05$); **різниця з відповідними даними для найменшої потужності дози достовірна ($p < 0,05$); ***різниця з контролем і відповідними даними для найменшої потужності дози достовірна ($p < 0,05$). Контроль: РНК = $3,8 \pm 0,4$ мг; ДНК = $5,9 \pm 0,5$ мг.

відповідної вікової групи, яких утримували в аналогічних умовах. Експеримент проводили в квітні—травні (враховуючи вплив пори року на радіочутливість). Щурів досліджуваних та контрольних груп декапітували через 0,5; 1; 2; 4; 6; 8; 10; 15; 20; 30 діб. Отримані дані обробляли статистично. Вивчали вміст нуклеїнових кислот за методикою [9]. На основі отриманих даних розраховували відношення РНК/ДНК.

Результати і обговорення. Згідно з наведеними в табл. 1 результатами встановлено, що γ -опромінення в дозі 1,0 Гр при всіх потужностях дози викликає фазові зміни вмісту РНК та ДНК у селезінці тварин. Найнижчий вміст нуклеїнових кислот спостерігали у щурів, опромінених за потужності дози 0,001 Гр/хв через 15 діб; за потужностей доз 0,01 та 0,1 Гр/хв — через 6—10 діб; за потужності дози 1,0 Гр/хв — через 6 діб. У наступні дні вміст РНК та ДНК зростав і через 30 діб мало відрізнявся від контролю. Вміст РНК та ДНК у селезінці через 1; 2; 4 та 8 діб зменшувався при зростанні дози. Винятки становили: 1-ша доба за потужностей доз 0,1 та 1,0 Гр/хв для РНК та 0,01 і 0,1 Гр/хв для ДНК (ці показники не відрізнялися); 4-та та 8-ма доба для РНК за потужностей доз

0,01 та 0,1 Гр/хв. Починаючи з 15-ї доби, вміст РНК та ДНК у селезінці був вищий в тих тварин, яких опромінювали за вищих потужностей дози. Не відрізнялися показники вмісту РНК у тварин, опромінених за потужностей доз 0,01 та 0,1 Гр/хв через 15 і 20 діб та за потужностей 0,001 і 0,01 Гр/хв через 30 діб. Найшвидше відновлювався вміст нуклеїнових кислот у тварин, опромінених за потужності дози 1,0 Гр/хв, найповільніше — за потужності дози 0,001 Гр/хв.

При опроміненні тварин γ -квантами в дозі 5,0 Гр характер динаміки вмісту нуклеїнових кислот в селезінці нагадував попередній (табл. 2). Найнижчий вміст РНК спостерігали у тварин, опромінених за потужності дози 0,001 Гр/хв через 6 діб, а в інших групах тварин — через 3 доби. Найнижчий вміст ДНК у селезінці щурів спостерігали через 8 діб після опромінення за потужності дози 0,001 Гр/хв, через 4 доби — за потужності дози 0,01 Гр/хв, через 3 доби — за потужностей доз 0,1 та 1,0 Гр/хв. Достовірно відрізнявся вміст нуклеїнових кислот в селезінці тварин, опромінених γ -квантами за потужності 1,0 Гр/хв, через 2—4 доби (РНК) і в перші 15 діб (ДНК) та в опромінених тварин за потужності дози 0,1 Гр/хв

Таблиця 2

Вміст РНК і ДНК у тимусі щурів після одноразового тотального опромінення їх γ -квантами ^{60}Co в дозі 5,0 Гр при різних потужностях дози (мг)

Термін після опромінення, доба	Потужність дози, Гр/хв							
	0,001		0,01		0,1		1,0	
	Експозиція, хв							
	1000		500		50		5	
	РНК	ДНК	РНК	ДНК	РНК	ДНК	РНК	ДНК
0,5	3,5±0,4	5,3±0,6	3,5±0,5	5,3±0,6	3,7±0,5	5,5±0,4	2,2±0,5***	3,2±0,4***
1	2,7±0,4*	3,7±0,5*	2,4±0,5*	3,3±0,4*	2,1±0,*	2,0±0,2***	1,1±0,3***	1,2±0,3***
2	1,6±0,3*	2,2±0,4*	1,3±0,3*	1,8±0,3*	0,9±0,2***	0,8±0,1***	0,5±0,2***	0,5±0,2***
4	1,3±0,3*	1,7±0,3*	1,2±0,3*	1,3±0,2*	0,7±0,1***	0,6±0,1***	0,9±0,3*	1,1±0,3*
6	1,2±0,3*	1,6±0,3*	1,9±0,3*	1,8±0,3*	2,4±0,3***	2,2±0,3*	3,2±0,4**	3,6±0,5***
8	3,0±0,4	3,4±0,4*	3,2±0,5	3,8±0,5*	3,4±0,4	4,1±0,4*	3,6±0,5	4,5±0,6***
10	2,3±0,4*	3,1±0,4*	2,6±0,4*	3,3±0,5*	3,1±0,3**	3,5±0,3*	2,6±0,4*	3,8±0,5*
14	1,3±0,3*	2,4±0,5*	1,5±0,3*	2,6±0,4*	1,4±0,2*	2,5±0,3*	1,7±0,3*	2,8±0,4*
15	1,3±0,3*	2,1±0,4*	1,5±0,3*	2,2±0,4*	1,5±0,2*	2,6±0,3*	1,6±0,3*	3,0±0,5*
20	2,1±0,4*	3,8±0,5*	2,2±0,4*	4,0±0,5*	2,1±0,3	4,0±0,4*	2,5±0,4*	4,3±0,5*
30	3,4±0,5	6,1±0,7*	3,5±0,5	6,1±0,8	3,4±0,3	5,9±0,5	3,6±0,5	6,2±0,7

через 3 доби (РНК) і в перші 4 доби та через 15 діб (ДНК) від цих же показників у тварин, опромінених за найнижчої потужності дози. В наступні дні вміст РНК збільшувався, але через 30 діб був нижчий за контрольні величини. Відновлення вмісту нуклеїнових кислот найшвидше проходить у тварин, опромінених за потужності дози 1,0 Гр/хв, найповільніше — за потужності дози 0,001 Гр/хв. Через 2, 3, 4 доби вміст нуклеїнових кислот у селезінці опромінених щурів був тим нижчий, чим вищою була потужність дози. Починаючи з 10-ї і до 20-ї доби вміст РНК був вищим у тих щурів, яких опромінювали за більших потужностей. Для ДНК така залежність є характерною через 10 діб після опромінення, а через 15 та 20 діб — тільки для тварин, опромінених за потужностей доз 0,001 та 0,01 Гр/хв. Відновлювався вміст ДНК набагато швидше, ніж РНК: через 20 діб зміни відносно контролю не були достовірними.

Як впливає з даних табл. 3, вміст нуклеїнових кислот у селезінці тварин, опромінених в дозі 9,0 Гр, дуже різко спадав і досягав мінімальних величин значно раніше, ніж у попередніх групах: у тварин, опромінених за потужності дози 0,001 Гр/хв — через 4 доби (втративши 80 % вмісту РНК та 76 % вмісту ДНК), за потужності

дози 0,01 та 0,1 Гр/хв — через 2 доби (втративши відповідно 83 та 92 % вмісту РНК та ДНК), за потужності дози 1,0 Гр/хв — через добу (втративши 98 % вмісту РНК та 96 % ДНК). Достовірно відрізнявся вміст нуклеїнових кислот у селезінці тварин, опромінених γ -квантами за потужності 1,0 та 0,1 Гр/хв, у перші 6—8 діб та в опромінених тварин за потужності 0,01 Гр/хв через 1; 4 і 6 діб від цих же показників у тварин, опромінених за найнижчої потужності дози. В наступні дні вміст нуклеїнових кислот збільшувався дуже швидко, досягаючи максимуму через 8 діб. В усіх групах тварин на цей термін вміст РНК та ДНК був у межах норми. Проте через 15 діб вміст РНК в селезінці тварин знову був достовірно нижчим за контроль (на 20—38 %), вміст ДНК мав лише тенденцію до зниження, відносно контролю зміни були недостовірними. Як і в попередніх групах тварин, найшвидше відновлювався вміст РНК та ДНК у щурів, опромінених за найвищої потужності дози, і найповільніше — за найнижчої потужності дози.

За морфологічним складом селезінка є гетерогенним органом імунної системи. Вона містить, окрім лімфоїдних, еритроцити, нейтрофіли, стовбурові, ретикулярні та інші клітини. Лімфоїдні клі-

Таблиця 3

Вміст РНК та ДНК у тимусі щурів після одноразового тотального опромінення їх γ -квантами ^{60}Co в дозі 9,0 Гр при різних потужностях дози (мг)

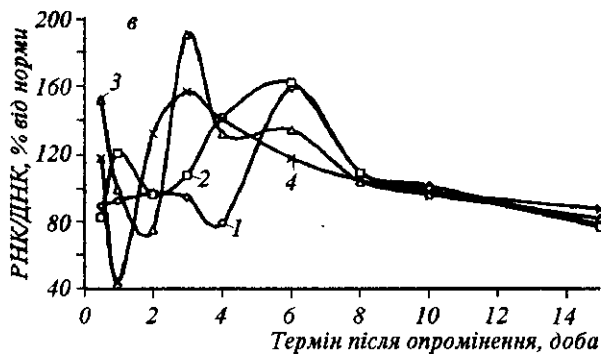
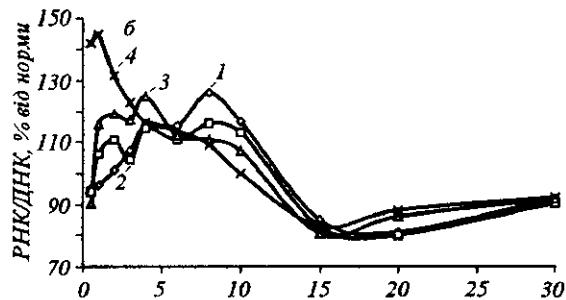
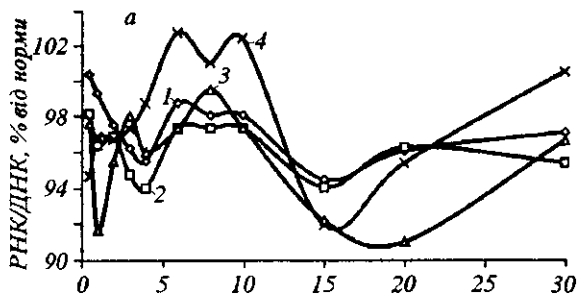
Термін після опромінення, доба	Потужність дози, Гр/хв							
	0,001		0,01		0,1		1,0	
	Експозиція, хв							
	1000		900		90		9	
	РНК	ДНК	РНК	ДНК	РНК	ДНК	РНК	ДНК
0,5	3,5±0,4	3,9±0,4*	3,4±0,5	3,9±0,5*	3,6±0,4	3,2±0,3*	1,9±0,3***	2,0±0,4***
1	2,0±0,3*	2,0±0,3*	1,9±0,3*	1,2±0,3***	0,5±0,1***	0,4±0,1***	0,2±0,1***	0,2±0,1***
2	1,1±0,3*	1,2±0,3*	0,6±0,2*	0,6±0,1***	0,2±0,1***	0,2±0,1***	0,5±0,2***	0,4±0,2***
4	0,8±0,2*	1,1±0,2*	1,3±0,3*	1,7±0,3***	2,8±0,3***	1,7±0,2***	3,3±0,5**	3,7±0,5***
6	2,4±0,3*	2,2±0,4*	2,8±0,4*	2,7±0,4*	3,0±0,3*	3,3±0,3***	2,6±0,5*	3,6±0,4***
8	1,9±0,3*	2,1±0,4*	2,3±0,4*	2,2±0,3*	2,1±0,2*	2,4±0,3*	2,1±0,4*	2,5±0,4*
10	1,1±0,3*	1,1±0,3*	1,2±0,3*	1,4±0,3*	1,2±0,2*	1,5±0,3*	1,3±0,3*	1,5±0,3*
14	0,3±0,1*	0,8±0,2*	0,4±0,2*	0,9±0,2*	0,5±0,1*	1,1±0,2	0,7±0,2***	1,4±0,2***
15	0,4±0,2*	0,7±0,2*	0,5±0,2*	0,8±0,2*	0,6±0,1*	1,2±0,1***	0,9±0,3*	1,5±0,3***

тини селезінки відрізняються чутливістю до дії радіації за ступенем диференціації, належністю до різних субпопуляцій [10, 11]. З урахуванням цього оцінювали ступінь активності системи реалізації генетичної інформації в клітинах, визначаючи відношення РНК до ДНК. Ця величина змінювалася хвилеподібно в усіх групах тварин (рисунок). Найменше виражені ці зміни у тварин, опромінених в дозі 1,0 Гр; в основному, цей показник мав тенденцію до зниження, особливо в групі тварин, опромінених за потужності дози 0,1 Гр/хв (рисунок, а). Про зниження співвідношення РНК/ДНК при опроміненні щурів у дозі 1 Гр за потужностей доз 5,76 сГр/добу та 5,4 сГр/хв повідомляють автори [12]. Опромінення тварин у дозі 5,0 Гр спричинювало складні залежності співвідношення РНК/ДНК за різних потужностей доз (рисунок, б). Максимально цей показник зростав у першу добу після опромінення тварин за потужності 1,0 Гр/хв (на 40 %), через 5 діб — у тварин, опромінених за потужності доз 0,1 та 0,01 Гр/хв (на 25 та 15 % відповідно) та через 8 діб — у тварин, опромінених за потужності дози 0,001 Гр/хв (на 25 %). До 15—20-ї доби тривав спад цих показників на 15—20 % нижче контролю. Потім спостерігалася тенденція до нормалізації.

Зовсім іншою була динаміка співвідношення РНК/ДНК у тварин, опромінених в дозі 9,0 Гр за потужності дози 1,0 Гр/хв (рисунок, в): незначне

(на 20 %) підвищення в перші години; різке зниження (на 60 %) через добу і знову швидко зростання до третьої доби (на 57 %) та зниження до норми через 8 діб. У тварин, опромінених за потужності дози 0,1 Гр/хв, амплітуда коливань показника була набагато більшою: в перші години зростала на 50 % вище контролю, за 2 доби спадала на 25 % нижче показника інтактних тварин, через 3 доби зростала на 90 %, а через 8 діб наближалася до контрольних величин. У тварин, опромінених за потужностей 0,01 та 0,001 Гр/хв, згаданий показник у перші години спадав на 15—20 % нижче контрольних величин. Максимального зростання (на 60 %) він досягав через 6 діб, через 8 діб — не відрізнявся від контрольних величин. У наступні дні цей показник мав тенденцію до зниження в усіх групах тварин.

Співвідношення РНК/ДНК побічно характеризує транскрипційну активність хроматину і стан системи, яка відповідає за синтез білка. Зниження співвідношення свідчить про менш виражену блоксинтезуючу систему, а зростання відношення РНК до ДНК може вказувати на збільшення кількості молодих клітинних елементів у селезінці [13, 14]. У тварин, які вижили після опромінення, співвідношення РНК/ДНК набувало нижчих значень, а у тварин, які загинули за короткі терміни після впливу іонізуючої радіації в дозах 5,0 та 9,0 Гр, ці показники перевищували відношення РНК/ДНК у



Динаміка співвідношення РНК/ДНК порівняно з нормою в селезінці щурів після одноразового тотального опромінення їх γ -квантами ^{60}Co в дозах (Гр) 1,0 (а); 5,0 (б); 9,0 (в) при різних потужностях дози: 1 — 0,001; 2 — 0,01; 3 — 0,1; 4 — 1,0 Гр/хв. Співвідношення РНК/ДНК в селезінці контрольних тварин 0,75

контрольній групі на 40 і 90 % відповідно. В окремі періоди спостерігали короточасне відновлення співвідношення. Одночасне і приблизно однакове прискорення синтезу РНК і ДНК забезпечує пришвидчення як проліферації клітинних елементів, так і їхнє диференціювання до зрілих клітинних форм.

Висновки. Аналіз отриманих даних показав, що під впливом γ -випромінювання змінювався метаболізм РНК і ДНК у селезінці щурів лінії Вистар.

Величина цих змін, їхній напрямок і тривалість прояву залежали від дози γ -опромінення.

Зменшення інтенсивності випромінювання призводило до зростання часу досягнення екстремуму і до зменшення величини ефекту в точці екстремуму.

Виявлені закономірності свідчать про те, що чим нижча інтенсивність випромінювання, тим пізніше починають працювати системи відновлення.

L. G. Petryna

Radiogenic alterations of RNA and DNA in rat spleen under various conditions of irradiation

Summary

The content of nucleic acids in the Vistar line rat spleen has been found to change after a total single γ -irradiation at 1.0, 5.0 and 9.0 Gy doses of 0.001, 0.01, 0.1 and 1.0 Gy/min dose power. The degree of these alterations, their direction and extent of manifestation depend on the dose of irradiation. The experimental data show that the decrease in irradiation intensity prolongs the time of reaching an extreme point and decreases the effect level in this point. The correlation between the RNA and DNA content changes in animals caused by their irradiation has been discussed.

Л. Г. Петрина

Радиогенные изменения содержания РНК и ДНК в селезенке при разных режимах облучения животных

Резюме

Исследовано содержание нуклеиновых кислот в селезенке крыс Вистар после однократного тотального облучения их γ -квантами в дозах 1,0; 5,0 и 9,0 Гр при мощности доз 0,001; 0,01; 0,1 и 1,0 Гр/мин. Установлено, что под влиянием γ -излучения содержание РНК и ДНК изменяется. Величина этих изменений, направление и протяженность их проявления зависят от дозы облучения. Полученные результаты свидетельствуют о том, что уменьшение интенсивности излучения приводит к увеличению времени достижения точки экстремума и снижению величины эффекта в этой точке. Обсуждается вопрос о взаимозависимости между изменением содержания РНК и ДНК после облучения животных в широком диапазоне доз при различных мощностях ионизирующей радиации.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шевченко В. А., Померанцева М. Д. Генетические последствия действия ионизирующих излучений.—М.: Наука, 1985.—279 с.
2. Кузин А. М., Юров С. С., Щелкаева Н. В., Дедкова Е. Н. Мутабельность в популяции дрожжей *Sporobolomyces alborubescens* Derx. при длительном хроническом γ -облучении с малыми мощностями доз // Радиобиология.—1993.—33, № 3.—С. 419—423.
3. Бурлакова Е. Б., Голощанов А. Н., Жижина Г. П., Конрадов А. А. Новые аспекты закономерностей действия низкоинтенсивного облучения в малых дозах // Радиационная биология. Радиозэкология.—1999.—39, № 1.—С. 26—34.
4. Эйдус Л. Х. О механизме инициации эффектов малых доз // Радиационная биология. Радиозэкология.—1994.—34, № 6.—С. 748—758.
5. Эйдус Л. Х. О проблеме экстраполяции дозовой зависимости, цитогенетических повреждений от больших доз к малым // Радиационная биология. Радиозэкология.—1999.—39, № 1.—С. 177—180.

6. Жижина Г. П., Скалацкая С. И., Бурлакова Е. Б. Влияние малых доз ионизирующей радиации на ДНК селезенки при облучении мышей // Радиационная биология. Радиозэкология.—1994.—34, № 6.—С. 759—768.
7. Кисельгоф Е. И., Мушкачева Г. С. Обмен нуклеиновых кислот в селезенке и печени крыс при длительном повторном γ -облучении // Радиобиология.—1977.—17, № 5.—С. 722—727.
8. Lloid D. S., Edwards A. A., Leonard A. Frequencies of chromosomal aberrations in human blood lymphocytes by low doses of X-rays // Int. J. Radiat. Biol.—1988.—53, N 1.—P. 49—55.
9. Трудовой М. Г. Количественное определение РНК и ДНК в субклеточных фракциях клеток животных. Современные методы в биохимии / Под ред. В. И. Ореховича.—М.: Медицина, 1977.—С. 313—316.
10. Bruserud Q., Moen T. Production of lymphokines in irradiated lymphoid cell population // J. Immunol. Meth.—1984.—71.—P. 175—184.
11. Owen J. J. B-cell development // Progr. Immunol.—New York; London: Acad. press, 1980.—P. 303—314.
12. Вережако Г. Г., Ходосовская А. М., Буловацкая И. В., Конопля Е. Ф. Влияние внешнего облучения различной интенсивности в дозе 1 Гр на содержание ДНК, РНК и общего белка в семенниках и печени крыс // Радиационная биология. Радиозэкология.—1999.—39, N 5.—С. 557—562.
13. Мушкачева Г. С., Кисельгоф Е. И. Особенности биосинтеза нуклеиновых кислот при активации пролиферации эритроидных клеток, вызванной длительным γ -облучением // Радиобиология.—1983.—23, № 3.—С. 363—366.
14. Мушкачева Г. С., Шорохова В. Б. Влияние окиси трития в широком диапазоне доз на метаболизм нуклеиновых кислот селезенки крыс // Радиобиология.—1989.—29, № 4.—С. 554—557.

УДК 577.391 + 547.963.3 + 591.441
Надійшла до редакції 01.08.01