

testing, the following conclusion can be made: the near infrared spectroscopy can be used for the determination of dry matter content in plants of cereal crops.

УДК 577.12:633.15

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ОБЩИХ ЛИПИДОВ В ЗЕРНЕ КУКУРУЗЫ В ПЕРИОД ЕГО СОЗРЕВАНИЯ

В.В. Федак¹, О.В. Мамчур², кандидат с.-х. наук,
И.Ф. Ривис¹, доктор с.-х. наук

¹Институт сельского хозяйства Карпатского региона НААН Украины

²Львовский национальный университет имени Ивана Франко

(Поступила 15.09.2014 г.)

Аннотация. В зерне кукурузы в период его созревания постепенно увеличивался уровень насыщенных, моновенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот общих липидов. Установлено, что содержание жирных кислот в зерне в процессе его созревания повышалось как под влиянием минеральных удобрений, так и при обработке растений кукурузы регулятором роста зеастимулин.

Введение. Рост и развитие растительного организма детерминированы значительным числом факторов экзо- и эндогенного характера. К основным внешним воздействиям, определяющим направление и интенсивность метаболизма, причисляют уровень почвенного питания и водоснабжения растений, интенсивность солнечной радиации, действие экзогенных физиологически активных веществ, в частности, регуляторов роста растений [2, 3, 7]. Влияние последних является определяющим для оптимального развития растений в критические периоды онтогенеза, такие как интенсивный рост зеленой массы, формирование генеративных органов. Попадая в растение, физиологически активные вещества сразу включаются в обмен веществ, активизируют биохимические процессы, что приводит к росту продуктивности, повышению качества продукции, формированию устойчивости к болезням и неблагоприятным условиям среды [1, 6, 9].

Липиды и продукты их метаболизма выполняют в растительном организме множество функций. Особое внимание уделяют их роли в процессах формирования устойчивости растений к стрессовым факторам

разного происхождения [2, 10, 12]. Однако данных, объясняющих изменение уровня жирных кислот в растительном организме при воздействии экзогенных физиологических веществ, а именно регуляторов роста, практически нет, поэтому изучение механизмов их влияния на обмен жирных кислот в растениях является актуальным.

Цель настоящей работы – исследование динамики содержания жирных кислот общих липидов в зерне кукурузы в период его созревания под воздействием минеральных удобрений и регулятора роста растений зеастимулин.

Методика проведения исследований. Исследования проводили на серых лесных поверхностно оглеенных почвах в полевом севообороте лаборатории селекции и семеноводства сельскохозяйственных культур Института сельского хозяйства Карпатского региона НААН Украины в 2011-2013 гг. Предшественником был черный пар. Учетная площадь делянки составляла 25 м². Повторность – четырехкратная. На контрольном, I и II опытных участках высевали семена кукурузы среднеспелого сорта Збруч (ФАО 300-400) из расчета 63 тыс. шт./га. Под предпосевную культивацию на I опытный участок вносили минеральные удобрения в форме нитроаммофоски из расчета N₆₀P₄₅K₄₅, на II – растения на стадии появления 5-6 листьев обрабатывали водным раствором регулятора роста зеастимулин согласно рекомендации производителя [4].

В фазы молочной, молочно-восковой, восковой и полной спелости в зерне определяли содержание жирных кислот общих липидов [8]. Общие липиды из зерна кукурузы экстрагировали хлороформ-метанольной смесью (2:1 по объему). Полученные липиды омыляли, а выделенные жирные кислоты метилировали в специальных пробирках. Метилловые эфиры жирных кислот вводили в испаритель газожидкостного хроматографического аппарата. Для получения количественных данных жирных кислот общих липидов использовали методы внутреннего нормирования и внутреннего стандарта [5, 8]. Индекс ненасыщенности липидов (ИНЛ) определяли как соотношение суммы насыщенных жирных кислот к сумме ненасыщенных жирных кислот.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что в процессе созревания зерна кукурузы содержание жирных кислот общих липидов в нем постепенно увеличивалось в основном за счет насыщенных жирных кислот (таблицы 1-4). На это указывает индекс ненасыщенности липидов (ИНЛ), который в контрольном варианте в фазы молочной, молочно-восковой, восковой и полной спелости составлял соответственно 0,29; 0,38; 0,45 и 0,54.

Таблица 1 – Содержание жирных кислот общих липидов в зерне кукурузы в период молочной спелости, г/кг массы сырого вещества ($M \pm m$, $n=3$)

Жирная кислота и ее код	Контроль (без удобрений)	$N_{60}P_{45}K_{45}$	Зеастимулин
Каприновая, 10:0	$0,25 \pm 0,014$	$0,31 \pm 0,011^*$	$0,33 \pm 0,012^*$
Лауриновая, 12:0	$0,49 \pm 0,023$	$0,61 \pm 0,026^*$	$0,65 \pm 0,029^*$
Миристиновая, 14:0	$0,74 \pm 0,034$	$0,90 \pm 0,032^*$	$0,94 \pm 0,032^*$
Пентадекановая, 15:0	$0,51 \pm 0,023$	$0,63 \pm 0,026^*$	$0,66 \pm 0,023^{**}$
Пальмитиновая, 16:0	$2,44 \pm 0,125$	$3,01 \pm 0,153^*$	$3,14 \pm 0,138^*$
Пальмитоолеиновая, 16:1	$0,24 \pm 0,011$	$0,31 \pm 0,014^*$	$0,34 \pm 0,015^{**}$
Стеариновая, 18:0	$1,22 \pm 0,069$	$1,55 \pm 0,086^*$	$1,65 \pm 0,089^*$
Олеиновая, 18:1	$2,30 \pm 0,092$	$2,90 \pm 0,165^*$	$3,07 \pm 0,123^{**}$
Линолевая, 18:2	$6,80 \pm 0,216$	$7,78 \pm 0,257^*$	$7,99 \pm 0,271^*$
Линоленовая, 18:3	$10,06 \pm 0,471$	$12,79 \pm 0,532^*$	$13,05 \pm 0,535^*$
Общее содержание жирных кислот	25,05	30,79	31,82
В т.ч.: насыщенные	5,65	7,01	7,37
мононенасыщенные	2,54	3,21	3,41
полиненасыщенные	16,86	20,57	21,04
n-3/n-6	1,48	1,64	1,63

Таблица 2 – Содержание жирных кислот общих липидов в зерне кукурузы в период молочно-восковой спелости, г/кг массы сырого вещества ($M \pm m$, $n=3$)

Жирная кислота и ее код	Контроль (без удобрений)	Опыт	
		$N_{60}P_{45}K_{45}$	Зеастимулин
Каприновая, 10:0	$0,36 \pm 0,017$	$0,45 \pm 0,021^*$	$0,49 \pm 0,023^*$
Лауриновая, 12:0	$0,69 \pm 0,034$	$0,85 \pm 0,037^*$	$0,92 \pm 0,035^{**}$
Миристиновая, 14:0	$1,06 \pm 0,046$	$1,34 \pm 0,075^*$	$1,41 \pm 0,052^{**}$
Пентадекановая, 15:0	$0,71 \pm 0,034$	$0,87 \pm 0,034^*$	$0,92 \pm 0,037^*$
Пальмитиновая, 16:0	$4,23 \pm 0,156$	$5,02 \pm 0,194^*$	$5,17 \pm 0,177^*$
Пальмитоолеиновая, 16:1	$0,34 \pm 0,014$	$0,43 \pm 0,020^*$	$0,47 \pm 0,017^{**}$
Стеариновая, 18:0	$2,45 \pm 0,098$	$3,09 \pm 0,121^*$	$3,22 \pm 0,130^{**}$
Олеиновая, 18:1	$3,85 \pm 0,142$	$4,56 \pm 0,196^*$	$4,78 \pm 0,149^*$
Линолевая, 18:2	$10,45 \pm 0,559$	$13,25 \pm 0,654^*$	$13,67 \pm 0,463^*$
Линоленовая, 18:3	$10,53 \pm 0,502$	$13,08 \pm 0,632^*$	$14,05 \pm 0,555^{**}$
Общее содержание жирных кислот	34,67	42,94	45,1
В т.ч.: насыщенные	9,5	11,62	12,13
мононенасыщенные	4,19	4,99	5,25
полиненасыщенные	20,98	26,33	27,72
n-3/n-6	1,01	0,99	1,03

Таблица 3 – Содержание жирных кислот общих липидов в зерне кукурузы в период восковой спелости, г/кг массы сырого вещества ($M \pm m$, $n=3$)

Жирная кислота и ее код	Контроль (без удобрений)	Опыт	
		$N_{60}P_{45}K_{45}$	Зеастимулин
Каприновая, 10:0	0,42 $\pm$ 0,02	0,52 $\pm$ 0,02*	0,56 $\pm$ 0,02**
Лауриновая, 12:0	0,85 $\pm$ 0,03	1,00 $\pm$ 0,03*	1,10 $\pm$ 0,05**
Миристиновая, 14:0	1,24 $\pm$ 0,07	1,56 $\pm$ 0,08*	1,68 $\pm$ 0,06**
Пентадекановая, 15:0	0,82 $\pm$ 0,03	0,98 $\pm$ 0,03*	1,04 $\pm$ 0,03**
Пальмитиновая, 16:0	5,82 $\pm$ 0,21	6,77 $\pm$ 0,22*	6,91 $\pm$ 0,24*
Пальмитоолеиновая, 16:1	0,45 $\pm$ 0,02	0,58 $\pm$ 0,02*	0,61 $\pm$ 0,02**
Стеариновая, 18:0	3,73 $\pm$ 0,13	4,48 $\pm$ 0,17*	4,61 $\pm$ 0,16*
Олеиновая, 18:1	5,45 $\pm$ 0,17	6,40 $\pm$ 0,22*	6,52 $\pm$ 0,18*
Линолевая, 18:2	14,52 $\pm$ 0,75	17,25 $\pm$ 0,74	18,04 $\pm$ 0,60*
Линоленовая, 18:3	8,32 $\pm$ 0,31	9,59 $\pm$ 0,33*	9,94 $\pm$ 0,21*
Общее содержание жирных кислот	41,62	49,13	51,01
В т.ч.: насыщенные	12,88	15,31	15,9
мононенасыщенные	5,9	6,98	7,13
полиненасыщенные	22,84	26,84	27,98
n-3/n-6	0,57	0,56	0,55

Таблица 4 – Содержание жирных кислот общих липидов в зерне кукурузы в период полной спелости, г/кг массы сырого вещества ($M \pm m$, $n=3$)

Жирная кислота и ее код	Контроль (без удобрений)	Опыт	
		$N_{60}P_{45}K_{45}$	Зеастимулин
Каприновая, 10:0	0,47 $\pm$ 0,02	0,59 $\pm$ 0,02*	0,63 $\pm$ 0,02**
Лауриновая, 12:0	0,95 $\pm$ 0,04	1,26 $\pm$ 0,04**	1,31 $\pm$ 0,06**
Миристиновая, 14:0	1,42 $\pm$ 0,06	1,74 $\pm$ 0,08*	1,83 $\pm$ 0,07*
Пентадекановая, 15:0	0,92 $\pm$ 0,03	1,15 $\pm$ 0,04*	1,21 $\pm$ 0,04**
Пальмитиновая, 16:0	7,61 $\pm$ 0,24	8,73 $\pm$ 0,27*	9,02 $\pm$ 0,22*
Пальмитоолеиновая, 16:1	0,42 $\pm$ 0,02	0,53 $\pm$ 0,02*	0,56 $\pm$ 0,02**
Стеариновая, 18:0	5,25 $\pm$ 0,21	6,14 $\pm$ 0,21*	6,36 $\pm$ 0,24*
Олеиновая, 18:1	7,18 $\pm$ 0,29	7,38 $\pm$ 0,27	7,63 $\pm$ 0,23
Линолевая, 18:2	16,24 $\pm$ 0,79	19,11 $\pm$ 0,65*	20,53 $\pm$ 0,82*
Линоленовая, 18:3	7,12 $\pm$ 0,24	8,42 $\pm$ 0,27*	8,95 $\pm$ 0,28**
Общее содержание жирных кислот	47,58	55,05	58,03
В т.ч.: насыщенные	16,62	19,61	20,36
мононенасыщенные	7,60	7,91	8,19
полиненасыщенные	23,36	27,53	29,48
n-3 / n-6	0,44	0,44	0,44

Увеличение содержания насыщенных жирных кислот общих липидов в зерне кукурузы в период созревания початков происходило за счет жирных кислот с парным и непарным количеством углеродных атомов в цепи.

Содержание ненасыщенных жирных кислот общих липидов увеличивалось менее интенсивно, особенно за счет мононенасыщенных жирных кислот семейства п-7 (пальмитолеиновая кислота) и п-9 (олеиновая кислота) и полиненасыщенных жирных кислот семейства п-6 (линолевая кислота). При этом содержание полиненасыщенных жирных кислот семейства п-3 (линоленовая кислота) в зерне кукурузы постепенно снижалось. Вследствие этого снижалось также соотношение полиненасыщенных жирных кислот семейства п-3 к таким же семейства п-6 (таблицы 1-4).

Внесение в почву минеральных удобрений ($N_{60}P_{45}K_{45}$) интенсифицировало повышение уровня жирных кислот общих липидов в зерне кукурузы в период его созревания. Отмеченное нами возрастание происходило за счет как насыщенных, так и ненасыщенных жирных кислот, в т.ч. за счет жирных кислот с парным (содержание по фазам спелости 6,38; 10,75; 14,33 и 18,46 г/кг против

5,14; 8,79; 12,06 и 15,70 г/кг в контроле) и непарным (0,63; 0,87; 0,98 и 1,15 против 0,51; 0,71; 0,82 и 0,92) количеством углеродных атомов в цепи. Этот факт подтверждает также незначительное изменение ИНЛ, который в исследуемые фазы спелости составлял соответственно 0,29; 0,37; 0,45 и 0,55 против 0,29; 0,38; 0,45 и 0,54 в контроле.

Увеличение концентрации ненасыщенных жирных кислот общих липидов в зерне отмечено со стороны мононенасыщенных жирных кислот семейств п-7 (содержание по фазам спелости 0,31; 0,43; 0,58 и 0,53 г/кг против 0,24; 0,34; 0,45 и 0,42 г/кг в контроле) и п-9 (2,90; 4,56; 6,40 и 7,38 против 2,30; 3,85; 5,45 и 7,18), а также полиненасыщенных жирных кислот семейств п-3 (12,79; 13,08; 9,59 и 8,42 против 10,06; 10,53; 8,32 и 7,12) и п-6 (7,78; 13,25; 17,25 и 19,11 против 6,80; 10,45; 14,52 и 16,24 г/кг). В период молочной спелости соотношение полиненасыщенных жирных кислот семейства п-3 к аналогичным семейства п-6 увеличивалось, а в периоды молочно-восковой, восковой и полной – не изменялось.

Регулятор роста растений зеастимулин также вызывал увеличение количества жирных кислот общих липидов в зерне кукурузы в период его созревания. Увеличение происходило за счет насыщенных и ненасыщенных жирных кислот в одинаковой мере. Об этом свидетельствует ИНЛ, который в период исследований составлял соответственно 0,30; 0,37; 0,45 и 0,54 против 0,29; 0,38; 0,45 и 0,54 в контроле.

Повышение количества насыщенных жирных кислот общих липидов под воздействием зеастимулина происходило со стороны жирных кислот с парным и непарным количеством углеродных атомов в цепи; а ненасыщенных – со стороны мононенасыщенных жирных кислот семейств n-7, n-9 и полиненасыщенных семейств n-3, n-6.

Из приведенного выше следует, что в зерне кукурузы в период его созревания постепенно повышался уровень жирных кислот общих липидов, что, видимо, связано с повышением интенсивности процессов их депонирования в составе этерифицированного фитостерола и фосфолипидов зерна кукурузы [1, 3, 11], причем повышение уровня жирных кислот общих липидов наблюдалось больше со стороны насыщенных жирных кислот, чем ненасыщенных. Последнее, видимо, способствует сохранению качества зерна кукурузы при продолжительном хранении.

Минеральные удобрения ($N_{60}P_{45}K_{45}$) и регулятор роста растений зеастимулин во все периоды созревания зерна увеличивали депонирование насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот общих липидов в зерне кукурузы. В фазу молочной спелости это происходило в основном за счет насыщенных кислот, а в фазы молочно-восковой, восковой и полной спелости – в одинаковой мере за счет как насыщенных, так и ненасыщенных жирных кислот.

Выводы

1. В зерне кукурузы в период его созревания постепенно повышается уровень насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот общих липидов, увеличение уровня последних наблюдается больше со стороны насыщенных жирных кислот, чем ненасыщенных.

2. Минеральные удобрения и регулятор роста растений зеастимулин способствуют увеличению содержания насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот общих липидов в зернах кукурузы, которое происходит в одинаковой мере за счет как насыщенных, так и ненасыщенных жирных кислот.

Литература

1. Біологічно активні речовини в рослинництві / З.М. Грицаєнко [і інш.]. – ЗАТ Нічлава, 2008. – 352 с.
2. Глубока, В.М. Склад ліпідів та ліпідний обмін в зерні різних за стійкістю гібридів кукурудзи при проростанні під впливом гербіцида Харнеса / В.М. Глубока [і інш.] // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Біологія. Екологія. – 2001. – Вип. 9, Т. 1. – С. 34-41.

3. Деева, В.П. Регуляторы роста растений: механизмы действия и использование в агротехнологиях / В.П. Деева. – Минск: Беларус. наука, 2008. – 133 с.
4. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1985. – 351 с.
5. Кейтс, М. Техника липидологии / М. Кейтс. – М.: Мир, 1975. – 320 с.
6. Контурська, О.О. Фосфоліпідний склад плазмалемі коренів проростків кукурудзи за умов засолення та обробки синтетичними препаратами / О.О. Контурська, Т.О. Палладіна // Вісник Харківськ. нац. аграрн. ун-ту. Серія біологія. – 2007. – Вип. 2 (11). – С. 64-68.
7. Пономаренко, С.П. Регуляторы роста растений на основе N-оксидов производных пиридина (физико-химические свойства и биологическая активность) / С.П. Пономаренко. – Київ: Техника, 1999. – 272 с.
8. Рівіс, Й.Ф. Кількісні хроматографічні методи визначення окремих ліпідів і жирних кислот у біологічному матеріалі / Й.Ф. Рівіс, Р.С. Федорук. – Львів: Сполом, 2010. – 110 с.
9. Ліпіди рослин / Н.Ю. Таран [і інш.]. – Київ: Ленвіт, 2006. – 104 с.
10. Філонік І.О. Вивчення впливу нікелю та хрому на склад ліпідів та активність ліпаз у зерні кукурудзи при проростанні / І.О. Філонік, Л.Ф. Заморуєва // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Біологія. Екологія. – 2009. – Вип. 17, Т. 2. – С. 116-121.
11. Understanding fatty acid synthesis in developing maize embryos using metabolic flux analysis / A.P. Alonso [et al.] // Metab. Eng. – 2010. – V. 12 (5). – P. 488-497.
12. Skulachev, V. Anion carries in fatty acid-mediated physiological uncoupling / V. Skulachev // Journal of Bioenergetics and Biomembranes. – 1999. – V. 31, №5. – P. 431-445.

DYNAMICS OF FATTY ACID CONTENT OF TOTAL LIPIDS IN MAIZE GRAIN IN THE MATURITY STAGE

V.V. Fedak, O.V. Mamchur, I.F. Rivis

In maize grain during the period of its maturity, the level of saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids of total lipids gradually increased. It was established that during the process of the maturity, fatty acid content in the grain increased under the influence of mineral fertilizers and in the case when maize plants were treated with Zeastimulin growth regulator.