

Formation and functioning of source-sink relation system of oil poppy under treptolem treatment towards crop productivity

V.G. Kuryata, S.V. Polyvaniy

Vinnitsia Mykhailo Kotsiubynskiy State Pedagogical University

Ostrozhske St., 32, Vinnitsa, 21000, Ukraine

Тел.: +38-097-514-56-36. E-mail: vgk2006@ukr.net

Тел.: +38-098-36-20-349. E-mail: stepan.polivaniy@ukr.net

Submitted: 02.11.2017. Accepted: 24.12.2017

We studied the action of synthetic growth stimulator (treptolem) on the morphogenesis, leaf mesostructure, redistribution of assimilates, and nutrients between organs of oil poppy (*Papaver somniferum L.*) in ontogenesis, productivity and structure of crop. Optimization of production process of oil poppy under the influence of growth stimulator is realized through the source-sink relation system of the plant. Obtained results testify the essential role of morphological and mesostructural components in regulation of source-sink relation system of oil poppy. Application of treptolem's growth stimulating contributed the formation of more powerful donor sphere and increased the number and mass of leaves, the area of leaf surface and the leaf index. It was found that the reason of such morphological changes caused significant increase in branching of the stem by the action of treatment. The intensification of donor function poppy plants by treptolem also occurred as a result of mesostructural changes in the leaves. Treptolem application induced formation of a more powerful layer of chlorenchymes - the main photosynthetic tissues of plant, linear sizes of chlorenchymal cells and chlorophylls content increased in them. In that case, the intensification of growth processes at the beginning of vegetation under the influence of preparation led to form a more powerful donor potential of the plant per unit of cenosis area, which created prerequisites to increase the productivity of culture. It was found that the consequence of such changes was an increase of the content of nonstructural carbohydrates (sugar + starch) in vegetative organs of treated variant in compared with the control of intense growth. Treatment showed apparent branching of the stems, that induced a larger number of flowers and fruitcases were laid an increase of acceptor capacity of plant. The result of these changes was determined by more intensive flow of nonstructural carbohydrates on the formation and growth of fruits in the variant with treptolem. In the flowering phase in the roots and leaves of plants, it was observed the highest content of nitrogen that during the formation and growth of the fruit was remobilized on the carpogenesis process. At the same time, the more intensively use of nitrogen by the vegetative organs of the poppy plants to form the fruitcases was in the variant with treptolem. It was noted the lower levels of phosphorus in the leaves and potassium in the vegetative organs of oil poppy in the variant of treptolem treated plant. It testifies that preparation treatment contributed to the more intensive reutilisation of nitrogen, phosphorus, and potassium compounds in fruit formation. The intensified flow of assimilates and nitrogen-containing compounds together with nutrients to a greater number of implanted fruits provided the growth of crop yields (by increase in the number of cases, the mass of seeds in case, and the mass of a single seed). It is confirmed that there is negative correlation between accumulation of oil and content of nitrogen. It was established that application of treptolem increased the content of unsaturated higher fatty acids in oil poppy. An important practical result of the research should be considered that treptolem treatment increased the content of alkaloids in the seeds of poppy plants, which could be useful in pharmacological industry.

We proved that treptolem application during the budding period on the poppy seed leads to increase the yield of crop due to optimized morphological structure of plant, the mesosurface structure of leaf; it is also increased the potential trapping due to the laying and formation of a greater number of fruits.

Key words: *Papaver somniferum L.*; growth regulators; morphogenesis; productive process; quality of product

Особливості функціонування донорно-акцепторної системи маку олійного за дії трептолему в зв'язку з продуктивністю культури

В.Г. Кур'ята, С.В. Поливаний

Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, вул. Острозького, 32, Вінниця, 21000, Україна

Тел.: +38-097-514-56-36. E-mail: vgk2006@ukr.net

Тел.: +38-098-36-20-349. E-mail: stepan.polivaniy@ukr.net

Встановлено дію синтетичного регулятора росту трептолему на ростові процеси, мезоструктуру листків, перерозподіл асимілятів та мінеральних елементів між органами рослин маку олійного (*Papaver somniferum L.*) в онтогенезі, продуктивність культури та структуру урожаю. Зміни росту і розвитку, оптимізація продуктивності культури під впливом стимулятора росту відбуваються внаслідок перебудови відносин між донорною та акцепторною сферами рослини. Посилення ростових процесів на початку вегетації трептолемом призводило до утворення більшої кількості листків, листової поверхні, оптимізації мезоструктури листків і збільшення депонованих у вегетативних органах запасу вуглеводів. Формування більш потужної акцепторної сфери визначалося посиленням галуження стебла і, відповідно, закладкою більшої кількості плодів – основних акцепторів асимілятів в другу половину вегетації. Збільшення навантаження рослини плодами у варіанті із застосуванням трептолему визначало і більш інтенсивний потік до них неструктурних вуглеводів, азотовмісних сполук та елементів живлення, що в підсумку і забезпечило зростання урожаю насіння.

Ключові слова: *Papaver somniferum L.*; регулятори росту; морфогенез; продукційний процес; якість продукції

Вступ

Одним з перспективних підходів у вирішенні питань спрямованої регуляції росту і розвитку, перерозподілу потоків фотоасимілятів з вегетативного росту на потреби формування плодів і насіння є корекція донорно – акцепторних відносин рослини (концепція "source-sink") (Kiriziy et al., 2014; Bonelli et al., 2016). Функціонування донорно – акцепторної системи забезпечується різними регуляторними механізмами (Yu et al., 2015; Ljung et al., 2015). Ця концепція застосовується для аналізу як гетеротрофної фази росту (проростання насіння за дії світла і в темряві, під впливом різних класів фітогормонів або абіотичних факторів середовища (Yang et al., 2014; Poprotska, 2016.), так і при аналізі співвідношення інтенсивності процесів фотосинтезу і росту, де фотосинтез виступає як основний донор, а ріст - як основний акцептор асимілятів (Kuryata, 2009; Mohammad and Mohammad, 2013). Співвідношення між донорною та акцепторною сферами рослини можна штучно змінити, посилюючи або послаблюючи інтенсивність фотосинтезу та росту шляхом морфофізіологічних змін - формуванням потужної листової поверхні та ефективної мезоструктури (Rogach and Rogach, 2015; Sugiura et al., 2015), прискоренням темпів формування фотосинтетичного апарату і продовження тривалості життя листків, як основного донору асимілятів (Kumar et al., 2012 Kiriziy et al., 2014; Yan et al., 2015). З іншого боку, ефективність функціонування цієї системи залежить від потужності акцепторних центрів, формування «запиту» на асиміляти (Kiriziy et al., 2014; De Sousa Lima et al., 2016).

Одним із найпотужніших акцепторів продуктів фотосинтезу є зони росту рослини та процеси формування і росту плодів (карпогенез) (Kuryata, 2009). Збільшення кількості плодів призводить до підвищення атрагувальної здатності цих зон, і відповідний перерозподіл потоків асимілятів з вегетативного росту на формування і ріст плодів. Такого ефекту можна досягти обрізкою плодоносних пагонів, видаленням жируючих пагонів та ін.. Однак це вимагає значних фізичних витрат і є економічно недоцільним. Для зміни інтенсивності росту окремих органів (а значить і їх акцепторного потенціалу) широко застосовується обробка екзогенними гормонами і регуляторами росту, що дозволяє моделювати різний ступінь напруження в системі «донор – акцептор» (Yu et al., 2015; Kasem and Abd El-Baset, 2015; Altintas, 2011).

Пізнання шляхів і механізмів функціонування та регуляції активності цієї системи, зокрема шляхом штучного перерозподілу продуктів фотосинтезу до плодів, коренеплодів, інших органів запасу під впливом фітогормонів та різних груп синтетичних регуляторів росту відкриває нові можливості для оптимізації продуктивності рослин (Lima et al., 2014; Carvalho et al., 2016; Mo et al., 2016).

Відомо, що зміни у інтенсивності росту реалізуються зав участі фітогормонів (Rademacher, 2016; Hedden and Thomas, 2016). Нативні гормони - стимулятори та їх синтетичні аналоги застосовують у рослинництві з метою інтенсифікації гісто- та морфогенезу (Macedo et al., 2017; Koutroubas and Damalas, 2016), прискорення проліферації та диференціації клітин, внаслідок чого формується більш розгалужена коренева система (Yan et al., 2013; Watson and Hewitt, 2017), змінюється анатомо - морфологічна, мезоструктурна та фізіолого-біохімічна організація листка (Matsoukis et al., 2015; Kendall and

Storer, 2017) посилюються фотосинтетичні процеси (Zhang et al., 2013; Pobudkiewicz, 2014; Hedden and Thomas, 2016). Такі зміни зумовлюють формування більш потужного асиміляційного апарату, який здатний синтезувати підвищену кількість асимілятів, потік яких більшою мірою буде використовуватися генеративними органами та органами запасу.

Для регуляції росту та підвищення урожайності технічних олійних культур ефективним виявилось застосування нового синтетичного регулятора росту рослин Трептолему. Це комплексний препарат, який є поєднанням N-оксид 2,6-диметилпіридину з амінокислотами, вуглеводами, бурштиною кислотою, мікроелементами та Емістимом С (Grytsayenko et al., 2008). Препарат рекомендований для застосування на широкому спектрі олійних культур. Разом з тим, особливості його впливу на морфологічні, мезоструктурні та фізіологічно-біохімічні складові донорно-акцепторної системи сільськогосподарських рослин залишаються практично не вивченими.

В зв'язку з цим метою даного дослідження було з'ясувати дію трептолему на морфогенез та особливості регуляції донорно-акцепторних відносин у рослин маку олійного в зв'язку з урожайністю культури.

Матеріали і методи досліджень

Досліди проводили на рослинах маку сорту Беркут в 2010 р. у Чернівецькому районі Вінницької області, в 2011 р. - у Красилівському районі Хмельницької області та у 2014 р. - в Жмеринському районі Вінницької області. Площі ділянок - 10 м², повторність дослідів п'ятикратна. Рослини одноразово обробляли вранці у фазу бутонізації водним розчином трептолему концентрації 0,035 мл/л за допомогою ранцевого обприскувача, контрольні рослини - водопровідною водою.

Морфометричні показники визначали кожні 10 днів. Для біохімічного аналізу проби фіксували рідким азотом з наступним досушуванням у сушильній шафі при 85°C. Мезоструктурну організацію листка під час польових дрібноділянкових досліджень визначали в кінці вегетації на матеріалі листків середнього ярусу пагона. Для консервації листків використовували суміш етанолу, гліцерину і води (1:1:1), яка містила 1% формаліну. Вимірювання розмірів тканин листка здійснювали під мікроскопом, використовуючи окулярний мікромір МОВ-1-15х. Визначення розмірів окремих клітин хлоренхіми проводили після мацерації тканин листка 5%-м розчином оцтової кислоти в соляній кислоті (2 моль/л). Вміст фосфору визначали за утворенням фосфорно-молібденового комплексу, калію - полум'яно-фотометричним методом, загального азоту - методом Кельдаля, цукрів і крохмалю - йодометричним методом, хлорофілів - спектрофотометричним методом на спектрофотометрі СФ-16 (АОАС, 2010). Аналітична повторюваність досліджень - п'ятикратна. Листковий індекс (ЛІ) визначали як площу всіх листків на одиницю поверхні ґрунту. Вміст олії в насінні маку визначали екстракцією петролейним ефіром в апараті Сокслета. Визначення кількісного вмісту індивідуальних жирних кислот насіння проводили методом газової хроматографії. Хроматограф - "Кристал-2000" (Росія)(АОАС, 2010). Використовували скляні колонки розміром 1500 x 2 мм, заповнені сорбентом інтертоп-супер +5% неоплекс 400. Швидкість проходження газу - носія (азоту) складала 70 мл/хв. Температура колонки - 2000°C, випаровувача - 2300°C, полум'яно-іонізаційного детектора - 2400°C. Умови хроматографування: скляні колонки розміром 1500x2 мм, заповнені сорбентом інтертип - супер +5% неоплекс 400, зернистість сорбенту 0,16-0,20 мм. Газ-носії азот, швидкість проходження газу - 70 мл/хв. Температура колонки - 2000°C, випаровувача - 2300°C, полум'яно-іонізаційного детектора - 2400°C. Аналітична повторність досліджень п'ятикратна. Дослідження вмісту алкалоїдів проводили методом газової хроматографії з мас-селективним детектуванням з метою якісного та кількісного визначення органічних компонентів (Davydyuk et al., 2009). Зразки рослин висушували при температурі 110°C до постійної маси, подрібнювали та просіювали через сито (1 x 1мм). Наважки заливали 1 мл 25% розчину амоніаку і залишали для набрякання на 15 хв., потім екстрагували 25 мл хлороформу при постійному перемішуванні на магнітній мішалці протягом 30 хв. Після цього екстракт фільтрували через паперовий фільтр, одержаний хлороформний екстракт випарювали в потоці холодного повітря, сухий залишок розчиняли в 1 мл метанолу. По 1 мл одержаних метанольних розчинів аналізували на хромато-мас-спектрометрі за наступних умов: прилад — GC/MS Agilent Technologies 6890/5975 B; капілярна колонка - HP 19091S-433 (HP-5MS), довжина - 30 м, діаметр - 0,32 мм, фаза 0,25 мкм, постійний потік - 1,5 мл/хв., газ-носії - гелій; інжектор - автоінжектор 7683, Split 20:1, температура випарника 250°C; піч - початкова температура 75°C, експозиція 2 хв., градієнт нагрівання - 15°C/хв, температура кінцева -300°C, експозиція 8 хв. Детектор - мас-селективний, температура інтерфейса 280°C, іонізація - електронним ударом, енергія іонізації - 70 еВ, температура іонного джерела 230°C, температура квадруполя -150°C. Проба для аналізу - 1 мкл. Аналітична повторність досліджень п'ятикратна. Аналіз масхроматограм проводили за допомогою програмного забезпечення MSD ChemStation D.03.00.611 із використанням мас-спектральної бази даних NIST.

Залишкові кількості трептолему визначали методом високоефективної рідинної хроматографії. Хроматограф - "Кристал 2000 M" компанії СКБ "Хроматек" (Росія). Використовували сталеві колонки розміром 100 мм, заповнені 5% сорбентом SE-30. Швидкість проходження газу - носія (азоту) становила 60 мл/хв.. Температура колонки - 2400 °C, випаровувача - 2600 °C, полум'яно-іонізаційного детектора - 3000 °C. Виділення залишкових кількостей трептолему з насіння маку олійного проводили відповідно до ГОСТу 13496. 20-87. В таблицях і діаграмах представлені середні дані за три роки досліджень. Статистичну обробку даних здійснювали за допомогою комп'ютерної програми «STATISTICA - 6» StatSoft Inc. Достовірність різниці показників контролю і дослідів визначали за t-критерієм Стьюдента.

Результати

Застосування трептолему у фазу бутонізації призводило до посилення лінійного росту пагонів з одночасним потовщенням їх стебла (рис.1). Відомо, що продукційний процес рослин суттєво залежить від особливостей формування

і фотосинтетичної активності листового апарату (Matsoukis et al., 2015; Kuryata, 2009, 2014). Тому важливим було встановити онтогенетичні зміни морфометричних показників та інтенсивність відмирання листків маку олійного під впливом трептолему. Виявлена суттєва різниця у масі та кількості листків, а також їх площі за дії препарату. Зокрема встановлено, що зміна інтенсивності росту за дії трептолему супроводжувалась накопиченням сухої маси листків, їх кількості, зростанням загальної листової поверхні рослини. Зростав і листовий індекс - важлива ценотична характеристика культури. Відомо, що ріст маку олійного супроводжуються швидкими темпами відмирання листків нижніх ярусів, що може впливати на урожайність культури. Отримані дані свідчать, що обробка трептолемом подовжувала термін життя листків: кількість живих листків у рослин, оброблених препаратом, в кінці вегетації була більшою ніж в контролі (рис.1).

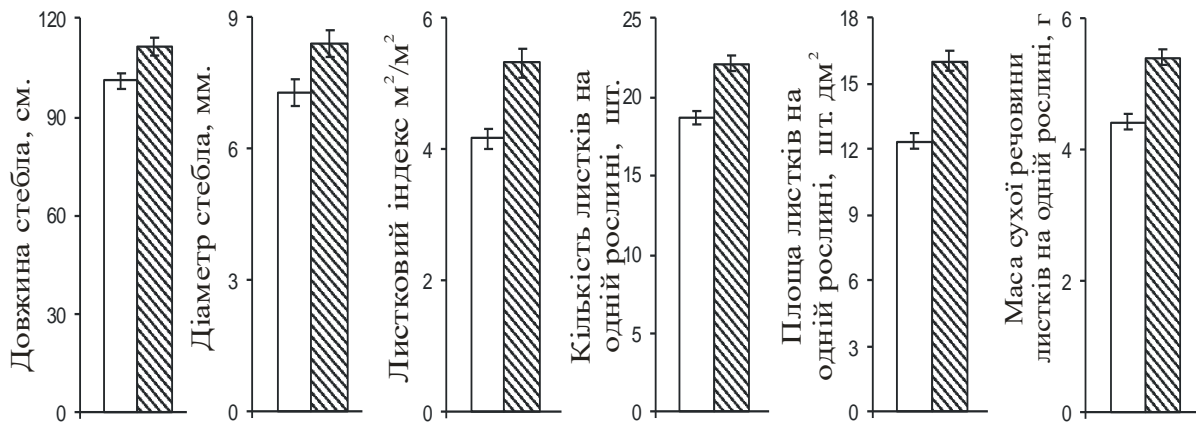


Рис. 1. Морфометричні показники маку олійного за дії трептолему: □ – контроль, ▨ – трептолем, 0,035 мл/л.

Нами встановлено, що зростання загальної площі, кількості та маси листків у рослин дослідного варіанту в першу чергу забезпечується процесом більш інтенсивного галушення стебла за рахунок утворення пагонів другого порядку. Так, за дії трептолему цей показник складав $2,97 \pm 0,12^{**}$ проти $2,49 \pm 0,09$ пагонів у контролі (Різниця достовірна при $P < 0,001$). Відомо, що фотосинтетична активність листка знаходиться в прямій залежності від його анатомічних особливостей, що визначаються в науковій літературі як «мезоструктура» (Kuryata, 2009). Застосування мезоструктурних характеристик дозволяє проаналізувати фотосинтетичну функцію листка за дії багатьох факторів, однак при вивченні рістстимулюючих ефектів застосовувалося рідко. Отримані нами результати вивчення елементів мезоструктури свідчать, що під впливом трептолему суттєво зростала товщина листків, товщина шару хлоренхіми, а також довжина і товщина хлоренхімних клітин (табл. 1).

Таблиця 1. Дія трептолему на мезоструктуру листків рослин маку олійного (фаза молочної зрілості, $M \pm m$, $n = 20$)

Показник	Контроль	Трептолем, 0,035мл/л
Товщина листової пластинки, мкм	$233,3 \pm 5,91$	$267,1 \pm 5,42^{***}$
Товщина хлоренхіми, мкм	$127,5 \pm 2,93$	$152,1 \pm 2,12^{***}$
Довжина клітин паренхіми, мкм	$43,7 \pm 0,92$	$50,1 \pm 1,41^{**}$
Ширина клітин паренхіми, мкм	$23,0 \pm 0,85$	$31,9 \pm 0,93^{***}$
Вміст суми хлорофілів (а+в),% на масу сирової речовини	$0,22 \pm 0,002$	$0,28 \pm 0,004^{***}$

Примітка: * - різниця достовірна при $P < 0,05$, ** - $P < 0,01$, *** - $P < 0,001$

При цьому чіткої диференціації асиміляційної хлоренхіми на стовпчасту та губчасту тканини у рослин маку не виявлено. Збільшення парціальної частки хлоренхіми в загальній структурі листків внаслідок утворення крупних асиміляційних клітин за дії препарату є позитивним чинником, який впливає на вміст пігментів та фотосинтетичні процеси. Отримані нами дані свідчать також, що препарат трептолем суттєво збільшує вміст хлорофілів в листках олійного маку. Цей показник є важливим для підвищення продуктивності рослин (Zhang et al., 2013).

Покращення фітометричних і мезоструктурних показників листків та збільшення вмісту хлорофілів за дії трептолему сприяло посиленню фотосинтетичної активності листового апарату, свідченням чого є суттєво більш високі значення чистої продуктивності фотосинтезу. Так, середні показники ЧПФ за три роки досліджень за дії трептолему становили $0,9 \pm 0,03$ г/м²·добу*** проти $0,5 \pm 0,01$ г/м²·добу контролю (Різниця достовірна при $P < 0,001$).

Під впливом препарату відбуваються зміни в накопиченні і перерозподілі неструктурних вуглеводів між вегетативними органами рослин протягом вегетаційного періоду. У листках і коренях, оброблених трептолемом, сумарний вміст вуглеводів (цукри і крохмаль) у рослин дослідного варіанту протягом всієї вегетації був більшим, ніж у контролі (рис. 2). Це зумовлено стимулювальним впливом стимулятора росту на процеси синтезу та більш інтенсивним розвитком рослинного організму. За дії препарату формувався більш потужний листовий апарат рослини, продовжувався термін життя листків збільшувалася їх кількість та площа, що формувало надлишок асимілятів для забезпечення росту плодів маку олійного. По суті, вегетативні органи виступають місцем депонування резервних вуглеводів для забезпечення асимілятами плодів в період карпогенезу.

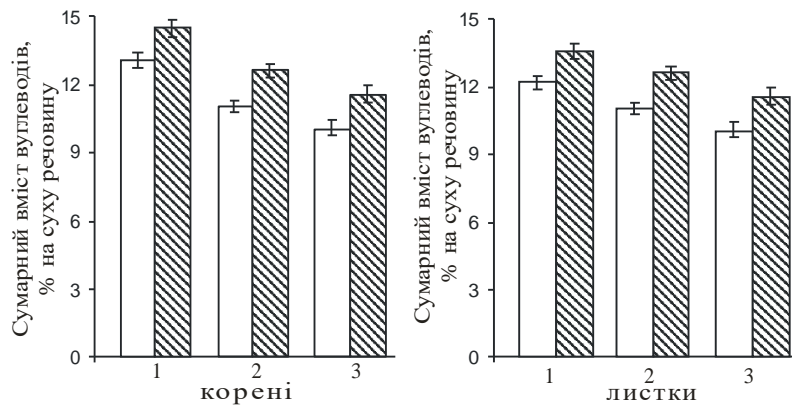


Рис. 2. Динаміка сумарного вмісту вуглеводів (цукри + крохмаль) у вегетативних органах рослин маку олійного під впливом трептолему: □ – контроль, ▨ – трептолем 0,035 мл/л. Час відбору проб: 1 – цвітіння рослин, 2– молочна зрілість, 3–воскова зрілість.

Відмічалось поступове зменшення сумарного вмісту цукрів за рахунок редуруючих цукрів та зростання вмісту крохмалю в листках маку як у контролі, так і в досліді протягом вегетації (рис. 3). В коренях відбувалося зменшення вмісту як суми цукрів, так і вмісту крохмалю. Оскільки після фази бутонізації ростові процеси у вегетативних органах суттєво уповільнюються і одночасно виникають потужні акцепторні зони – коробочки, основний потік асимілятів спрямований на формування плодів, чим і пояснюється поступове зменшення вмісту цукрів і крохмалю у листка і коренях.

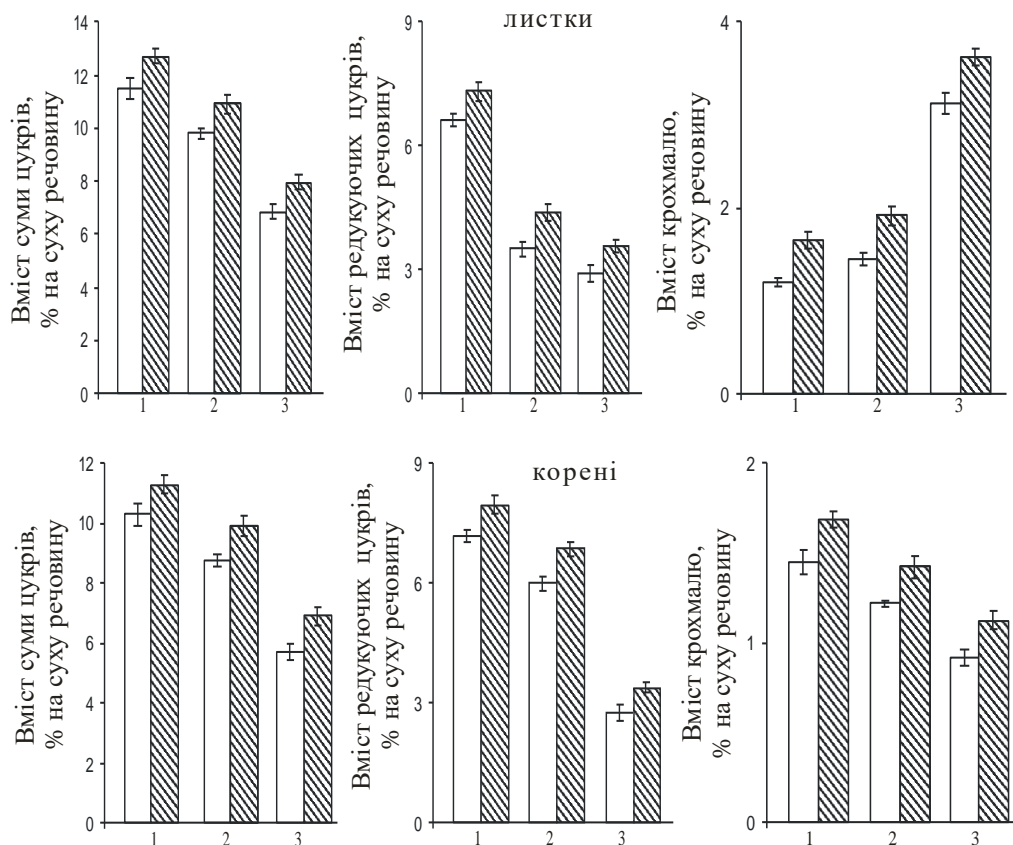


Рис. 3. Вплив трептолему на динаміку накопичення різних форм вуглеводів у рослин маку олійного: □ – контроль, ▨ – трептолем 0,035 мл/л. Час відбору проб: 1-цвітіння рослин, 2- молочна зрілість, 3- воскова зрілість

Аналогічно в онтогенезі відбувалося зменшення вмісту загального азоту в коренях і листках рослин як контрольного, так і дослідного варіантів (рис. 4).

Максимальна кількість азотвмісних речовин у листках і коренях відмічалася на початкових етапах дослідження, при цьому загальний вміст азоту у листках був у два рази вищим, ніж коренях. До кінця вегетації вміст азоту у тканинах вегетативних органів зменшувався активніше під впливом трептолему, що свідчить про більш інтенсивний відтік азотовмісних сполук у нові атрагуючі центри – коробочки.

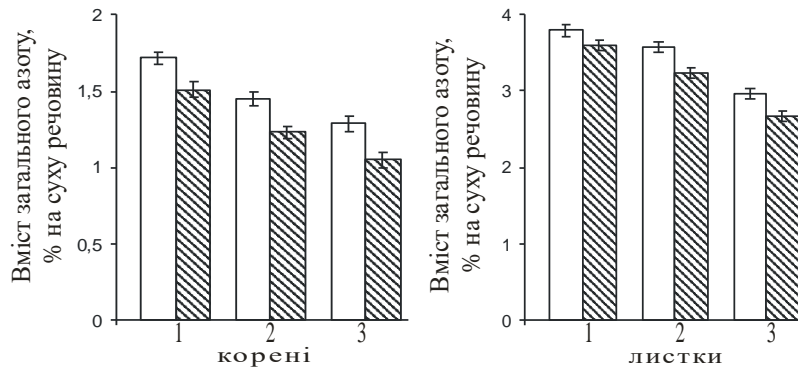


Рис. 4. Дія трептолему на вміст загального азоту у вегетативних органах маку олійного: □ – контроль, ▨ – трептолем 0,035 мл/л. Час відбору проб: 1 – цвітіння рослин, 2– молочна зрілість, 3–воскова зрілість.

Відмічалось зменшення вмісту фосфору в коренях і зростання вмісту елемента в листках на протязі вегетації у рослин контрольного і дослідного варіантів. Це свідчить про важливу роль фосфору в фотосинтетичних процесах. При цьому, на кінець вегетації вміст фосфору в листках був більш низьким у варіанті з трептолемом проти контролю (рис. 5). Це також пояснюється посиленням відтоком даного елемента не лише до листка, але і до плодів, які в цей час інтенсивно формуються.

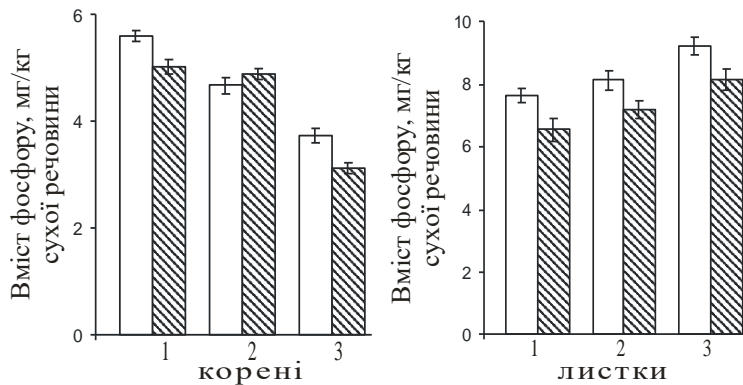


Рис. 5. Вплив трептолему на вміст фосфору у вегетативних органах маку олійного: □ – контроль, ▨ – трептолем 0,035 мл/л. Час відбору проб: 1 – цвітіння рослин, 2– молочна зрілість, 3–воскова зрілість.

За дії препарату відмічалось також зменшення концентрації калію у листках відносно контролю. Аналогічна тенденція прослідковується для коренів, на кінець вегетації вміст калію був нижчим, ніж в контролі, у варіанті з трептолемом (рис. 6). В цілому, на протязі онтогенезу відбувалося зменшення вмісту калію в органах. На нашу думку це теж пов'язано з посиленням відтоку елемента до генеративних органів, які формуються.

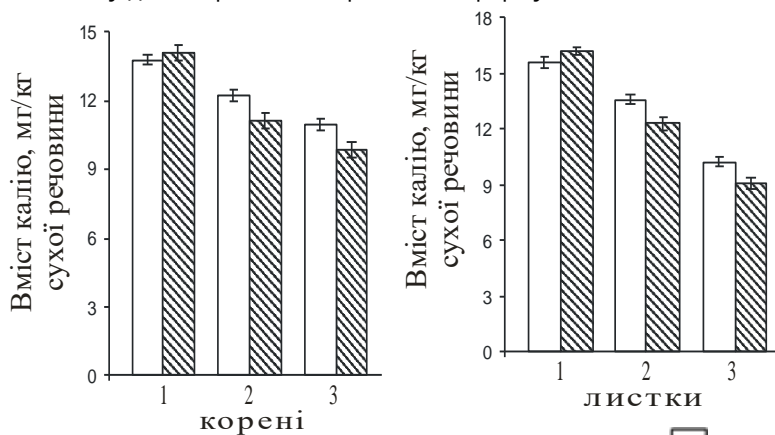


Рис. 6. Дія трептолему на вміст калію у вегетативних органах маку олійного: □ – контроль, ▨ – трептолем 0,035 мл/л. Час відбору проб: 1 – цвітіння рослин, 2– молочна зрілість, 3–воскова зрілість.

Відомо, що в процесі онтогенезу здійснюється постійна координація процесів росту і фотосинтезу зокрема шляхом трофічної регуляції донорно - акцепторних відносин. Отримані дані свідчать, що за дії трептолему формувалась більш потужний листовий апарат рослини, продовжувався термін життя листків, що формувало надлишок асимілятів для забезпечення росту плодів маку олійного. Позитивний вплив на формування плодів за дії препарату проявлявся також

внаслідок посиленої реутилізації елементів живлення з вегетативних органів. Нами встановлено, що застосування синтетичного регулятора росту трептолему призводило до достовірного збільшення кількості коробочок на рослині (табл. 2). Одночасно зростала маса тисячі насінин і загальна маса насіння в коробочці, що призводило до збільшення урожайності культури.

Таблиця 2. Вплив трептолему на продуктивність маку олійного сорту Беркут ($M \pm m$, $n = 25$)

Показники	Контроль	Трептолем, 0,035мл/л
Кількість коробочок на рослині, штук	2,49 ± 0,091	2,97 ± 0,122**
Маса насіння в коробочці, г	2,99 ± 0,104	3,41 ± 0,081**
Маса 1000 насінин, г	0,48 ± 0,0183	0,55 ± 0,012**
Врожайність, ц/га	8,37 ± 0,452	10,15 ± 0,463**

Примітка: див. табл. 1.

Застосування трептолему суттєво впливало на вміст олії в насінні та її якісні характеристики і. Зокрема, за дії трептолему вміст олії становив $46,8 \pm 0,01^{***}$ проти $45,6 \pm 0,03$ контролю (різниця достовірна при $P < 0,001$). Хроматографічне дослідження олії контрольного і дослідного варіантів дозволив встановити наявність пальмітинової (C16), пальмітолеїнової (C16:1), стеаринової (C18), олеїнової (C18:1), лінолевої (C18:2), арахінової (C20), α -ліноленої (C18:3), гондоїнової (C20:1) кислот. Аналіз співвідношення між ненасиченими та насиченими вищими жирними кислотами свідчить, що обробка трептолемом призводила до підвищення вмісту ненасичених вищих жирних кислот, в першу чергу за рахунок лінолевої (табл. 3).

Таблиця 3. Вплив трептолему на вміст вищих жирних кислот у маковій олії (%), $M \pm m$, $n = 5$)

Жирні кислоти	Контроль	Трептолем, 0,035мл/л
C16	7,95 ± 0,083	7,51 ± 0,124**
C16:1	0,11 ± 0,001	0,10 ± 0,003**
C 18:1	18,22 ± 0,131	18,11 ± 0,105
C18	1,42 ± 0,043	1,72 ± 0,035***
C18:2	71,32 ± 0,236	71,77 ± 0,244
C18:3	0,63 ± 0,005	0,61 ± 0,008*
C 20:1	0,04 ± 0,001	0,05 ± 0,001
C 20	0,14 ± 0,001	0,14 ± 0,005
Вміст ненасичених вищих жирних кислот	90,33 ± 0,374	90,62 ± 0,361
Вміст насичених жирних кислот	9,69 ± 0,127	9,39 ± 0,164
Ненасичені/насичені жирні кислоти	9,34 ± 0,23	9,68 ± 0,19

Примітка: див. табл. 1.

Відомо, що вміст олії та азоту в насінні олійних культур перебуває в корелюючій залежності: збільшення вмісту олії супроводжується зменшенням вмісту білка. Отримані нами дані підтверджують цю закономірність - застосування трептолему призводило до достовірного зменшення вмісту азоту в маковому шроті. Обробка трептолемом призводила до підвищення вмісту калію і зменшення вмісту фосфору в ньому (Рис. 7).

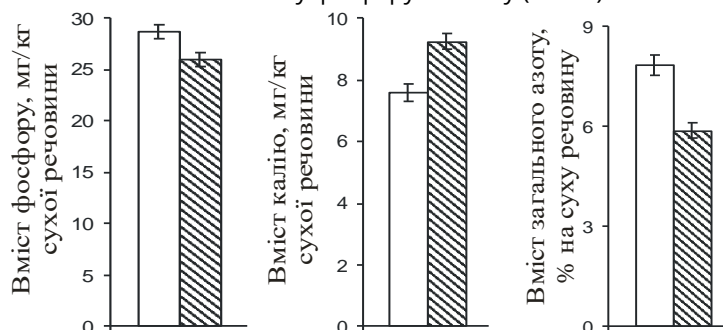


Рис. 7. Вплив трептолему на вміст елементів мінерального живлення: □ – контроль, ▨ – трептолем 0,035 мл/л.

При вивченні вмісту алкалоїдів в макових коробочках нами встановлено, що обробка рослин трептолемом здійснювала вплив на їх вміст: в коробочках дослідного варіанту на кінець вегетації він був вищим ніж в контролі (табл. 4). Під впливом трептолему збільшувався вміст наркотичних алкалоїдів морфіну, кодеїну та тебаїну. В коробочках маку в фазу воскової стиглості була встановлено в незнаній кількості присутність ненаркотичних алкалоїдів: неопіну, папаверину, наркотину, орипавіну.

Таблиця 4. Вплив трептолему на вміст алкалоїдів в рослин маку олійного в фазу воскової стиглості, (% на суху речовину, $M \pm m$, $n = 5$)

Показник	Морфін	Кодеїн	Тебаїн	Неопін	Папаверин	Наркотин	Орипавін
Контроль	0,113±	0,017±	0,013±	0,012±	0,071±	0,084±	0,014±
	0,011	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,001
Трептолем 0,035 мл/л	0,251±	0,024±	0,021±	0,016±	0,093±	0,093±	0,031±
	0,023**	0,001**	0,002*	0,002	0,001***	0,001*	0,002**

Примітка: див. табл. 1.

Застосування синтетичних регуляторів росту у практиці вирощування сільськогосподарських культур має визначитися надійним контролем залишкових кількостей препаратів в продукції. Нами встановлено, що в дослідному зразку залишкова кількість трептолему складала 0,005 мг/кг. Відповідно з Держ.Сан-Пін (8.8.1.2.3.4.-000-2001р.) залишкова кількість трептолему для гороху, гречки, зерна та насіння льону, соняшнику, маку не повинна перевищувати 0,03мг/кг. Таким чином, запропонований регламент застосування трептолему не призводить до накопичення надлишкових кількостей препарату в насінні.

Обговорення

Екзогенне застосування фітогормонів та синтетичних регуляторів росту призводить до змін інтенсивності росту окремих органів рослини, а значить і до перерозподілу потоків асимілятів від донорної зони рослини (листки, процеси фотосинтезу) до акцепторних зон і процесів, зокрема процесу карпогенезу - росту і формування плодів. Отримані результати свідчать про суттєву роль морфологічної та мезоструктурної складових регуляції донорно - акцепторної системи рослин маку олійного. Застосування стимулятора росту трептолему сприяло формуванню більш потужної донорної сфери рослини - відбувалося збільшення кількості та маси листків, площі листової поверхні самої рослини, а також зростання важливого ценотичного показника - листового індексу. Встановлено, що причиною таких морфологічних змін є посилене галуження стебла, яке за дії препарату достовірно зростало. Підсилення донорної функції рослин маку за дії препарату відбувалося також внаслідок мезоструктурних змін в листках. За дії трептолему формувалася більш потужний шар хлоренхіми - основної фотосинтезуючої тканини рослини, зростали лінійні розміри хлоренхімних клітин та збільшувався вміст хлорофілів в них. Таким чином, інтенсифікація ростових процесів під впливом препарату сприяла формуванню більш потужного донорного потенціалу рослини та одиниці площі ценозу, що створювало передумови для підвищення продуктивності культури. Зокрема, у вегетативних органах дослідного варіанту відмічався підвищений вміст неструктурних вуглеводів (цукри + крохмаль) в період інтенсивного росту рослин маку олійного.

Відомо, що одним з найпотужніших акцепторів асимілятів є процеси карпогенезу - формування і росту плодів. Внаслідок посиленого галуження стебла під впливом препарату закладалася більша кількість квітів і плодів - коробочок, внаслідок чого акцепторна ємність цієї сфери рослини зростала. Наслідком цих змін було більш інтенсивне використання неструктурних вуглеводів на формування і ріст плодів саме у варіанті з трептолемом. Оскільки в цей період процеси вегетативного росту вже не відбуваються, конкуренція за асиміляти між плодами та зонами вегетативного росту відсутня і весь потік асимілятів спрямований на формування плодів, що і викликало зменшення вмісту неструктурних вуглеводів у вегетативних органах.

У фазу цвітіння в коренях та листках рослин відмічався і найбільший вміст азоту, який під час формування і росту плодів реутилізувався на процеси карпогенезу. При цьому використання азоту вегетативних органів рослин маку на формування коробочок більш інтенсивно йшло у варіанті з трептолемом. Більш низький вміст фосфору у листках, а також калію у вегетативних органах маку олійного відмічався також у цьому варіанті досліді. Таким чином, застосування препарату сприяло більш інтенсивній реутилізації сполук азоту, фосфору і калію на процеси формування плодів. Отже, вегетативні органи можливо розглядати не лише як проміжне депо асимілятів вуглеводної природи, але і як тимчасове вмістилище сполук азоту та елементів живлення. Посилений потік асимілятів, азотовмісних сполук та елементів живлення призводив до зростання урожайності культури, що проявилось у збільшенні кількості коробочок, маси насіння в коробочці та маси окремої насінини.

Отримані результати дослідження свідчать також про певні зміни якісного складу насіння маку за дії препарату. Підтверджено, що існує певний корелюючий зв'язок між накопиченням олії та вмістом азоту: під впливом препарату збільшення вмісту олії та покращення її якості супроводжувалося зменшенням вмісту азоту в насінні. Важливим практичним результатом досліджень слід вважати встановлений факт зростання в насінні маку олійного вмісту алкалоїдів під впливом трептолему, що може становити інтерес для фармакологічної промисловості.

Отже, застосування в період бутонізації трептолему на культурі маку олійного призводить до підвищення урожайності культури внаслідок оптимізації морфологічної будови рослини, мезоструктурної організації листка та збільшення атрагуючого потенціалу внаслідок закладання і формування більшої кількості плодів.

Висновки

Застосування трептолему у фазу бутонізації призводить до підвищення продуктивності культури маку олійного і не призводить до накопичення залишкових кількостей препарату в насінні зверх дозволених норм. За дії препарату

відбувається корекція донорно-акцепторних відносин в рослині, яка реалізується через перерозподіл фотоасимілятів з вегетативного росту на потреби карпогенезу. Посилення ростових процесів на початку вегетації за дії трептолему призвело до інтенсивного формування більшої кількості листків, листової поверхні, оптимізації мезоструктури листків і збільшення депонованих у вегетативних органах запасу вуглеводів. Формування більш потужної акцепторної сфери пов'язане з посиленням галузнення стебла і, відповідно, закладкою більшої кількості плодів – основних акцепторів асимілятів в другу половину вегетації. Збільшення навантаження рослини плодами у рослин дослідного варіанту визначало і більш інтенсивний потік до них вуглеводів, азотовмісних сполук та елементів живлення, що в підсумку і забезпечило зростання урожаю насіння.


References

- Altintas, S. (2011). Effects of chlormequat chloride and different rates of prohexadione–calcium on seedling growth, flowering, fruit development and yield of tomato. *African Journal of Biotechnology*, 10(75), 17160–17169, doi: 10.5897/AJB11.2706.
- AOAC (2010). Official Methods of Analysis of Association of Analytical Chemist International 18th ed. Rev. 3. 2010. Asso of Analytical Chemist. Gaithersburg, Maryland, USA.
- Bonelli, L.E., Monzon, J. P., Cerrudo, A., Rizzalli, R.H., Andrade, F. H. (2016). Maize grain yield components and source–sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Research*, 198, 215–225. doi:10.1016/j.fcr.2016.09.003.
- Davydyuk, P. P., Vartuzov, V. V., & Posilskiy, O. O. (2009). Mizhvidomcha metodyka doslidzhennya narkotychnyh zasobiv z roslin konopel' ta maku snotvornogo [Interdepartmental methodology for the study of narcotic drugs from hemp plants and opium poppies]. DNDEKID MVS Ukrainy, Kyiv (in Ukrainian).
- De Sousa Lima, G. M., Pereira M.C.T., Oliveira, M.B., Nietsche S., Mizobutsi G.P., Filho, W.M. (2016). Floral induction management in 'Palmer' mango using uniconazole. *Ciencia Rural*, 46 (8), 1350–1356. doi: 10.1590/0103–8478cr20150940.
- Carvalho M.E.A., Castro C.P.R., Castro F.M.V., Mendes A.C.C. (2016) Are plant growth retardants a strategy to decrease lodging and increase yield of sunflower. *Comunicata Scientiae*, 7(1), 154–164. doi: 10.14295/CS.v7i1.1286.
- Grytsayenko, Z. M., Ponomarenko, S. P., Karpenko, V. P., & Leontyuk, I. B. (2008). Biologichno aktyvni rehovyny v roslynnyctvi [Biologically active substances in plant growing]. NICHJAVA, Kyiv (in Ukrainian).
- Hedden, P., & Thomas, S. G. (2016). The Gibberellins. John Wiley & Sons. doi:10.1002/9781119210436
- Kasem, M. M., Abd El–Baset, M.M. (2015). Studying the Influence of Some Growth Retardants as a Chemical Mower on Ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Journal of Plant Sciences*, 3(5), 255–258. doi: 10.11648/j.jps.20150305.12
- Kendall, S.L., Storer, P.M. (2017). Berry Measuring canopy size and nitrogen content in oilseed rape for variable plant growth regulator and nitrogen fertiliser application. *Advances in Animal Biosciences*, 8, 299–302. doi: 10.1017/S2040470017000875
- Kiriziy, D.A., Stasyk, O.O., Pryadkina, G.A. Shadchyna, T.M. (2014). Fotosintez. T.2. Assimilyatsiya CO₂ i mehanizmy jejoy regulyatsii. Logos, Kiev. (in Russian)
- Koutroubas, S. D., Damalas, C. A. (2016). Morpho–physiological responses of sunflower to foliar applications of chlormequat chloride (CCC) (2016). *Bioscience Journal*, 32(6), 1493–1501. DOI: 10.14393/BJ–v32n6a2016–33007
- Kumar, S., Sreenivas, G., Satyanarayana, J., Guha, A. (2012). Paclobutrazol treatment as a potential strategy for higher seed and oil yield in field–grown *Camelina sativa* L. Crantz. *BSK Research Notes* 5(1), 1–13. doi: 10.1186/1756–0500–5–137
- Kuryata, V. G. (2009). Retardanty – modyfikatory gormonalnogo statusu roslin. Fiziologija roslin: problemy ta perspektyvy rozvytku. T.1. Logos, Kyiv (in Ukrainian).
- Lima, J.D., Ansante, N F., Nomura, E.S., Fuzitani, E.J., Modenese–Gorla, S., Eduardo Jun Fuzitani, E., Silvia, H.M. (2014). *Ciência Rural*, Santa Maria, 44(8), 1327–1333. doi: 10.1590/0103–8478cr20120586
- Ljung, K., Nemhauser, J.L., Perata, P. (2015). New mechanistic links between sugar and hormone signalling networks. *Current Opinion in Plant Biology*, 25, 130–137. doi: 10.1016/j.pbi.2015.05.022
- Macedo, W.R., Araujo, D. K., Santos, V.M., Camargo, G.M., Castroand, P.R. (2017). Plant growth regulators on sweet sorghum: physiological and nutritional value analysis. *Comunicata Scientiae*, 8(1), 170–175. DOI: 10.14295/CS.v8i1.1315
- Matsoukis, A., Gasparatos, D., Chronopoulou–Sereli A. (2015). Mepiquat chloride and shading effects on specific leaf area and K, P, Ca, Fe and Mn content of *Lantana camara* L. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27(1), 121–125. DOI: 10.9755/ejfa.v27i1.17450
- Mo, Z.W., Pan S.G., Kanu, A.S., Li, W., Duan, M.Y., Tang, X.R. (2016). Exogenous application of plant growth regulators induce chilling tolerance in direct seeded super and non–super rice seedlings through modulations in morpho–physiological attributes. *Cereal Research Communications*, 44(3), 524–534. doi: 10.1556/0806.44.2016.010
- Mohammad, N.K., Mohammad, F. (2013). Effect of GA₃, N and P ameliorate growth, seed and fibre yield by enhancing photosynthetic capacity and carbonic anhydrase activity of linseed. *Integrative Agriculture*, 12(7), 1183–1194. doi:10.1016/S2095–3119(13)60443–8
- Moreira, R.A., Moreira, R.C.A., Ramos, J.D., Silva, F.O.R. (2011). Regularidade da produção de tangerineiras ponkan submetidas ao raleio químico bianual. *Rev. Bras. Frutic*, 33(1), 20–26. doi:10.1590/S0100–29452011000500028
- Pobudkiewicz, A. (2014). Influence of growth retardant on growth and development of *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch. *Acta Agrobotanica*, 67(3), 65–74. doi: 10.5586/aa.2014.030
- Poprotska I.V. (2014). Zminy v polisakharydnomu kompleksy klitynykh stinok simiadolei prorostkiv harbuza za riznoi napruzhenosti donorno–aktseptornykh vidnosyn v protsesi prorostannia. *Fyziolohyia y byokhymyia kulturnykh pastenyi*, 46(3), 190–195. (in Ukrainian).
- Rademacher, W. (2016). Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. *Annual Plant*

- Reviews, 49, 359–403. doi: 10.1002/9781119312994.apr0541
- Rogach, V.V., Rogach, T.I. (2015). Vplyv syntetychnykh stymulyatoriv rostu na morfologichni harakterystyky ta biologichnu produktyvnist' kul'tury kartopli [Influence of synthetic growth stimulators on morphological and physiological characteristics and biological productivity of potato culture]. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.*, 23(2), 221–224 (in Ukrainian). doi:10.15421/011532
- Sugiura, D., Sawakami, K., Kojim, M., Sakakibara, H., Terashima, I., Tateno, M. (2015). Roles of gibberellins and cytokinins in regulation of morphological and physiological traits in *Polygonum cuspidatum* responding to light and nitrogen availabilities. *Functional Plant Biology*, 42(4), 397–409. doi.org/10.1071/FP14212.
- Watson, G., Hewitt, A. (2017). Fine root growth response to soil-applied nitrogen and paclobutrazol. *Arboriculture and Urban Forestry*, 43(1), 38–46.
- Yan, Y., Wan, Y., Liu, W., Wang, X., Yong, T., Yang, W. (2015). Influence of seed treatment with uniconazole powder on soybean growth, photosynthesis, dry matter accumulation after flowering and yield in relay strip intercropping system. *Plant Production Science*, 18(3), 295–301. doi.org/10.1626/pps.18.295.
- Yan, W., Yanhong, Y., Wenyu, Y., Taiwen, Y., Weiguo, L., Wang Xiaochun (2013). Responses of root growth and nitrogen transfer metabolism to uniconazole, a growth retardant, during the seedling stage of soybean under relay strip. *Communications in Soil Science and Plant Analysis Intercropping System*, 44(22), 3267–3280. doi: 10.1080/00103624.2013.840838.
- Yang, L., Yang, D., Yan, X., Cui, L., Wang, Z., Yuan, H. (2016). The role of gibberellins in improving the resistance of tebuconazole-coated maize seeds to chilling stress by microencapsulation. *Scientific Reports*, 6, 1–12. doi: 10.1038/srep35447
- Yu, S.M., Lo, S.F., Ho, T.D. (2015). Source–Sink Communication: Regulated by Hormone, Nutrient, and Stress Cross–Signaling. *Trends in plant science*, 20(12), 844–857. doi: 10.1016/j.tplants.2015.10.009
- Zhang, W., Xu, F., Hua, C., Cheng, S. (2013). Effect of chlorocholine chloride on chlorophyll, photosynthesis, soluble sugar and flavonoids of *Ginkgo biloba*. *Not Bot Horti Agrobo*, 41(1), 97–103. doi: 10.15835/nbha4118294

Citation:

Kuryata, V.G., Polyvanyi, S.V. (2018). Formation and functioning of source-sink relation system of oil poppy plants under treptolem treatment towards crop productivity. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 11–20.

 This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License
