

••• ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН ••• PLANT PHYSIOLOGY •••

DOI: 10.26565/2075-5457-2022-38-6
УДК: 58.035.4.576.356.581.142:633.34

Регуляція селективним світлом мітотичної активності кореневих меристем та ростових процесів проростків сої культурної з контрастною фотоперіодичною реакцією Є.Д. Батуєва, О.О. Авксентьєва

У роботі представлені результати дослідження впливу опромінення селективним світлом різного спектру – червоного (ЧС), 660 нм, зеленого (ЗС), 530 нм та синього (СС), 450 нм на проліферативну активність клітин кореневої меристеми, накопичення біомаси і ростові процеси в надземній та підземній частинах етіологованих проростків сої культурної. Як рослинний матеріал в роботі використовували контрастні за фотоперіодичною реакцією проростки сої культурної (*Glycine max* (L.) Merr.) двох сортів – короткоденного сорту Хаджибей та фотоперіодично-нейтрального сорту Ятрань. Стерилізоване насіння сої пророщували у чашках Петрі протягом 3-х діб в темряві за температури $22\pm 1^\circ\text{C}$, після чого проводили активацію фоторецепторних систем опромінення монохроматичним світлом різного спектру: червоним, зеленим та синім світлом щодня по 30 хвилин протягом 5-ти діб за допомогою LED матриць Коробова. Контрольні рослини культивували за тих же умов, але без опромінення селективним світлом. Відбір проб для аналізу проліферативної активності проводили у динаміці на – 6-ту, 7-ту та 8-ту добу експерименту, ростову реакцію проростків аналізували в кінці досліду – на 11-ту добу. Результати експериментів показали, що за опромінення селективним світлом різного спектру осьові органи проростків сої культурної реагують неоднаково: лінійні розміри надземної частини проростка більшою мірою залежать від дії ЧС, тоді як коренева система активніше реагує на дію СС. Надземна частина проростків за активації фітохромної системи шляхом опромінення ЧС змінює морфогенетичну програму розвитку зі скотоморфогенезу на фотоморфогенез. Водночас було показано, що опромінення усіма застосованими спектрами впливало на накопичення біомаси етіологованих проростків короткоденного сорту сої Хаджибей, тоді як у фотоперіодично нейтральної сої сорту Ятрань – лише опромінення ЧС. На кореневу меристему етіологованих проростків сої культурної сорту Хаджибей мало вплив опромінення ЧС та СС, тоді як проліферативна активність меристем коренів проростків сорту Ятрань більшою мірою залежала від дії СС та ЗС. Висловлюється припущення стосовно різного складу та активності фоторецепторних систем у проростків сої культурної з контрастною фотоперіодичною чутливістю, що проявляється у регуляції проліферативної активності меристем та ростових і морфогенетичних процесів.

Ключові слова: *Glycine max* (L.) Merr., фотоперіодична реакція, селективне світло ЧС (660 нм), ЗС (530 нм), СС (450 нм), фоторецептори, мітотичний індекс, біомаса, ростові процеси.

Цитування: Батуєва Є.Д., Авксентьєва О.О. Регуляція селективним світлом мітотичної активності кореневих меристем та ростових процесів проростків сої культурної з контрастною фотоперіодичною реакцією. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Біологія», 2022, 38, 53–61. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2022-38-6>

Про авторів:

Є.Д. Батуєва – Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, Харків, Україна, 61022, batiueva96@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-2532-7141>
О.О. Авксентьєва – Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, Харків, Україна, 61022, avksentyeva@karazin.ua, <http://orcid.org/0000-0002-3274-3410>

Подано до редакції: 10.04.2022 / Прорецензовано: 30.04.2022 / Прийнято до друку: 02.05.2022

Список скорочень: фотоперіодична реакція (ФПР), короткоденні рослини (КДР), фотоперіодично нейтральні рослини (ФПН), червоне світло (ЧС), зелене світло (ЗС), синє світло (СС), мітотичний індекс (МІ).

Вступ

Рослини, як організми, що ведуть прикріпленій спосіб життя, змушені узгоджувати свій ріст та розвиток з умовами навколишнього середовища, які постійно змінюються. Серед екологічних факторів, що діють на рослинний організм, найважливішим є світло, яке виступає не тільки основним джерелом для фотосинтезу, але й бере участь у регуляції процесів росту та розвитку рослин, також

виконує функцію координації морфогенетичних процесів (Franklin et al., 2003). Світло є багатогранним фактором, що характеризується якісними (широким діапазоном довжини хвилі) та кількісними параметрами (інтенсивністю, інтегральною добовою радіацією, фотоперіодом) (Zhong et al., 2012). Фоторецепторна система вищих рослин включає п'ять основних найбільш поширених типів ідентифікованих фотосенсорів. Серед них виділяють три фоторецептори СС/УФ А – криптохроми CRY1, CRY2 та CRY3 (або CRY DASH) (Mishra, Khurana, 2017), фоторецептори СС – фототропіни PHOT1 та PHOT2 (Briggs Christie, 2002), фоторецептори сімейства ZTL/FKF1/LKP2 (Schultz, 2006), фоторецептори ЧС/ДЧС – фітохроми PHY A-E (Wang, Haiyang, 2015), а також фоторецептор УФ В – UVR8 (Tilbrook et al., 2013).

За літературними даними, фітохром практично повністю контролює хід індивідуального розвитку рослин – починаючи від проростання насіння, закінчуючи цвітінням та плодоношенням (Kami et al., 2010; Quail, 2010; Wang, Haiyang, 2015). З фотоіндукованим утворенням активної форми фітохрому пов'язані різноманітні зміни у метаболізмі, диференціації клітин, активності ферментів, тропізмах, процесах росту та розвитку рослин. Під регуляторною дією фітохромів знаходяться такі процеси, як деетіляція (Zhong et al., 2012), проростання насіння деяких видів рослин (Quail, 2010), «синдром уникнення тіні» (Franklin, Whitelam, 2005), закладка листових примордіїв і розвиток листка, закладка квіткових бруньок і цвітіння тощо (Franklin, Quail, 2010). Фототропіни беруть участь у регуляції таких відповідей рослин на синє світло, як фототропізм, відкривання/закривання продихів, а також регуляції рухів хлоропластів в умовах слабкої освітленості або високої інтенсивності світла (Christie, 2007). Загалом вважається, що фототропіни беруть участь у процесах, пов'язаних з оптимізацією фотосинтезу та зменшенням ризику фотоушкоджень (Briggs, Christie, 2002). Криптохром виконує функцію основного активатора цвітіння у *Arabidopsis thaliana* (Christie et al., 2015). Також криптохроми активують експресію всіх генів фотосинтетичного апарату, білки яких кодуються в ядрі, а дія СС CRY1 викликає фотоморфогенез пластид клітин кореня (позеленіння коренів) (Mishra, Khurana, 2017). Як сенсори співвідношення СС/ЗС, при зниженні освітленості у синій області спектру криптохроми можуть викликати реакцію “уникнення тіні”, подібну до реакції, контрольованої фітохромами (Golovatskaya, Karnachuk, 2015). Таким чином, під контролем криптохромів перебувають циркадні ритми, індукція цвітіння, СС-залежний фотоморфогенез та інші функції рослин. Передбачається, що сімейство білків ZTL/FKF1/LKP2 (або ZEITLUPE/FLAVINBINDING, KELCH, FBOX1/LOV KELCH PROTEIN2) бере участь у регуляції добових ритмів та фотоперіодичності цвітіння (Weller, Ortega, 2015), контролюючи залежну від синього світла деградацію білків (Schultz, 2006). За літературними даними, ZTL контролює добові циркадні ритми, FKF1 контролює перехід до цвітіння, а LKP1 необхідний для обох процесів (Schultz, 2006). За деякими літературними даними, ЗС високої інтенсивності не лімітує процеси фотосинтезу, але активно регулює ростові процеси (Golovatskaya, Karnachuk, 2015). Зелене світло, як і червоне, регулює багато процесів життєдіяльності рослин: від проростання насіння до цвітіння (Golovatskaya, 2005). Крім того, ЗС, нарівні з СС, є одним із факторів, що контролюють реакції рослин при «синдромі уникнення тіні». Природа рецептора ЗС на даний момент залишається невивченою, проте передбачається одночасна участь у регуляторній ролі ЗС декількох фоторецепторів (CRY1–2, PHOT1–2, ZTL/FKF1/LKP2, PHYA–B та ін.), які неоднаково активовані цим світлом та взаємодіють між собою. Зокрема, показано залежну від світла взаємодію фоторецепторів CRY1 та PHYB (Golovatskaya, Karnachuk, 2015). Також було зроблено припущення про існування рецептора ЗС зеаксантинового типу (Hoang et al., 2014).

Для рослинного організму характерні видоспецифічні особливості в процесах росту та розвитку. З цього можна зробити висновок, що у рослин різних видів або різних екологічних груп можуть виявлятися специфічні особливості у сприйнятті, трансдукції та проявах ефектів активації фоторецепторних систем. Фотоперіод є одним із головних факторів зовнішнього середовища, який визначає тривалість вегетаційного періоду рослин і пов'язану з нею поширеність по зонах вирощування, продуктивність та якість урожаю (Zhmurko, 2009). В залежності від фотоперіодичної реакції (ФПР) виділяють наступні групи рослин: короткоденні рослини (КДР), в яких ФПР індукується, коли фотоперіод коротший, ніж критична довжина дня, довгоденні рослини (ДДР), в яких ФПР індукується, коли фотоперіод перевищує критичну довжину дня; нейтральноденні рослини (ФПН), що переходять до цвітіння одночасно за різної тривалості фотоперіоду. Рослини, що відрізняються за фотоперіодичною чутливістю по-різному реагують на активацію фітохромної системи червоним

світлом (Avksentieva, Batuieva, 2020), тому можна зробити припущення, що їхня реакція на активацію інших фоторецепторних систем селективним світлом також буде відрізнятися.

В основі активації процесів росту рослини на органічному рівні лежить стимуляція процесів клітинного росту, складовою якої є проліферативна активність меристеми. Саме мітотична активність визначає інтенсивність росту рослинного організму. Меристематичні тканини є найбільш чутливими і активно реагують на зовнішні впливи (Hopkins et al., 2002). Вважається, що будь-який неспецифічний вплив навколишнього середовища, зокрема вплив світла різного спектрального складу, може призвести до деяких змін життєдіяльності клітин, які відображає такий показник, як мітотичний індекс (Reichler et al., 2001). Передбачається, що індукція проліферації здійснюється за допомогою різних сигнальних систем, до яких можуть входити і фоторецепторні сигнальні системи.

Переважає більшість досліджень ефектів активації фоторецепторів була проведена з модельним об'єктом *Arabidopsis thaliana* (Franklin et al., 2003; Franklin, Quail, 2010; Zhong et al., 2012) та іншими рослинами, без урахування їх фотоперіодичної реакції. Це не дозволяє зробити висновки про роль фотоперіодичної реакції рослин в ефектах впливу селективного світла на процеси фотоморфогенезу.

Відповідно до цього, метою нашої роботи було дослідити вплив опромінення селективним світлом на проліферативну активність клітин кореневої меристеми та ростові процеси в надземній та підземній частинах проростків сої культурної в залежності від їх фотоперіодичної реакції.

Матеріали та методи

Рослинний матеріал. У якості рослинного матеріалу в роботі використовувались контрастні за фотоперіодичною реакцією рослини сої культурної (*Glycine max* (L.) Merr.) короткоденного сорту (КДР) Хаджибей та фотоперіодично нейтрального сорту (ФПН) Ятрань.

Дизайн дослідження. Насіння дослідних рослин стерилізували в 15%-ому розчині гіпохлориту натрію і 70%-ному етанолі та пророщували у чашках Петрі на зволоженому фільтрувальному папері у термостаті за температури 26°C у темряві протягом 3-х діб. Після чого проводили активацію фоторецепторних систем досліджуваних проростків опроміненням монохроматичним світлом різного спектру: червоним світлом (ЧС), 660 нм, зеленим (ЗС), 530 нм, та синім (СС), 450 нм, щодня по 30 хвилин протягом 5 днів за допомогою LED матриці. Контрольні рослини культивували за тих же умов без активації фоторецепторних систем селективним світлом. Відбір проб для аналізу проліферативної активності проводили на 6-ту, 7-ту та 8-ту добу експерименту. На 11-ту добу експерименту проводили аналіз ростової реакції проростків.

Проліферативна активність кореневих меристем. Інтенсивність поділу клітин кореневої меристеми визначали, аналізуючи мітотичний індекс (MI) за стандартною методикою. Фіксацію рослинного матеріалу – головного кореня проростків проводили у фіксаторі Кларка (96% етиловий спирт:крижана оцтова кислота (3 : 1)) протягом 24 годин за температури 0–3°C. Надалі проводили забарвлення ацетокарміном методом гарячого гідролізу і готували давлені тимчасові мікропрепарати за стандартною методикою. Препарати аналізували за допомогою світлового мікроскопа Мікромед XS-2610 при збільшенні $\times 400$, у кожному препараті проглядали не менш 5 полів зору у двох діагоналях, для кожного варіанту було проаналізовано не менше 1000 клітин. Мітотичний індекс (MI) розраховували як відношення клітин, які перебували у мета-, ана- і телофазі мітозу, до загальної кількості клітин у полі зору, що виражене у відсотках (Графа, 2018).

Аналіз ростової реакції. Ростову реакцію визначали за показниками лінійного росту, вимірюючи загальну довжину проростка, довжину надземної і підземної частин, та за накопиченням біомаси осьовими органами проростка, що виступає показником ростових і біосинтетичних процесів. Вимірювання проводили, аналізуючи в кожному варіанті по 15–20 проростків.

Статистичний аналіз. Було проведено 3 біологічні серії експериментів, статистичний аналіз отриманих даних проводили за допомогою пакету програми Statistica 5.0. Істотність відмінностей між контрольними та дослідними варіантами визначали з використанням *t*-критерію Стьюдента за $p \leq 0,05$ з урахуванням поправки Бонфероні (Atramentova, Utevskaaya, 2008). В таблицях та на графіках наведені середні значення та їх стандартні похибки.

Результати та обговорення

Проліферативна активність. В апікальних меристемах головного кореня сої культурної сортів Хаджибей та Ятрань у віці 6–8 діб, як у контрольних, так і у дослідних проростках, MI був

невисоким: 0,97–2,83%, що може свідчити про низьку проліферативну активність, що виражається невеликою кількістю клітин, які перебували у мета-, ана- та телофазах мітотичного циклу (рис. 1).

За результатами дослідження у короткоденного сорту Хаджибей протягом експерименту спостерігається зниження МІ з 2,59% на 6-ту добу до 1,49% на 8-му добу. Це свідчить про поступове зниження проліферативної активності меристематичних клітин кореня. Опромінення ЧС та ЗС не призводило до суттєвих змін у динаміці МІ, лише на 7-му добу експерименту у рослинах, опроміненних ЧС, спостерігалось різке збільшення МІ, порівняно з контролем. Це може бути пояснено періодичними змінами проліферативної активності клітин зони поділу головного кореня, зумовленими генотиповими особливостями сорту. Різка зміна МІ на 7-му добу експерименту при опроміненні ЧС КДР проростків сої спостерігалась і у наших попередніх експериментах (Avksentieva, Vatueva, 2020). Водночас, при опроміненні СС спостерігалось значне зменшення МІ, порівняно з контролем, вже на 6-ту добу, та подальше зниження МІ з 1,84% на 6-ту добу експерименту до 1,09% на 8-му. Це свідчить про наявність деякої чутливості меристематичних клітин до синього спектру світла.

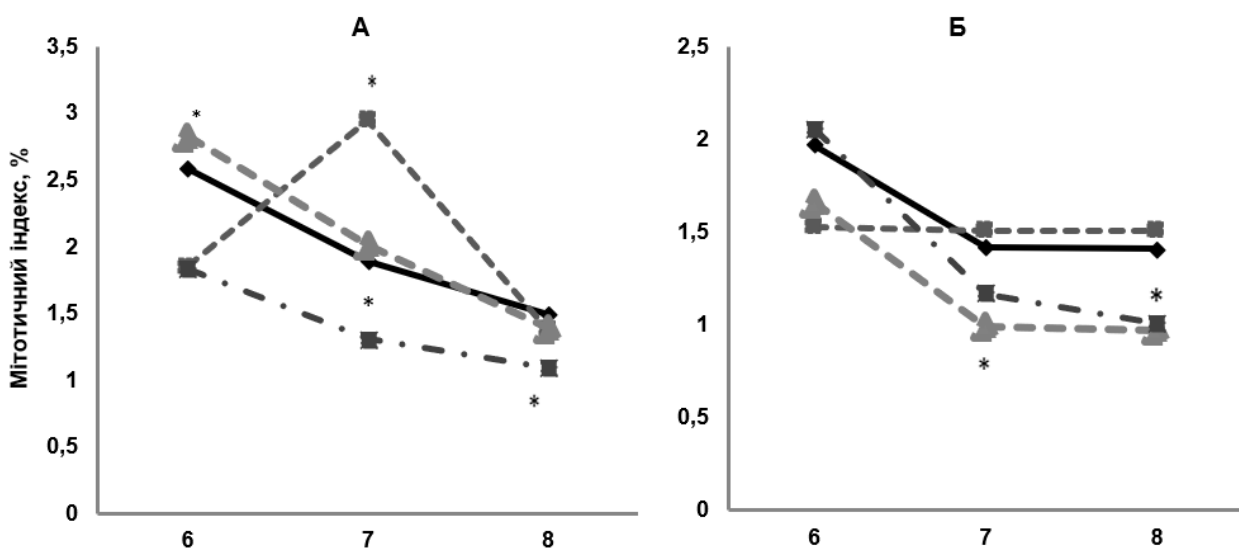


Рис. 1. Вплив опромінення селективним світлом на інтенсивність поділу клітин у апікальних меристемах коренів сої культурної КДР сорту Хаджибей (А) та ФПН сорту Ятрань (Б)
Контроль (б/о) —, ЧС (660 нм) —, ЗС (530 нм) —, СС (450 нм) —.

Примітка: * різниця з контролем істотна при $p \leq 0,05$

Fig. 1. The influence of selective light irradiation on the cell division rate in the apical meristems of the roots of SDP of Khadzhibey variety (A) and PPN of Yatran variety (B)

Control (b/o) —, RL (660 nm) —, GL (530 nm) —, BL (450 nm) —.

Note: * the difference with the control is significant at $p \leq 0.05$

При дослідженні фотоперіодично нейтрального сорту Ятрань протягом досліджуваного онтогенетичного періоду 6-8 діб спостерігалось незначне гальмування проліферативної активності меристематичних клітин апексу коренів у контрольних проростків. Опромінення ЧС на 6-ту добу призводило до зниження МІ, порівняно з контролем, але не призводило до подальшого зниження мітотичної активності протягом зазначеного онтогенетичного періоду. Це може свідчити не тільки про невисоку чутливість кореневих меристем фотоперіодично нейтральної сої до ЧС, але й про наявність деяких перешкод на шляху трансдукції сигналу з надземної частини проростку до кореневої частини. Опромінення СС призводило до суттєвого зниження МІ порівняно з контролем, майже у два рази, хоча на 6-ту добу різниця з контролем була неістотною. Ефект ЗС у меристематичних тканинах кореневої системи був схожий з ефектом СС. Це може бути пов'язано з роботою криптохромної системи, яка приймає участь у рецепції ЗС (Golovatskaya, 2005).

Таким чином, за результатами наших досліджень показано, що стимуляція проліферативної активності кореневих меристем відбувається за дії ЧС, опромінення яким призводить до

фотоактивації саме фітохромної системи – головної фоторецепторної системи рослинного організму. Стимулювання проліферації меристематичних клітин більшою мірою відбувається саме у фотоперіодично чутливих рослин – короткоденного сорту Хаджибей та за нашими попередніми дослідженнями (Avksentieva, Batueva, 2020) – довгоденного гороху посівного сорту Меценат. Фотоперіодично нейтральні рослини майже не реагують на дію ЧС. Опромінення СС світлом незалежно від фотоперіодичної чутливості дослідних рослин, навпаки, інгібує процеси проліферації клітин кореневих меристем, що також було показано іншими дослідниками (Hopkins et al., 2002).

Ростові показники. За результатами дослідження впливу селективного світла на ростові показники етіолованих проростків сорту Хаджибей, активація фоторецепторних систем суттєво впливала на масу надземної частини проростків (рис. 2А). Найбільший ефект мало опромінення ЗС, рецепція якого, можливо, відбувається за участі фітохромної та криптохромної систем. Порівняно до контролю спостерігалось збільшення маси надземної частини проростків також і при опроміненні синім світлом. Однак збільшення маси за опромінення СС було меншим, ніж те, яке відбувалося за опромінення ЗС. Це засвідчує, що, у етіолованих проростках сої сорту Хаджибей присутні у великій кількості криптохроми, фототропіни та, можливо, фітохроми, які сприймають хвилі застосованих спектрів.

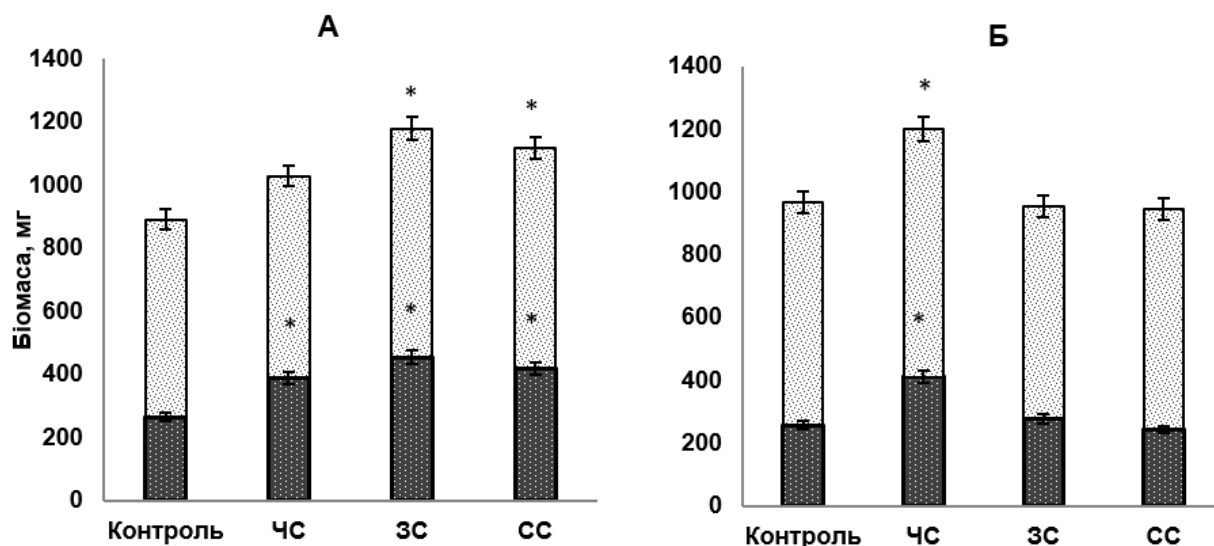






Рис. 2. Вплив опромінення селективним світлом на біомасу осевих органів проростків сої культурної КДР сорту Хаджибей (А) та ФПН сорту Ятрань (Б). Надземна частина , підземна частина 

Примітка: * різниця з контролем істотна при $p \leq 0,05$.

Fig. 2. The influence of selective light irradiation on the biomass of the axial organs of soybean seedlings of SDP of Khadzhibei variety (A) and PPN of Yatran variety (B). Above-ground part , underground part 

Note: * the difference with the control is significant at $p \leq 0.05$.

Ефекти опромінення селективним світлом на кореневу систему були іншими. Значне збільшення маси кореневої системи проростків спостерігалось при опроміненні світла усіх застосованих спектрів у дослідженні, але за рівнем прояву ефектів на біомасу коренів дію спектрів світла можна ранжувати наступним чином: ЗС>СС>ЧС. При цьому спостерігався більший вплив селективного світла на підземну частину, порівняно з надземною, ще дає підставу припустити, що надземна і підземна частина досліджуваних проростків відрізняються за вмістом фоторецепторів використаних спектрів та їх активністю, що має підтвердження у літературних даних (Kami et al., 2010).

Як на фотоперіодично нейтральний сорт, на сорт Ятрань селективне світло впливало менше, ніж на короткоденний сорт Хаджибей. За результатами дослідження дії селективного світла на

біосинтетичні процеси етіолованих проростків ФПН сорту Ятрань (рис. 2 Б) опромінення ЧС та ЗС призводило до зміни біомаси надземної частини, але у протилежних напрямках. Опромінення ЧС призводило до збільшення біомаси, порівняно з контролем, тоді як опромінення ЗС – до гальмування ростових процесів. Це дає підстави зробити припущення, що у надземній частині етіолованих проростків сорту Ятрань міститься велика кількість фітохромів, які й приймають участь у рецепції ЧС та ЗС.

Біомаса підземної частини проростків ФПН сорту Ятрань в основному залежала від ЧС, опромінення яким призводило до збільшення біомаси у 1,6 разів. Також до збільшення маси призводило опромінення ЗС, але у меншій мірі, а СС призводило до зменшення маси кореневої частини проростків.

Відомо, що саме фітохроми та криптохроми, фоторецептори ЧС та СС, приймають участь у запуску реакцій фотоморфогенезу. За літературними даними, у темряві реалізація фотоморфогенетичної програми блокується у тому числі і репресором фотоморфогенезу COP1. Активація фоторецепторів на світлі призводить до інгібування COP1 та його переміщення до цитоплазми, в результаті чого активатори фотоморфогенезу стають стабільними, накопичуються та починають регулювати транскрипцію світлочутливих генів (Smirnova et al., 2012).

На лінійні розміри надземної частини досліджуваних проростків сорту Хаджибей (рис. 3А) найбільший вплив мало опромінення ЧС, яке призводило до зменшення довжини пагону у півтора рази. Опромінення ЗС та СС призводило до незначного зменшення лінійних розмірів надземної частини. Це свідчить про наявність фітохромів, імовірно, саме фітохрому А (Kami et al., 2010), у етіолованих проростках, які запускають реакцію фотоморфогенезу: зупинку зростання гіпокотилу, розгортання сім'ядолів, позеленіння проростків і завершення розвитку фотосинтетичного апарату пластид.

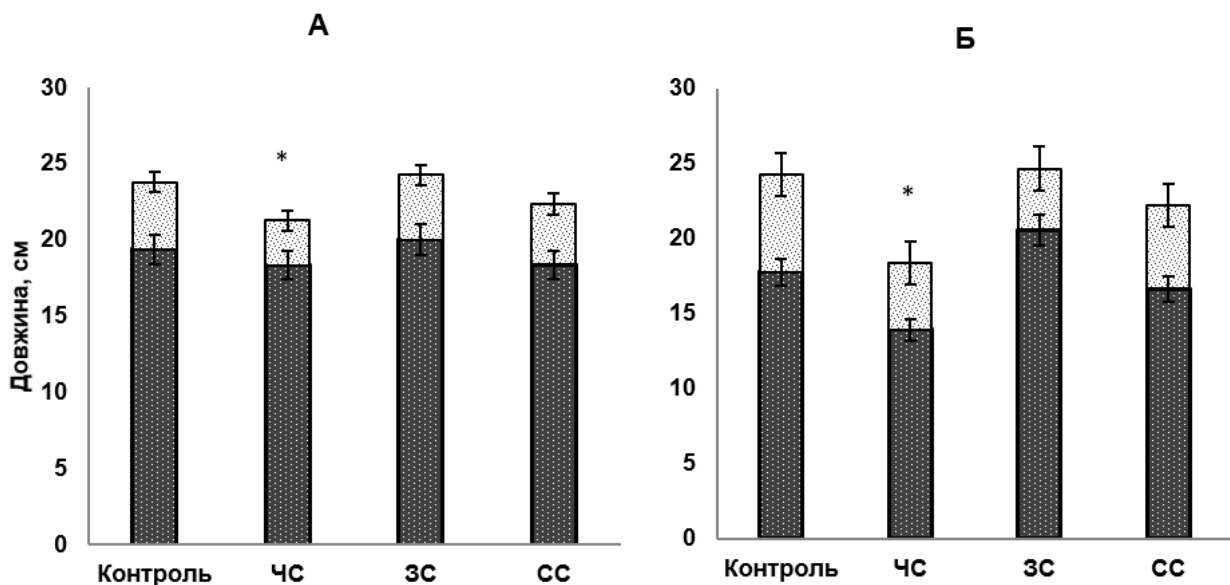






Рис. 3. Вплив опромінення селективним світлом на лінійні розміри осевих органів проростків сої культурної КДР сорту Хаджибей (А) та ФПН сорту Ятрань (Б). Надземна частина , підземна частина 

Примітка: * різниця з контролем істотна при $p \leq 0,05$.

Fig. 3. The influence of selective light irradiation on the linear measures of the axial organs of soybean seedlings of SDP of Khadzhibei variety (A) and PPN of Yatran variety (B). Above-ground part , underground part 

Note: * the difference with the control is significant at $p \leq 0.05$.

Опромінення ЧС та СС призводило також до деякого зменшення довжини і підземної частини проростків, тоді як опромінення ЗС призводило до незначного збільшення довжини, що свідчить про інший склад фоторецепторів у кореневій системі досліджуваних проростків.

Реакція етіолованих проростків сорту Ятрань на опромінення селективним світлом була аналогічною (рис. 3Б). Надземна частина зазнавала значного гальмування ростових процесів за впливу червоного та зеленого світла. СС також призводило до зменшення довжини надземної частини, але у меншій мірі. Коренева система реагувала дещо інакше. Активація фітохромної системи ЧС призводила до суттєвого зменшення довжини кореневої системи, тоді як ЗС впливало у протилежному напрямку: спостерігалось збільшення лінійних розмірів підземної частини на 16%. Тобто, як і при дослідженні проростків сорту Хаджибей, на лінійний ріст проростків сорту Ятрань суттєвий вплив мала активація фітохромної системи, але реакція надземної та підземної частин відрізнялася, що свідчить про різний склад фоторецепторних систем у асиміляційному апараті та коренях сої. Подібність реакцій на селективне світло проростків сортів Ятрань та Хаджибей може бути пояснена генотиповими особливостями виду.

Таким чином, за опромінення селективним світлом різного спектру – ЧС, ЗС та СС – було встановлено, що осьові органи проростків сої культурної реагують різним чином: лінійні розміри надземної частини проростка залежали від дії ЧС, тоді як коренева система реагувала ще й на СС. Надземна частина за активації фітохромної системи шляхом опромінення ЧС змінює програму розвитку із скотоморфогенезу на фотоморфогенез. Водночас було встановлено, що на накопичення біомаси етіолованих проростків КДР сої сорту Хаджибей мало вплив опромінення усіма застосованими спектрами, у той час коли на біомасу проростків ФПН сої сорту Ятрань значний вплив мало лише ЧС. Ростові процеси тісно пов'язані з проліферативною активністю меристематичних клітин. На кореневу меристему етіолованих проростків сої культурної сорту Хаджибей вплив мало опромінення ЧС та СС, тоді як активність меристем коренів проростків сорту Ятрань залежала від СС та ЗС.

Висновки

- На проліферативну активність кореневої системи проростків короткоденного сорту Хаджибей найбільший вплив мали ЧС та СС. Активність меристематичних клітин кореневої системи проростків фотоперіодично нейтрального сорту Ятрань залежить головним чином від СС та ЗС.
- Під впливом ЧС, ЗС та СС відбувалося стимулювання біосинтетичних процесів у етіолованих проростків короткоденного сорту Хаджибей, у етіолованих проростків ФПН сорту Ятрань збільшення біомаси відбувається тільки за дії опромінення ЧС.
- На лінійний ріст проростків сої культурної значний вплив має ЧС, запускаючи реакції фотоморфогенезу, що призводить до зменшення довжини проростків КДР сорту Хаджибей та ФПН сорту Ятрань.
- Зроблено припущення, що різна реакція надземної та підземної частин досліджуваних проростків обох сортів на опромінення селективним світлом може бути пов'язаною з різним складом та активністю фоторецепторів у цих органах.
- Показано, що етіоловані проростки короткоденного сорту сої Хаджибей є більш чутливими до дії різних спектрів опромінення в порівнянні з реакцією фотоперіодично нейтрального сорту Ятрань, що призводить до змін проліферативної активності кореневих меристем, ростових та біосинтетичних процесів.

Роботу виконано в рамках проекту фундаментального дослідження Міністерства освіти і науки України «Методологія дослідження біологічної природи фотоперіодичної чутливості рослин за використання комплексної системи генетичних, фізіологічних та біохімічних показників», номер держреєстрації 0118U002041.

References

Avksentieva O.A., Batiueva E.D. (2020). The effect of red light (660 nm) on proliferative activity and growth reactions in seedlings of plants with contrast photoperiodic reaction. The Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series «Biology», 34, 151–162. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2020-34-16> (in Ukrainian)

- Atramentova L.A., Utevskaia O.M. (2008). *Statistical methods in biology: textbook*. Gorlovka: Likhtar. 248 p. (in Russian)
- Briggs W.R., Christie J.M. (2002). Phototropins 1 and 2: versatile plant blue-light receptors. *Trends in Plant Science*, 7(5), 204–210. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02245-8](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02245-8)
- Christie J.M. (2007). Phototropin blue-light receptors. *Annual Review of Plant Biology*, 58(1), 21–45. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.58.032806.103951>
- Christie J.M., Blackwood L., Petersen J., Sullivan S. (2015). Plant flavoprotein photoreceptors. *Plant and Cell Physiology*, 56(3), 401–413. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcu196>
- Franklin K.A., Praekelt U., Stoddart W.M. et al. (2003). Phytochromes B, D, and E act redundantly to control multiple physiological responses in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 131(3), 1340–1346. <https://doi.org/10.1104/pp.102.015487>
- Franklin K. A., Whitelam G. C. (2005). Phytochromes and shade-avoidance responses in plants. *Annals of botany*, 96(2), 169–175. <https://doi.org/10.1093/aob/mci165>
- Franklin K. A., Quail P.H. (2010). Phytochrome functions in *Arabidopsis* Development. *Journal of Experimental Botany*, 61(1), 11–24. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp304>
- Golovatskaya I.F. (2005). The role of cryptochrome 1 and phytochromes in the control of plant photomorphogenetic responses to green light. *Russian Journal of Plant Physiology*, 52, 724–730 <https://doi.org/10.1007/s11183-005-0108-4>
- Golovatskaya I.F., Karnachuk R.A. (2015). Role of green light in physiological activity of plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 62, 727–740. <https://doi.org/10.1134/S1021443715060084>
- Graña E. (2018). Mitotic Index. In: A. Sánchez-Moreiras, M. Reigosa (eds). *Advances in Plant Ecophysiology Techniques*. Springer, Cham., 231–240. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93233-0_13
- Hoang H.H., Sechet J., Bailly C. et al. (2014). Inhibition of germination of dormant barley (*Hordeum vulgare* L.) grains by blue light as related to oxygen and hormonal regulation. *Plant, Cell and Environment*, 37(6), 1393–1403. <https://doi.org/10.1111/pce.12239>
- Hopkins L., Bond M.A., Tobin A.K. (2002). Ultraviolet-B radiation reduces the rates of cell division and elongation in the primary leaf of wheat (*Triticum aestivum* L. cv Maris Huntsman). *Plant, Cell and Environment*, 25(5), 617–624. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00834.x>
- Kami C., Lorrain S., Hornitschek P., Fankhauser C. (2010). Light-regulated plant growth and development. *Current Topics in Developmental Biology*, 91, 29–66. [https://doi.org/10.1016/S0070-2153\(10\)91002-8](https://doi.org/10.1016/S0070-2153(10)91002-8)
- Mishra S., Khurana J.P. (2017). Emerging roles and new paradigms in signaling mechanisms of plant cryptochromes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 36(2), 89–115. <https://doi.org/10.1080/07352689.2017.1348725>
- Quail P.H. (2010). Phytochromes. *Current Biology*, 20 (12), 504–507. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.04.014>
- Reichler S.A., Balk J., Brown M.E. et al. (2001). Light differentially regulates cell division and the mRNA abundance of pea nucleolin during de-etiolation. *Plant Physiology*, 125(1), 339–350. <https://doi.org/10.1104/pp.125.1.339>
- Schultz T.F. (2006). The ZEITLUPE family of putative photoreceptors. *Handbook of photosensory receptors*. Ed. W.R. Briggs, J.L. Spudich. Germany: Wiley VCH. 337–347. <https://doi.org/10.1002/352760510X.ch16>
- Smirnova O.G., Stepanenko I.L., Shumny V.K. (2012). Mechanism of action and activity regulation of COP1, a constitutive repressor of photomorphogenesis. *Russian Journal of Plant Physiology*, 59, 155–166. <https://doi.org/10.1134/S102144371202015X>
- Tilbrook K., Arongaus A.B., Binkert M. et al. (2013). The UVR8 UV-B Photoreceptor: perception, signaling and response. *Arabidopsis book*, 11, 11:e0164. <https://doi.org/10.1199/tab.0164>
- Wang H., Haiyang H. (2015). Phytochrome signaling: time to tighten up the loose ends. *Molecular Plant*, 8(4), 540–551. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2014.11.021>
- Weller J.L., Ortega R. (2015). Genetic control of flowering time in legumes. *Front. Plant Sci., Sec. Plant Genetics and Genomics*, 6, 207. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00207>
- Zhmurko V.V. (2009). Photoperiodism of plants: physiological, biochemical and genetic aspects. *Physiology of plants: problems and prospects of development*. K.: Logos. P. 537–564. (in Ukrainian)
- Zhong S., Shi H., Xue C. et al. (2012). A molecular framework of light-controlled phytohormone action in *Arabidopsis*. *Current Biology*, 22(16), 1530–1535. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.06.039>

Regulation of the mitotic activity of root meristems and growth processes of soybean seedlings with a contrasting photoperiodic response by selective light Y.D. Batiueva, O.O. Avksentieva

The present paper concerns the influence of selective light irradiation of various spectrums – red (RL, 660 nm), green (GL, 530 nm), and blue (BL, 450 nm) on the proliferative activity of root meristem cells, biomass accumulation, and growth processes in the above-ground and underground parts of etiolated soybean seedlings. Seedlings of the soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) of two varieties, contrasting in photoperiodic reaction, the short-day variety Khadzhibeï and the photoperiodic-neutral variety Yatran, were used as plant material. Sterilized soybean seeds were germinated in Petri dishes for three days in darkness at 22±1°C. After that, their photoreceptor system was activated by irradiation with monochromatic light of red, green, and blue spectrums for five days, 30 minutes daily, with the use of Korobov LED matrices. Control plants were cultivated under the same conditions but without selective light exposure. Samples for the proliferative activity analysis were taken in dynamics on the 6th, 7th, and 8th days of the experiment. The seedlings' growth reaction was analyzed at the end of the experiment, on the 11th day. The experiments showed that axial organs of soybean seedlings react in different ways when exposed to selective light of various spectrums: linear measures of the seedlings' above-ground part largely depend on the RL impact, while the root system reacts more actively to the BL impact. Under activation of the phytochrome system with RL, the above-ground part of seedlings changes its morphogenetic development program from scotomorphogenesis to photomorphogenesis. At the same time, biomass accumulation in the etiolated seedlings of the short-day Khadzhibeï variety was influenced by irradiation with all the applied spectra; the biomass of photoperiodic-neutral soybean seedlings of the Yatran variety was affected only by RL. The root meristem of etiolated soybean seedlings of the Khadzhibeï variety was sensitive to both RL and BL irradiation, while that of the seedlings of the Yatran variety reacted to a greater extent to the BL and GL exposure. Based on the results obtained, we suppose that soybean seedlings with contrasting photoperiodic sensitivity have different compositions and activity of photoreceptor systems. It is manifested in regulation of the meristem proliferative activity, growth, and morphogenetic processes.

Key words: *Glycine max* (L.) Merr., photoperiodic reaction, selective light, RL (660 nm), GL (530 nm), BL (450 nm), photoreceptors, mitotic index, biomass, growth processes.

Cite this article: Batiueva Y.D., Avksentieva O.O. Regulation of the mitotic activity of root meristems and growth processes of soybean seedlings with a contrasting photoperiodic response by selective light. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Biology"*, 2022, 38, 53–61. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2022-38-6>. (In Ukrainian)

About the authors:

Y.D. Batiueva – V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Square, 4, Kharkiv, Ukraine, 61022, batuyeva96@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-2532-7141>

O.O. Avksentieva – V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Square, 4, Kharkiv, Ukraine, 61022, avksentyeva@karazin.ua, <http://orcid.org/0000-0002-3274-3410>

Received: 10.04.2022 / Revised: 30.04.2022 / Accepted: 02.05.2022

List of abbreviations: photoperiodic response (PPR), short-day plants (SDP), photoperiodically neutral plants (PPN), red light (RL), green light (GL), blue light (BL), mitotic index (MI).