

УДК 633.15:581.6:58.08

Т. П. Шиянова, О. Г. Супрун, Р. Л. Богуславский

Институт растениеводства имени В. Я. Юрьева Национальной академии аграрных наук, Московский проспект, 142, 61060 Харьков, Украина, +380 (98) 949 45 24, yuriev1908@gmail.com

ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ МАСЛА ЭНДОСПЕРМАЛЬНЫХ МУТАНТОВ КУКУРУЗЫ В СВЯЗИ С ДОЛГОВЕЧНОСТЬЮ СЕМЯН ПРИ ХРАНЕНИИ

В модельном опыте с ускоренным старением семян эндоспермальных мутантов кукурузы установлена положительная связь показателей долговечности семян кукурузы с массовой долей линолевой кислоты ($r = 0,48—0,76$); отрицательная связь — с массовыми долями олеиновой (ненасыщенной) и стеариновой (насыщенной) кислот ($r =$ от $-0,36$ до $-0,74$).

Ключевые слова: кукуруза; эндоспермальные мутанты; семена; долговечность; жирнокислотный состав; ускоренное старение.

Рис. 2. Табл. 1. Библиогр.: 9 назв.

T. P. Shyanova, O. G. Suprun, R. L. Boguslavskiy

V. Ya. Yuryev Plant Production Institute of the National Academy of Agrarian Sciences, Kharkov, 61060, 142, Moskovskiy ave., Ukraine, +380 (98) 949 45 24, yuriev1908@gmail.com

FATTY ACID COMPOSITION OF OIL OF MAIZE ENDOSPERMAL MUTANTS IN CONNECTION WITH SEED LONGEVITY IN STORAGE

In a model experiment with accelerated aging of seeds of maize endospermal mutants, a positive connection was established between the indicators of maize seed longevity and the mass fraction of linoleic acid ($r = 0.48—0.76$); negative relationship with mass fractions of oleic (unsaturated) and stearic (saturated) acids ($r = -0.36$ to -0.74).

Key words: maize; endospermal mutants; seeds; longevity; fatty acid composition; accelerated aging.

Fig. 2. Table 1. Ref.: 9 titles.

Введение. Генетическое регулирование состава и структуры эндосперма кукурузы дает возможность в более полной мере использовать широкий потенциал этой важной зерновой культуры как источника сырья для промышленности и различных направлений потребления, особенно учитывая то, что мутации структуры эндосперма имеют природное происхождение и их использование не связано с преодолением законодательных ограничений и человеческих предубеждений. Исследованиями показано, что хранение семян эндоспермальных мутантов кукурузы как в семеноводстве и селекции, так и в генбанках является проблемой, поскольку долговечность этих семян часто ниже, чем у традиционно выращиваемых сортов и гибридов кремнистого и зубовидного подвидов [1; 2].

Известно, что семена, богатые липидами, к которым относится кукуруза, имеют ограниченную долговечность. Важную роль в этом играет жирнокислотный состав масла, в том числе доля ненасыщенных жирных кислот [3]. До настоящего времени определение зависимости между жирнокислотным составом и долговечностью семян эндоспермальных мутантов кукурузы по сравнению с традиционными зубовидным и кремнистым типами в связи с их хранением не проводилось. Вместе с тем такое исследование является актуальным, поскольку способствует решению проблемы поддержания жизнеспособности семян при длительном хранении в генбанках и рабочих коллекциях селекционных учреждений

и в семеноводстве. Целью этого исследования было установить характер связи между содержанием жирных кислот в масле из зерна эндоспермальных мутантов кукурузы и долговечностью зерна в хранении.

Материалы и методы исследований. Для проведения анализов использовались семена от контролируемого опыления. Материалом для исследования послужили семена шести простых гибридов F_1 и двенадцати их родительских линий, принадлежащих к разным группам носителей эндоспермальных мутаций, которые регулируют содержание и соотношение основных фракций углеводов зерна: wx , ae , su_1 , se , sh_2 и обычного зубовидного типа (*ssp. indentata*) — гибрида Вымпел и его родительских линий ♀ГК 26 М, ♂Х 523 ЗМ, с которым сравнивали все остальные.

Зерно желтое, крупное, удлинненное, плоское. Эндосперм по бокам зерновки роговидный, в центре и верхушке мучнистый, рыхлый. При созревании на верхушке зерна образуется углубление. Зубовидная кукуруза среди других групп получила наибольшее распространение. В зерне содержится 70—75 % крахмала, до 15 % белка, 3—6 % жира.

Носители эндоспермальной мутации ae представлены гибридом АЕ 392/АЕ 800 и родительскими линиями ♀АЕ 392, ♂АЕ 800. Ген ae (*amylose extender*) увеличивает содержание амилозы — полисахарида с простыми, неразветвленными молекулами крахмала — до 60 %. Зерновки удлинненные, уплощенные, матово-желтые.

Мутация $waxy$ (wx) представлена гибридом Бином и родительскими линиями ♀ВК 69 и ♂ВК 64. Ген wx обуславливает образование крахмалов, почти полностью состоящих из амилопектина (разветвленных молекул), который лучше, чем амилоза, гидролизуется амилолитическими ферментами. На этой основе создают специальные сорта (гибриды) спиртодистиллятного направления технологического использования. Зерновки матово-желтые, слегка удлинненные.

Сахарный тип кукурузы представлен носителями мутации su_1 (*sugary 1*) — гибридом Дмитрик и родительскими линиями ♀МС 401, ♂МС 266. Ген вызывает частичную депрессию синтеза крахмала и резко увеличивает в зерне технической спелости содержание водорастворимых полисахаридов и сахаров. Зерновки желтые, широкие, ширина превышает длину.

Мутация se (*sugary enhancer*, рецессивный модификатор гена su_1) — гибридом Снежная королева и родительскими линиями ♀СЕ 854, ♂СЕ 843, которые относятся к улучшенной сахарной кукурузе с содержанием сахара 7—15 % (сахарная кукуруза с мутацией su_1 содержит 5—10 %). Зерновка белая, сильно морщинистая, слегка удлинненная.

Мутация sh_2 (*shrunk 2*) представлена гибридом SS 386/SS 389 и родительскими линиями ♀SS 386, ♂SS 389. Зерновки светло-желтые с сильно морщинистым эндоспермом. Блокирована первичная полимеризация сахаров, в результате чего их содержание повышается до 21—32 %, что в 10 раз больше, чем у зубовидной кукурузы. Мутанты по гену sh_2 являются основой гибридов сверхсахарной кукурузы.

Семена для исследований выращивали в условиях восточной лесостепи Украины. Почва — глубокий слабовыщелоченный чернозем с зернистой структурой. Характеризуется следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) — 5,8 %; рН — 5,8; гидролитическая кислотность — 3,29 мг / экв. на 100 г почвы. Содержание питательных веществ на фоне без удобрений: азот — 132 мг / кг, фосфор — 104 мг / кг, калий — 128 мг / кг; на фонах с применением минеральных удобрений ($N_{30}P_{30}K_{30}$): азот — 130—140 мг / кг, фосфор — 180—200 мг / кг, калий — 170—190 мг / кг почвы.

Опыты проводили с семенами двух лет репродукции: 2011 и 2014. В 2011 году во все месяцы вегетации среднемесячная температура превышала среднюю многолетнюю на 0,7—2,2 °С с максимумом 36 °С в июле. Сухая погода с максимальной температурой 35 °С

в августе и 30 °С в сентябре способствовала быстрой влагоотдаче зерна кукурузы. В целом год был благоприятным для формирования и созревания зерновок кукурузы.

В свою очередь 2014 год характеризовался температурным режимом в целом близким к среднему многолетнему, только в начале вегетации (май) средняя температура была выше нормы на 3,2 °С; в июле — на 1,1 °С с максимумами 35 °С. Созревание зерна кукурузы происходило при сухой, преимущественно бездождевой погоде. Это способствовало быстрому созреванию и низкой уборочной влажности зерна. В целом в критические периоды для растений кукурузы год характеризовался как засушливый.

Долговечность семян линий и гибридов кукурузы с влажностью 7—10 % изучали в модельном опыте «ускоренное старение» по методу Б. С. Лихачева [4], который моделирует естественное старение во время длительного хранения. Контролем для обоих вариантов служили семена тех же линий и гибридов (с той же исходной влажностью), хранившиеся в бумажных пакетах при комнатной температуре. Перед началом опыта и на каждом его этапе определяли лабораторные показатели энергии прорастания и всхожести семян согласно ДСТУ 4138-2002 [5]. Семена проращивали в рулонах на дистиллированной воде при температуре 25 °С. Существенность различий между средними показателями оценивали на уровне вероятности $P = 0,95$ [6].

Влияние ускоренного старения на показатели жизнеспособности семян оценивали по индексу влияния I , определяемому по формуле

$$I = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{(\bar{X}_2)} 100 \%,$$

где \bar{X}_1 — средний показатель в опытном варианте,

\bar{X}_2 — средний показатель в контроле.

Положительное значение I означает увеличение показателя, отрицательное — его уменьшение [2].

Жирнокислотный состав растительного масла определяли методом Пейскера [7]. Анализ жирнокислотного состава масла осуществляли методом газовой хроматографии метиловых эфиров жирных кислот на газовом хроматографе «Селмихром-1» с пламенно-ионизационным детектором. Параметры работы: температура термостата колонок — 180 °С; температура испарителя — 230 °С; температура детектора — 220 °С; скорость потока газа носителя (азот) — 30 см³ / мин; объем пробы раствора метиловых эфиров кислот в гексане — 2 мм³. Использовали стандарты насыщенных и ненасыщенных метиловых эфиров жирных кислот фирмы “Sigma”.

Результаты и их обсуждение. Основными жирными кислотами в масле из семян изученных образцов кукурузы были ненасыщенные жирные кислоты (олеиновая и линолевая), на долю которых приходится наибольшая доля от суммы кислот: линолевая — от 36,7 до 68,2 % в зависимости от генотипа и варианта опыта, олеиновая — от 17,4 до 47,8 %. Меньшую, но значительную долю составляли насыщенные жирные кислоты: пальмитиновая — от 8,9 до 13,5 % и стеариновая — от 1,4 до 4,4 %. Остальные жирные кислоты — пальмитолеиновая, линоленовая, эйкозановая, эйкозеновая, бегеновая — представлены очень малой долей (от 0,06 до 4,32 %).

При сравнении массовой доли жирных кислот в оба года исследований наблюдается положительная высокая существенная корреляция для стеариновой ($r = 0,90$), олеиновой (0,97), линолевой (0,96), линоленовой (0,72), пальмитиновой (0,77) кислот. Жирные кислоты со сравнительно высокой массовой долей (рисунки 1 и 2) входят именно в эту группу.

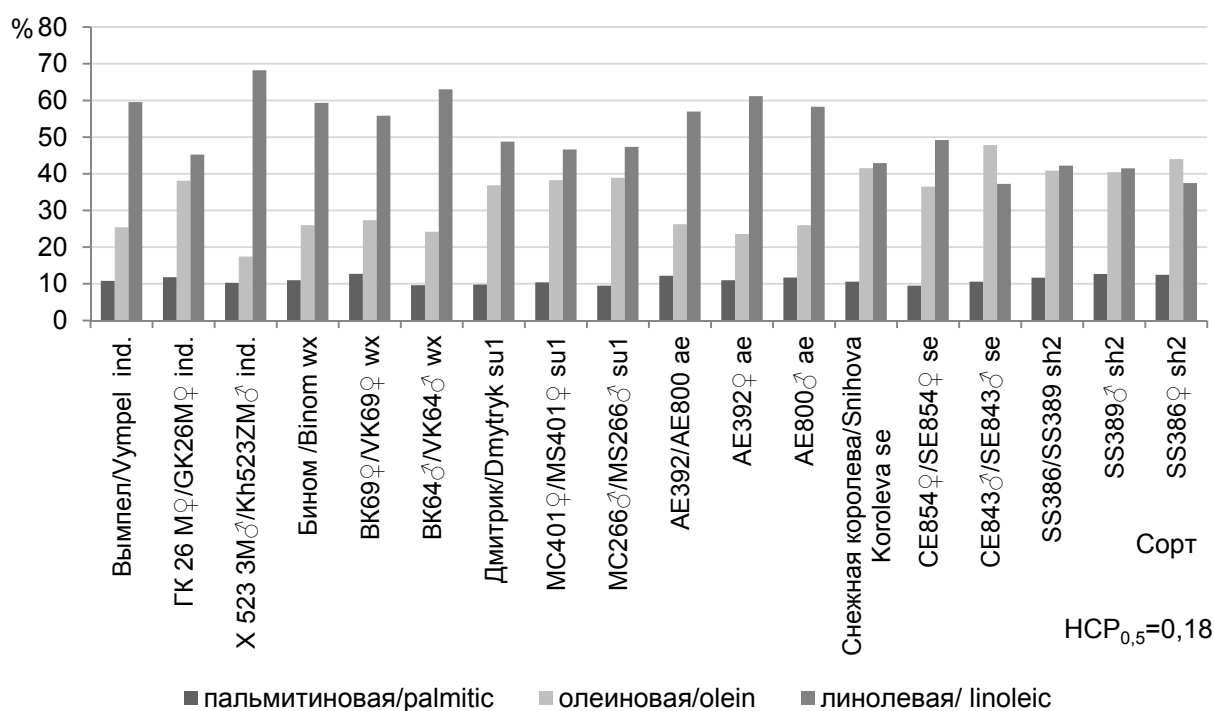


Рисунок 1. — Массовая доля основных жирных кислот в контрольном варианте (%), 2011 год

Figure 1. — Mass fraction of the main fatty acids in the control variant (%), 2011

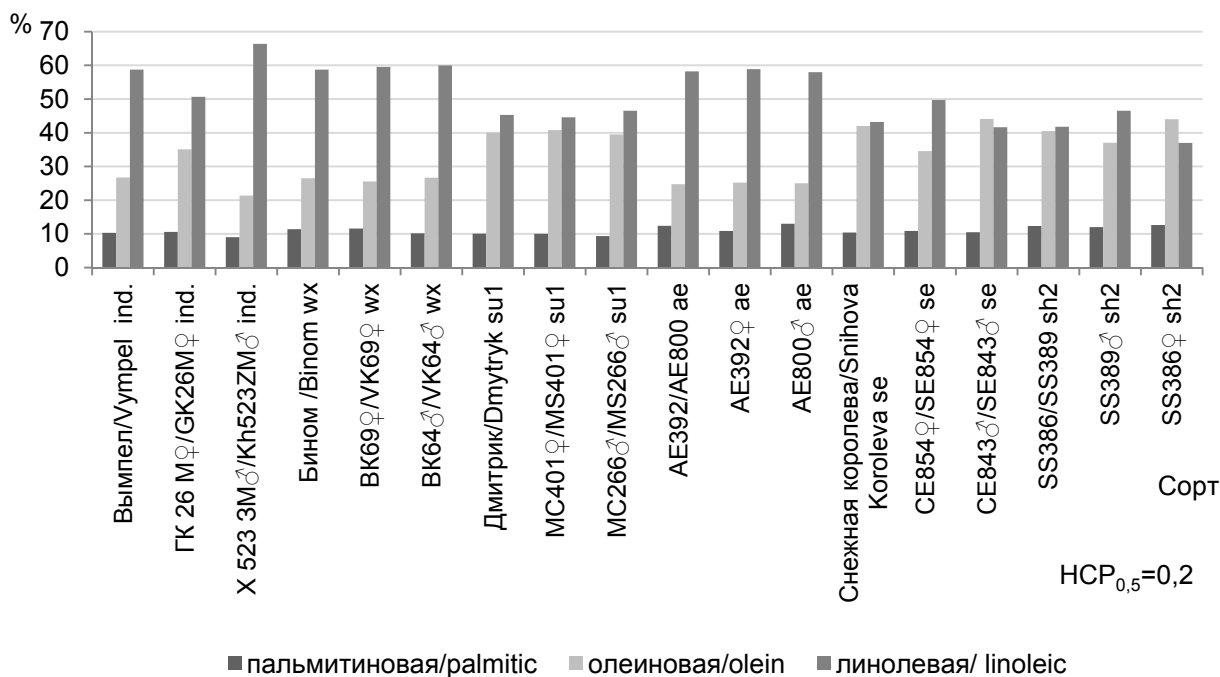


Рисунок 2. — Массовая доля основных жирных кислот в контрольном варианте (%), 2014 год

Figure 2. — Mass fraction of the main fatty acids in the control variant (%), 2014

Для жирных кислот с низкой массовой долей коэффициент корреляции положительный средний существенный (для пальмитолеиновой кислоты 0,48) или корреляция отсутствует, для эйкозановой, эйкозеновой и бегеновой кислот — несущественные коэффициенты от – 0,26 до 0,29. Ранжирование образцов по массовой доле каждой жирной кислоты в 2011-м и 2014 годах близкое (см. рисунки 1 и 2). Это дает основание сравнивать образцы между собой по среднему показателю за два года.

По массовой доле линолевой кислоты выделяются образцы зубовидного подвида — гибрид Вымпел и родительская линия ♂X 523 ЗМ (в контрольном варианте в среднем за 2011 и 2014 год 59,1 и 67,3 % соответственно); восковидные (ген *wx*) — гибрид Бином и родительские линии ♀ВК 69 и ♂ВК 64 (59,0; 57,7; 61,2 %); носители гена *ae* — гибрид АЕ 392/АЕ 800 и родительские линии ♀АЕ 392 и ♂АЕ 800 (57,6; 60,0; 58,1 %). Наименьшей массовой долей линолевой кислоты характеризовались линии ♀SS 386 (ген *sh₂*) — 37,2 % и ♂СЕ 843 (*se*) — 39,4%. У остальных образцов этот показатель был промежуточным и составил в среднем 43,0—49,4%.

Массовая доля второй по представленности жирной кислоты (олеиновой) была больше у носителей гена *se* — гибрида Снежная королева и родительских линий ♀СЕ 854 и ♂СЕ 843 (в среднем за 2011 и 2014 год соответственно 41,8; 35,6; 46,0 %); носителей гена *sh₂* — гибрида SS 386/SS 389 и линий ♀SS 386 и ♂SS 389 (40,7; 44,0; 38,7 %); носителей гена *su₁* — гибрида Дмитрик и линий ♀МС 401 и ♂МС 266 (38,4; 39,5; 39,2 %), а также у зубовидной линии ♀ГК 26 М (36,6 %).

Низкая массовая доля олеиновой кислоты (19,4 %) отмечена у линии ♂X 523 ЗМ зубовидного подвида. У остальных гибридов и линий массовая доля олеиновой кислоты составляла 24,4—26,5 %.

По массовой доле пальмитиновой кислоты (диапазон изменчивости от 9,4 до 12,2 %) образцы мало отличались друг от друга, этот показатель не удалось связать с наличием определенной эндоспермальной мутации. Повышенной массовой долей пальмитиновой кислоты характеризовались носители гена *sh₂* — гибрид SS 386/SS 389, линии ♂SS 389 и ♀SS 386 (12,02; 12,3; 12,5 %); носители гена *ae* — гибрид АЕ 392/АЕ 800 и линия ♂АЕ 800 (12,3; 12,4 %); линия ♀ВК 69 (*wx*) — 12,2 %.

Низкой долей пальмитиновой кислоты характеризуются носители гена *su₁* — гибрид Дмитрик и линия ♂МС 266 (9,9 и 9,4%), а также линии ♂X 523 ЗМ (зубовидная) — 9,7 % и ♂ВК 64 (*wx*) — 9,9 %. У остальных образцов этот показатель составлял 10,2—11,2 %.

Долговечность семян эндоспермальных мутантов характеризуют энергия прорастания и всхожесть в опытном варианте по сравнению с контрольным, а также индексы влияния факторов в модельном опыте «ускоренное старение».

В подавляющем большинстве случаев (56 из общего количества 72) энергия прорастания и всхожесть семян снижались, в остальных случаях не изменились или не значительно увеличились, о чем свидетельствуют индексы влияния.

В опытном варианте сравнительно высокими показателями энергии прорастания и всхожести характеризовались семена обоих лет репродукции образцов зубовидного подвида — гибрида Вымпел (во всех случаях 100 %) и линии ♀ГК 26 М (92—94 %); семена, выращенные в 2011 году, — носителей гена *ae* — гибрида АЕ 392/АЕ 800 (соответственно 96 и 99 %) и материнской линии ♀АЕ 392 (100 %); носителей гена *su₁*: гибрида Дмитрик (100 %) и линии ♀МС 401 (92—98 %); семена репродукции 2014 года — восковидных (*wx*): гибрида Бином (92—93 %) и материнской линии ♀ВК 69 (93—96 %).

Низкими показателями жизнеспособности семян обоих лет репродукции характеризовались носители гена *se* — гибрид Снежная королева (78—85 %) и родительская линия ♂СЕ 843 (22—71 %); носители гена *sh₂* — линии ♀SS 386 и ♂SS 389 (28—57 %).

Для определения связи содержания жирных кислот с долговечностью семян эндоспермальных мутантов кукурузы рассчитаны коэффициенты корреляции между

массовой долей жирных кислот в контрольном варианте (исходные показатели) и показателями жизнеспособности семян при ускоренном старении (таблица 1).

В оба года исследований имели место:

– положительная средняя существенная корреляция между массовой долей линолевой кислоты, с одной стороны, и энергией прорастания, всхожестью, индексами энергии прорастания и всхожести — с другой: r составлял от 0,48 до 0,67;

– отрицательная средняя, в основном существенная (исключая энергию прорастания в 2011 году) корреляция между массовой долей олеиновой кислоты и теми же показателями: r составлял от –0,44 до –0,65;

– отрицательная средняя, в основном существенная (исключая энергию прорастания и ее индекс в 2011 году) корреляция между массовой долей стеариновой кислоты и теми же показателями: r составлял от –0,36 до –0,61;

– отрицательная средняя или слабая, в основном несущественная (кроме энергии прорастания в 2011) корреляция между массовой долей пальмитиновой кислоты и теми же показателями: r составил в 2011 г. от –0,39 до –0,50, в 2014 г. от –0,12 до –0,40. В этом случае можно констатировать тенденцию к отрицательной связи.

Для массовых долей пальмитолеиновой и эйкозеновой кислот в 2011 году наблюдалась отрицательная средняя корреляция со всхожестью и индексами энергии прорастания (несущественная) и всхожести: r составлял от –0,40 до –0,48. В 2014 году имела место положительная средняя существенная корреляция массовой доли пальмитолеиновой кислоты с индексом энергии прорастания.

Следует отметить, что для всех жирных кислот корреляция массовой доли с энергией прорастания и всхожестью в контрольном варианте была слабой или отсутствовала.

Т а б л и ц а 1. — Коэффициенты корреляции между индексами влияния ускоренного старения на массовую долю жирных кислот у эндоспермальных мутантов кукурузы, 2011/2014 год

T a b l e 1. — Correlation coefficients between the indexes of the accelerated aging effect on the mass fraction of fatty acids in maize endospermal mutants, 2011/2014

	Олеиновая С18:1	Пальмитолеиновая С16:1	Эйкозеновая С20:1	Линолевая С18:2	Линоленовая С18:3	Эйкозановая (арахиновая) С20:0	Стеариновая С18:0	Бегеновая С22:0
Пальмитиновая С16:0	0,34/ 0,26	0,19/ 0,21	0,00/ –0,02	–0,11/ –0,13	0,19/ 0,28	0,06/ 0,02	–0,15/ –0,19	0,39/ 0,32
Пальмитолеиновая С16:1	—	0,33/ 0,37	0,20/ 0,26	–0,23/ –0,39	–0,08/ –0,10	–0,13/ –0,14	0,19/ 0,21	–0,97*/ –0,95*
Стеариновая С18:0	—	—	0,04/ –0,05	–0,01/ –0,09	–0,09/ –0,06	0,15/ 0,19	–0,26/ –0,25	0,71*/ 0,80*
Олеиновая С18:1	—	—	—	–0,83*/ –0,90*	–0,21/ –0,12	–0,05/ –0,07	–0,33/ 0,13	0,93*/ 0,11
Линолевая С18:2	—	—	—	—	–0,15/ –0,11	–0,27/ –0,12	0,16/ 0,10	–0,98*/ –0,98*
Линоленовая С18:3	—	—	—	—	—	0,17/ 0,25	0,10/ 0,21	0,97*/ 0,97*
Эйкозановая (арахиновая) С20:0	—	—	—	—	—	—	0,33/ 0,30	0,92*/ 0,94*
Эйкозеновая С20:1	—	—	—	—	—	—	—	–0,55*/ –0,60*

Воздействие ускоренного старения привело к изменениям массовой доли жирных кислот в масле из зерна эндоспермальных мутантов кукурузы. Причем характер этих изменений, характеризуемый индексами, был идентичным в оба года исследований: коэффициенты корреляции между индексами в 2011 и 2014 годы составляют от 0,96 до 1,00. Это дает основание рассмотреть усредненные индексы за 2011 и 2014 годы.

Под действием ускоренного старения в среднем по образцам значительно увеличилась массовая доля пальмитолеиновой кислоты: $I = 47,26\%$. Наиболее значительным ($I > 50\%$) это увеличение было у гибрида Дмитрик (su_1) и его материнской линии ♀МС 401, линии ♂АЕ 800 (ae), гибрида Снежная королева (se) и обеих его родительских линий — ♀СЕ 854 и ♂СЕ 843. Вместе с тем зубовидная линия ♂Х 523 М снизила массовую долю этой кислоты на 26,6%. Значительные изменения имели место в массовой доле эйкозановой кислоты: увеличение на 65% у линии ♂МС 266 (su_1), уменьшение у зубовидного гибрида Вымпел и линии ♀АЕ 392 (ae) ($I < -50\%$); эйкозеновой кислоты — уменьшение у зубовидной линии ♀ГК 26 М ($I = -52,08\%$), увеличение у линии ♂СЕ 843 (se) ($I = 68,24\%$). Можно также отметить общую тенденцию к уменьшению содержания линоленовой кислоты (16 образцов из 18), эйкозановой кислоты (12 образцов из 18).

Рассмотрим значимые коэффициенты корреляции между индексами влияния ускоренного старения на массовую долю жирных кислот у эндоспермальных мутантов кукурузы (в таблице 1 отмечены знаком «*»). Существенными были коэффициенты корреляции, касающиеся в основном бегеновой — насыщенной жирной кислоты, которая обнаружена только у образцов зубовидного подвида. В трех случаях эти коэффициенты отрицательные, причем все они выражают соотношение между насыщенной и ненасыщенной кислотами. В четырех случаях коэффициенты, по крайней мере в один из двух лет, положительные; из них два — между двумя насыщенными жирными кислотами, два — между насыщенной и ненасыщенной кислотами. Коэффициент корреляции между массовыми долями олеиновой и линолевой кислот (обе ненасыщенные) отрицательный.

Можно предполагать, что ненасыщенная линолевая кислота будет способствовать повышению долговечности семян у носителей указанных генов. Фактически же носители генов se — гибрид Снежная королева и родительской линии ♂СЕ 843; su_1 — гибрида Дмитрик, линий ♂МС 266 и ♀МС 401, а также их — гибрида Бином, линий ♀ВК 69 и ♂ВК 64 характеризовались пониженной долговечностью. При этом носители мутаций su_1 и se отличаются повышенной массовой долей олеиновой кислоты, обладающей протекторными свойствами. В то же время сравнительно высокую долговечность показали семена носители гена ae — гибрида АЕ 392/АЕ 800 и родительской линии ♀АЕ 392. Самую низкую долговечность проявили семена носителей генов sh_2 — линий ♀СС 386 и ♂СС 389, имеющие повышенную массовую долю триглицеридов пальмитиновой, олеиновой и стеариновой жирных кислот. Анализ коэффициентов корреляции свидетельствует о положительной связи показателей долговечности семян с массовой долей линолевой (ненасыщенной) кислоты; отрицательной связи с массовыми долями олеиновой (ненасыщенной) и стеариновой (насыщенной) кислот. Отрицательная связь содержания олеиновой кислоты с долговечностью семян не дает основания говорить об однозначной положительной связи содержания ненасыщенных жирных кислот с долговечностью семян эндоспермальных мутантов кукурузы.

Рассмотрение коэффициентов корреляции между индексами влияния ускоренного старения на массовые числа жирных кислот показывает, что у образцов кукурузы изменения в жирнокислотном составе под влиянием ускоренного старения, по крайней мере в части случаев, можно объяснить протекторной ролью ненасыщенных жирных кислот, которые подвергаются насыщению; в других случаях массовые числа жирных кислот одной группы (насыщенных либо ненасыщенных) изменяются параллельно.

Согласно общепринятому мнению, норма реакции гибрида шире, чем его родительских линий [8; 9]. Следовательно, можно было ожидать, что способность гибридных семян проти-

востоять стрессовым факторам (которыми являются ускоренное старение и промораживание) должна быть выше, чем у родительских линий. В наших опытах это проявилось в варианте с ускоренным старением в группе носителей гена *sh₂*, имеющих наименее долговечные семена, и у образцов зубовидного подвида, семена которых были наиболее долговечными.

Заключение. Основными жирными кислотами в масле изученных образцов кукурузы являются ненасыщенные — олеиновая (17,4—47,8 %) и линолевая (36,7—68,2 %). Меньшую, но значительную долю составляют насыщенные жирные кислоты: пальмитиновая (8,9—13,5 %) и стеариновая (1,4—4,4 %). Остальные жирные кислоты — пальмитолеиновая, линоленовая, эйкозановая (арахиновая), эйкозеновая, бегеновая — представлены очень малой долей: от 0,06 до 4,32 %. Масло из зерна образцов зубовидного подвида — гибрида Вымпел, линий ♀ГК 26 М и ♂Х 523 ЗМ — содержит также бегеновую кислоту в незначительных количествах (от 0,07 до 0,18 %).

Ранжирование по массовой доле в разные годы в целом совпадает для жирных кислот со сравнительно высокой массовой долей — стеариновой, олеиновой, линолевой, линоленовой, пальмитиновой. Для жирных кислот с низкой массовой долей ранжирование не совпадает.

Повышенной массовой долей линолевой кислоты выделяются образцы зубовидного подвида — гибрид Вымпел и линии ♀ГК 26 М и ♂Х 523 ЗМ, восковидные — носители гена *wx* — гибрид Бином и родительские линии ♀ВК 69 и ♂ВК 64; гена *ae* — гибрид АЕ 392/АЕ 800 и родительские линии ♀АЕ 392 и ♂АЕ 800 (47,9—67,3 %). Наименьшей массовой долей линолевой кислоты характеризовались линии ♀SS 386 (ген *sh₂*) и ♂СЕ 843 (*se*) — 37,0 и 39,4 %. У остальных образцов этот показатель был промежуточным — в среднем 43,0—49,4 %.

Массовая доля олеиновой кислоты была большей у носителей гена *se* — гибрида Снежная королева и родительских линий ♀СЕ 854 и ♂СЕ 843 (35,6—46,0 %); гена *su₁* — гибрида Дмитрик и линий ♀МС 401 и ♂МС 266 (38,4—39,5 %), а также линии ♀ГК 26 М (зубовидной). Низкая массовая доля олеиновой кислоты (19,4 %) отмечена у линии зубовидного подвида ♂Х 523 ЗМ. У остальных гибридов и линий массовая доля олеиновой кислоты составляла 24,4—26,5 %.

Повышенной массовой долей пальмитиновой кислоты характеризовались носители гена *sh₂* — гибрид SS 386/SS 389, линии ♂SS 389 и ♀SS 386 (12,0—12,5 %); гена *ae* — гибрид АЕ 392/АЕ 800 и линия ♂АЕ 800 (12,3; 12,4 %); линия ♀ВК 69 (*wx*) — 12,2 %. Низкой долей пальмитиновой кислоты характеризуются носители гена *su₁* — гибрид Дмитрик и линия ♂МС 266 (9,9 и 9,4 %), а также линии ♂Х 523 ЗМ (зубовидная) — 9,7 % и ♂ВК 64 (*wx*) — 9,9 %. у остальных образцов этот показатель составлял 10,2—11,2 %.

В опыте с ускоренным старением долговечными оказались семена образцов зубовидного подвида — гибрида Вымпел и линии ♂Х 523 ЗМ, носителей гена *ae* — гибрида АЕ 392/АЕ 800 и материнской линии ♀АЕ 392. Низкой долговечностью характеризуются семена носителей гена *se* — гибрида Снежная королева и родительской линии ♂СЕ 843; гена *sh₂* — линий ♀SS 386 и ♂SS 389.

Для всех жирных кислот корреляция массовой доли с показателями жизнеспособности семян в контрольном варианте была слабой или отсутствовала.

Установлена положительная связь показателей долговечности семян с массовой долей линолевой (ненасыщенной) кислоты ($r = 0,48—0,76$); отрицательная связь с массовыми долями олеиновой (ненасыщенной) и стеариновой (насыщенной) кислот (r составляет от $-0,36$ до $-0,74$).

Воздействие ускоренного старения привело к изменениям массовой доли жирных кислот в масле из зерна эндоспермальных мутантов кукурузы, причем характер этих изменений был идентичным в оба года исследований и зависел от генотипа.

Под действием ускоренного старения в среднем по образцам значительно увеличилась массовая доля пальмитолеиновой кислоты, причем наиболее значительным это увеличение было у гибрида Снежная королева и обеих его родительских линий — ♀СЕ 854 и ♂СЕ 843

(*se*), гибрида Дмитрик (*su₁*) и его материнской линии ♀МС 401, линии ♂АЕ 800 (*ae*) и гибрида SS 386/SS 389 (*sh₂*). Значительные изменения имели место в массовой доле эйкозановой кислоты: увеличение у линии ♂МС 266 (*su₁*), уменьшение у зубовидного гибрида Вымпел и линии (*ae*) ♀АЕ 392; эйкозеновой кислоты — уменьшение у зубовидной линии ♀ГК 26 М, увеличение у линии (*se*) ♂СЕ 843. Отмечена общая тенденция к уменьшению содержания линоленовой и эйкозановой кислот.

Список цитируемых источников

1. Shyianova, T. P. Morphological parameters of maize endospermal mutants seedlings and effect of seed storage regimes on them / T. P. Shyianova, S. M. Tymchuk // Селекція і насінництво. — Харків : Вид. ІР ім. В. Я. Юр'єва НААН, 2018. — Вип. 113. — С. 188—200.
2. Шиянова, Т. П. Довговічність насіння форм кукурудзи з різною структурою ендосперму / Т. П. Шиянова, С. М. Тимчук, Р. Л. Богуславський // Генетичні ресурси рослин. — Харків : Вид. ІР ім. В. Я. Юр'єва НААН, 2015. — № 17. — С. 87—98.
3. Робертс, Е. Жизнеспособность семян / Е. Робертс. — М. : Колос, 1978. — 410 с.
4. Лихачёв, Б. С. Некоторые методические вопросы изучения биологии старения семян / Б. С. Лихачёв // Сельскохозяйственная биология. — 1980. — Т. XV. — № 6. — С. 842 — 844.
5. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості : ДСТУ 4138-2002 [Чинний від 2004-01-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2003. — 173 с.
6. Лакин, Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. — М. : Высш. шк., 1973. — 343 с.
7. Прохорова, М. И. Методы биохимических исследований / М. И. Прохорова. — Л. : Химия, 1982. — 272 с.
8. Генетические основы селекции растений : в 4 т. / науч. ред. А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. — Минск : Беларус. навука, 2010. — Т. 2. Частная генетика растений. — 579 с.
9. Gustafson A. The effect of heterozygosity on variability and vigour / A. Gustafson // Hereditas. — 1946. — Vol. 32. — P. 263—284.

References

1. Shyianova T. P., Tymchuk S. M. Morphological parameters of maize endospermal mutants seedlings and effect of seed storage regimes on them // Selektsiia i nasinnystvo. 2018. Vyp. 113. S. 188—200.
2. Shyianova T.P., Tymchuk S. M., Bohuslavskyi R. L. Dovhovichnist nasinnia form kukurudzy z riznoiu strukturoiu endospermu [Seed durability of maize forms with different endosperm structure] // Henetychni resursy rosllyn. Kharkiv. 2015. № 17. S. 87—98.
3. Roberts E. Zhiznesposobnost semyan [Seed viability]. M. : Kolos. 1978. 410 s.
4. Likhachev B. S. Nekotoryye metodicheskiye voprosy izucheniya biologii stareniya semyan [Some methodological issues of studying the biology of seed aging] // Selskokhozyaystvennaya biologiya. 1980. Vol. XV. № 6. S. 842—844.
5. Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti: DSTU [Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality. DSTU 4138-2002. [Chynnyi vid 2004-01-01.] K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2003. 173 s.
6. Lakin G. F. Biometriya [Biometrics]. M. : Vysshaya shkola. 1973. 343 s.
7. Prokhorova M. I. Metody biokhimicheskikh issledovaniy [Methods of biochemical research]. L. : Khimiya, 1982. 272 s.
8. Geneticheskiye osnovy selektsii rasteniy [Genetic bases of plant breeding. In 4 vol. Vol. 2. Special genetics of plants]. Minsk : Belarus. navuka. 2010. — 579 s.
9. Gustafson A. The effect of heterozygosity on variability and vigour // Hereditas. 1946. Vol. 32. P. 263—284.

In the experiment with accelerated aging of maize endospermal mutants seed, a positive relationship was established between the indicators of its longevity and the mass fraction in their oil of linoleic acid ($r = 0.48—0.76$); negative connection with mass fractions of oleic and stearic acids ($r = -0.36$ to -0.74).

Under the influence of accelerated aging, the mass fraction of palmitoleic acid increased significantly (by more than 50%) in the Snezhnaya Koroleva (*se*) and both its parent lines — ♀CE 854 and ♂CE 843, the hybrid Dmitrik (*su₁*) and its mother line ♀МС 401, the line АЕ 800 (*ae*) and SS 386 / SS 389 hybrid (*sh₂*). The mass fraction of eicosanoic acid increased by 65 % in the line ♂ MS 266 (*su₁*), decreased by more than 50 % in the tooth-like hybrid Вымпел and the line АЕ 392 (*ae*); eicosenic acid — decreased in the indentata line ♀ГК 26 М by 52 %, increased by 68.2 % in the line CE 843 (*se*).