

УДК: 631.527.528.62:633.854.54

## НАПРАВЛЕННОСТЬ НАСЛЕДСТВЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЬНА (*LINUM HUMILE* MILL.) ПОД ДЕЙСТВИЕМ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ДИМЕТИЛСУЛЬФАТА

А.В. ТИГОВА, А.И. СОРОКА

*Институт масличных культур Национальной академии аграрных наук Украины 69093 Запорожская обл., Запорожский р-н, с. Солнечное, ул. Институтская, 1 e-mail: anna.tigova@gmail.com*

Основой создания исходного материала для селекции растений является мутационная изменчивость. Метод индуцированного мутагенеза позволяет расширять генетическое разнообразие видов с целью вовлечения в селекционный процесс образцов с мутациями генов и хромосом. Индуцированные мутанты, полученные в результате обработки разнообразными мутагенными агентами, в дальнейшем могут стать новыми сортами после тщательного отбора или вовлечения в гибридизацию. Установлено, что обработка новыми химическими мутагенами серии ДГ — производными диметилсульфата (ДМС) — привела к получению широкого спектра морфологических и физиологических мутаций, которые были разделены на пять групп. Описана частота индуцирования мутаций и направленность действия мутагенов серии ДГ по сравнению с исходным соединением и хорошо известным мутагеном этилметансульфонатом (ЭМС). Мутагены серии ДГ в значительной степени превосходили исходный мутаген ДМС по частоте индуцированных изменений, что подтвердило их эффективность. Из мутагенов серии ДГ наиболее эффективным для получения мутаций с нарушением синтеза хлорофилла оказался мутаген ДГ-9, для мутаций структуры стебля, побегов и листьев — мутагены ДГ-7, ДГ-6, мутаций окраски лепестков венчика и пыльников, окраски семян, а также мутаций по физиологическим признакам роста и развития — мутаген ДГ-2.

*Ключевые слова:* лен, мутагенез, химический мутаген, диметилсульфат, этилметансульфонат, мутация.

Мутационная изменчивость — источник новых признаков у растений, перекombинация которых на фоне природного отбора составляет основу эволюционного процесса [9]. В естественных условиях спонтанные мутации возникают с довольно низкой частотой (в среднем одна мутация на  $10^{-5}$ – $10^{-6}$  гамет) [1]. Одним из путей расширения генетического разнообразия в сельскохозяйственной практике является метод индуцированного мутагенеза [2, 3, 8], с его помощью уже создано более 2250 мутантных сортов сельскохозяйственных культур, включая зерновые, масличные, бобовые, овощные, фруктовые и декоративные растения [14]. Преимущество метода — относительно короткий срок получения ценного селекционного материала

с разнообразным спектром морфологических, физиологических и биохимических мутаций. Важной задачей индуцированного мутагенеза является усовершенствование способов обработки объекта исследований, включающее в себя выбор эффективной дозы мутагена и экспозиции воздействия, а также поиск новых мутагенных агентов, имеющих малую токсичность при том же или более высоком уровне мутабельности. Кроме того, важным вопросом в исследованиях по индуцированному мутагенезу растений является оценка специфичности, направленности и продуктивности действия мутагенных агентов, а также оценка выживаемости и жизнеспособности мутантных популяций [6].

Диметилсульфат  $(\text{CH}_3)_2\text{SO}_4$  — один из наиболее распространенных химических мутагенов, используемых в мутагенезе растений, хорошо известный в селекционной практике, относится к группе алкилирующих соединений, легко вступает в реакции с белковыми молекулами [4]. Однако ДМС очень токсичен и считается одним из сильнейших канцерогенов, опасен при вдыхании его паров, способен проникать сквозь кожу, вызывать ожоги, поражать легкие и гортань [5]. Несмотря на высокую эффективность ДМС, из-за токсичности, высокой стоимости, незначительной выживаемости растений в поколении  $M_1$  ему часто ищут замену. Поэтому производные ДМС, например серии ДГ (ДГ-2, ДГ-6, ДГ-7, ДГ-9), обладающие меньшей токсичностью, могут быть хорошей альтернативой ему в экспериментальном мутагенезе растений.

Целью нашей работы было выявление специфики и направленности действия новых химических мутагенов — производных диметилсульфата серии ДГ (ДГ-2, ДГ-6, ДГ-7, ДГ-9) — по частоте и спектру вызываемых ими мутаций, а также получение коллекции мутантов с селекционно ценными и редкими маркерными признаками для расширения генетического разнообразия культуры льна масличного.

### Методика

В качестве мутагенов мы использовали ДГ-2, ДГ-6, ДГ-7, ДГ-9, ДМС и ЭМС. Мутагены серии ДГ (ДГ-2, ДГ-6, ДГ-7, ДГ-9) являются новыми химическими соединениями — производными ДМС — синтезированными в Институте биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины. В ряде работ указано, что механизм химического действия ДМС и ЭМС чаще всего состоит в алкилировании гуанина по атому азота в положении 7, что приводит к ошибочному спариванию гуанина с тиминном вместо цитозина, в результате чего возможна мутация типа транзиции, хромосомные инверсии, разрывы хромосом и т.п. [15—18].

Опыты проводились на двух сортах льна масличного *Linum humile* Mill. — Айсберг и Солнечный.

В каждом варианте обрабатывали по 300 семян, которые замачивали в 0,05 %- и 0,5 %-м водных растворах указанных выше мутагенов. Контролем служили семена соответствующих сортов, которые замачивали в дистиллированной воде. Экспозиция обработки состав-

ляла 16 ч. После обработки семена промывали в течение 1 ч под проточной водопроводной водой для снижения повреждающего эффекта, после чего в тот же день высевали в грунт питомника.

Для анализа влияния мутагена на растения в поколении  $M_1$  исследовали выживаемость растений, продолжительность периода всходы—цветение, измеряли высоту растений, подсчитывали количество боковых ветвей на главном стебле, а также количество коробочек на одном растении.

В поколении  $M_2$  проводили предварительную оценку спектра и частоты мутаций. На соответствующих стадиях развития растений оценивали изменения, связанные с нарушением синтеза хлорофилла, структуры стебля, побегов и листьев, окраски лепестков венчика и пыльников, формы лепестков и бутонов, окраски семян, а также физиологических признаков роста и развития. Частоту предполагаемых мутантных изменений вычисляли как отношение количества мутантных семей к общему их количеству. Окончательный вывод о наличии и частоте мутаций в  $M_2$  делали после подтверждения их наследования в поколении  $M_3$ . Математическую обработку полученных данных осуществляли согласно общепринятым методикам статистической обработки экспериментального материала [7, 20].

### Результаты и обсуждение

Обработка семян льна новыми химическими мутагенами ДГ-2, ДГ-6, ДГ-7, ДГ-9, а также ДМС и ЭМС в концентрациях 0,5 и 0,05 % приводила в поколении  $M_1$  к существенному изменению показателя выживаемости растений и ряда морфологических характеристик — высоты растений, количества боковых побегов на главном стебле, количества коробочек на одном растении [10, 11]. В варианте обработки мутагеном ДМС в концентрации 0,5 % не выжило ни одно опытное растение обоих исследованных сортов, что свидетельствует о летальности данной концентрации и высокой токсичности использованного мутагена [12].

В следующем поколении  $M_2$  нами был получен широкий спектр мутаций, представленный 27 типами изменений, которые мы разделили на пять групп.

I. Мутации с нарушением синтеза хлорофилла у всходов и взрослых растений (8 типов): *albina* (рис. 1, б), *viridis-albina* (рис. 1, в), *xantha* (рис. 1, г), *chlorine* (рис. 1, д), *viridis* (рис. 1, е), *lutescent* (рис. 1, ж), *striata* (рис. 1, з), *corroded* (рис. 1, и).

II. Мутации структуры стебля, побегов и листьев (5 типов): *три семядоли* (рис. 2, а), *высокорослые растения*, *низкорослые растения*, *карлики* (рис. 2, б), *зигзагообразный стебель* (рис. 2, в).

III. Мутации окраски лепестков венчика и пыльников, формы лепестков и бутонов (6 типов): *светло-голубые лепестки*, *белые пыльники* (рис. 3, а), *голубые лепестки*, *голубые пыльники* (рис. 3, б), *измененная форма лепестков* (рис. 3, в), *светло-розовые лепестки*, *кремовые пыльники* (рис. 3, г), *белые лепестки*, *кремовые пыльники* (рис. 3, д), *нераскрывающийся венчик* (рис. 3, е).

IV. Мутации окраски семян (4 типа): *желтая* (рис. 4, а), *коричневая* (рис. 4, б), *горчичная* (рис. 4, в), *пёстрая* (рис. 4, г).

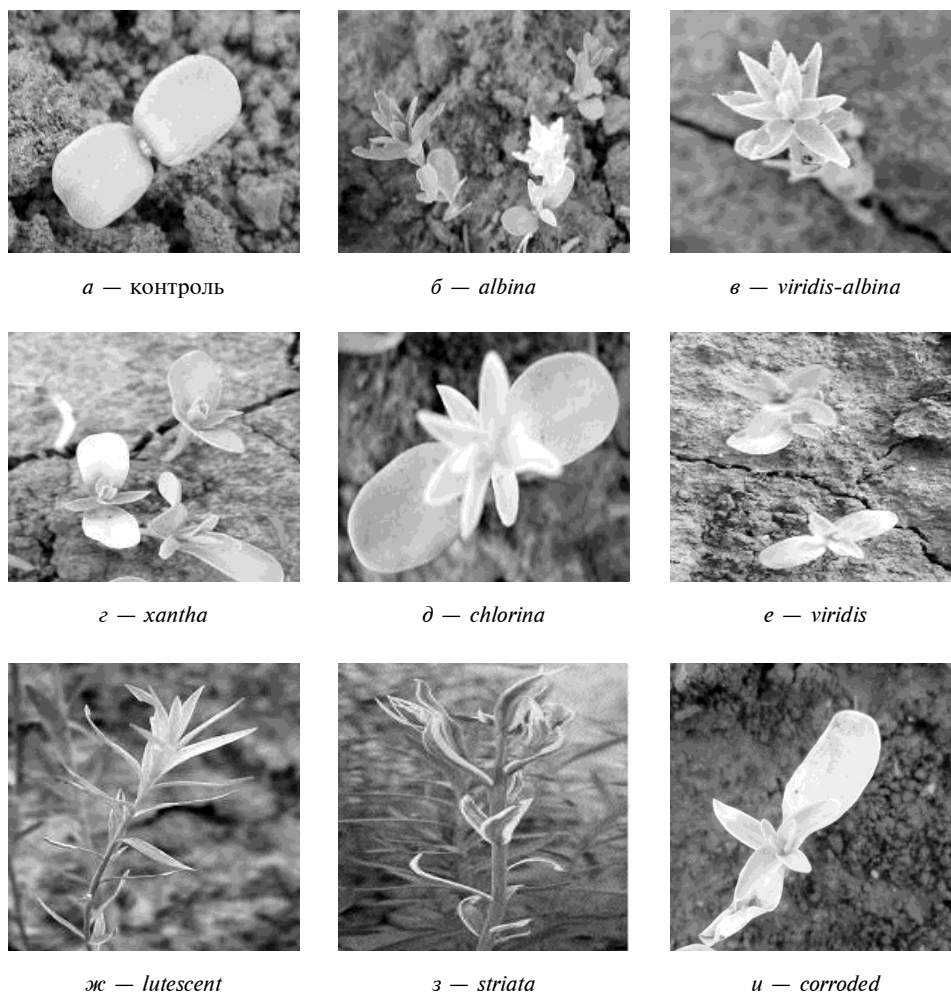


Рис. 1. Фенотипическое проявление хлорофилл-дефицитных мутаций у *Linum humile* Mill. сортов Айсберг и Солнечный в поколении  $M_2$

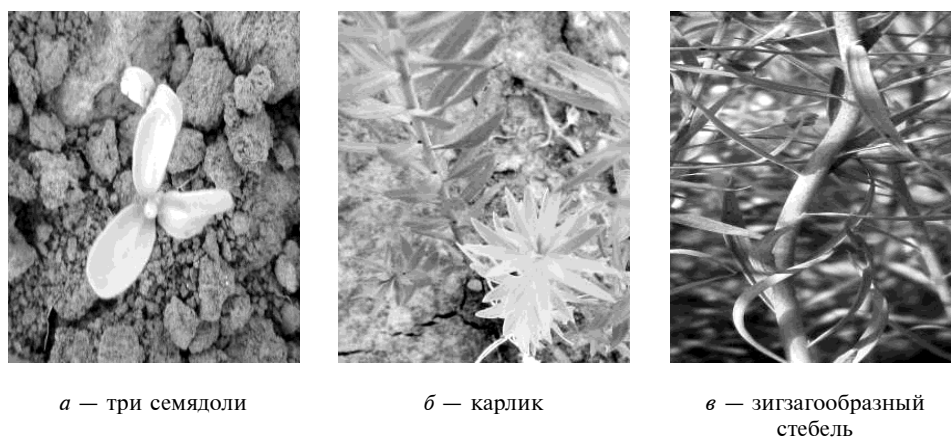


Рис. 2. Фенотипическое проявление мутаций структуры стебля, побегов и листьев у *Linum humile* Mill. под воздействием химических мутагенов в поколении  $M_2$

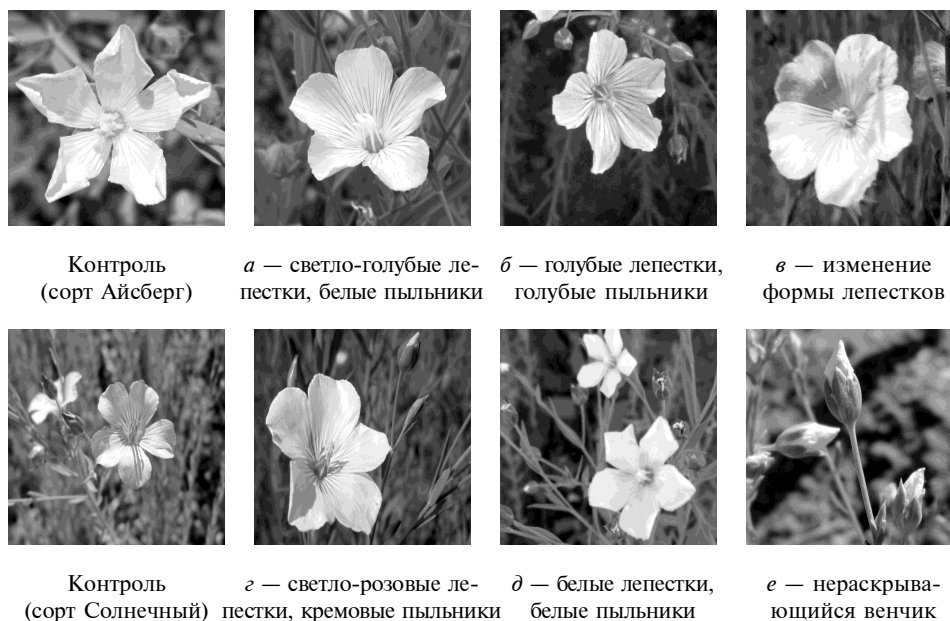


Рис. 3. Фенотипическое проявление мутаций окраски лепестков венчика и пыльников (а, б, з, д), формы лепестков и бутонов (в, е) у *Linum humile* Mill. под воздействием химических мутагенов в поколении М<sub>2</sub>

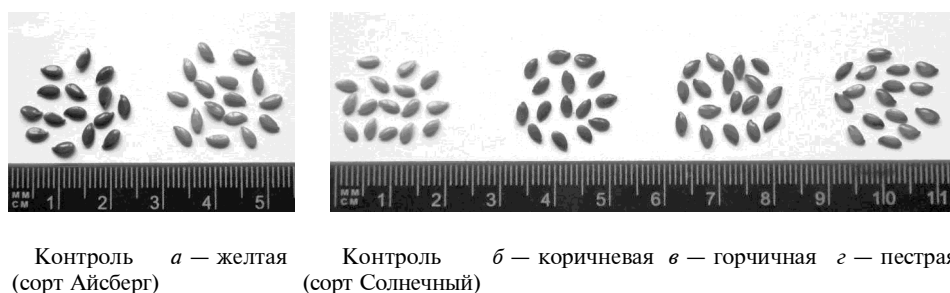


Рис. 4. Фенотипическое проявление мутаций окраски семян у *Linum humile* Mill. под воздействием химических мутагенов в поколении М<sub>2</sub>

V. Мутации по физиологическим признакам роста и развития (4 типа): *скороспелые растения, позднеспелые растения, мутация стерильности, нарушение развития семени.*

Первая группа мутаций с нарушением синтеза хлорофилла выделялась с достаточно высокой частотой (см. рис. 1, таблицу). Среди мутагенов серии ДГ наиболее эффективным здесь оказался мутаген ДГ-9, обработка которым привела к появлению хлорофилльных мутаций с частотой 10,95 % у сорта Айсберг и 18,43 % у сорта Солнечный. Кроме того, остальные изученные мутагены серии ДГ также были эффективными, хотя и индуцировали появление хлорофилл-дефицитных мутаций с различной частотой.

При использовании мутагена ЭМС частота появления мутаций с нарушением синтеза хлорофилла была существенно выше и составляла 24,33 % у сорта Айсберг и 39,97 % у сорта Солнечный.

Общая частота индуцированных мутаций у *Linum humile* Mill. сортов Айсберг и Солнечный в поколении  $M_2$ , %

Мутаген	Группа мутаций				
	I	II	III	IV	V
Сорт Айсберг					
ДГ-2	2,85±1,15	3,81±1,32	6,68±1,72	2,88±1,15	1,90±0,94
ДГ-6	1,96±1,34	0,00	0,00	0,00	0,00
ДГ-7	7,46±1,82	3,83±1,33	1,98±0,96	1,98±0,96	0,99±0,68
ДГ-9	10,95±2,11	1,82±0,90	3,65±1,27	2,74±1,10	0,92±0,64
ДМС	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94±0,94
ЭМС	24,33±2,77	9,36±1,88	3,56±1,20	0,89±0,61	2,56±1,02
Сорт Солнечный					
ДГ-2	10,76±2,16	0,00	10,72±2,16	10,70±2,16	2,92±1,18
ДГ-6	9,70±2,66	2,91±1,51	1,94±1,24	5,82±2,10	0,00
ДГ-7	10,89±2,19	1,98±0,98	6,93±1,79	5,94±1,66	1,98±0,98
ДГ-9	18,43±2,70	0,00	3,88±1,34	2,91±1,17	0,00
ДМС	0,95±0,95	0,00	1,90±1,33	0,95±0,95	0,95±0,95
ЭМС	39,97±3,24	14,28±2,31	9,13±1,90	11,59±2,11	2,46±1,02

В индукции изменений второй группы, объединяющей мутации структуры стебля, побегов и листьев, у сорта Айсберг эффективными оказались мутагены ДГ-2 и ДГ-7, которые индуцировали появление изменений с частотой 3,81 и 3,83 %. Мутаген ДГ-7 был эффективным и для сорта Солнечный. Он вызывал изменения с частотой 1,98 %. Изменялась структура стебля и при действии мутагена ДГ-6 с частотой 2,91 %.

Мутаген ДМС не индуцировал изменения структуры стебля, побегов и листьев и оказался в этом плане неэффективным. Частота изменений, индуцируемых мутагенами серии ДГ, не превышала частоту мутаций, индуцируемых мутагеном ЭМС, действие которого приводило к появлению изменений второй группы с частотой от 9,36 % у сорта Айсберг до 14,28 % у сорта Солнечный. Обработка этим же мутагеном семян льна сорта Солнечный обусловила появление редкой мутации изменения структуры стебля — зигзагообразный стебель (см. рис. 2, в). Мутация была обнаружена при обработке мутагеном ЭМС в концентрации 0,5 % с частотой 0,82 % из общей частоты мутаций второй группы 9,36 %. Стебель растений данного типа был зигзагообразно деформирован.

Из литературных данных известно, что упомянутый тип мутаций формы стебля наследуется моногенно. Аллель, несущий признак зигзагообразный стебель, частично доминирует над аллелем дикого типа, контролирующим прямой стебель. У гомозиготных мутантов стебель зигзагообразный, у гетерозиготных — изогнутый, у гомозиготных рецессивных — прямой [19]. Данный тип мутации может использоваться в декоративном цветоводстве или в иных целях.

Все исследованные химические мутагены в поколении  $M_2$  вызвали у обоих сортов льна изменения в окраске лепестков венчика и пыльников, формы лепестков и бутонов, которые были объединены в третью группу мутаций (см. рис. 3, *a—e*). Наиболее эффективным для данной группы мутаций для обоих сортов льна оказался мутаген ДГ-2, он инициировал максимальную частоту мутаций, которая составила 6,68 % у сорта Айсберг и 10,72 % у сорта Солнечный, в то время как частота мутаций данной группы, вызванная мутагеном ЭМС, оказалась существенно меньше и была на уровне 3,56 % у сорта Айсберг и 9,13 % у сорта Солнечный. Мутаген ДМС не продемонстрировал эффективности в плане индукции изменений по окраске лепестков венчика и пыльников, формы лепестков и бутонов у сорта Солнечный, а у сорта Айсберг частота появления мутаций данной группы была минимальной и составила 1,90 %.

Обработка химическими мутагенами исходного материала привела к изменению, с определенной частотой, окраски семян у обоих сортов льна в поколении  $M_2$  (см. рис. 4, таблицу).

Как правило, это была комплексная мутация — окраска семян менялась вместе с изменением окраски лепестков венчика и пыльников. Однако встречались семьи, в которых окраска лепестков венчика и пыльников менялась, а цвет семян — нет. Спектр индуцированных мутаций данной группы у обоих исследованных сортов льна был неодинаков. Так, у сорта Айсберг спектр изменения окраски семян был уже и представлял только один тип изменений, тогда как у сорта Солнечный — три. У сорта Айсберг цвет семян с коричневого (в контроле) менялся на желтый (см. рис. 4, *a*). Наиболее эффективными оказались мутагены ДГ-2 и ДГ-9, которые индуцировали изменения окраски семян с частотой 2,88 и 2,74 %. Мутаген ЭМС был менее эффективен и вызывал изменения окраски семян с частотой 0,89 %.

У сорта Солнечный в мутантных семьях мы наблюдали смену желтой окраски семян на коричневую, горчичную и пеструю (см. рис. 4, *b—z*). Из мутагенов серии ДГ более эффективным оказался ДГ-2, индуцировавший изменение окраски с достаточно высокой частотой — 10,70 %. Однако частота мутаций, вызванная мутагеном ЭМС, была еще выше и составляла 11,59 %.

Несмотря на то что для индуцирования мутаций по физиологическим признакам роста и развития для растений сорта Айсберг более эффективным оказался мутаген ЭМС, который индуцировал появление мутаций с частотой 2,56 %, мутагены серии ДГ (кроме ДГ-6) также были эффективны и индуцировали с различной частотой мутации данного типа (см. таблицу). Для сорта Солнечный наиболее действенным оказался мутаген ДГ-2, который вызывал изменения с максимальной частотой 2,92 %.

Направленность действия химических мутагенов у сортов Айсберг и Солнечный иллюстрирует рис. 5.

Так, для индукции мутаций I группы наиболее эффективными оказались мутагены ЭМС и ДГ-9, II группы — мутагены ЭМС, ДГ-7 (для сорта Айсберг) и ДГ-6 (для сорта Солнечный), III группы —

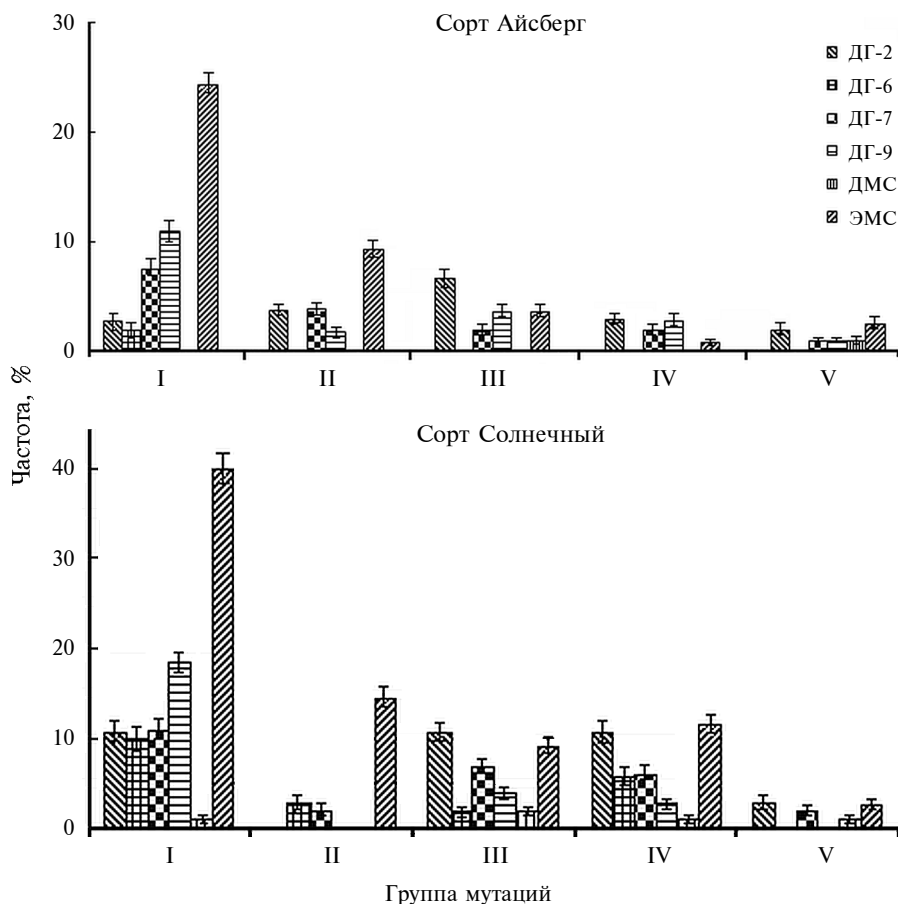


Рис. 5. Направленность действия химических мутагенов у *Linum humile* Mill. сортов Айсберг и Солнечный:

I — мутации с нарушением синтеза хлорофилла у всходов и взрослых растений; II — мутации структуры стебля, побегов и листьев; III — мутации окраски лепестков венчика и пыльников, формы лепестков и бутонов; IV — мутации окраски семян; V — мутации по физиологическим признакам роста и развития

ДГ-2, ДГ-9, ЭМС (для сорта Айсберг) и ДГ-7 (для сорта Солнечный), IV группы — мутагены ДГ-2, ДГ-9 (для сорта Айсберг) и ЭМС, ДГ-2, ДГ-7 (для сорта Солнечный), V группы — мутагены ЭМС и ДГ-2. В дополнение к этому следует отметить, что при изучении спектра мутаций на фенотипическом уровне у двух изученных сортов льна обнаружен параллелизм в экспериментальной мутационной изменчивости.

Таким образом, характер экспериментальной мутационной изменчивости у льна масличного в достаточной степени определялся природой использованного мутагена и генотипическими особенностями сорта. Эти отличия проявлялись в разной мутабельности изученных сортов, которые различались по частоте и спектру видимых мутаций в каждой группе. На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:



1) мутагены серии ДГ в значительной степени превосходят исходный мутаген ДМС по частоте индуцированных изменений, что свидетельствует об их эффективности;

2) из мутагенов серии ДГ наиболее эффективным для получения мутаций с нарушением синтеза хлорофилла оказался мутаген ДГ-9, для мутаций структуры стебля, побегов и листьев — мутаген ДГ-7 (для сорта Айсберг) и ДГ-6 (для сорта Солнечный), мутаций окраски лепестков венчика и пыльников, мутаций окраски семян, мутаций по физиологическим признакам роста и развития — мутаген ДГ-2;

3) спектр полученных в поколении  $M_2$  морфофизиологических мутаций был достаточно широким, зависел от сорта льна, концентрации мутагена и составил 27 типов изменений, разделенных на пять групп;

4) мутаген ДМС в концентрации 0,5 % вызывал гибель 100 % растений в поколении  $M_1$ .

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гаевский Н.А. Знакомство с эволюционной генетикой: Учеб.-метод. пособие. Красноярск: Изд-во Краснояр. гос. ун-та, 2002. 53 с.
2. Королев К.П., Богдан В.З., Богдан Т.М. Индуцированный мутагенез льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) как метод создания нового исходного материала для приоритетных направлений в селекции. *Вестн. Белорус. гос. с.-х. академии*. 2016. № 4. С. 73—75.
3. Кротова Л.А. Химический мутагенез как метод создания исходного материала для селекции мягкой пшеницы. *Электронный научно-методический журнал Омского гос. аграр. ун-та*. 2015. № 2 (2). С. 13—17.
4. Кудина А.Г. Химические мутагены в селекции цветочно-декоративных растений. *Промышленная ботаника*. 2006. 6. С. 116—120.
5. Лазарева Н.В., Левина Е.Н. Опасные вещества в промышленности. Ленинград: Химия, 1976. Т. 2. 624 с.
6. Лебедева О.Н., Николаевская Т.С., Титов А.Ф. Груз пигментных мутаций и выживаемость растений в потомствах *Festuca pratensis* Huds., сформированных на мутантной основе. *Труды Карельского научного центра РАН*. 2009. № 3. С. 56—66.
7. Литл Т.М., Хиллз Ф.Д. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ. Москва: Колос, 1981. 320 с.
8. Лях В.А., Полякова И.А., Сорока А.И. Индуцированный мутагенез масличных культур. Запорожье: Изд-во Запорож. нац. ун-та, 2009. 266 с.
9. Моргун В.В., Логвиненко В.Ф. Мутационная селекция пшеницы. Киев: Наук. думка, 1995. 625 с.
10. Тигова А.В., Сорока А.И. Влияние новых химических мутагенов на растения *Linum humile* Mill. в поколении  $M_1$ . *Вестник Запорожского гос. ун-та. Биологические науки*. 2016. № 1. С. 15—22.
11. Тигова А.В., Сорока А.И. Изменчивость ряда морфометрических признаков у *Linum humile* Mill. под действием химических мутагенов в поколении  $M_1$ . *Наукотехнічний бюлетень Ін-ту олійних культур НААН*. 2016. № 22. С. 35—42.
12. Тигова А.В., Сорока А.И. Частота и спектр мутаций у растений льна (*Linum humile* Mill.) под действием новых производных диметилсульфата. *Физиология растений и генетика*. 2017. 49, № 6. С. 521—532.
13. Deepthi T., Remesh K. Impact of EMS Induction on morphological, anatomical and physiological traits of Bhindi *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. *Int. J. of Recent Research in Life Sciences (IJRRLS)*. 2016. 3. P. 4—11.
14. Kharkwal M.C., Pandey R.N., Pawar S.E. Mutation breeding for crop improvement. *Plant Breeding: Mendelian to Molecular Approaches*. 2004. P. 601—645.

15. Luan Y., Zhang J., Gao X., An L.J. Mutation induced by ethylmethanesulphonate (EMS), in vitro screening for salt tolerance and plant regeneration of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2007. **88** (1). P. 77–81. doi: [https://doi: 10.1007/s11240-006-9183-2](https://doi.org/10.1007/s11240-006-9183-2).
16. Mahla H., Shekhawat A., Kumar D.A. Study on EMS and gamma mutagenesis of clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.). *Plant Mutation Reports*. 2010. **2**, N 2. P. 28–32.
17. Rajarajan D., Saraswathi R., Sassikumar D., Ganesh S. Fixation of lethal dose and effect of ethyl methane sulphonate induced mutagenesis in rice Adt (R) 47. *Life Sciences Leaflets*. 2014. **57**. P. 65–72.
18. Talebi A., Talebi Am., Shahrokhifar B. Ethyl methane sulphonate (EMS) induced mutagenesis in malaysian rice (cv. MR219) for lethal dose determination. *Amer. J. of Plant Sciences*. 2012. **3**. P. 1661–1665. doi: [https://doi: 10.4236/ajps.2012.312202](https://doi.org/10.4236/ajps.2012.312202)
19. Tejklova E. Curly stem — an induced mutation in flax (*Linum usitatissimum* L.). *Czech J. Genet. Plant Breed.* 2002. **38**, N 3–4. P. 125–128. doi: <https://doi.org/10.17221/6246-CJGPB>
20. Wasserman L. All of Statistics: A Concise Course in Statistical Inference. Springer, 2005. 444 p.

Получено 13.07.2018

#### REFERENCES

1. Gaevsky, N.A. (2002). Acquaintance with evolutionary genetics. Krasnoyarsk: State. Un-t [in Russian].
2. Korolev, K.P., Bogdan, V.Z. & Bogdan, T.M. (2016). Induced mutagenesis of flax (*Linum usitatissimum* L.) as a method of creating a new source material for priority directions in breeding. *Bulletin of the Belorussian State Agricultural*, 4, pp. 73-75 [in Russian].
3. Krotova, L.A. (2015). Chemical mutagenesis as a method of creating the initial material for the selection of soft wheat. *Electronic scientific-methodical journal of the Omsk State Agrarian University*, 2, No. 2, pp. 13-17 [in Russian].
4. Kudina, A.G. (2006). Chemical mutagens in the breeding of ornamental plants. *Industrial Botany*, 6, pp. 116-120 [in Russian].
5. Lazareva, N.V. & Levina E.N. (1976). Hazardous substances in industry. Vol. 2. Leningrad: Chemistry [in Russian].
6. Lebedeva, O.N., Nikolaevskaya, T.S. & Titov, A.F. (2009). The load of pigment mutations and the survival of plants in the progenies of *Festuca pratensis* Huds., formed on a mutant basis. *Proceedings of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences*, 3, pp. 56-66 [in Russian].
7. Littl, T.M. & Hills, F.D. (1981). *Agricultural experimental business. Planning and analysis*. Moscow: Kolos [in Russian].
8. Lyakh, V.A., Polyakova, I.A. & Soroka, A.I. (2009). Induced mutagenesis of oilseeds. Zaporozhye: Zap. Nat. Un-t [in Russian].
9. Morgun, V.V. & Logvinenko, V.F. (1995). *Mutational breeding of wheat*. Kiev: Nauk. dumka [in Russian].
10. Tigova, A.V. & Soroka, A.I. (2016). Influence of new chemical mutagens on plants of *Linum humile* Mill. in the M<sub>1</sub> generation. *Bulletin of Zaporozhye State University. Biological Sciences*, 1, pp. 15-22.
11. Tigova, A.V. & Soroka, A.I. (2016). Variation of some morphometric characteristics in *Linum humile* Mill. under the action of new chemical mutagens in the M<sub>1</sub> generation. *Bulletin of the Institute of Oilseeds crops of the USSR*, 22, pp. 35-42 [in Russian].
12. Tigova, A.V. & Soroka, A.I. (2017). Frequency and spectrum of mutations in flax (*Linum humile* Mill.) under the action of new dimethyl sulfate derivatives. *Fiziol. rast. genet.*, 49, No. 6, pp. 521-532 [in Russian].

13. Deepthi, T. & Remesh, K. (2016). Impact of EMS induction on morphological, anatomical and physiological traits of Bhindi *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench, International Journal of Recent Research in Life Sciences (IJRRLS), 3, pp. 4-11.
14. Kharkwal, M.C., Pandey, R.N. & Pawar, S.E. (2004). Mutation breeding for crop improvement. In Plant Breeding: Mendelian to Molecular Approaches (pp. 601-645), Dordrecht.
15. Luan, Y., Zhang, J., Gao, X. & An, L. (2007). Mutation induced by ethylmethane-sulphonate (EMS), in vitro screening for salt tolerance and plant regeneration of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 88 (1), pp. 77-81. doi: <https://doi.org/10.1007/s11240-006-9183-2>.
16. Mahla, H., Shekhawat, A. & Kumar, D. (2010). A study on EMS and gamma mutagenesis of clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.). Plant Mutation Reports, 2, No. 2, pp. 28-32.
17. Rajarajan, D., Saraswathi, R., Sassikumar, D. & Ganesh, S. (2014). Fixation of lethal dose and effect of ethyl methane sulphonate induced mutagenesis in rice Adt (R) 47. Life Sciences Leaflets, 57, pp. 65-72.
18. Talebi, A., Talebi, Am. & Shahrokhifar, B. (2012). Ethyl methane sulphonate (EMS) induced mutagenesis in malaysian rice (cv. MR219) for lethal dose determination. Am. J. of Plant Sci., 3, pp. 1661-1665. doi: <https://doi.org/10.4236/ajps.2012.312202>
19. Tejklova, E. (2002). Curly stem — an induced mutation in flax (*Linum usitatissimum* L.). Czech J. Genet. Plant Breed, 38, No. 3-4, pp. 125-128. doi: <https://doi.org/10.17221/6246-CJGPB>
20. Wasserman, L. (2005). All of Statistics: A Concise Course in Statistical Inference. Springer.

Received 13.07.2018

#### СПРЯМОВАНІСТЬ СПАДКОВИХ ЗМІН ЛЬОНУ (*LINUM HUMILE* MILL.) ЗА ДІЇ НОВИХ ПОХІДНИХ ДИМЕТИЛСУЛЬФАТУ

*A.B. Тігова, А.І. Сорока*

Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України, Запорізька обл., Запорізький р-н, с. Сонячне

Основою створення вихідного матеріалу для селекції рослин є мутаційна мінливість. Метод індукованого мутагенезу дає змогу розширювати генетичну різноманітність видів з метою залучення в селекційний процес зразків із мутаціями генів і хромосом. Індуковані мутанти, отримані в результаті обробки різноманітними мутагенними агентами, в подальшому можуть стати новими сортами після ретельного добору або залучення до гібридизації. Встановлено, що обробка новими хімічними мутагенами серії ДГ — похідними диметилсульфату (ДМС) — привела до отримання широкого спектра морфологічних і фізіологічних мутацій, які були розділені на п'ять груп. Описано частоту індукування мутацій і спрямованість дії мутагенів серії ДГ порівняно з вихідною сполукою і добре відомим мутагеном етилметансульфонатом (ЕМС). Мутагени серії ДГ значно перевершували вихідний мутаген ДМС за частотою індукованих змін, що підтвердило їх ефективність. Із мутагенів серії ДГ найефективнішим для отримання мутацій з порушенням синтезу хлорофілу виявився мутаген ДГ-9, для мутацій структури стебла, пагонів і листків — мутагени ДГ-7, ДГ-6, мутацій забарвлення пелюсток віночка і пиляків, забарвлення насіння, а також мутацій за фізіологічними ознаками росту і розвитку — мутаген ДГ-2.

*Ключові слова:* льон, мутагенез, хімічний мутаген, диметилсульфат, етилметансульфонат, мутація.

DIRECTION OF INHERITED CHANGES IN FLAX (*LINUM HUMILE* MILL.)  
UNDER THE ACTION OF NEW DIMETHYL SULFATE DERIVATIVES

*A.V. Tigova, A.I. Soroka*

Institute of Oil Crops, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine  
1 Institutskaya St., Settl. Solnechnyy, Zaporozhye, 69093, Ukraine  
e-mail: anna.tigova@gmail.com

Mutational variability underlies the development of the source material for plant breeding. The method of induced mutagenesis allows to expand genetic diversity of species by involving samples with mutations of genes and chromosomes in the breeding process. Induced mutants obtained by the treatment with a various mutagenic agents may subsequently turn into new varieties after careful selection or involvement in hybridization. The article shows that treatment with new chemical mutagens of the DG series, derived from dimethyl sulfate (DMS), resulted in a wide range of morphological and physiological mutations that were divided into five groups. The frequency of mutations and the direction of the action of DG mutagens are described in comparison with the basic substance and well-known ethyl methane sulfonate (EMS) mutagen. It was demonstrated that the mutagens of the DG series largely surpassed the original DMS mutagen according to the frequency of the induced changes, which indicates their effectiveness. It was determined that DG-9 mutagen was the most effective one to cause mutations in chlorophyll synthesis, DG-7 and DG-6 mutagens were the most effective to induce mutations in the structure of stalk, shoots and leaves, DG-2 mutagen — to cause mutations of the corona and anthers color, seed color, and mutations for physiological traits of growth and development.

*Key words:* *Linum humile* Mill., flax, mutagenesis, chemical mutagen, dimethyl sulfate, ethyl methane sulfonate, mutation.