

## ХАРАКТЕРИСТИКА МУТАНТНЫХ ФОРМ АМАРАНТА ПО КАЧЕСТВУ ЗЕРНА

Е. В. ГУДЫМ

Харьковский национальный аграрный университет им. В. В. Докучаева,  
г. Харьков, Украина, 62483

(Поступила в редакцию 02.02.2018)

Одной из наиболее актуальных проблем в настоящее время является поиск новых видов высокобелковых растений, отличающихся от традиционных по комплексу полезных свойств и признаков. Среди новых растительных ресурсов питания, используемых человечеством, особое место занимает амарант, который в дальнейшем может стать одной из основных продовольственных культур. В мутационной селекции амаранта большое значение имеет расширение генетической изменчивости по различным морфобиологическим и биохимическим признакам, что можно достичь методом экспериментального мутагенеза.

В статье представлены исследования влияния гамма-излучения на получение мутантных форм, среди которых можно было бы выделить формы с ценными хозяйственными признаками. Показано, что сорта амаранта Сэм, Харьковский-1, Студенческий вида *A. hurochondriacus* L., чувствительны к действию гамма-излучения, которое влияет на содержание белка, масла, а также на количество жирных кислот в зерне амаранта. Отмечено, что облучение разными дозами имеет как положительное, так и отрицательное влияние на качество зерна амаранта. Было выявлено, что доза облучения 150 Гр может индуцировать мутанты как с пониженным содержанием белка в сорте Харьковский-1, так и с повышенным в сорте Сэм.

**Ключевые слова:** амарант, гамма-излучение, мутант, белок, масло, жирно – кислотный склад.

*One of the most urgent problems at present is the search for new types of high-protein plants, which differ from the traditional ones according to a complex of useful properties and attributes. Among the new plant food resources used by mankind, a special place is occupied by amaranth, which can later become one of the main food crops. In the mutational selection of amaranth, the expansion of genetic variability according to various morpho-biological and biochemical features is of great importance, which can be achieved by the method of experimental mutagenesis.*

*The article presents research into the influence of gamma radiation on the production of mutant forms, among which one could distinguish forms with valuable economic features. We have shown that amaranth varieties Sam, Kharkivskii-1, and Studencheskii of the species *A. hurochondriacus* L. are sensitive to the action of gamma radiation, which affects the content of protein and oil, as well as the amount of fatty acids in the amaranth seed. We have noted that irradiation with different doses has both a positive and negative impact on the quality of amaranth seed. It was found that a dose of 150 Gy could induce mutants with both reduced protein content in the variety Kharkivskii-1 and with increased one in the variety Sam.*

**Key words:** amaranth, gamma radiation, mutant, protein, oil, fatty acid profile.

### Введение

Одна из главных задач индуцированного мутагенеза направлена на улучшение зерновых и зернобобовых культур по содержанию и качеству белка. При этом особую ценность представляют белки с повышенным и сбалансированным количеством незаменимых аминокислот, которые в организме человека не синтезируются. В настоящее время получение индуцированных мутантов с высоким содержанием белка, сбалансированным составом аминокислот представляют большую ценность в мутационной селекции [1, 2]. Созданные радиационным мутагенезом сорта часто по ряду показателей превосходят свойства исходных форм. Расширение генетической изменчивости растений с помощью мутагенеза велось достаточно давно и самым ярким примером перспективности этого направления были результаты исследований К. И. Солдатова [3], Л. Н. Харченко [4]. Полученная К. И. Солдатовым первая мутантная форма подсолнечника с высоким содержанием олеиновой кислоты (около 70 %) дала начало высокоолеиновому сорту Первенец.

Анализ литературных источников показывает, что амарант является источником белка и незаменимых аминокислот, дефицит которых не могут заменить традиционные сельскохозяйственные культуры [5, 6]. По содержанию белка в семенах (15–17 %) амарант превосходит пшеницу (12–14 %), ячмень (12–13 %), кукурузу (9–10 %) [5]. При недостаточном количестве аминокислоты лизина пища не усваивается организмом человека, и белок проходит через него «транзитом». Известно, что для организма человека полезна перевариваемая часть пищи, поэтому расчет уровня обеспечения рациона проводят за перевариваемым протеином. Коэффициент переваримости белка амаранта составляет 70 %. По количеству незаменимых аминокислот (триптофана, тирозина и фенилаланина) амарант приравнивается к белку женского грудного молока [7, 8]. По балансу аминокислот белок амаранта близок к рекомендациям ФАО. На сегодня концентраты белков растительного происхождения широко применяются в различных отраслях пищевой промышленности [9]. Хотя

основным источником растительного белка пока остается соя, белковые концентраты из амаранта могут быть альтернативой соевым продуктам. Использование в пищу, белка семян способствует полноценности и сбалансированности по аминокислотному составу питания человека [10]. Сегодня в Украине открываются большие перспективы по выращиванию амаранта как зерновой и масличной культуры. При урожайности до 3,0 т / га семена амаранта содержат до 18 % белка и 5–10 % масла в зависимости от сорта [11]. Применяя методы селекции, можно существенно улучшить качество зерна амаранта и повысить его урожайность [7, 12]. В 2008 г. в Словацкой республике в городе Нитра А. И. Гайдосова [10] проводила исследования по влиянию гамма-облучения дозой 175 Гр на *A. cruentus* и гибрид К-33 (*A. hybridus* x *A. hypochondriacus*). Полученные мутанты характеризовались повышенным содержанием белка по сравнению с исходными формами.

Цель наших исследований – изучение влияния доз гамма-излучения на вариацию качественных признаков семян сортов амаранта.

### Основная часть

Исходным материалом для исследования являлись три сорта амаранта вида *Amaranthus hypochondriacus* L. (Сэм, Харьковский 1, Студенческий). Проводили обработку семян физическим мутагеном (гамма-излучение). Источник облучения –  $^{60}\text{Co}$ . Дозы облучения: 15 Гр, 30 Гр, 40 Гр, 150 Гр, 400 Гр и 700 Гр. Место проведения обработки – ННЦ Институт метрологии (Украина, Харьков). Установка – ДЕТУ 12-05-02.

В качестве контроля использовали семена амаранта без обработки.

Анализ семян мутантных форм амаранта по качеству проводили в Институте растениеводства им. В. Я. Юрьева, лаборатории генетики, биотехнологии и качества. Содержание белка определяли по методу Кьельдаля [13], на приборе ИнфалЮМ ФТ – 10, содержание масла – на ЯМР-анализаторе Oxford Instruments MQC5. Определение жирнокислотного состава семян мутантных линий проводили методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ). Проводили анализ семян мутантов амаранта: сорт Студенческий 15 Гр (раннеспелость), сорт Харьковский 1 150 Гр (розовая метёлка и гофрированные листья), сорт Сэм 150 Гр (розовая метёлка, черные семена).

Анализируя полученные результаты, было установлено, что обработка семян гамма-излучением различными дозами имеет как положительное, так и отрицательное влияние на содержание белка в семенах мутантных форм амаранта (табл. 1). Так, у сорта Студенческий контрольный вариант характеризовался содержанием белка 14, 71 %, в то время как облученные дозой 15 Гр раннеспелые формы имели на 0,2 % белка меньше (14,51 %). Сорт Харьковский 1, семена которого обрабатывали, имел 15,28 % белка, что на 0,59 % больше чем у мутантной формы (14,69 %) под влиянием дозы 150 Гр (розовая метёлка). У контрольного варианта сорта Сэм содержание белка составляло 15,23 %, а мутантная форма с розовой метелкой и черными семенами, которая была получена при обработке дозой 150 Гр, имела 17,16 % белка, то есть исследуемый образец превышал контрольный на 1, 96 %.

Таблица 1. Содержание белка в зерне мутантов амаранта

№ п/п	Сорт	Доза $\gamma$ - излучения	Мутантная форма	Белок, %
1	Студенческий	Без обработки (контроль)		14,71
2	Студенческий	15 Гр	Раннеспелые	14,51
3	Харьковский 1	Без обработки (контроль)		15,28
4	Харьковский 1	150 Гр	Розовая метёлка	14,69
5	Сэм	Без обработки (контроль)		15,23
6	Сэм	150 Гр	Розовая метелка, черные семена	17,16

На основе результатов исследований мутантных образцов амаранта у сорта Сэм выделена линия с розовой метелкой и черными семенами, которая была индуцированная дозой гамма-излучения 150 Гр и характеризовалась содержанием белка в семенах 17,16 % (15,23 % контроль).

По результатам анализа влияния гамма-излучения на содержание масла в семенах амаранта обнаружено варьирование данного признака (табл. 2). Так, у сорта Студенческий контрольный вариант характеризовался содержанием жира 6,50 %, в то время как облученные дозой 15 Гр раннеспелые формы имели на 0,9 % жира больше (7,49 %).

У сорта Харьковский 1, семена которого не обрабатывали, содержание жира составило 6,31 %, что на 0,79 % меньше, чем у мутантной формы с розовой метёлкой, полученной от воздействия дозы 150 Гр (7,10 %), но, с другой стороны, контрольный вариант превышал на 1,05 % другую мутантную форму, с гофрированными листьями, индуцированную дозой 150 Гр, содержание жира в

семенах которой составляло 5, 26 %. Контрольный вариант сорта Сэм характеризовался содержанием жира 6,48 %.

Полученные результаты жирно-кислотного состава масла в семенах амаранта, свидетельствуют о влиянии излучения на изменчивость этого признака и возможности получения мутантов с более высоким его содержанием и другим соотношением жирных кислот (табл. 3).

Таблица 2. Содержание масла в семенах мутантов амаранта

№ п/п	Сорт	Доза $\gamma$ - излучения	Мутантная форма	Жир, %
1	Студенческий	Без обработки (контроль)		6,50
2	Студенческий	15 Гр	Раннеспелые	7,49
3	Харьковский 1	Без обработки (контроль)		6,31
4	Харьковский 1	150 Гр	Розовая метёлка	7,10
5	Харьковский 1	150 Гр	Гофрированные листья	5,26
6	Сэм	Без обработки (контроль)		6,48

Содержание миристиновой кислоты почти не менялось под влиянием дозы гамма-излучения, наблюдалось лишь небольшое уменьшение её количества у сорта Студенческий 15 Гр раннеспелые формы 0,1 % (0,14 % в контроле) и Харьковский 1 150 Гр гофрированные листья 0,15 % (0,13 % в контроле). Что касается пальмитиновой кислоты, то по данным таблицы можно сделать вывод, что ее содержание уменьшается при увеличении дозы облучения. У сорта Студенческий 15 Гр раннеспелые формы 20,07 %, в то время как в контрольном варианте этот показатель составлял 20,63 %, сорт Харьковский 1 150 Гр гофрированные листья характеризовался содержанием пальмитиновой кислоты 19,70 % (в контроле 21,36 %).

Из анализа данных табл. 3 видно, что на содержание пальмитолеиновой кислоты дозы физического мутагена значительного влияния не имели. Только у образцов сорта Харьковский 1 наблюдалась некоторая вариация: в контроле – 0,40 %, а у мутантных форм с розовой метелкой (150 Гр) – 0,29 %.

Анализируя полученные результаты содержания стеариновой кислоты у исследуемых образцов, можно сделать вывод, что гамма-облучение имеет не значительное влияние на количество этой кислоты в семенах амаранта. Так, у сорта Студенческий 15 Гр раннеспелые формы 3,72 %, а в контрольном варианте на 0,32 % меньше (3,40 %). Сорт Харьковский 1 без обработки характеризовался содержанием стеариновой кислоты 3,37 %, а мутантные формы имели как пониженное (3,27 % розовая метёлка 150 Гр), так и повышенное (3,72 % гофрированные листья 150 Гр) количество данной кислоты.

Гамма-облучение оказало значительное влияние на варьирование содержания олеиновой кислоты в исследуемых вариантах. Контрольный образец сорта Студенческий содержал 36,50 % этой кислоты, раннеспелая форма этого сорта, индуцированная дозой 15 Гр, содержала 35,73 %. Мутантные формы сорта Харьковский 1 характеризовались измененным содержанием олеиновой кислоты по сравнению с контролем. Образцы с розовыми метелками индуцированные дозой 150 Гр содержали 34,10 %, а с гофрированными листьями 39,05 % (при 36,00 % в контрольном варианте).

Содержание линолевой и линоленовой кислоты значительно изменялось у мутантных форм сорта Харьковский 1 по сравнению с контролем. Так, например, образцы без обработки имели 36,70 % линолевой кислоты, что на 2,62 % меньше чем у форм с розовой метелкой, индуцированных дозой 150 Гр (39,32 %), и на 2,15 % больше, чем у форм с гофрированными листьями, которые были получены под влиянием дозы 150 Гр (34,55 %). Анализируя данные образцы, полученные под действием гамма-излучения, по содержанию линоленовой кислоты можно отметить как положительный, так и отрицательный эффект по сравнению с контролем, который содержал 0,77 % кислоты, а мутантные формы с розовой метелкой (150 Гр) – 0,63 %, с гофрированными листьями (150 Гр) – 1,03 %.

Анализируя полученные результаты, можно также отметить изменение содержания арахидиновой кислоты в образцах семян мутантов амаранта. У раннеспелой мутантной формы сорта Студенческий индуцированной дозой 15 Гр, её содержание 0,55 %, что на 0,15 % выше, чем у контроля (0,40 %). У контрольного варианта сорта Харьковский 1 показатель арахидиновой кислоты составлял 0,48 %, а у мутантных форм с розовой метелкой и гофрированными листьями, индуцированными дозой 150 Гр, 0,38 % и 0,50 % соответственно (табл. 3).

На изменение содержания эйкозеновой и бегеновой кислоты гамма-облучения существенного влияния не имело. У всех образцов они были на уровне 0,10 % – 0,15 %. Следует обратить внимание на мутантную форму у сорта Харьковский-1 с розовой метелкой индуцированной дозой 150 Гр, которая имела 0,25 % эйкозеновой кислоты, в то время как у контрольного варианта ее получили 0,12 %. Раннеспелые формы сорта Студенческий, полученные под влиянием дозы 15 Гр имели повышенное содержание бегеновой кислоты 0,30 %, а контрольный вариант этого же сорта – 0,10 %.

Анализируя данные жирно-кислотного состава, в семенах сорта Сэм было получено: миристиновой кислоты – 0,12 %, пальмито-олеиновой – 0,42 %, пальмитиновой – 20,92 %, стеариновой – 3,25 %, олеиновой – 35,94 % , линолевой – 37,32 %, линоленовой – 0,78 %, арахидиновой – 0,47 %, эйкозеновой – 0,13 % и бегеновой – 0,14 %.

Таблица 3. Жирно - кислотный состав масла в мутантных формах амаранта, %

№ п/п	Сорт	Доза γ-излучения	Мутантная форма	Миристиновая	Пальмитиновая	Пальмитолеиновая	5*	Стеариновая	Олеиновая	Линолевая	Линоленовая	Арахидиновая	Эйкозеновая	Бегеновая
				C14:0	C16:0	C16:1		C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	C20:1	C22:0
1	Студенческий	Без обработки (контроль)		0,14	20,63	0,37	0,39	3,40	36,50	37,27	0,70	0,40	0,10	0,10
				0,12	20,54	0,41	0,40	3,47	36,37	37,20	0,75	0,51	0,13	0,10
2	Студенческий	15 Гр	Раннеспелые	0,11	20,07	0,48	0,39	3,72	35,73	37,80	0,70	0,55	0,15	0,30
				0,10	20,44	0,38	0,30	3,43	35,82	38,10	0,73	0,43	0,14	0,13
3	Харьковский-1	Без обработки (контроль)		0,13	21,36	0,40	0,54	3,37	36,00	36,70	0,77	0,48	0,12	0,13
				0,12	21,60	0,43	0,44	3,20	36,08	36,80	0,72	0,40	0,11	0,10
4	Харьковский-1	150 Гр	Розовая метелка	0,12	21,10	0,38	0,47	3,27	34,10	39,32	0,63	0,38	0,13	0,10
				0,11	21,88	0,29	0,51	3,45	34,13	39,20	0,65	0,41	0,25	0,12
5	Харьковский-1	150 Гр	Гофрированные листочки	0,15	19,70	0,39	0,61	3,72	39,05	34,55	1,03	0,50	0,15	0,15
				0,15	19,94	0,41	0,55	3,58	39,15	34,41	1,05	0,51	0,15	0,10
6	Сэм	Без обработки (контроль)		0,12	20,92	0,42	0,51	3,25	35,94	37,32	0,78	0,47	0,13	0,14
				0,13	21,11	0,39	0,47	3,12	36,05	37,40	0,73	0,40	0,10	0,10

Примечание: 5\* – неидентифицированный компонент.

### Заключение

В результате исследований установлено, что гамма-излучения влияет на качество семян сортов амаранта. На основе результатов исследований был выделен мутант у сорта Сэм с розовой метелкой и черными семенами, который был индуцирован дозой гамма-излучения 150 Гр, и характеризовался содержанием белка 17,16 % (15,23 % контроль). В пределах сорта Харьковский 1, под влиянием дозы 150 Гр, встречались мутанты, как с повышенным (розовая метелка 7,10 %), так и с пониженным (гофрированные листья 5,26 %) содержанием жира по сравнению с контрольным вариантом (6,31 %). Содержание жирнокислотного состава также значительно меняется под воздействием гамма-излучения у мутантных форм. Анализ полученных данных показал, что раннеспелая форма сорта Студенческий, индуцированная дозой 15 Гр, имела повышенное содержание пальмито-олеиновой (0,48 %), стеариновой (3,72 %), арахидиновой (0,55 %) и бегеновой кислоты (0,30 %) по сравнению с контролем (0,37 %, 3,40 %, 0,40 %, 0,10 % соответственно). Мутантная форма с розовой метелкой сорта Харьковский 1, индуцированная дозой излучения 150 Гр, характеризовалась повышенным содержанием линолевой 39,32 % (в контроле 36,70 %) и эйкозеновой 0,25 % (в кон-

троле 0,12 %) кислоты. Полученный у сорта Харьковский 1 мутант с гофрированными листьями под влиянием дозы 150 Гр имел повышенные показатели следующих кислот: стеариновой – 3,72 %, олеиновой – 39,05 %, линоленовой – 1,03 %, и эйкозеновой – 0,15 % по сравнению с контролем, содержащим 3,37 %, 36,00 %, 0,77 % и 0,12 % этих кислот соответственно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Козаченко, Н. Г. Экспериментальный мутагенез селекции ячменя [Текст]: [монография] / В. Г. Козаченко; НААН Украины, Ин-т растениеводства им. В. Я. Юрьева. – М., 2010. – 296 с.
2. Моргун, В. В. Спонтанная и индуцированная мутационная изменчивость и ее использование в селекции растений / В. Моргун // Генетика и селекция в Украине на рубеже тысячелетий. – 2001. – Т. 2. – С. 144 – 174.
3. Солдатов, К. И. Действие химических мутагенов на масличные культуры / К. И. Солдатов // Использование химического мутагенеза в селекции растений. – М.: Наука, 1968. – С. 42–44.
4. Харченко, Л. Н. Влияние мутагенных факторов на состав жирных кислот отдельных групп липидов подсолнечника / Л. Н. Харченко // Химический мутагенез и иммунитет. – М.: Наука, 1980. – С. 209–215.
5. Солоненко Л. П. Химический состав растений различных видов амаранта в условиях Западной Сибири / Л. П. Солоненко, Н. Б. Железнова, А. В. Железнов // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их промышленного использования. – Пушкино, 1997. – С.28–30.
6. Leon-Camacho M. A detailed and comprehensive study of amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) oil fatty profile / M. Leon-Camacho, D.L. Garcia-Gonzalez, R. Aparicio // Eur. Food Res. Technol. – 2001, N 213. – P. 349–355.
7. Гопций, Т. И. Амарант: биология, выращивание, перспективы использования, селекция [Текст] / Т. И. Гопций; Харьковский гос. ун-т им. Докучаева. – Х., 1999. – 272 с.
8. Офицеров, Е. Н. Амарант - перспективное сырьё для пищевой и фармацевтической промышленности [Электронный ресурс] / Е. Н. Офицеров // Бутлеровские сообщения. – 2001. – № 5, Код lvg10. – С. 1–4.
9. Технология выращивания и переработки листовой массы амаранта как сырья для пищевой промышленности: [Монография] / П. Ф. Кононков [и др.]. – М.: РУДН, 2008. – 195 с.
10. Greizerstein E.J. Estudios atogeneticos de seis hybridos inter especificos de *Amaranthus* (*Amaranthaceae*) / E. J. Greizerstein, L. Poggio // Darwiniana. – 1992. – Vol. 311. – P. 159–165.
11. Gupta C. Comparosin of the grain amaranth species *A.cruentus* and *A.hypochondriacus* / C. Gupta, G. Dobos, R. Gretmacher // Symp. On breeding of oil and protein crops. – 1996. – P. 289–292.
12. Технологические аспекты комплексной переработки семян амаранта / А. Ф. Козловский [и др.] // Растительные ресурсы для здоровья человека (возделывание, переработка, маркетинг: матер. 1-ой Межд. науч.-практ. Конф. М.: Арес, 2002. – С. 287–293.
13. Руководство по методам исследования, технокимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности / под ред. В. П. Ржехина, А. Г. Сергеева. – Л.: ВНИИЖ, 1965. – Т.2. – 418 с.