

DOI: 10.32636/01308521.2021-(70)-1-10

УДК 581.1:574.82:14:143:633.15

**Й. Ф. РІВІС<sup>1</sup>, доктор сільськогосподарських наук**

**В. В. ФЕДАК<sup>1</sup>, О. В. МАМЧУР<sup>2</sup>, О. Я. КЛИМ<sup>1</sup>, кандидати с.-г. наук**

<sup>1</sup>Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН

*вул. Грушевського, 5, с. Оброшине Пустомитівського р-ну Львівської обл., 81115*

<sup>2</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка

*вул. Університетська, 1, Львів, 79000, e-mail: oksanamamczur@gmail.com*

## **ФОТОСИНТЕЗУВАЛЬНІ ПРОЦЕСИ ТА НАГРОМАДЖЕННЯ ЖИРНИХ КИСЛОТ У РОСЛИНАХ КУКУРУДЗИ ВПРОДОВЖ ОНТОГЕНЕЗУ ТА ЗА ВПЛИВУ УДОБРЕННЯ І РЕГУЛЯТОРА РОСТУ**

Метою досліджень було виявити кількісні зміни процесів фотосинтезу та жирнокислотного складу вегетативної маси рослин кукурудзи впродовж онтогенезу та за впливу мінерального удобрення й регулятора росту.

Встановлено, що функціональна активність фотосинтезувального апарату в листках рослин кукурудзи з їхнім віком зростає та залежить від ґрунтового удобрення й впливу регуляторів росту. Це підтверджується фактом нагромадження листками рослин кукурудзи фотосинтезувальних пігментів упродовж періоду інтенсивного росту та за впливу мінеральних добрив і регулятора росту «Зеастимулін».

Досліджено, що підвищення функціональної активності фотосинтезувального апарату рослин кукурудзи у фази інтенсивного росту супроводжується збільшенням концентрації естерифікованих жирних кислот і зростанням співвідношення вмісту більш цінної поліненасиченої жирної кислоти ліноленої до менш цінної поліненасиченої жирної кислоти лінолевої в стеблі та листках. За впливу мінерального удобрення й регулятора росту «Зеастимулін» у фази інтенсивного росту рослин кукурудзи відбувається нагромадження естерифікованих жирних кислот і зростає співвідношення вмісту поліненасиченої жирної кислоти ліноленої до поліненасиченої жирної кислоти лінолевої в стеблі та листках.

Відзначено, що формування генеративних органів рослин кукурудзи призводить до поступового зменшення концентрації естерифікованих жирних кислот і зниження співвідношення вмісту поліненасиченої жирної кислоти ліноленої до поліненасиченої жирної кислоти лінолевої в стеблі та листках.

При цьому рівень естерифікованих жирних кислот і співвідношення вмісту поліненасиченої жирної кислоти ліноленої до поліненасиченої жирної кислоти лінолевої в стеблі та листках рослин кукурудзи за дії

© Рівіс Й. Ф., Федак В. В.,  
Мамчур О. В., Клим О. Я., 2021

мінерального удобрення й регулятора росту «Зеастимулін» залишаються високими.

Констатовано, що інтенсивність нагромадження сирі маси рослинами кукурудзи з їхнім віком зростає та сягає максимальних значень у фазі викидання волоті й цвітіння качанів. За впливу ґрунтового удобрення та регулятора росту «Зеастимулін» підвищуються темпи нагромадження сирі маси рослинами кукурудзи.

**Ключові слова:** кукурудза, фази вегетації, удобрення, регулятор росту, фотосинтезувальні процеси, жирні кислоти.

**Yosyp Ravis<sup>1</sup>, Vasył Fedak<sup>1</sup>, Oksana Mamchur<sup>2</sup>, Oleh Klym<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Agriculture of the Carpathian region of NAAS

<sup>2</sup>Ivan Franko National University of Lviv

**Photosynthetic processes and accumulation of fatty acids in maize plants during ontogenesis under the influence of fertilization and growth regulator**

The aim of the research was to identify quantitative changes in the processes of photosynthesis and fatty acid composition of the vegetative mass of maize plants during ontogenesis and under the influence of mineral fertilizers and growth regulators.

It is established that the functional activity of the photosynthetic apparatus in the leaves of maize plants increases with their age and depends on soil fertilizer and the influence of growth regulators. This is confirmed by the fact that the leaves of corn plants accumulate photosynthetic pigments during the period of intensive growth and under the influence of mineral fertilizers and growth regulator Zeastimulin.

It is investigated that the increase in the functional activity of the photosynthetic apparatus of maize plants in the phase of intensive growth is accompanied by an increase in the concentration of esterified fatty acids and an increase in the ratio of the content of more valuable linolenic polyunsaturated fatty acid to the less valuable linoleic polyunsaturated fatty acid in the stem and leaves. Under the influence of mineral fertilizer and growth regulator Zeastimulin in the phase of intensive growth of maize plants there is an accumulation of esterified fatty acids and more higher ratio of polyunsaturated fatty acid linolenic to polyunsaturated fatty acid linoleic in the stem and leaves.

It is noted that the formation of generative organs of maize plants leads to a gradual decrease in the concentration of esterified fatty acids and a decrease in the ratio of polyunsaturated fatty acid linolenic to polyunsaturated fatty acid linoleic in the stem and leaves.

The level of esterified fatty acids and the ratio of polyunsaturated linolenic fatty acid to polyunsaturated linoleic fatty acid in the stem and leaves of maize plants under the action of mineral fertilizer and growth regulator Zeastimulin remain high.

It is stated that the intensity of accumulation of raw mass by corn plants increases with their age and reaches maximum values in the phase of ejection of panicles and flowering of cobs. Under the influence of soil fertilizer and growth

regulator Zeastimulin, the rate of accumulation of raw mass by maize plants increases.

**Key words:** maize, phases of vegetation, fertilizer, growth regulator, photosynthetic processes, fatty acids.

**Вступ.** Гомеостаз рослинної клітини забезпечується злагодженим функціонуванням біологічних мембран. Їхніми основними складовими поряд із протеїнами є ліпіди та жирні кислоти [5]. Дія екзогенних чи ендогенних чинників індукує зміну конформації цих молекул. Тим самим змінюється перебіг і напрям обмінних процесів у клітині. У регулюванні обмінних процесів у клітині важливу роль відіграють рівень удобрення та біологічно активні речовини [4].

Проте даних про вплив рівня удобрення й біологічно активних речовин різних класів на метаболізм ліпідів і жирних кислот, зокрема в рослині, у науковій літературі представлено небагато. Серед іншого показано вплив удобрення й стимуляторів росту на метаболізм фосфоліпідів, насамперед фосфатидилхоліну, у плазматичній мембрані проростків кукурудзи [4, 8, 13]. Є також фрагментарні повідомлення щодо метаболізму жирних кислот в онтогенезі кукурудзи [10, 15]. У цих дослідженнях встановлено, що в процесі вегетації кукурудзи за рахунок частки лінолевої кислоти змінюється жирнокислотний склад ліпідів у листках.

Виходячи з наведеного, метою нашої роботи стало виявити кількісні зміни процесів фотосинтезу та жирнокислотного складу вегетативної маси рослин кукурудзи впродовж онтогенезу та за впливу мінерального удобрення й регулятора росту.

**Матеріали і методи.** У дослідженнях використано простий середньостиглий гібрид кукурудзи (*Zea mays*) Збруч (ФАО-310), внесений до Державного реєстру сортів рослин України у 2008 р. Гібрид рекомендований до вирощування та районування у Лісостепу та Степу. Цей гібрид кукурудзи інтенсивного типу з високою потенційною врожайністю добре реагує на покращення умов вирощування. Основні морфометричні характеристики рослин гібриду: середня висота рослини – 210–220 см, довжина качана – 20–22 см, висота прикріплення качана – 70–80 см, качан циліндричної форми із червоним стрижнем, містить 14–16 рядів зерен та 38–40 зерен у ряду. Зернівка жовта, зубоподібна, середня маса 1000 зерен становить 280–290 г. Рослинам кукурудзи гібриду Збруч властива стійкість (з 9 балів): до вилягання – 8; до холоду – 8; до посухи – 8; до ураження основними

хворобами – 8; до пошкодження шкідниками – 8. Врожайність зерна – 11,0–13,0 т/га.

У дослідженнях використано розроблений науково-дослідним Інститутом біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України регулятор росту рослин «Зеастимулін», який за своєю ефективністю відповідає світовим стандартам. Згідно із санітарно-гігієнічною класифікацією цей препарат належить до малотоксичних речовин III–IV класів небезпеки (ГОСТ 12.1.007-76), має позитивний вплив на мікрофлору й швидко трансформується ґрунтовими мікроорганізмами й рослинними клітинами [6].

«Зеастимулін» (ТУ У 88.264.036-97) – збалансований композиційний регулятор росту рослин, що містить комплекс івіну з форміатною кислотою в поєднанні з емістимом С, являє собою безколірну рідину зі слабким спиртовим запахом, необмежено розчинну у воді та полярних розчинниках. Зареєстрований Укрґоспхімкомісією як регулятор росту кукурудзи. Препарат сприяє підвищенню врожайності зерна кукурудзи на 7–10 ц/га, зеленої маси – на 50–70 ц/га, збільшує кількість жирів та протеїнів у зерні.

Польові дослідження проводили в сівозміні ячмінь – конюшина (заорювання II укосу) – озима пшениця – кукурудза лабораторії насінництва зернових та кормових культур Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН на сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтах. Орний шар (0–20 см) ґрунту характеризується такими агрохімічними показниками: рН сольової витяжки – 4,8–5,2, вміст гумусу (за Тюрінім) – 2,26–2,53%, вміст легкогідролізованого нітрогену – 9,24–12,6 мг на 100 г ґрунту, рухомого фосфору (за Кірсановим) – 7,11–9,8 мг, обмінного калію (методом полум'яної фотометрії) – 10,2–12,2 мг/100 г ґрунту.

Погодні умови в період досліду загалом сприяли формуванню високого врожаю зеленої маси кукурудзи та зерна.

Технологія вирощування кукурудзи в досліді загальноприйнята для умов ґрунтово-кліматичної зони. Попередник – озима пшениця із заробкою післяжнивних решток та посівом сидерату (редьки олійної) з подальшою оранкою на зяб (25–27 см).

Схема досліду має такий вигляд: 1 – контроль (без добрив), 2 – дослід (добрива  $N_{60}P_{45}K_{45}$ ), 3 – дослід (регулятор росту «Зеастимулін»). Площа посівної ділянки – 39 м<sup>2</sup>, облікової – 25 м<sup>2</sup>.

Насіння кукурудзи висівали широкорядним способом із шириною міжрядь 60 см на глибину 5–6 см. Сівбу проводили наприкінці квітня – на початку травня за оптимальної температури

прогрівання ґрунту на глибині 10 см до 8–10°C, що сприяло появі дружніх сходів, при нормі розрахунку 63 тис. шт/га (50–55 тис. шт/га + страхова надбавка 15% – 63 тис. шт/га).

Під першу весняну культивуацію вносили мінеральні добрива такого складу: аміачна селітра (34% N), гранульований суперфосфат (19,5% P), калійна сіль (40% K) у дозі N<sub>60</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>. На II дослідній ділянці рослини кукурудзи у фазі 5–6 листків обробляли водним розчином стимулятора росту «Зеастимулін» (20 мл/га) згідно з рекомендаціями виробника. Оброблення рослин проводили за допомогою ранцевого оприскувача, розхід суміші становив 200 л/га, контрольні рослини обробляли дистильованою водою.

Фенологічні спостереження здійснювали за вказівками «Проведення та державне випробування сортів рослин зернових, круп'яних та зернобобових культур» із відзначенням таких фенофаз вегетації: сходи, викидання волоті, початок і повне цвітіння волоті та качанів, молочна, молочно-воскова та повна стиглість зерна.

Збирання та облік урожаю зеленої маси кукурудзи проводили у фенофазі 8–9 листків, викидання волоті та цвітіння качанів.

У зразках листків рослин, відібраних у фенофазі 8–9 листків, викидання волоті та цвітіння качанів, визначали вміст хлорофілів *a* і *b*, а в зразках стебла і листків, відібраних упродовж онтогенезу, – естерифікованих жирних кислот. Визначення вмісту хлорофілів *a* і *b* проводили спектрофотометрично [2]. Для цього із середніх зразків листків пігменти екстрагували ацетоном (за Хольм – Ветшттейном), а отримані розчини спектрофотометрували. Визначення вмісту естерифікованих жирних кислот у досліджуваному матеріалі в складі фосфоліпідів, естерифікованого фітостеролу, моно-, ди- та триацилгліцеролів проводили методом газорідинної хроматографії [3] в лабораторії агрохімії ІСГКР НААН. Для цього загальні ліпіди із середніх зразків стебла й листків екстрагували хлороформ-метанольною сумішшю (2:1 за об'ємом). Отримані ліпіди розчиняли в гексані. Далі до гексанового розчину ліпідів у пробірці добавляли розчин металічного натрію в метиловому спирті, після цього пробірку інтенсивно струшували. Здобуті таким шляхом метилові естери жирних кислот вводили у випаровувач газорідинного хроматографічного апарату. Для отримання кількісних даних щодо естерифікованих жирних кислот користувалися методами внутрішнього нормування та внутрішнього стандарту.

Полеві досліді виконано впродовж трьох років у чотирикратній повторності. Біохімічні досліді проведено в трикратній

біологічній та трикратній аналітичній повторностях. Отриманий цифровий матеріал оброблено методом варіаційної статистики з використанням критерію Стьюдента. Визначено середні арифметичні величини ( $M$ ) та їхні похибки ( $\pm m$ ). Зміни вважали вірогідними за  $P < 0,05$ . Для розрахунків використано комп'ютерні програми «Origin 6.0», «Microsoft Excel».

**Результати та обговорення.** Пігментна система вищих рослин складається з великої кількості оптично активних речовин, проте у фотосинтезі безпосередню участь беруть лише пігменти, локалізовані в хлоропластах [1].

Висока функціональна активність хлоропластів – це найважливіша особливість формування фотосинтезувального апарату, яка визначає рівень життєдіяльності рослини загалом та сприяє її кращій відповіді на оптимальні умови і, як наслідок, отриманню високих урожаїв, оскільки між кількістю пігментів та продуктивністю рослин, їхньою життєздатністю й стійкістю до несприятливих факторів навколишнього середовища простежується пряма залежність [19]. Значний вплив на формування, структуру й активність фотосинтезувального апарату рослин чинять рівень мінерального живлення та дія регуляторів росту [4, 9, 14].

Встановлено, що різні види рослин залежно від умов середовища мають неоднаковий вміст хлорофілу [11]. Рослини формують систему, що забезпечує створення найоптимальнішого синтезувального апарату в конкретних умовах, основні параметри якого можуть стати критеріями оптимальності чи недостатності умов зростання [13]. Дослідження динаміки вмісту хлорофілу  $a$  – молекули, що безпосередньо бере участь в акумулюванні світлової енергії, та хлорофілу  $b$  – молекули, опосередковано пов'язаної з фотосинтезом, дають змогу оцінити об'єм перетворення енергії мембранами хлоропластів під час фотосинтезу [12]. Процес перетворення хлорофілу  $a$  на хлорофіл  $b$  є оборотним, що дає змогу оперативно змінювати як загальний вміст хлорофілу в рослині, так і співвідношення вмісту хлорофілу  $a$  до хлорофілу  $b$  [25].

У польових умовах нами досліджено вміст хлорофілів  $a$  і  $b$  у листках кукурудзи гібриду Збрuch упродовж періоду інтенсивного росту та за впливу рівня удобрення й регулятора росту «Зеастимулін». Встановлено, що в період інтенсивного росту рослин кукурудзи вміст хлорофілів у листках закономірно зростає (табл. 1), що узгоджується з фактами, які вказують на нагромадження максимального вмісту

фотосинтезувальних пігментів у листках рослин до початку їхнього цвітіння [29, 31].

### 1. Вміст хлорофілів у листках рослин кукурудзи гібриду Збруч у період інтенсивного росту, $g \cdot 10^{-3} / kg$ натуральної маси ( $M \pm m, n = 3$ )

Показник	Варіант		
	Контроль	N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	«Зеастимулін»
Фаза 8–9 листків			
Хлорофіл <i>a</i>	209,2±3,24	224,9±16,31	246,2±20,37*
Хлорофіл <i>b</i>	60,2±0,59	61,5±1,23	73,0±1,53*
Сума <i>a</i> і <i>b</i>	269,5±2,72	286,3±8,49	319,2±10,33*
<i>a/b</i>	3,54	3,67	3,38
Фаза викидання волоті			
Хлорофіл <i>a</i>	211,4±2,02	233,0±3,36*	259,5±3,41*
Хлорофіл <i>b</i>	59,9±0,85	60,7±0,52	70,7±0,44*
Сума <i>a</i> і <i>b</i>	271,0±1,25	291,5±1,07*	330,2±3,57*
<i>a/b</i>	3,51	3,86	3,67
Фаза цвітіння качанів			
Хлорофіл <i>a</i>	214,9±2,12	240,6±1,23*	263,1±5,41*
Хлорофіл <i>b</i>	59,9±0,47	61,1±0,44	68,8±0,20*
Сума <i>a</i> і <i>b</i>	274,8±2,32	301,7±1,74*	331,3±5,54*
<i>a/b</i>	3,59	3,93	3,82

Примітка. Тут і далі: \* $p < 0,02-0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .

Рівень ґрунтового удобрення, поряд з іншими екзогенними чинниками, має значний вплив на формування, структуру та активність фотосинтезувального апарату рослин, що кількісно виражається в зростанні вмісту хлорофілів. Вміст хлорофілу *a* у листках кукурудзи за дії добрив порівняно з контролем збільшується на 7–12% впродовж вегетації, забезпечуючи максимальне підвищення суми пігментів у фазу цвітіння на 10% (див. табл. 1).

За таких умов хлорофіл *b* виявився менш чутливим до ґрунтового удобрення. Його вміст у досліджувані фази вегетації практично не змінювався та залишався на рівні контрольних значень. Водночас за дії добрив виявлено зростання співвідношення вмісту хлорофілу *a* до хлорофілу *b* у досліджувані фази вегетації на 7–10% та на 3–9% відносно контролю, що свідчить про кращу адаптацію рослин кукурудзи до зовнішніх впливів за цих умов.

Виявлені нами зміни вмісту та співвідношення фотосинтезувальних пігментів за дії добрив узгоджуються з даними літератури [14, 17]. Складові пігментного фонду рослин по-різному реагують на нестачу мінерального живлення. Так, вміст хлорофілів за умов нестачі мінерального живлення, особливо нітрогенного, різко знижується, що візуально проявляється в хлорозі рослин [13].

Біологічно активні речовини різної природи викликають зміни пігментного фонду листків, зокрема, збільшують вміст хлорофілів [7, 16]. Результати наших досліджень засвідчують, що обробка рослин кукурудзи регулятором росту «Зеастимулін» викликала додаткове активування біосинтезу та нагромадження хлорофілу *a* та хлорофілу *v* у листках рослин.

Застосування екзогенних фітогормонів, що зміщують фітогормональний баланс рослини у бік фітогормонів-стимуляторів, сприяє активуванню функціонування фотосинтезувального апарату, підвищенню стійкості пігментного комплексу рослин, а отже, продуктивності й урожайності рослин, про що свідчать дані літератури [16, 19].

В експериментах встановлено, що вміст хлорофілу *a* в листках рослин кукурудзи за впливу регулятора росту «Зеастимулін» зростає впродовж періоду інтенсивного росту на 17–22% відносно контролю. На відміну від впливу ґрунтового удобрення, за дії «Зеастимуліну» виявлено зростання також вмісту хлорофілу *v* у цих рослин на 16–20% стосовно контрольних значень у відповідні фази вегетації, що можна пояснити онтогенетичною адаптацією рослин до цих умов [19]. На кращу онтогенетичну адаптацію рослин кукурудзи вказує також незначне (6–10%) зростання співвідношення вмісту хлорофілу *a* до хлорофілу *v* у фази викидання волоті та цвітіння рослин щодо відповідних контрольних значень. Загалом зростання вмісту фотосинтезувальних пігментів у рослинах кукурудзи за дії «Зеастимуліну» можна пояснити впливом цитокінінподібних речовин у їхньому складі [21, 24].

Отже, оптимальні умови для біосинтезу й нагромадження хлорофілів у листках рослин кукурудзи гібриду Збруч були створені за впливу регулятора росту «Зеастимулін» та дещо меншою мірою – за дії застосованого мінерального удобрення, що сприяло ефективному функціонуванню пігментної системи впродовж періоду інтенсивного росту, високій інтенсивності фотосинтезу та, відповідно, нагромадженню сирової та сухої маси.



Виявлені зміни концентрації хлорофілів *a* і *b* у листках кукурудзи в період інтенсивного росту супроводжуються позитивними змінами вмісту естерифікованих жирних кислот у стеблі та листках. Естерифіковані жирні кислоти в складі фосфоліпідів у зеленій масі та зерні кукурудзи формують у першу чергу клітинні мембрани [10]. Одночасно в рослинних тканинах із жирних кислот синтезуються біологічно активні речовини, насамперед оксиліпіни [20]. У другу чергу естерифіковані жирні кислоти в складі триацилгліцеролів відкладаються про запас у стеблі, листках і зерні кукурудзи, тим самим створюючи їхню енергетичну та біологічну цінність [15]. Основні полінасичені жирні кислоти зерна рослин – лінолева та ліноленова – відіграють важливу роль у повноцінному живленні людини та тварин [5].

З огляду на важливість функцій, виконуваних жирними кислотами в рослинному організмі, в умовах польових досліджень ми вивчали особливості зміни їхнього вмісту в зеленій масі рослин кукурудзи. Фази формування надземних вегетативних органів, викидання волоті, цвітіння волоті й качана становлять період інтенсивного росту кукурудзи [4]. Ми виявили, що в процесі інтенсивного росту рослин кукурудзи на дослідних ділянках у її зеленій масі (стеблі та листках) нагромаджувалися естерифіковані жирні кислоти (табл. 2, 3 і 4). Причому зростання їхнього вмісту відбувалося за рахунок насичених, моно- і поліненасичених жирних кислот.

## 2. Вміст естерифікованих жирних кислот у стеблі та листках кукурудзи у фазу 8–9 листків, $g \cdot 10^{-3} / \text{кг}$ натуральної маси ( $M \pm m$ , $n = 3$ )

Назва та код жирної кислоти	Контроль	Дослід	
		N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	«Зеастимулін»
1	2	3	4
Капринова, 10:0	2,4±0,11	2,9±0,14*	3,0±0,11*
Лауринова, 12:0	4,8±0,20	5,9±0,29*	6,0±0,32*
Міристинова, 14:0	7,2±0,32	8,5±0,32*	8,8±0,35*
Пентадеканова, 15:0	4,8±0,23	5,7±0,23	5,8±0,26*
Пальмітинова, 16:0	24,2±1,24	29,9±1,56*	30,4±1,66*
Пальмітоолеїнова, 16:1	2,4±0,145	3,2±0,17*	3,1±0,17*
Стеаринова, 18:0	12,2±0,61	15,5±0,72*	15,5±0,81*
Олеїнова, 18:1	26,8±1,57	32,7±1,56	34,0±1,68*

1	2	3	4
Лінолева, 18:2	55,3±2,48	65,7±2,54*	67,0±2,77*
Ліноленова, 18:3	102,5±4,69	124,3±6,67	125,2±6,54*
Загальний вміст жирних кислот	242,6	294,3	298,8
у т. ч. насичені	55,6	68,4	69,5
мононенасичені	29,2	35,9	37,1
поліненасичені	157,8	190,0	192,2
ліноленова / лінолева	1,85	1,89	1,87

### 3. Вміст естерифікованих жирних кислот у стеблі та листках рослин кукурудзи у фазу викидання волоті, г·10<sup>-3</sup>/кг натуральної маси ( $M \pm m, n = 3$ )

Назва та код жирної кислоти	Контроль	Дослід	
		N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	«Зеастимулін»
Капринова, 10:0	2,6±0,17	3,4±0,17*	3,5±0,21*
Лауринова, 12:0	5,2±0,26	6,3±0,26*	6,4±0,20*
Міристинова, 14:0	7,8±0,35	9,2±0,32*	9,4±0,29*
Пентадеканова, 15:0	5,1±0,23	6,0±0,20*	6,2±0,20*
Пальмітинова, 16:0	26,2±1,24	32,3±1,68*	33,7±1,91*
Пальмітоолеїнова, 16:1	2,6±0,145	3,4±0,17*	3,4±0,20*
Стеаринова, 18:0	12,6±0,61	15,1±0,66*	15,5±0,65*
Олеїнова, 18:1	26,4±1,38	31,8±1,34*	32,8±1,65*
Лінолева, 18:2	60,1±2,19	70,4±2,63*	71,7±2,46*
Ліноленова, 18:3	111,7±5,05	136,6±7,28*	138,5±7,28*
Загальний вміст жирних кислот	260,3	314,5	321,1
у т. ч. насичені	59,5	72,3	74,7
мононенасичені	29,0	35,2	36,2
поліненасичені	171,8	207,0	210,2
ліноленова / лінолева	1,86	1,94	1,93

**4. Вміст естерифікованих жирних кислот у стеблі та листках кукурудзи у фазу цвітіння волоті,  $г \cdot 10^{-3}/кг$  натуральної маси ( $M \pm m, n = 3$ )**

Назва та код жирної кислоти	Контроль	Дослід	
		N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	«Зеастимулін»
Капринова, 10:0	2,9±0,17	3,6±0,17*	3,8±0,20*
Лауринова, 12:0	5,8±0,26	7,0±0,23*	7,2±0,23*
Міристинова, 14:0	8,7±0,34	10,2±0,34*	10,4±0,40*
Пентадеканова, 15:0	5,6±0,20	6,6±0,23*	6,7±0,23*
Пальмітинова, 16:0	29,4±1,76	36,1±1,56*	36,8±1,6*
Пальмітоолеїнова, 16:1	2,8±0,17	3,5±0,14*	3,7±0,17*
Стеаринова, 18:0	14,5±0,72	17,4±0,81	17,6±0,75*
Олеїнова, 18:1	28,4±1,07	34,1±1,50*	34,7±1,51*
Лінолева, 18:2	66,7±2,68	78,8±3,29*	80,4±3,44*
Ліноленова, 18:3	124,5±6,61	150,6±6,90	152,6±6,75*
Загальний вміст жирних кислот	289,3	347,9	353,9
у т. ч. насичені	66,9	80,9	82,5
мононенасичені	31,2	37,6	38,4
поліненасичені	191,2	229,4	233,0
ліноленова / лінолева	1,87	1,91	1,90

Наведене, можливо, пов'язане з тим, що в рослинних тканинах з ацетату та пропіонату під впливом ензимів синтаз спочатку синтезуються насичені жирні кислоти, відповідно, з парною (капринова, лауринова, міристинова, пальмітинова і стеаринова) й непарною (пентадеканова) кількістю карбонових атомів у ланцюгу, далі з насичених жирних кислот за дії специфічного ензиму десатурази утворюються мононенасичені (з пальмітинової – пальмітоолеїнова, а зі стеаринової – олеїнова) [5]. Тільки в рослинних тканинах із мононенасиченої жирної кислоти олеїнової під впливом інших специфічних ензимів десатураз спочатку утворюється цінна для рослин, людини та тварин поліненасичена жирна кислота лінолева, а далі з неї – ще цінніша ненасичена жирна кислота ліноленова [5, 18].

Збільшення концентрації ненасичених жирних кислот у стеблі та листках контрольних рослин кукурудзи у фазах викидання волоті та цвітіння, порівняно з фазою 8–9 листків, спостерігається здебільшого за рахунок поліненасичених жирних кислот лінолевої та ліноленової.

Це супроводжується поступовим зростанням співвідношення вмісту ліноленої кислоти до лінолевої. Тим самим посилюється функціональна активність рослинних тканин.

Застосування ґрунтового удобрення, порівняно з контролем, суттєво підвищило інтенсивність нагромадження насичених, моно- і поліненасичених жирних кислот загальних ліпідів у стеблі та листках кукурудзи в період інтенсивного росту. Нами відзначено зростання співвідношення вмісту дуже цінної поліненасиченої жирної кислоти ліноленої до менш цінної лінолевої в стеблах і листках рослин кукурудзи за дії удобрення, характер якого дуже виражений у фазах цвітіння та, особливо, викидання волоті.

Досліджено, що особливості динаміки нагромадження естерифікованих жирних кислот у стеблі та листках кукурудзи у період інтенсивного росту за впливу регулятора росту «Зеастимулін» не відрізнялися від описаних нами за дії удобрення, їх зростання відбулося рівною мірою за рахунок насичених, моно- і поліненасичених жирних кислот. При цьому поступово зростало співвідношення вмісту поліненасиченої жирної кислоти ліноленої до поліненасиченої жирної кислоти лінолевої.

В онтогенезі рослин у кожен період їхнього розвитку перебіг і напрям основних метаболічних процесів визначаються актуальними запитами рослинного організму [22]. При переході рослини з ювенільного періоду розвитку, який характеризується інтенсивним нагромадженням вегетативної маси, до генеративного відбувається онтогенетична перебудова метаболізму, зумовлена появою і формуванням генеративних органів, які в цей період стають інтеграційними центрами й основними акцепторами пластичних і енергетичних ресурсів рослини [23, 28].

Нами встановлено, що при переході рослин кукурудзи до генеративної фази розвитку, коли відбувається формування зерна, вміст естерифікованих жирних кислот у стеблі та листках поступово зменшувався (табл. 5, 6, 7, 8 і 9). Виявлено, що зменшення їхнього вмісту за цих умов відбувалося здебільшого за рахунок насичених і поліненасичених жирних кислот. При цьому також поступово зменшувалося співвідношення вмісту дуже цінної поліненасиченої жирної кислоти ліноленої до менш цінної поліненасиченої жирної кислоти лінолевої.

**5. Вміст естерифікованих жирних кислот у стеблі та листках кукурудзи у фазу цвітіння качанів,  $г \cdot 10^{-3}/кг$  натуральної маси ( $M \pm m, n = 3$ )**

Назва та код жирної кислоти	Контроль	Дослід	
		N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	«Зеастимулін»
Капринова, 10:0	2,5±0,11	3,2±0,14*	3,1±0,17*
Лауринова, 12:0	5,8±0,23	6,9±0,26*	6,8±0,26*
Міристинова, 14:0	7,8±0,32	9,4±0,32*	9,2±0,32*
Пентадеканова, 15:0	5,6±0,23	6,9±0,26*	6,7±0,23*
Пальмітинова, 16:0	26,2±1,36	33,0±1,47*	32,1±1,56*
Пальмітоолеїнова, 16:1	2,6±0,17	3,4±0,09*	3,3±0,11*
Стеаринова, 18:0	15,4±0,62	18,6±0,69*	18,1±0,72*
Олеїнова, 18:1	31,3±1,50	38,6±1,43*	38,0±1,33*
Лінолева, 18:2	59,4±2,81	71,9±2,11*	70,2±2,37*
Ліноленова, 18:3	104,1±5,17	127,3±6,00*	125,4±5,92
Загальний вміст жирних кислот	260,7	319,2	312,9
у т. ч. насичені	63,3	78,0	76,0
мононенасичені	33,9	42,0	41,3
поліненасичені	163,5	199,2	195,6
ліноленова / лінолева	1,75	1,77	1,79

**6. Вміст естерифікованих жирних кислот у стеблі та листках кукурудзи у фазу молочної стиглості,  $г \cdot 10^{-3}/кг$  натуральної маси ( $M \pm m, n = 3$ )**

Назва та код жирної кислоти	Контроль	Дослід	
		N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	«Зеастимулін»
1	2	3	4
Капринова, 10:0	2,1±0,09	2,9±0,11**	2,7±0,14*
Лауринова, 12:0	4,1±0,17	5,2±0,20*	4,9±0,20*
Міристинова, 14:0	6,3±0,23	7,5±0,23*	7,3±0,26*
Пентадеканова, 15:0	4,0±0,17	5,1±0,21*	4,9±0,20*
Пальмітинова, 16:0	22,7±1,54	26,6±1,33	26,0±1,21
Пальмітоолеїнова, 16:1	2,0±0,11	2,8±0,14*	2,6±0,14*
Стеаринова, 18:0	17,3±0,81	21,7±0,93*	20,7±0,95
Олеїнова, 18:1	31,5±1,50	40,6±1,76*	39,5±1,79*
Лінолева, 18:2	55,4±2,20	67,8±2,57*	66,5±2,37*
Ліноленова, 18:3	71,7±2,95	87,1±3,41*	85,4±3,52*

1	2	3	4
Загальний вміст жирних кислот	217,1	267,3	260,5
у т. ч. насичені	56,5	69,0	66,5
мононенасичені	33,5	43,4	42,1
поліненасичені	127,1	154,9	151,9
ліноленова / лінолева	1,29	1,28	1,28

**7. Вміст естерифікованих жирних кислот у стеблі та листках кукурудзи у фазу молочно-воскової стиглості,  $г \cdot 10^{-3}/кг$  натуральної маси ( $M \pm m, n = 3$ )**

Назва та код жирної кислоти	Контроль	Дослід	
		N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	«Зеастимулін»
Капринова, 10:0	2,0±0,11	2,6±0,12*	2,5±0,11*
Лауринова, 12:0	4,0±0,17	5,1±0,17*	4,9±0,17*
Міристинова, 14:0	6,1±0,23	7,5±0,26*	7,2±0,26*
Пентадеканова, 15:0	3,9±0,17	4,9±0,17*	4,7±0,20*
Пальмітинова, 16:0	19,4±1,11	26,0±1,10*	25,1±1,15*
Пальмітоолеїнова, 16:1	1,9±0,12	2,7±0,11*	2,5±0,14*
Стеаринова, 18:0	20,3±0,93	25,8±0,95*	25,0±1,07*
Олеїнова, 18:1	28,1±1,56	35,4±1,53*	34,7±1,56*
Лінолева, 18:2	54,5±2,08	66,1±2,34*	64,4±2,40*
Ліноленова, 18:3	59,3±2,77	74,1±2,91*	72,2±2,89*
Загальний вміст жирних кислот	199,5	250,2	243,2
у т. ч. насичені	55,7	71,9	69,4
мононенасичені	30,0	38,1	37,2
поліненасичені	113,8	140,2	136,6
ліноленова / лінолева	1,09	1,12	1,12

**8. Вміст естерифікованих жирних кислот у стеблі та листках кукурудзи у фазу воскової стиглості,  $г \cdot 10^{-3}/кг$  натуральної маси ( $M \pm m, n = 3$ )**

Назва та код жирної кислоти	Контроль	Дослід	
		N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	«Зеастимулін»
1	2	3	4
Капринова, 10:0	1,8±0,06	2,3±0,09**	2,2±0,11*
Лауринова, 12:0	3,7±0,10	4,6±0,17*	4,4±0,17*
Міристинова, 14:0	5,3±0,23	6,6±0,26*	6,4±0,23*

1	2	3	4
Пентадеканова, 15:0	3,5±0,17	4,6±0,17*	4,3±0,17*
Пальмітинова, 16:0	17,6±1,22	24,5±0,84**	22,9±0,98*
Пальмітоолеїнова, 16:1	1,7±0,06	2,3±0,12**	2,1±0,11*
Стеаринова, 18:0	24,6±1,04	31,3±1,38*	30,1±1,38*
Олеїнова, 18:1	26,7±1,56	34,1±1,21*	33,2±1,45*
Лінолева, 18:2	52,4±2,08	63,6±2,11*	61,9±2,11*
Ліноленова, 18:3	34,6±1,79	43,3±1,79*	42,1±1,76*
Загальний вміст жирних кислот	171,9	217,2	209,6
у т. ч. насичені	56,5	73,9	70,3
мононенасичені	28,4	36,4	35,3
поліненасичені	87,0	106,9	104,0
ліноленова / лінолева	0,66	0,68	0,68

**9. Вміст естерифікованих жирних кислот у стеблі та листках кукурудзи у фазу повної стиглості, г·10<sup>-3</sup>/кг натуральної маси (M ± m, n = 3)**

Назва та код жирної кислоти	Контроль	Дослід	
		N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	«Зеастимулін»
Капринова, 10:0	1,6±0,06	2,0±0,06**	1,9±0,06*
Лауринова, 12:0	3,2±0,11	4,2±0,12**	3,9±0,17*
Міристинова, 14:0	4,8±0,17	6,1±0,21**	5,8±0,23*
Пентадеканова, 15:0	3,1±0,11	4,2±0,14**	3,9±0,20*
Пальмітинова, 16:0	15,9±0,72	20,4±0,81*	19,5±0,87*
Пальмітоолеїнова, 16:1	1,5±0,06	2,0±0,09**	1,9±0,09*
Стеаринова, 18:0	29,0±1,50	35,9±1,44*	35,0±1,56
Олеїнова, 18:1	25,4±1,53	32,9±1,09*	32,9±1,53*
Лінолева, 18:2	49,5±2,13	61,7±2,40*	59,4±2,40*
Ліноленова, 18:3	16,1±0,78	21,5±0,99*	20,2±1,19*
Загальний вміст жирних кислот	150,1	190,9	184,4
у т. ч. насичені	57,6	72,8	70,0
мононенасичені	26,9	34,9	34,8
поліненасичені	65,6	83,2	79,6
ліноленова / лінолева	0,33	0,35	0,34

За впливу удобрення в генеративну фазу розвитку відзначено поступове зменшення вмісту естерифікованих жирних кислот у стеблі

та листках рослин кукурудзи (див. табл. 5, 6, 7, 8 і 9). При цьому концентрація насичених і поліненасичених жирних кислот у стеблі та листках рослин кукурудзи залишається досить високою порівняно з контролем.

За дії регулятора росту «Зеастимулін» у генеративній фазі розвитку також відзначено поступове зменшення вмісту естерифікованих жирних кислот у стеблі та листках рослин кукурудзи (див. табл. 5, 6, 7, 8 і 9). При цьому рівень насичених і поліненасичених жирних кислот у стеблі та листках рослин кукурудзи залишається досить високим щодо контролю.

Отримані нами дані свідчать, що в стеблі та листках рослин кукурудзи в генеративний період зменшувався вміст здебільшого ненасичених, зокрема поліненасичених, жирних кислот. Це, очевидно, пов'язано з формуванням клітинних мембран зерна кукурудзи та нагромадженням у ньому жирних кислот [18, 26, 27]. Поліненасичені жирні кислоти є основними складовими фосфоліпідів і клітинних мембран [30]. Зменшення співвідношення вмісту більш цінної поліненасиченої жирної кислоти ліноленової до менш цінної поліненасиченої жирної кислоти лінолевої у стеблі та листках кукурудзи в генеративний період вказує на першочергове використання більш цінних і більш ненасичених жирних кислот для формування клітинних мембран зерна [24].

Ріст рослини, як інтегральний процес життєдіяльності, тісно пов'язаний з її метаболізмом, зокрема з протейновим і ліпідним обмінами, завдяки яким генетична інформація дезоксирибонуклеїнових кислот реалізується у відповідних структурних та ензимних протейнах, які регулюють функціональну активність клітин [30]. Основою росту рослин є кореляційні взаємозв'язки як між окремими органами, так і між окремими процесами. До видимих результатів росту рослини належить, зокрема, зміна її розмірів та нагромадження біомаси. Цей складний фізіологічний процес прямо чи опосередковано узалежнений від великої кількості екзо- та ендогенних чинників, часто взаємопов'язаних між собою [17, 19].

Особливістю росту рослин кукурудзи є те, що вони, на відміну від інших злаків, здатні засвоювати елементи мінерального живлення до настання повної стиглості зерна, а основну масу органічної речовини нагромаджують після викидання волотей та під час досягання репродуктивних органів [2, 4].



Для розуміння особливостей процесів формування продуктивності, окрім параметрів інтенсивності лінійного росту, користуються кількісними показниками росту й розвитку рослин, одним із яких є динаміка нагромадження сирової маси чи сухої речовини впродовж вегетації. Саме тому для оцінки впливу регулятора «Зеастимулін» та удобрення ми досліджували зміну сирової маси рослин кукурудзи (табл. 10).

#### 10. Нагромадження сирової маси рослинами кукурудзи в період інтенсивного росту, г/рослину ( $M \pm m, n = 10$ )

Фаза росту	Контроль	Дослід	
		N <sub>60</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	«Зеастимулін»
8–9 листків	298,8±19,00	340,1±6,80*	341,3±7,30*
Викидання волоті	670,0±54,85	756,3±12,90	736,4±11,15*
Цвітіння качанів	1285,5±103,50	1340,4±15,00	1315,7±14,65

Отже, інтенсивність нагромадження сирової маси рослинами кукурудзи з їхнім віком закономірно зростає, сягаючи максимальних значень у фазі викидання волоті й цвітіння качанів. За впливу ґрунтового удобрення спостерігається підвищення темпів нагромадження сирової маси рослинами кукурудзи у фазу кущення на 10% відносно контролю, тоді як за дії регулятора росту «Зеастимулін» – на 9%. В наступні фази вегетації виявлено підвищення темпів нагромадження сирової маси рослинами кукурудзи за дії «Зеастимуліну» на 9–12%, тоді як за дії ґрунтового удобрення – на 5–10%.

Відзначене підвищення інтенсивності нагромадження сирової маси рослинами кукурудзи за впливу ґрунтового удобрення можна пояснити, зокрема, їхніми фізіологічними особливостями, оскільки вони як представники С-4 типу фотосинтезу тропічного походження мають високий генетичний потенціал росту, який повніше реалізується за умов оптимального та інтенсивного кореневого живлення, що є особливо актуальним для нових сортів і гібридів [4, 9].

Активування нагромадження сирової маси рослинами кукурудзи за впливу регулятора росту «Зеастимулін» пояснюється його здатністю, подібно до інших активних аналогів фітогормонів, впливати на ріст за рахунок поповнення ендogenous пулу фітогормонів, змінюючи таким чином фітогормональний баланс рослини й активуючи, зокрема, процеси клітинного поділу [8, 12]. Внаслідок утворення значної кількості клітин пришвидшуються розтяг та лінійний ріст рослинного організму.

Як свідчать наведені дані, рослини кукурудзи досить інтенсивно нагромаджують сирю масу в усі досліджувані фази інтенсивного росту. Найоптимальнішим із досліджуваних чинників виявився вплив ґрунтового удобрення, за дії якого спостерігали зростання сирої маси 1 рослини кукурудзи на 50–69 г, тоді як за дії «Зеастимуліну» цей вплив був виражений слабше – зафіксовано зростання на 30–40 г.

Загалом активний ріст рослин кукурудзи у висоту та нагромадження ними сирої маси за дії регуляторів росту рослин можуть активуватися, зокрема, за рахунок пришвидшення росту клітин шляхом розтягу в поздовжньому та ізодіаметричному напрямках, зростання проникності клітинних мембран, що специфічно активується ауксинподібними складовими біологічно активних сполук [23]. Підвищення інтенсивності росту рослин кукурудзи за дії мінеральних добрив зумовлене додатковою оптимізацією ґрунтового живлення цих рослин, пов'язаним із цим кращим забезпеченням їх поживними речовинами та можливістю повніше реалізувати продуктивний потенціал [9].

**Висновки.** Функціональна активність фотосинтезувального апарату в листках рослин кукурудзи з їхнім віком зростає та залежить від ґрунтового удобрення й впливу регуляторів росту. Це підтверджується фактом нагромадження листками рослин кукурудзи фотосинтезувальних пігментів упродовж періоду інтенсивного росту та за впливу мінеральних добрив і регулятора росту «Зеастимулін».

Підвищення функціональної активності фотосинтезувального апарату рослин кукурудзи у фазах інтенсивного росту супроводжується збільшенням концентрації естерифікованих жирних кислот і зростанням співвідношення вмісту більш цінної поліненасиченої жирної кислоти ліноленової до менш цінної поліненасиченої жирної кислоти лінолевої в стеблі та листках. За впливу мінерального удобрення й регулятора росту «Зеастимулін» у фазах інтенсивного росту рослин кукурудзи відбувається нагромадження естерифікованих жирних кислот і зростає співвідношення вмісту поліненасиченої жирної кислоти ліноленової до поліненасиченої жирної кислоти лінолевої в стеблі та листках.

Формування генеративних органів рослин кукурудзи призводить до поступового зменшення концентрації естерифікованих жирних кислот і зниження співвідношення вмісту поліненасиченої жирної кислоти ліноленової до поліненасиченої жирної кислоти лінолевої в стеблі та листках. При цьому рівень естерифікованих жирних кислот і співвідношення вмісту поліненасиченої жирної

кислоти ліноленової до поліненасиченої жирної кислоти лінолевої в стеблї та листках рослин кукурудзи за дії мінерального удобрення й регулятора росту «Зеастимулін» залишаються високими.

Інтенсивність нагромадження сирї маси рослинами кукурудзи з їхнім віком зростає та сягає максимальних значень у фазах викидання волотї й цвітіння качанів. За впливу ґрунтового удобрення та регулятора росту «Зеастимулін» підвищуються темпи нагромадження сирї маси рослинами кукурудзи.

#### Список використаної літератури

1. Андрианова Ю. С., Тарчевский И. А. Хлорофилл и продуктивность растений. Москва, 2000. 136 с.

2. Деева В. П. Регуляторы роста растений: механизмы действия и использование в агротехнологиях. Минск, 2008. 133 с.

3. Кількісні хроматографічні методи визначення окремих ліпідів і жирних кислот у біологічному матеріалі / Й. Ф. Рівис та ін. Львів, 2017. 160 с.

4. Крамарьов С. М. Вплив оптимізованої системи удобрення на біохімічні показники якості зерна гібридів кукурудзи різних груп стиглості. *Корми і кормовиробництво*. 2003. Вип. 51. С. 92–96.

5. Ліпіди рослин / Н. Ю. Таран, О. І. Косик, О. А. Оканенко, Л. М. Бацманова. Київ, 2006. 104 с.

6. Пономаренко С. П. Регуляторы роста растений. Киев, 2003. 319 с.

7. Пшибытко Н. Л., Калитухо Л. Н., Волкова Е. В. Роль сахаров в адаптации фотосинтетического аппарата к стрессовым факторам. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2003. Т. 35. № 4. С. 330–341.

8. Стороженко В. О. Ключові антиоксидантні ферменти фотосинтетичного апарату вищих рослин за дії стресових чинників. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2004. Т. 36. № 1. С. 36–42.

9. Ali A. A. Maize Productivity in the New Millennium. Mitigating Environmental Stresses for Agricultural Sustainability in Egypt. Springer Water. 2021. P. 509–535.

#### References

1. Andrianova Yu. S., Tarchevsky I. A. Chlorophyll and plant productivity. Moscow, 2000. 136 p.

2. Deeva V. P. Plant growth regulators: mechanisms of action and use in agricultural technologies. Minsk, 2008. 133 p.

3. Quantitative chromatographic methods for the determination of individual lipids and fatty acids in biological material / J. F. Rivis et al. Lviv, 2017. 160 p.

4. Kramarov S. M. Influence of optimized fertilizer system on biochemical indicators of grain quality of maize hybrids of different maturity groups. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. 2003. Issue 51. P. 92–96.

5. Lipids of plants / N. Yu. Taran, O. I. Kosyk, O. A. Okanenko, L. M. Batsmanova. Kyiv, 2006. 104 p.

6. Ponomarenko S. P. Plant growth regulators. Kiev, 2003. 319 p.

7. Pshibytko N. L., Kalitukho L. N., Volkova Ye. V. The role of sugars in the adaptation of the photosynthetic apparatus to stress factors. *Fiziologia i biokhimiya kulturnykh rasteniy*. 2003. Vol. 35. No. 4. P. 330–341.

8. Storozhenko V. O. Key antioxidant enzymes of the photosynthetic apparatus of higher plants under the action of stressors. *Fiziologia i biokhimiya kulturnykh rasteniy*. 2004. Vol. 36. No. 1. P. 36–42.

9. Ali A. A. Maize Productivity in the New Millennium. Mitigating Environmental Stresses for Agricultural Sustainability in Egypt. Springer Water. 2021. P. 509–535. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-64323-2\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-64323-2_19).

DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-64323-2\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-64323-2_19).

10. Bates P. D., Stymne S., Ohlroge J. Biochemical pathways in seed oil synthesis. *Current Opinion in Plant Biology on Science Direct*. 2013. Vol. 16. No. 3. P. 358–364.

11. Chotewutmontri P., Barkan A. Dynamics of chloroplast translation during chloroplast differentiation in maize. *PLoS Genet*. 2016. No. 12 (7) : e1006106. DOI: 10.1371/journal.pgen.1006106.

12. Cook R., Lupette J., Benning C. The Role of Chloroplast Membrane Lipid Metabolism in Plant Environmental Responses. *Cells*. 2021. No. 10 (3). P. 706. DOI: <https://doi.org/10.3390/cells10030706>.

13. Dalal V. K., Tripathy B. C. Modulation of chlorophyll biosynthesis by water stress in rice seedlings during chloroplast biogenesis. *Plant, Cell and Environment*. 2012. Vol. 35. P. 1685–1703. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2012.02520.x.

14. Dan D. Fromme, Todd A. Spivey, W. James Grichar. Agronomic Response of Corn (*Zea mays* L.) Hybrids to Plant Populations. *International Journal of Agronomy*. 2019. Vol. 2019. Article ID 3589768. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/3589768>.

15. Dynamic changes in membrane lipid composition of leaves of winter wheat seedlings in response to PEG-induced water stress / Y. Wang et al. *BMC Plant Biol*. 2020. No. 20. P. 84. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-020-2257-1>.

16. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves / Z. Wang et al. *Biology open*. 2018. No. 7 (11). DOI:10.1242/bio.035279.

17. Effects of Integrated Agronomic Practices on Leaf Senescence Physiological Characteristics of Summer Maize [J] / ZHU Kun-Lun et al. *Sci. Agricultura Sinica*. 2014. No. 47 (15). P. 2949–2959.

18. Grain yield and soil respiratory response to intercropping systems on arid land / A. Qin et al. *Crops Research*. 2013. Vol. 144. P. 1–10.

10. Bates P. D., Stymne S., Ohlroge J. Biochemical pathways in seed oil synthesis. *Current Opinion in Plant Biology on Science Direct*. 2013. Vol. 16. No. 3. P. 358–364.

11. Chotewutmontri P., Barkan A. Dynamics of chloroplast translation during chloroplast differentiation in maize. *PLoS Genet*. 2016. No. 12 (7) : e1006106. DOI: 10.1371/journal.pgen.1006106.

12. Cook R., Lupette J., Benning C. The Role of Chloroplast Membrane Lipid Metabolism in Plant Environmental Responses. *Cells*. 2021. No. 10 (3). P. 706. DOI: <https://doi.org/10.3390/cells10030706>.

13. Dalal V. K., Tripathy B. C. Modulation of chlorophyll biosynthesis by water stress in rice seedlings during chloroplast biogenesis. *Plant, Cell and Environment*. 2012. Vol. 35. P. 1685–1703. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2012.02520.x

14. Dan D. Fromme, Todd A. Spivey, W. James Grichar. Agronomic Response of Corn (*Zea mays* L.) Hybrids to Plant Populations. *International Journal of Agronomy*. 2019. Vol. 2019. Article ID 3589768. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/3589768>.

15. Dynamic changes in membrane lipid composition of leaves of winter wheat seedlings in response to PEG-induced water stress / Y. Wang et al. *BMC Plant Biol*. 2020. No. 20. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-020-2257-1>.

16. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves / Z. Wang et al. *Biology open*. 2018. No. 7 (11). DOI: 10.1242/bio.035279.

17. Effects of Integrated Agronomic Practices on Leaf Senescence Physiological Characteristics of Summer Maize [J] / ZHU Kun-Lun et al. *Sci. Agricultura Sinica*. 2014. No. 47 (15). P. 2949–2959.

18. Grain yield and soil respiratory response to intercropping systems on arid land / A. Qin et al. *Crops Research*. 2013. Vol. 144. P. 1–10.

19. Guidi L, Lo Piccolo E., Landi M. Chlorophyll Fluorescence, Photoinhibition and Abiotic Stress: Does it Make Any

19. Guidi L, Lo Piccolo E., Landi M. Chlorophyll Fluorescence, Photoinhibition and Abiotic Stress: Does it Make Any Difference the Fact to be a C3 or C4 Species? *Front. Plant Sci.* 2019. No. 10. P. 174. DOI: 10.3389/fpls.2019.00174.
20. Guo Q., Liu L., Barkla B. J. Membrane Lipid Remodeling in Response to Salinity. *International journal of molecular sciences.* 2019. No. 20 (17). P. 4264. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20174264>.
21. Hadingham S. A., Li Y., Bevan M. W. Sugar and ABA response pathways and the control of gene expression. *Plant, Cell & Environment.* 2006. Vol. 29. No. 3. P. 426–465.
22. Kobyletska M. S. Fatty acid composition of corn and wheat plant shoots under the action of salicylate in drought conditions. 2020. *Biol. Stud.* Vol. 14 (3). P. 91–104. DOI: [doi.org/10.30970/sbi.1403.629](https://doi.org/10.30970/sbi.1403.629).
23. Miyazaki M., Araki M., Okamura K. Assimilate translocation and expression of sucrose transporter, OsSUT1, contribute to high-performance ripening under heat stress in the heat-tolerant rice cultivar Genkitsukushi. *J. of Plant Physiol.* 2013. Vol. 170. No. 18. P. 1579–1584.
24. Molecular tailoring of farnesylation for plant drought tolerance and yield protection / Y. Wang et al. *The Plant J.* 2005. Vol. 43. No. 3. P. 413.
25. Photoinhibition of Leaves with Different Photosynthetic Carbon Assimilation Characteristics in Maize (*Zea mays*) / Y. Ruan et al. *American J. of Plant Sci.* 2017. No. 8. P. 328–339. DOI: [10.4236/ajps.2017.83023](https://doi.org/10.4236/ajps.2017.83023).
26. Photosynthesis and organization of maize mesophyll and bundle sheath thylakoids of plants grown in various light intensities / P. Rogowski et al. *Environmental and Experimental Botany.* 2019. Vol. 162. P. 72–86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.02.006>.
27. Photosynthetic Characteristics and Chloroplast Ultrastructure of Summer Maize Difference the Fact to be a C3 or C4 Species? *Front. Plant Sci.* 2019. No. 10. P. 174. DOI: 10.3389/fpls.2019.00174.
20. Guo Q., Liu L., Barkla B. J. Membrane Lipid Remodeling in Response to Salinity. *International journal of molecular sciences.* 2019. No. 20 (17). P. 4264. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20174264>.
21. Hadingham S. A., Li Y., Bevan M. W. Sugar and ABA response pathways and the control of gene expression. *Plant, Cell & Environment.* 2006. Vol. 29. No. 3. P. 426–465.
22. Kobyletska M. S. Fatty acid composition of corn and wheat plant shoots under the action of salicylate in drought conditions. 2020. *Biol. Stud.* Vol. 14 (3). P. 91–104. DOI: [doi.org/10.30970/sbi.1403.629](https://doi.org/10.30970/sbi.1403.629).
23. Miyazaki M., Araki M., Okamura K. Assimilate translocation and expression of sucrose transporter, OsSUT1, contribute to high-performance ripening under heat stress in the heat-tolerant rice cultivar Genkitsukushi. *J. of Plant Physiol.* 2013. Vol. 170. No. 18. P. 1579–1584.
24. Molecular tailoring of farnesylation for plant drought tolerance and yield protection / Y. Wang et al. *The Plant J.* 2005. Vol. 43. No. 3. P. 413.
25. Photoinhibition of Leaves with Different Photosynthetic Carbon Assimilation Characteristics in Maize (*Zea mays*) / Y. Ruan et al. *American J. of Plant Sci.* 2017. No. 8. P. 328–339. DOI: [10.4236/ajps.2017.83023](https://doi.org/10.4236/ajps.2017.83023).
26. Photosynthesis and organization of maize mesophyll and bundle sheath thylakoids of plants grown in various light intensities / P. Rogowski et al. *Environmental and Experimental Botany.* 2019. Vol. 162. P. 72–86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.02.006>.
27. Photosynthetic Characteristics and Chloroplast Ultrastructure of Summer Maize

Response to Different Nitrogen Supplies / Z. Liu et al. *Frontiers in Plant Science*. 2018. No. 9. P. 576. DOI: 10.3389/fpls.2018.00576.

28. Remodeling of Leaf Cellular Glycerolipid Composition under Drought and Re-hydration Conditions in Grasses from the Lolium-Festuca Complex / D. Perlikowski et al. *Frontiers in plant science*. 2016. No. 7. P. 1027. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01027>.

29. Shumskaya M., Wurtzela E. The carotenoid biosynthetic pathway: thinking in all dimensions. *Plant Sci*. 2013. Vol. 208. P. 58–63. DOI: 10.1016/j.plantsci.2013.03.012.

30. Yang Z., Wang T., Wang H. Patterns of enzyme activities and gene expressions in sucrose metabolism in relation to sugar accumulation and composition in the aril of Litchi chinensis Sonn. *J. of Plant Physiol*. 2013. Vol. 170. No. 8. P. 731–740.

31. Yield attributes and photosynthetic physiological characteristics of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) / maize (*Zea mays* L.) strip intercropping / Li. Yinjuan et al. *Field Crops Research*. 2020. Vol. 248. P. 412–421. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107656>.

28. Remodeling of Leaf Cellular Glycerolipid Composition under Drought and Re-hydration Conditions in Grasses from the Lolium-Festuca Complex / D. Perlikowski et al. *Frontiers in plant science*. 2016. No. 7. P. 1027. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01027>.

29. Shumskaya M., Wurtzela E. The carotenoid biosynthetic pathway: thinking in all dimensions. *Plant Sci*. 2013. Vol. 208. P. 58–63. DOI: 10.1016/j.plantsci.2013.03.012.

30. Yang Z., Wang T., Wang H. Patterns of enzyme activities and gene expressions in sucrose metabolism in relation to sugar accumulation and composition in the aril of Litchi chinensis Sonn. *J. of Plant Physiol*. 2013. Vol. 170. No. 8. P. 731–740.

31. Yield attributes and photosynthetic physiological characteristics of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) / maize (*Zea mays* L.) strip intercropping / Li. Yinjuan et al. *Field Crops Research*. 2020. Vol. 248. P. 412–421. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107656>.

Отримано 07.05.2021