

Т. ШНАЙДЕР, Х. ЭХВЯРТ

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОДНОКРАТНОГО И ФРАКЦИОНИРОВАННОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ ПРОРАСТАЮЩИХ СЕМЯН *VICIA FABA*

Введение

Известно, что радиочувствительность прорастающих семян во много раз превосходит радиочувствительность сухих покоящихся семян, причем она не остается постоянной, а изменяется в зависимости от физиологического состояния семян и фазы клеточного цикла в момент облучения (Stadler, 1928; Трудова, 1950; Gray, Scholes, 1951; Ehrenberg, Nybom, 1954; Mericle L., Mericle R., 1957; Порядкова и др., 1960; Мамедов, 1960; Васильев, 1962). Различная устойчивость к излучениям у покоящихся клеток и делящихся или близких к делению может стать причиной, модифицирующей эффект облучения в опытах с применением одной дозы как однократно, так и фракционированно. Результаты многих работ, посвященных этому вопросу, весьма противоречивы и неоднозначны, что, по-видимому, можно объяснить разнообразием исследуемых объектов (растения, микроорганизмы, простейшие, насекомые, млекопитающие), различными условиями проведения опытов и неодинаковыми по величине и интенсивности дозами облучения.

Многочисленные данные литературы подтверждают тот факт, что фракционирование дозы может давать различный эффект. В ряде опытов фракционирование вызывало снижение биологического эффекта по сравнению с дозой, данной суммарно (Crowther, 1926; Ancel, 1928; de Serres, Giles, 1953; Steffensen, Arnason, 1954; Clark, 1955; Китаева, 1958; Davies, Wall, 1960; Davies, 1962; Васильев, 1962; Нуждин и др., 1965; Pötsch, 1966).

Иногда эффект был почти одинаковым при однократном и фракционированном облучении (Noethling, Stubbe, 1938; Тимофеевский и др., 1953; Du Sauli, 1956; Schooler и др., 1957; Bianchi, Giacchetta, 1964; Bianchi, 1965; Бочков, 1966). Некоторые же работы свидетельствуют о большей эффективности фракционированного облучения (Lane, 1951, 1952; Naque, 1952; Fogg, Cowing, 1953; Desai, 1954; Лучник, 1956).

Вопрос о закономерностях суммирования повреждений при фракционированном облучении очень сложен и недостаточно изучен, несмотря на сравнительно большое количество работ, посвященных этому вопросу. Подавляющее большинство этих работ, в которых показателем эффективности воздействия служит число хромосомных перестроек, свидетельствует о том, что при фракционировании дозы имеет место не простое суммирование повреждений, а более сложное взаимодействие. Интерпретировать результаты опытов по фракционированию трудно, так как реакция клеток на облучение может в различной мере зависеть от их физиологического состояния. Например, исследования Ш. Вольфа и Х. Луипольда (Wolff, Luippold, 1958), выполненные на *Vicia faba*, и Н. Кона (Cohn, 1958) на корешках лука показали, что условия метаболизма играют большую роль при определении интервала времени, в течение которого фрагменты хромосом, образовавшиеся в результате воздействия одной фракции облучения, могут воссоединяться с фрагментами, произведенными более поздней фракцией. Другие исследователи (Lane, 1952; Naque, 1952; Fetner, 1956) высказали предположение о том, что после одной фракции облучения могут происходить временные физиологические изменения, оказывающие защитное действие против более поздней фракции. Большой эффект при фракционированном облучении микроспор традесканции был получен Дж. Лейном (Lane, 1951, 1952), в опытах которого с увеличением интервала между облучениями эффект сначала уменьшался, а затем возрастал. Дж. Лейн объяснил это влиянием физиологических изменений, появлением временной резистентности хромосом, развивающейся после первой фракции облучения. Аналогичны его результатам данные Н. Лучника (1956) по фракционированному облучению гамма-лучами набухающих семян гороха. В его опыте с увеличением интервала между облучениями эффект сначала уменьшался, а затем возрастал, достигая максимума примерно через 4—6 ч после первого облучения, причем в это время эффект оказывался даже большим, чем при однократном облучении. При дальнейшем увеличении интервала между облучениями эффект снова начинал уменьшаться. Н. Лучник делает вывод, что, очевидно, под действием первой фракции в клетках происходит изменение нуклеопротеидного обмена, в результате чего они на некоторое время становятся более радиочувствительными. В некоторых работах отмечено также изменение эффекта при фракционировании дозы в зависимости от ее величины (Китаева, 1958; Нуждин и др., 1962), интервалов между фракциями (Jain, Mujumder, 1959) и интенсивности облучения (Clark, 1955).

Противоречивость приведенных данных можно объяснить, во-первых, тем, что репарационные процессы, начавшиеся в период облучения, продолжаются и в перерывах между фракциями. Одно это уже должно приводить к различиям между двумя типами облучения, степень которых будет тем больше, чем активнее идут названные процессы, и, во-вторых, различиями в чувствительности стадий клеточного цикла. Отдельные фракции облучения могут попадать на периоды большей или меньшей радиочувствительности клеток (Нуждин и др., 1965).

Работа проводилась в Институте экспериментальной биологии Академии наук Эстонской ССР (Харку), целью ее было изучение действия однократного и фракционированного облучения гамма-лучами на прорастающие семена кормовых бобов.

Материал и методика

В опыте использовались семена кормовых бобов сорта 'Иыгева' (*Vicia faba* var. *minor* f. *agrorum*), которые были замочены в водопроводной воде и облучались гамма-лучами ^{60}Co на установке Луч-1 Таллинского республиканского онкологического диспансера в дозах 2 000, 6 000 и 12 000 p при мощности экспозиционной дозы 333 p/мин. Каждая доза давалась однократно и фракционированно в три приема с интервалами в 6 ч таким образом, что суммарную дозу набухающие семена получили через 4 ч после начала замачивания, первую фракцию — через 10 ч, а вторую и третью — соответственно через 16 и 22 ч. После облучения семена помещали на влажный песок для проращивания. Через три дня, когда корешки имели длину 0,8—1,5 см, проростки переносили на парафинированную марлю, натянутую на стеклянные сосуды-кристаллизаторы, диаметром 25—30 см, наполненные до верха водопроводной водой. Корни опускали в воду через отверстия, проделанные в марле. Облучение и проращивание семян проводили при температуре воздуха в помещении 22—24° С. В качестве контроля использовали необлученные семена, замоченные одновременно с опытными вариантами. В каждом из вариантов опыта было по 40 семян. Показателем реакции растений на облучение служила степень развития корневой системы.

Работами многих исследователей было показано, что между количеством хромосомных перестроек в первых митозах меристематических тканей и торможением роста проростков имеется четкая положительная корреляция (Caldecott, 1961; Зезюлинский, Солдатова, 1965 и др.). Поэтому в последнее время многие авторы как критерий реакции растений на облучение используют интенсивность развития проростков и особенно корневой системы, которая более чувствительна к облучению, не анализируя количество хромосомных перестроек, хотя эти процессы причинно связаны и именно повреждение клеточных ядер приводит к гибели часть клеток в процессе митоза и к торможению роста. Корни измеряли ежедневно в течение восьми дней начиная с четвертого дня после облучения. Один раз в три дня измеряли также высоту стеблей и подсчитывали число листьев.

Результаты и обсуждение

Данные, полученные при измерении длины корней и стеблей бобов, показали, что облучение вызывало значительное угнетение роста, которое увеличивалось пропорционально увеличению дозы. Корни и стебли растений из семян, получивших 2000 p, в первые 2—3 дня после облучения не отличались от контрольных, в дальнейшем выявилась задержка их роста. К концу опыта растения этого варианта, как и контрольные, имели 3—4 пары листочков, но в отличие от контроля листья опытных растений имели незначительные хлорофильные нарушения. В варианте, получившем 6 000 p, через неделю после облучения у части растений появились некрозы на концах корней, но через некоторое время ниже побуревшего участка корня отрастал тонкий белый корешок и рост возобновлялся. У большей части растений этого варианта листья не развернулись, лишь отдельные растения имели 1—2 листа с неровной, морщинистой поверхностью и хлорофильными нарушениями. У растений из семян, получивших 12 000 p, наблюдалось почти полное подавление роста корней. Очень незначительное удлинение корней в этом варианте, по всей вероятности, происходило за счет растяжения вакуолизированных поврежденных клеток, а не за счет митозов. Корни были сильно некротизированы, листья же совсем не развивались.

Динамика роста корней кормовых бобов представлена на рис. 1, из которого видно, что при всех трех дозах облучения рост корней гораздо сильнее подавлялся дозой, данной фракционированно, чем суммарной.

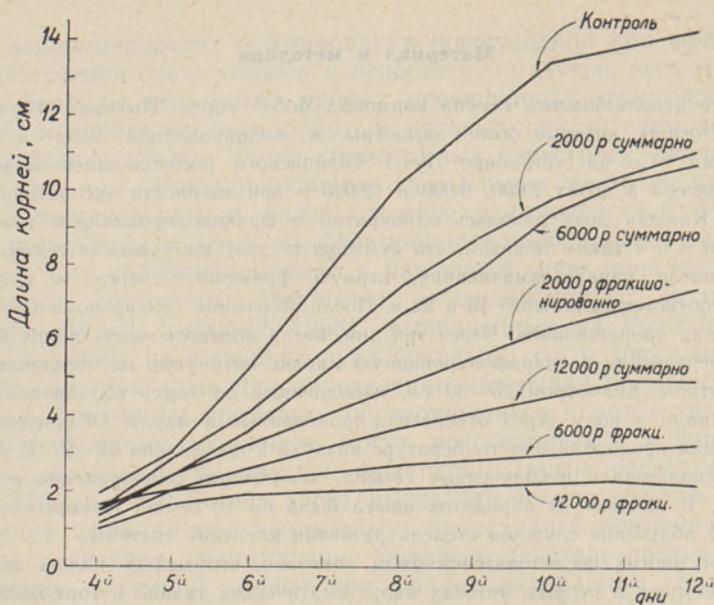


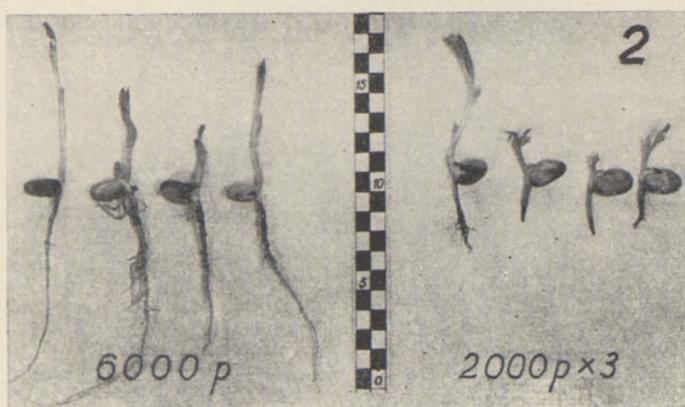
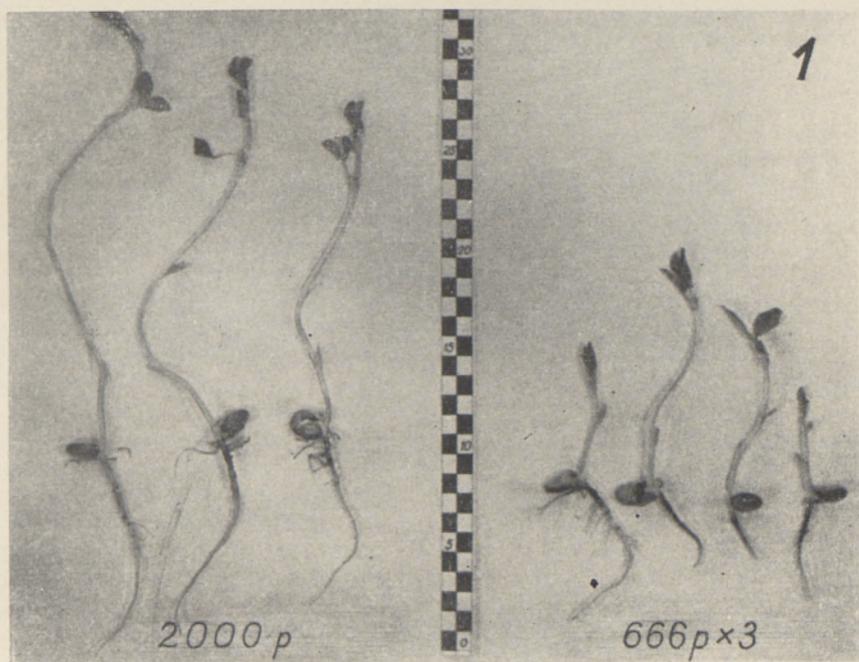
Рис. 1. Рост корней кормовых бобов после суммарного и фракционированного облучения семян.

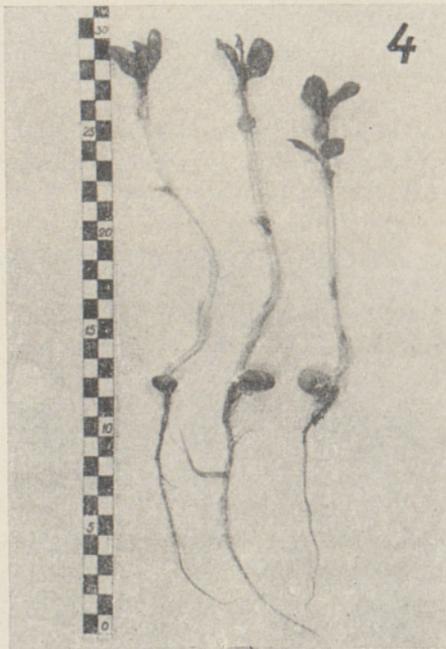
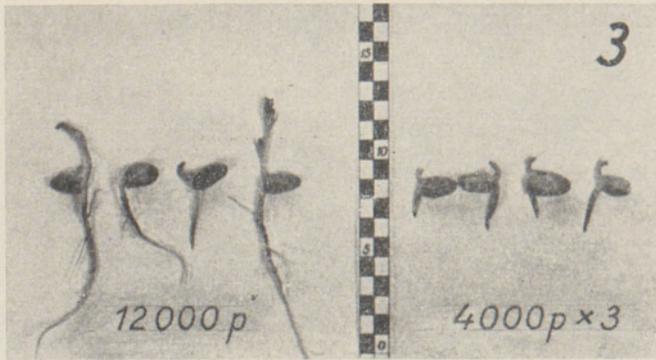
Эти различия в эффекте облучения были незначительно выражены в первые дни опыта, четко проявились на 6—7-й день после облучения и сохранялись до конца опыта. При сравнении длины корней опытных и контрольных растений можно отметить ту же закономерность: в начале опыта длина корней облученных вариантов была лишь незначительно меньше, чем контрольных, но в дальнейшем различия увеличились, причем степень их зависела от величины дозы и способа ее применения. В конце опыта наибольшие различия в длине корней были отмечены между контролем ($14,14 \pm 0,35$ см) и вариантом, получившим 12 000 р фракционированно ($2,08 \pm 0,20$ см). Среди опытных вариантов различия

Суточный прирост корней кормовых бобов после суммарного и фракционированного облучения семян, см

| Доза, р, вариант | Дни опыта | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | 5-й | 6-й | 7-й | 8-й | 9-й | 10-й | 11-й | 12-й |
| Контроль | $1,30 \pm 0,1$ | $2,17 \pm 0,13$ | $3,03 \pm 0,13$ | $1,98 \pm 0,07$ | $1,42 \pm 0,06$ | $1,40 \pm 0,08$ | $0,41 \pm 0,04$ | $0,36 \pm 0,04$ |
| 2 000 суммарно | $1,08 \pm 0,06$ | $1,25 \pm 0,11$ | $1,58 \pm 0,1$ | $1,74 \pm 0,15$ | $1,37 \pm 0,11$ | $1,09 \pm 0,09$ | $0,62 \pm 0,07$ | $0,54 \pm 0,06$ |
| 2 000 фракционированно | $0,82 \pm 0,06$ | $0,81 \pm 0,07$ | $0,81 \pm 0,11$ | $0,75 \pm 0,1$ | $0,75 \pm 0,08$ | $0,86 \pm 0,11$ | $0,50 \pm 0,06$ | $0,54 \pm 0,07$ |
| 6 000 суммарно | $0,98 \pm 0,05$ | $1,21 \pm 0,05$ | $1,57 \pm 0,15$ | $1,49 \pm 0,11$ | $1,15 \pm 0,09$ | $1,59 \pm 0,13$ | $0,84 \pm 0,07$ | $0,64 \pm 0,07$ |
| 6 000 фракционированно | $0,39 \pm 0,04$ | $0,22 \pm 0,05$ | $0,28 \pm 0,1$ | $0,15 \pm 0,03$ | $0,12 \pm 0,04$ | $0,17 \pm 0,06$ | $0,14 \pm 0,04$ | $0,15 \pm 0,05$ |
| 12 000 суммарно | $1,05 \pm 0,08$ | $0,54 \pm 0,07$ | $0,62 \pm 0,13$ | $0,38 \pm 0,07$ | $0,34 \pm 0,07$ | $0,46 \pm 0,08$ | $0,39 \pm 0,07$ | $0,31 \pm 0,06$ |
| 12 000 фракционированно | $0,54 \pm 0,06$ | $0,25 \pm 0,11$ | $0,15 \pm 0,03$ | $0,02 \pm 0,005$ | $0,043 \pm 0,006$ | $0,071 \pm 0,01$ | $0,043 \pm 0,002$ | $0,04 \pm 0,002$ |

Длина проростков бобов: 1, 2, 3 — при однократном (справа) и фракционированном (слева) облучении; 4 — контроль.





были наибольшими между вариантом, получившим однократно 2000 *р* ($11,01 \pm 0,67$ см), и вариантом, получившим 12 000 *р* фракционированно ($2,08 \pm 0,20$ см). Доза 6 000 *р* по сравнению с другими дозами вызывала наиболее резкие различия по длине корней в зависимости от способа применения. Так, средняя длина корней в варианте, получившем дозу 6 000 *р* суммарно, была $10,71 \pm 0,70$ см, а в варианте, получившем эту же дозу фракционированно — $3,27 \pm 0,55$ см. Суточный прирост корней у контрольных растений, как видно из таблицы, был наибольшим на 7—8-й день после облучения. У опытных вариантов, получивших суммарно 2 000 и 6 000 *р*, прирост был наибольшим также на 7—8-й день,

Рис. 2. Рост стеблей кормовых бобов после суммарного и фракционированного облучения семян.

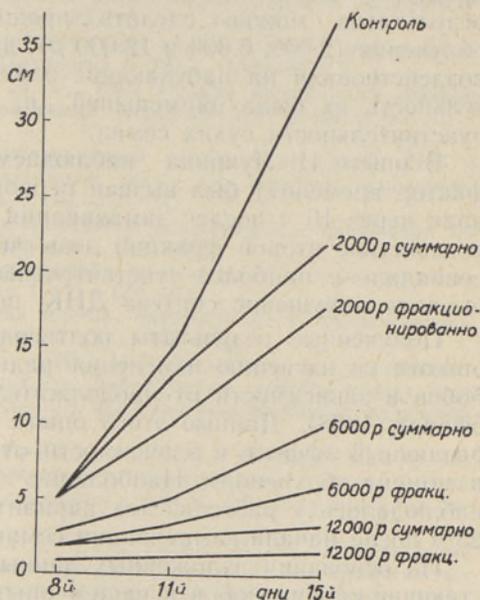
но в последующие дни снижение прироста шло медленнее, чем в контроле, так что к концу опыта прирост у этих вариантов примерно в 1,5 раза превышал контроль. Прирост корней в варианте, получившем суммарно 12 000 *р*, и в вариантах, получивших все три дозы фракционированно, был наибольшим на 5-й день после облучения, затем постепенно снижался.

На рис. 2 представлена динамика роста стеблей. Контрольные растения были выше опытных и эти различия особенно проявились в конце опыта. С увеличением дозы облучения рост стеблей подавлялся более заметно, а в пределах одной дозы подавление роста было сильнее при дозе, данной фракционированно.

За последние годы проведено большое количество исследований и накоплено много данных, свидетельствующих о различной радиочувствительности клеток, находящихся в разных фазах митотического цикла, а также о зависимости количества и типов ядерных изменений от фазы митоза облученной клетки (Трудова, 1950; Howard, Pelc, 1952; Делоне, 1960; Davies, Wall, 1961; Hsu и др., 1962; Дубинин, Дубинина, 1963; Terasima, Tolmach, 1963; Чумак, 1963; Епифанова, 1965, 1967; Зосимовская, 1966; Митрофанов, Тарасова, 1966).

Данные наших опытов можно интерпретировать в свете проделанных работ. Исходя из их результатов, большую эффективность фракционированного облучения можно объяснить тем, что отдельные фракции дозы совпадают с наиболее чувствительными периодами клеточного цикла и могут вызвать нарушение синтеза ДНК, в то время как однократная доза, данная в менее чувствительный период цикла, не вызывает подобного эффекта.

Деление клеток в меристеме кончиков стеблей у бобов после замачивания происходит почти синхронно и продолжительность нормального митотического цикла равна, в зависимости от условий, 24—30 ч (Read, 1959; Savage и др., 1960; Дубинин, 1966). Правда, имеются данные,



согласно которым средняя продолжительность цикла в корнях *Vicia faba* при 25° составляет 12 ч (Muir, 1964).

В нашем опыте набухающие семена бобов получили однократную дозу и первую фракцию дробного облучения через 4 и 10 ч после начала замачивания, до начала митозов в клетках меристемы. В первые часы опыта содержание воды в набухающих семенах быстро повышалось, чувствительность же к облучению начинала изменяться позднее. О. Энгель (1952) отмечает повышение чувствительности у семян пшеницы только после набухания в течение четырех и более часов, причем чувствительность набухающих семян к облучению повышалась с усилением процессов метаболизма, еще до начала деления клеток. На основании результатов можно сделать предположение, что однократные дозы облучения (2 000, 6 000 и 12 000 р), данные через 4 ч после замачивания, воздействовали на набухающие семена бобов в период, когда чувствительность их была наименьшей и, по-видимому, мало отличалась от чувствительности сухих семян.

В опыте Н. Лучника наблюдаемый большой эффект («обратный фактор времени») был вызван первой фракцией облучения, которую давали через 16 ч после замачивания семян. В нашем опыте, вероятно, воздействие второй фракции дозы через 16 ч после замачивания семян совпадало с наиболее чувствительным периодом интерфазы $S-G_2$, что вызвало нарушение синтеза ДНК, подавление и задержку митозов.

Полученные результаты подтвердились позднее проведенным нами опытом по изучению изменения радиочувствительности семян кормовых бобов в зависимости от продолжительности их замачивания (Шнайдер, Эхварт, 1968). Данные этого опыта показали, что облучение вызывало различный эффект в зависимости от физиологического состояния семян в момент облучения. Наибольшее угнетение роста корней и стеблей наблюдалось у растений тех вариантов, которые облучались через 16—23 ч после начала замачивания семян.

На основании изложенных данных можно предположить, что прорастающие семена бобов в нашем опыте были наиболее чувствительны к гамма-облучению примерно через 16 ч после начала замачивания и что наибольшее действие на изменение нуклеопотеидного обмена оказала вторая фракция облучения, совпадавшая, по-видимому, с постсинтетической фазой G_2 .

Выводы

1. Изучали изменение радиочувствительности набухающих семян кормовых бобов 'Йыгева', находившихся во время облучения гамма-лучами в дозах 2 000, 6 000 и 12 000 р на различных стадиях прорастания.
2. При повышении дозы облучения наблюдалось более значительное угнетение роста корней и стеблей растений по сравнению с контролем.
3. Одна и та же доза, данная суммарно или фракционированно, в три приема с интервалами в 6 ч, оказывала различное действие на прорастающие семена бобов. Наибольшее угнетение роста корней и стеблей отмечено при фракционированном облучении (при всех трех дозах). Большой эффект, наблюдаемый при фракционировании, можно объяснить изменением нуклеопотеидного обмена при воздействии второй фракции дозы на наиболее радиочувствительную фазу клеточного цикла — постсинтетическую — G_2 через 16 ч после замачивания семян.

ЛИТЕРАТУРА

- Бочков Н. П., 1966. Частота хромосомных aberrаций в зародышевых клетках мышей при однократном и фракционированном облучении. Сб. Влияние ионизирующих излучений на наследственность : 131—134. М.
- Васильев И. М., 1962. Действие ионизирующих излучений на растения. М.
- Делоне Н. Л., 1960. Ионизирующие излучения и наследственность. Сб. Итоги науки **3** : 155—175. М.
- Дубинин Н. П., Дубинина Л. Г., 1963. Радиация и ядерные изменения в разных фазах цикла клеток человека в культуре ткани. Радиобиология **3** (2) : 181—190.
- Дубинин Н. П., 1966. Эволюция популяций и радиация. М.
- Епифанова О. И., 1965. Критические периоды митотического цикла и экспериментальные подходы к их изучению. Цитология **7** (1) : 4—23.
- Епифанова О. И., 1967. О периодах митотического цикла и этапах повышенной чувствительности к воздействиям. Цитология **9** (9) : 1034—1055.
- Зезюлинский В. М., Солдатов Л. Г., 1965. Ранняя диагностика реакции растений на предпосевное облучение семян. Селекция и семеноводство (6) : 23—25.
- Зосимовская А. И., 1966. Действие ионизирующей радиации на синтез ДНК и митотический цикл клеток гемопозитической ткани. Сб. Влияние ионизирующих излучений на наследственность : 135—145. М.
- Китаева О. Н., 1958. Влияние фракционированного рентгеновского облучения на яичники мышей. Докл. АН СССР **120** (3) : 514—517.
- Лучник Н. В., 1956. О влиянии фракционирования и мощности дозы на цитологический эффект облучения. Биофизика **1** (7) : 633—636.
- Мамедов Т. Г., 1960. Влияние состояния клеток растений на их радиочувствительность при γ -облучении. Цитология **2** (2) : 175—178.
- Митрофанов Ю. А., Тарасова Т. С., 1966. Действие облучения на митотический цикл клеток. Радиочувствительность фибробластов эмбриональных тканей мышей в различных фазах цикла. Сб. Влияние ионизирующих излучений на наследственность : 69—78. М.
- Нуждин Н. И., Шапиро Н. И., Померанцева М. Д., Кузнецова Н. Н., 1962. Сравнительное изучение эффективности однократного и фракционированного рентгеновского облучения семенников мыши. Сб. Радиационная генетика : 115—132. М.
- Нуждин Н. И., Дозорцева Р. Л., Самохвалова Н. С., 1965. Влияние ингибиторов и активаторов клеточного метаболизма на выход хромосомных aberrаций при однократном и фракционированном гамма-облучении семян ячменя. Сб. Действие ионизирующих излучений на растительный и животный организмы. Тр. Ин-та генетики (32) : 4—17. М.
- Порядкова Н. А., Тимофеев-Ресовский Н. В., Лучник Н. В., 1960. Проблема радиостимуляции растений. VI. Опыты по облучению семян гороха и пшеницы рентгеновыми лучами на разных стадиях замачивания и прорастания. Тр. Ин-та биологии Урал. фил. АН СССР (12) : 159—188.
- Тимофеевский А. Д., Городецкий А. А., Чалай М., 1953. Изучение сравнительного действия рентгеновых лучей при однократном и многократном облучении эксплантатов нормальной и опухолевой ткани человека. Вестн. рентгенол. и радиол. **6** : 15—22.
- Трудова Р. Г., 1950. Возрастные изменения чувствительности проростков к лучам рентгена. Докл. АН СССР **71** (6) : 1139—1142.
- Чумак М. Г., 1963. Действие радиации на митотический цикл эпителия роговицы и эпителия кишечника у мышей. Радиобиология **3** (6) : 866—874.
- Шнайдер Т. М., Эхварт Х. А., 1968. Изменение радиочувствительности семян *Vicia faba* в зависимости от продолжительности их замачивания. Изв. АН ЭССР, Биология **17** (2).
- Энгель О. С., 1952. Изменение чувствительности семян пшеницы к облучению в зависимости от продолжительности набухания. Докл. АН СССР **85** (1) : 229—231.
- Ancel S., 1928. De l'effet du fractionnement des doses de rayons-X sur des graines germées. Compt. Rend. Soc. Biol. **5** (98) : 223—224.
- Bianchi A., 1965. Mutazioni indotte in polline di mais da dosi frazionate da raggi-X. Atti Assoc. genet. ital. **10** : 168—170.
- Bianchi A., Giacchetta F., 1964. Mutations induced by fractionated doses of X-rays in maize pollen. Canad. J. Genet. Cytol. **6** : 304—323.
- Caldecott R. S., 1961. Seedling height, oxygen availability, storage and temperature: their relation for radiation-induced genetic and seedling injury in barley. In: Effects of Ionizing Radiation on Seeds. Proc. Symp. Karlsruhe : 3—22.

- Clark A., 1955. Sensitive period and apparent fractionation effects in irradiated *Drosophila*. Amer. Naturalist **89** (846) : 179—181.
- Cohn N., 1958. An analysis of rejoining of X-ray-induced broken ends of chromosomes in the root tips of *Allium cepa*. Genetics **43** (3) : 362—373.
- Crowther J. A., 1926. Action of X-rays on *Colpidium colpoda*. Proc. Roy. Soc. B **100** : 390.
- Davies D. R., Wall E. T., 1960. The effect of acute, chronic and fractionated doses of gamma-radiation on the induction of somatic mutation in *Trifolium repens*. Large Radiation Sources in Industry. Vienna I.A.E.A. **2** : 223—237.
- Davies D. R., Wall E. T., 1961. Induced mutations at the V_{by} locus of *Trifolium repens*. II. Reduction below the additive base line by fractionated doses of gamma-radiation. Genetics **46** (7) : 787—798.
- Davies D. R., 1962. The effect of dose fractionation on mutation induction. Strahlwirkung und Milieu : 160—168. München—Berlin.
- Desaive P., 1954. Influences du mode d'irradiation de l'hypophysectomie des hormones gonadotropes et des radio-protecteurs chimiques sur la response de l'ovaire de lapine aux rayons Röntgen. Acta Radiol. **41** (6) : 545—557.
- Du Sault, 1956. Time-dose relationships. Amer. J. Roentgenol. **75** (3) : 597—607.
- Ehrenberg L., Nybom N., 1954. Ion density and biological effectiveness of radiation. Acta agric. Scand. **4** (3) : 339—418.
- Fetner R. H., 1956. A study of factors affecting X-ray-induced chromosome aberrations in the microspores of *Tradescantia paludosa*. I. Fractionation of dosage in helium, air and oxygen. Radiat. Res. **4** : 510—518.
- Fogg L. C., Cowing R. F., 1953. Effects of fractionated doses of X-radiation on normal and tumor tissue. Cancer Res. **13** (4—5) : 321.
- Gray L. H., Scholes M. E., 1951. The effect of ionizing radiations on the broad bean root. VIII. Growth rate studies and histological analysis. Brit. J. Radiol. **24** (271) : 82—93.
- Haque A., 1952. The fractionation effect in *Tradescantia*. Heredity (Suppl.) **6** : 35—40.
- Howard A., Pelc S., 1952. Synthesis of desoxyribonucleic acid in normal and irradiated cells and its relation to chromosome breakage. Heredity (Suppl.) **6** : 261—273.
- Hs'u T. C., Dewey W. C., Humphrey R. M., 1962. Radiosensitivity of cells of Chinese Hamster *in vitro* in relation to the cell cycle. Exptl Cell. Res. **27** : 441—452.
- Jain H. K., Mujumder P. K., 1959. Fractionated X-ray dose and chromosome aberrations in barley. Current Sci. **28** (1) : 8—9.
- Lane G. R., 1951. X-ray fractionation and chromosome breakage. Heredity **5** (1) : 1—35.
- Lane G. R., 1952. Interpretation in X-ray chromosome experiments. Heredity (Suppl.) **6** : 23—34.
- Mericle L., Mericle R., 1957. Irradiation of developing plant embryos. I. Effects of external irradiation (X-rays) on barley embryogeny, germination and subsequent seedling development. Amer. J. Bot. **44** : 747—756.
- Murin Augustin, 1964. Der Mitosezyklus und seine Zeitparameter in den Wurzelspitzen von *Vicia faba*. Chromosoma **15** (4) : 457—468.
- Noethling W., Stubbe H., 1938. Neue botanische Untersuchungen über die Beziehung von Genmutabilität zur Quantität und Qualität kurzwelliger Strahlung. Strahlentherapie **61** : 622—630.
- Pötsch J., 1966. Das Verhalten von *Abutilon hybridum* hort. 'Andenken an Bonn' nach einmaliger und fraktionierter Röntgenbestrahlung. Z. Pflanzenzücht. **55** (2) : 183—200.
- Read J., 1959. Radiation biology of *Vicia faba*. Oxford, Blackwell Sci. Publ.
- Savage J., Neary Y., Evans H., 1960. The rejoining time of chromated breaks induced by gamma-radiation in *Vicia faba* root tips at 3°C. J. Biophys. and Biochem. Cytol. **7** (1) : 79—85.
- Schooler A., Nilan R., Phillips L., 1957. The effects of fractionated doses of X-rays on dormant barley seeds. Northwest. Science **31** (2) : 80—91.
- de Serres F., Giles N., 1953. The effect of radiation dose fractionation on chromosome aberration frequencies in *Tradescantia* microspores. I. Studies with X-rays. Genetics **38** (4) : 405—417.
- Stadler L., 1928. Genetic effects of X-rays in maize. Proc. Nat. Acad. Sci. **14** : 69—75.
- Steffensen D., Arnason T., 1954. Frequency of chromosome aberrations produced by fractional doses of X-rays in *Tradescantia*. Genetics **39** (2) : 220—228.
- Terasima T., Tolmach L., 1963. Variations in several responses of HeLa cells to X-irradiation during the division cycle. Biophys. J. **3** (1) : 11—33.
- Wolff S., Luippold H., 1958. Modification of chromosomal aberration yield by postirradiation treatment. Genetics **43** : 493—501.

T. SNAIDER, H. EHVÄRT

ÜHEKORDSE JA FRAKTSIONEERITUD GAMMAKIIRGUSE EFEKTIIVSUSE
VÕRDLEVAST UURIMISEST VICIA FABA IDANEVATEL SEEMNETEL

Resümee

Uuriti põldoa (sort 'Jõgeva') idanevate seemnete kiirgustundlikkuse muutumist gammakiirguse (^{60}Co) mõjul, kasutades ekspositsioonidoosina 2000, 6000 ja 12 000 r. Iga doosiga kiiritati nii ühekordselt terviklikus väärtuses kui ka kolme ossa fraktsioneeritud, kusjuures fraktsioonide vaheaeg vältas kuus tundi.

Taimede reageerimist kiiritusele hinnati nende juuresüsteemi ja varte kasvu põhjal. Võrdlemisel kontrollgrupiga ilmnas, et mida suurem oli kiiritusdoos, seda tugevamini pidurdus taimedel juuresüsteemi ja varte kasv. Sõltuvalt kiiritamise viisist oli ühe ja sellesama doosi mõju erinev: fraktsioneeritud kiirituse korral (kõigi kolme doosi puhul) pidurdus taimedel juuresüsteemi ja varte kasv tugevamini, mida võib seletada nukleoproteiidse ainevahetuse muutustega kiiritusdoosi teise fraktsiooni mõjul, mis langeb rakutsükli kiirgustundlikumasse faasi G_2 (16 tundi peale seemnete niisutamist).

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Eksperimentaabioloogia Instituut

Saabus toimetusse
7. VII 1967

T. SHNAIDER, H. EHVÄRT

INVESTIGATION OF THE RELATIVE EFFECTIVENESS OF SINGLE AND
FRACTIONATED DOSES OF GAMMA-IRRADIATION ON GERMINATING
SEEDS OF VICIA FABA

Summary

The experiments were carried out in order to investigate the radiosensitivity and the effect of dose fractionation on the soaked seeds of *Vicia faba*. Gamma-ray treatments (^{60}Co) were given at 2000, 6000 and 12 000 r, at a dosage rate of 333 r/min. Every single dose was administered without fractionation and in three equal fractions at 6-hour intervals. It was established that the rate of root growth of *Vicia faba* seedlings was considerably suppressed by dose fractionation and that it depended on the stage of development of the soaked seeds, at which the irradiation was given as well as on the dose. Attempts have been made to explain the stronger effect of fractionated doses by a coincidence of the second fraction of irradiation with the most sensitive period of the mitotic cycle G_2 taking place after 16 hours of the soaking of seeds.

Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Institute of Experimental Biology

Received
July 7, 1967