



УДК [582.683.2.04+582.683.2.04] : 577.15

ВПЛИВ РЕГОПЛАНТУ І СТИМПО НА АКТИВНІСТЬ ФЕРМЕНТІВ АНТИОКСИДАНТНОГО ЗАХИСТУ В ПРОРОСТКАХ *HELIANTHUS ANNUUS* L. І *BRASSICA NAPUS* L. ЗА РОСТУ НА СУБСТРАТАХ ПОРОДНОГО ВІДВАЛУ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

С. Ю. Макогоненко, В. І. Баранов, О. І. Терек

Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна
e-mail: mcsofia@ukr.net

Досліджено вплив оптимальних концентрацій гіберелової кислоти й нових регуляторів росту Стимпо і Регопланту на активність ферментів антиоксидантного захисту – пероксидази, каталази і поліфенолоксидази, а також вміст пероксиду водню та суми фенолів у проростків *Helianthus annuus* L. і *Brassica napus* L. за їхнього росту на витяжках субстратів породного відвалу вугільних шахт. За впливу досліджуваних регуляторів було виявлено збільшення активності пероксидази і зменшення активності поліфенолоксидази. Вміст фенольних сполук знижувався завдяки підвищеній активності пероксидази. Між активністю каталази та вмістом пероксиду водню спостерігали зворотну залежність, і напрям змін активності каталази та вмісту пероксиду водню залежав від кислотності породних субстратів, на яких вирощувалися проростки. Отримані результати свідчать про зміни активності антиоксидантних ферментів за оптимальних для росту концентрацій регуляторів росту і перспективність їхнього застосування для стимуляції росту рослин під час фіторекультивациі породних відвалів.

Ключові слова: Стимпо, Регоплант, гіберелова кислота, субстрати породних відвалів вугільних шахт, *Helianthus annuus* L., *Brassica napus* L.

ВСТУП

У районах видобутку природних ресурсів, зокрема, вугілля, дуже актуальною вважається проблема їхньої рекультивациі, однією із важливих складових якої є фіторекультивациа [14, 27]. Породний відвал вугільних шахт Центральної збагачувальної фабрики (ЦЗФ) та сусідні відвали шахт Червоноградського гірничодобувного району (ЧГПР) є одними з найбільших забруднювачів цієї місцевості, оскільки їхні ґрунтові субстрати (породи) мають кислу реакцію, містять важкі метали (ВМ) та інші ксенобіотики в дозах, що на кілька порядків перевищують гранично допустимі концентрації [3, 19, 34]. Тому одним із найважливіших завдань фіторекультивациі породних відвалів є підбір стійких до цих умов рослин, для кращої адаптації яких варто застосовувати добрива та регулятори росту, які можуть підвищувати їхню стійкість [12, 16, 27, 29, 32].

У наших попередніх роботах було вивчено роль куничника, очерету і ріпаку для фітомеліорації субстратів відвалів вугільних шахт ЧГПР [4–6] як фіторемедіантів важких металів та за умови підживлення їх капсульованими добривами. Водночас досить важливим є вивчення впливу регуляторів росту як для прискорення росту рослин і наростання біомаси, так і для вивчення такого питання як можлива нейтралізація ними оксидативного стресу. Важливими показниками нейтралізації оксидативного стресу є активність ферментів, вміст їхніх субстратів і продуктів діяльності.

У технологічному центрі “Агробіотех” було створено два препарати: Регоплант і Стимпо, які є регуляторами росту (РР) 3 покоління з широким спектром дії та біозахисним ефектом. Основа їхньої дії ґрунтується на синергізмі продуктів культивування грибів-мікроміцетів із кореневої системи женьшеню й аверсектину – продукту життєдіяльності бактерії *Streptomyces avermectilis*, що позитивно впливає на фізіологічні показники рослин за росту на звичайних ґрунтах, а також здатність підвищувати їхню стійкість у разі стресу [1, 16], що на сьогодні досліджено мало. Як відомо із літературних джерел, соняшник (*Helianthus annuus* L.) і ріпак (*Brassica napus* L.) можуть рости за дії певних концентрацій окремих ВМ і акумулювати їх [12, 13, 15], однак як буде змінюватись їхній метаболізм за умов комплексної дії цих металів та інших несприятливих едафічних факторів у субстратах породних відвалів і за впливу регуляторів росту, було невідомо. Стійкість рослин до дії стресових чинників, зокрема, ВМ, у багатьох випадках визначається станом систем детоксикації АФК, яку проводить система антиоксидантного захисту. Ця система представлена високомолекулярними та низькомолекулярними антиоксидантами і включає ферменти каталазу, пероксидазу і поліфенолоксидазу [21]. Проте навіть у разі активної дії системи антиоксидантного захисту вона не забезпечує стовідсоткового захисту, оскільки ферменти розташовані в різних тканинних структурах і компартментах, мають різну субстратну специфічність і спорідненість до АФК, і лише за дії певних стресових чинників і ушкодження мембран органодів клітини вони можуть взаємодіяти між собою [11, 20, 33]. Рослини упродовж життєвого циклу піддаються різноманітним стресорам, на які відповідають комплексом адаптаційних змін, що залежить від фізіологічного стану, інтенсивності і тривалості стресової дії [25, 28]. Саме це відбувається на ґрунтах, забруднених ВМ, які здатні спричинити хвороби як рослин, так і людей, що проживають поблизу гірничовидобувних районів [34]. Метою нашої роботи було дослідити вплив Стимпо і Регопланту, порівняно з класичним регулятором росту гібереловою кислотою, на активність ферментів антиоксидантного захисту і вмісту пероксиду водню та суми фенольних сполук у проростків *Helianthus annuus* L. і *Brassica napus* в умовах росту на субстратах породного відвалу ЦЗФ.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У попередніх дослідженнях нами було вивчено вплив різних концентрацій РР на ріст проростків соняшнику і ріпаку. Наприклад, для гіберелової кислоти оптимальною виявилася концентрація у 10 мг/л, для Стимпо – 0,1 мл/л (ріпак) і 0,5 мл/л (соняшник), для Регопланту 0,25 мл/л (ріпак) і 0,1 мл/л (соняшник). Насіння замочували у розчинах регуляторів росту вищевказаних оптимальних концентрацій на 1 год, промивали дистильованою водою, пророщували у темному термостаті за 22 °С протягом трьох діб, після чого висаджували на чорний (неперегорілий) і червоний (перегорілий) субстрати породного відвалу ЦЗФ. Їхній ріст тривав 14 діб за денного освітлення. Визначення активності пероксидази, каталази, поліфенолокси-

дази (ПФО) та вмісту пероксидази водню і фенолів проводили на 15 добу. Активність пероксидази визначали фотометричним методом із гваяколом згідно з [8] за довжини хвилі 450 нм і обчислювали в у.о./мг білка. Активність каталази визначали фотометричним методом згідно з [23] за зміною оптичної густини реакційної суміші за довжини хвилі 410 нм та обчислювали в у.о./мг білка. Поліфенолоксидазну активність вимірювали спектрофотометричним методом згідно з [8] за 590 нм протягом 10 хв і обчислювали в у.о./мг білка/с. Вміст пероксидази водню вимірювали згідно з [26] за інтенсивністю забарвлення, додаючи $Ti(SO)_4$ за 410 нм. Кількість пероксидази водню визначали у мг/г маси сирової речовини. Вміст фенолів визначали згідно з [37] за оптичною густиною супернатанту з реактивом Фоліна–Деніса та Na_2CO_3 на КФК – 3 за довжини хвилі 725 нм. Кількість фенолів визначали у мг/г маси сирової речовини. Вміст пероксидази водню та суми фенольних сполук визначали у надземній частині проростків. Кількісна вибірка була 3-кратною. Для статистичної обробки даних використовували програми Statist і Exel [40].

РЕЗУЛЬТАТИ І ЇХНЕ ОБГОВОРЕННЯ

Рослини *Helianthus annuus* L. і *Brassica napus* L., які є відносно стійкими до несприятливих едафічних умов [4, 12, 13], були випробувані нами для можливого використання їх під час фіторекультивациі субстратів ЦЗФ, а застосування регуляторів росту за цих умов могло збільшити їхню стійкість [2, 13, 32].

У стресових умовах, зокрема, за росту на технозомах, у рослини активується діяльність антиоксидантної системи [22, 38], що підвищує захисні реакції рослин і сприяє посиленню процесів їхньої життєдіяльності. Тому було досліджено вплив регуляторів росту на активність ферментів пероксидази, каталази, вмісту пероксидази водню та фенольних сполук за росту проростків на субстратах порід відвалу (табл. 1, 2).

За дії всіх регуляторів росту під час вивчення активності пероксидази і каталази, які беруть участь у контролі вмісту пероксидази водню, виявилися певні тенденції до змін їхньої активності (табл. 1).

У проростків соняшнику за дії РР на обох субстратах і за росту на садовому ґрунті активність пероксидази зростала, порівняно з абсолютним контролем (садовий ґрунт), що зумовлювало збільшення переносу кисню з певних субстратів на пероксид водню. У проростків ріпаку спостерігали збільшення активності пероксидази на садовому ґрунті за дії всіх РР, тоді як на субстратах відвалу її активність знижувалася, за винятком дії Регопланту на червоному субстраті.

Відомо, що пероксид водню в рослинах у надлишкових кількостях є шкідливим, у відповідь на це активується система антиоксидантного захисту, зокрема, ферменти пероксидази і каталази. Зменшення активності каталази та збільшення активності пероксидази та вмісту пероксидази водню у проростків соняшнику й ріпаку за їхнього росту на садовому ґрунті було показником підвищення за дії РР інтенсивності фізіолого-біохімічних реакцій [31].

У проростків соняшнику на червоній породі відбувалося збільшення активності пероксидази і незначне – каталази, що приводило до зменшення вмісту пероксидази. За росту на червоній породі у проростків ріпаку спостерігали зниження активності пероксидази, збільшення активності каталази і зменшення вмісту пероксидази (табл. 1).

Як вказано в роботі [24], накопичення АФК, зокрема, пероксидази водню за дії стресорів може бути зумовлене не лише підвищенням активності АФК-генеруючих

Таблиця 1. Визначення активності пероксидази та каталази і вмісту перексиду водню у проростків

Table 1. Determination of activity of peroxidase and catalase and content of hydrogen peroxide in seedlings

Варіант	Активність пероксидази, у.о./мг білка	Активність каталази, мМоль H ₂ O ₂ /хв/мг білка	Вміст перексиду водню, мг/г сирової маси
<i>Helianthus annuus</i> L.			
Садовий ґрунт (С. ґ.)	0,05±0,01	0,44±0,03	1,45±0,05
С. ґ.+ ГК.10 мг/л	0,06±0,01	0,47±0,02	0,67±0,04
С. ґ. + Стимпо (С) 0,5 мл/л	0,09±0,02	0,28±0,03	1,73±0,02
С. ґ. + Регоплант (Р) 0,1 мл/л	0,11±0,01	0,21±0,01	1,46±0,01
Червоний субстрат (Чер. с.)	0,15±0,01	0,26±0,08	1,96±0,01
Чер. с. + ГК. 10 мг/л	0,15±0,01	0,26±0,03	1,56±0,04
Чер. с. + С 0,5 мл/л	0,18±0,01	0,26±0,02	1,40±0,07
Чер. с. + Р 0,1 мл/л	0,20±0,01	0,31±0,01	1,50±0,07
Чорний субстрат (Ч. с.)	0,17±0,02	0,29±0,01	1,96±0,17
Ч. с. + ГК. 10 мг/л	0,22±0,01	0,27±0,01	2,42±0,13
Ч. с. + С 0,5 мл/л	0,23±0,01	0,24±0,01	2,51±0,04
Ч. с. + Р 0,1 мл/л	0,21±0,01	0,29±0,01	2,71±0,02
<i>Brassica napus</i> L.			
Садовий ґрунт (С. ґ.)	0,06±0,01	0,37±0,01	1,26±0,05
С. ґ.+ ГК.10мг/л	0,07±0,01	0,27±0,01	1,82±0,08
С. ґ. + Стимпо (С) 0,1 мл/л	0,10±0,01	0,19±0,01	1,30±0,07
С. ґ.+ Регоплант (Р) 0,25 мл/л	0,17±0,01	0,20±0,02	1,28±0,10
Червоний субстрат (Чер. с.)	0,48±0,02	0,57±0,01	1,25±0,03
Чер. с. + ГК. 10 мг/л	0,42±0,02	0,87±0,01	1,22±0,06
Чер. с. + С 0,1 мл/л	0,40±0,01	0,95±0,02	1,24±0,06
Чер. с. + Р 0,25 мл/л	0,50±0,01	1,15±0,01	1,23±0,06
Чорний субстрат (Ч. с.)	0,61±0,01	0,85±0,01	1,38±0,03
Ч. с. + ГК 10 мг/л	0,41±0,01	0,62±0,03	1,47±0,07
Ч. с. + С 0,1 мл/л	0,41±0,01	0,52±0,01	1,52±0,04
Ч. с. + Р 0,25 мл/л	0,45±0,02	0,44±0,01	1,50±0,03

Примітки: * С. ґ. – садовий ґрунт; С – Стимпо; Р – Регоплант; Чер. с. – червоний субстрат; Ч. с. – чорний субстрат; ГК – гіберелова кислота

Comments: * С. ґ. – garden soil; С – Stimpo, Р – Regoplant; Чер. с. – red substrate; Ч. с. – black substrate, ГК – gibberellic acid

ферментів, а й зниженням активності антиоксидантних ферментів, наприклад, каталази, яка чутлива до дії багатьох несприятливих чинників, зокрема, кислотності, що було виявлено у проростків за росту на чорному субстраті. Саме таку реакцію активності ферментів спостерігали у проростків соняшнику на чорному субстраті, який мав більшу кислотність, а саме: зростала активність пероксидази, однак за дії більш низького рН спостерігали зниження активності каталази [39], що зумовлювало збільшення вмісту перексиду водню. Що ж до ріпаку, то було виявлено зниження активності обох ферментів. Можливо, це свідчить про виконання перексидом подвійної функції [20, 17, 36, 38]: безпосередньої ініціації ним інтенсивного окислювального стресу, який може спричиняти смерть клітин рослин, і дії цієї сполуки як сигнальної

молекули, що індукує фізіолого-біохімічні реакції та сприяє підвищенню стійкості організму [24, 31]. Тобто зростання його вмісту у проростках за дії регуляторів росту на чорному субстраті можна розглядати, як адаптивну реакцію проростків рослин на менш сприятливі умови середовища [22, 30]. Збільшення кислотності чорної породи та сильніший негативний вплив важких металів, розчинність яких, а отже, і надходження в рослини, підвищується зі зниженням рН цього середовища, також вірогідно вплинули на підвищений вміст пероксиду водню [13, 10, 39]. Здебільшого ж у проростках соняшнику і ріпаку, які росли на субстратах відвалу за дії РР, між активністю ферментів і вмістом пероксиду водню простежували зворотну закономірність.

Таблиця 2. Визначення активності поліфенолоксидази та вмісту фенолів

Table 2. Determination of the activity of polyphenoloxidase and the content of phenols

Варіант	Активність поліфенолоксидази, у.о./мг білка	Вміст фенолів, мг/г сирової маси
<i>Helianthus annuus L.</i>		
Контроль – садовий ґрунт (С. ґ.)	0,73±0,02	3,69±0,02
С. ґ. + ГК 10 мг/л	0,35±0,01	4,02±0,02
С. ґ. + Стимпо (С) 0,5 мл/л	0,39±0,03	4,11±0,02
С. ґ. + Регоплант (Р) 0,1 мл/л	1,24±0,06	4,18±0,04
Червоний субстрат (Чер. с.)	1,63±0,03	5,24±0,08
Чер. с. + ГК 10 мг/л	0,53±0,04	4,24±0,01
Чер. с. + С 0,5 мл/л	0,45±0,02	4,56±0,05
Чер. с. + Р 0,1 мл/л	0,95±0,04	5,04±0,09
Чорний субстрат (Ч. с.)	1,59±0,09	6,20±0,04
Ч. с. + ГК 10 мг/л	1,00±0,02	5,22±0,05
Ч. с. + С 0,5 мл/л	0,88±0,04	5,67±0,08
Ч. с. + Р 0,1 мл/л	1,26±0,08	5,88±0,03
<i>Brassica napus L.</i>		
Контроль – садовий ґрунт (С. ґ.)	1,96±0,02	3,81±0,03
С. ґ. + ГК 10 мг/л	1,40±0,01	4,00±0,02
С. ґ. + Стимпо (С) 0,5 мл/л	0,79±0,02	4,15±0,04
С. ґ. + Регоплант (Р) 0,1 мл/л	0,95±0,02	4,33±0,07
Червоний субстрат (Чер. с.)	3,88±0,02	5,50±0,09
Чер. с. + ГК 10 мг/л	1,16±0,04	4,44±0,08
Чер. с. + С 0,5 мл/л	0,70±0,03	4,69±0,08
Чер. с. + Р 0,1 мл/л	1,05±0,01	4,97±0,09
Чорний субстрат (Ч. с.)	3,14±0,02	6,25±0,05
Ч. с. + ГК 10 мг/л	0,64±0,02	5,37±0,01
Ч. с. + С 0,5 мл/л	0,65±0,02	5,77±0,08
Ч. с. + Р 0,1 мл/л	0,57±0,01	6,00±0,09

Примітки: С. ґ. – садовий ґрунт; С – Стимпо; Р – Регоплант; Чер. с. – червоний субстрат; Ч. с. – чорний субстрат; ГК – гіберелова кислота

Comments: С. ґ. – garden soil; С – Stimpo; Р – Regoplant; Чер. с. – red substrate; Ч. с. – black substrate; ГК – gibberellic acid

До ферментів антиоксидантного захисту належить і поліфенолоксидаза, активність якої, а отже, і вміст фенольних сполук як субстратів для окиснення, залежать від кислотності (табл. 2). Визначення активності поліфенолоксидази та

вмісту фенолів ґрунту, що зумовлює як зміну активності цього ферменту, так і зміну вмісту його субстратів [22, 9], однак як буде змінюватись її активність на різних субстратах відвалу за впливу РР, було також невідомо, тому наступним етапом досліджень стало вивчення активності поліфенолоксидази та сумарного вмісту фенольних сполук (табл. 2).

Як виявилось, за дії вищої кислотності на чорній породі активність ПФО була відповідно більш низькою, по-друге, її активність у проростків на породах за дії регуляторів росту також знижувалась, одночасно зі зниженням вмісту фенольних сполук, що, на перший погляд, виглядає аномальним. Поясненням цього може бути, на наш погляд, зміна коензимного складу поліфенолоксидази з одночасною зміною її активності [7], але радше підвищеною активністю пероксидази, субстратом якої також можуть бути фенольні сполуки. Отже, загалом за дії досліджених регуляторів росту спостерігають такий можливий перебіг реакцій: у разі підвищення активності пероксидази знижується вміст її субстратів, тобто фенольних сполук, що зумовлює передачу кисню на пероксид водню і тим самим – до підвищення або зниження активності каталази (залежно від рН середовища) за незначної активності поліфенолоксидази [18]. Вказані зміни активності ферментів антиоксидантного захисту і вмісту фенольних сполук та пероксиду водню за дії регуляторів росту, на наш погляд, є адаптивними реакціями рослин на несприятливі умови середовища, що покращує ріст рослин, а отже, і їхню стійкість, у цих умовах [35, 20, 21].

ВИСНОВКИ

Отже, виявлено специфіку впливу оптимальних для росту концентрацій РР на зміну активності ферментів системи антиоксидантного захисту у проростків соняшнику та ріпаку. Виявлений зв'язок ензимів антиоксидантного захисту із вмістом фенольних сполук і пероксидом водню, що, вочевидь, збільшує стійкість рослин до оксидативного стресу в умовах росту на витяжках субстратів породного відвалу вугільних шахт.

1. Babayants A.V., Gritsenko Z.M., Ponomarenko S.P. **Biostimulators (growth regulators) of plants**. Kyiv: ISTC Agrobiotech, 2013–2014. P. 3–15. (In Ukrainian).
2. Bakun V.R., Kovalska O.R., Patsula O.I. The protective role of treptolem in rape and sunflower plants for the action of lead ions. **Digest of theses IV International sciences conf. students and graduate students “Youth and the progress of biology”**. Lviv, 2008. P. 373–374. (In Ukrainian).
3. Baranov V.I. Ecological description of the waste heap of coal mines of the CEP JSC “Lviv-systemenergo” as an object for planting greenery. **Visnyk of Lviv University. Biological Series**, 2008; 46: P. 172–178.
4. Baranov V.I., Gavrilyak M.Ya., Telegus Ya.V. Changes in the content of sulfur, free amino acids and protein in rapeseed plants, fertilized with encapsulated fertilizers on substrates of a coal dumps waste mine. **Studia Biologica**, 2010; 4(1): 53–62. (In Ukrainian).
5. Baranov V., Beshley S., Telegus Y. Some biochemical indices of the adaptation of the calcareous rootstock (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) to the conditions of the edaphops of coal mines dams. **Visnyk of Lviv University. Biological Series**, 2012; 58: 292–299. (In Ukrainian).
6. Baranov V.I., Knysh I.M., Blida I.A. et al. Orchid ordinary – phytoreemedient of heavy metals in drainage ditches of waste heaps of coal mines. **Studia Biologica**, 2012; 6(1): 93–100. (In Ukrainian).
7. Bilchuk V.S., Vinnichenko O.M., Shupranova L.V. The activity and isoenzymatic composition of corn seedlings polyphenoloxidase under the influence of lead ions and cadmium. **Visnyk of Dnipropetrovsk University**, 2002; 10(2): 120–126. (In Ukrainian).

8. *Boyarkin A.N.* A quick method for determining the activity of peroxidase and polyphenol oxidase (modified) **Proceedings of the Institute of Plant Physiology of the USSR Academy of Sciences**, 1954; 8(2): 398–403. (In Russian).
9. *Chechuy O. F.* The content of phenolic compounds in the *Glicine max* L. seed in germination under the conditions of oxidative stress caused by the influence of ions of cobalt and cadmium. **Visnyk of Uzhgorod University. Biological Series**, 2011; 30: 197–200. (In Ukrainian).
10. *Dovganich N.V.* Activity of catalase and peroxidase of leaves of celandine in the zone of influence of the Burshtyn thermal power plant. **Archive of Clinical Medicine**, 2014; 1: 23–26. (In Ukrainian).
11. *Garifzianov A.P., Zhukov N.N., Ivanishchev V.V.* Physical Formation and Oxygen Reactions of Active Oxygen Formations in Plant Cells. **Modern Problems of Science and Education**, 2011; 2. 0421100037M3037. (In Russian).
12. *Gashchyshyn V.R., Patsula O.I., Terek O.I.* Influence of zinc and copper ions on the content of hydrogen peroxide and activity of catalase and peroxidase of plants *Brassica napus* L. **Ukraine Botanical Journal**, 2012; 69(5): 743–750. (In Ukrainian).
13. *Gashchyshyn V.R., Patsula O.I., Terek O.I.* Accumulation of heavy metals in *Brassica napus* L. and *Helianthus annuus* L. under the influence of zinc salts and growth regulator of treptolem. **Physiology of Plants and Genetics**. Lviv, 2014; 46 (4): 343–350. (In Ukrainian).
14. *Genik Ya.V.* Disturbed territories of Lviv region and ways of their phytomelioration and recultivation. **Visnyk of Kyiv National Taras Shevchenko University**, 2008; 18(10): 22–26. (In Ukrainian).
15. GOST 12038-84. Methods for determining the germination and germination energy. Seeds of agricultural crops. **Publishing Standards**. Moscow, 1984; 1: 57. (In Ukrainian).
16. *Gritsenko Z.M., Ponomarenko S.P.* et al. **Biologically active substances in crop production**. Uman, 2008; 179–191. (In Ukrainian).
17. *Jaspers P., Kangasjarvi J.* Reactive oxygen species in abiotic stress signalling. **Physiol. Plant**, 2010; 138: 405–413. (In English).
18. *Juk I.V., Dmitriev O.P., Lisova G.M.* The role of peroxidase in the formation of induced resistance of wheat plants using immunomodulators. **Factors of Experimental Evolution of Organisms**, 2016; 18: 81–84. (In Ukrainian).
19. *Knish I. B. Kharkevich V.V.* The distribution of the content of chemical elements in the rocks of the heaps of the Chervonohrad mining and industrial district. **Visnyk of Lviv University. Geological Series**, 2003; 17: 148–158. (In Ukrainian).
20. *Kolupaev Yu.E., Karpets Yu.V.* Formation of adaptive plant responses to the action of abiotic stressors. **Basis**. Kyiv, 2010; 351. (In Ukrainian).
21. *Kolupaev Yu.E., Karpets Yu. V., Obozny A. I.* Antioxidant system of plants: participation in cellular signaling and adaptation to the action of stressors. **Visnyk of Kharkiv National Agrarian University. Biological Series**, 2011; 1: 6–34. (In Russian).
22. *Kolupaev Yu.E., Oboznii O.I.* Active forms of oxygen and antioxidant system at cross-adaptation of plants to the action of abiotic stressors. **Visnyk of Kharkiv National Agrarian University. Biological Series**, 2013; 3: 18–31. (In Ukrainian).
23. *Korolyuk M.A., Ivanova L.I., Mayorova I.G., Tokarev V. E.* Method for determining the activity of catalase. **Laboratory Business**, 1988; 1: 6–19. (In Russian).
24. *Kreslavsky V.D., Los' D.A., Allahverdiev S.I., Kuznetsov V.I.* The Signal Role of Active Oxygen Forms in Stress in Plants. **Physiology of Plants**, 2012; 59(2): 63–178. (In Russian).
25. *Kurganova L.N., Veselov A.P., Sinitsina Yu.V., Elikova E.A.* Products of peroxidation of lipids as potential intermediaries between the effects of elevated temperature and the development of stress - reaction of plants. **Plant Physiology**, 1999; 46(2): 218–222. (In Russian).
26. *Kuznetsova V.I., Kuznetsova V.V., Romanov G.A.* Molecular-genetic and biochemical methods of modern plant biology. **Methods in Biology. Laboratory of Knowledge**. Moscow, 2012. 487 p. (In Russian).
27. *Lukina N.V., Chibrik T.S., Glasyrina M.A., Filimonova E.I.* Biological recultivation and monitoring of disturbed land industry. **Biological Systems**. Yekaterinbourg, 2008; 6(2): 256. (In Russian).
28. *Merzlyak M.N.* Activated oxygen and oxidative processes in plant cell membranes. **Itogi Nauki i Tekhniki. Plant Physiology Series**, 1989; 6: 167. (In Russian).

29. Olynyk O., Furman V.M., Solodka T.M., Vakulenchuk S.I. Study of the effectiveness of pre-seed treatment of seeds by growth stimulators of plants. **Journal of the National University of Water Management and Nature Management**, 2013; 4(64): 112–118. (In Ukrainian).
30. Rossikhina-Galich G.S., Likholat Yu.V., Sergey O.I., Grigoryuk I.P. Activity of enzymes of catalase and peroxidase in leaves and roots of seedlings of maize genotypes under the influence of soil herbicides and drought. **Scientific Reports of the National University of Biore-sources and Nature Management of Ukraine**, 2015; 6. (In Ukrainian).
31. Sichkar S.V., Korobkova K.S. Activity of oxidative enzymes of plant cells in conditions of experimental mycoplasmosis. **Microbial Journal**, 2011; 73(2): 38–43. (In Ukrainian).
32. Smetanin V.I. Land reclamation: a review of technologies. **Ecology and Industry of Russia**, Moscow, 2004; 42–45. (In Russian).
33. Tarchevsky I.A. Signal systems of plant cells. **Science**, Moscow, 2002; 294. (Russian).
34. Trachtenberg I. **Experience in studying the biogeochemical province of one of the mining regions of Western Ukraine: A book on poisons and poisonings. Sketches of toxicology**. Kiev: Naukova Dumka, 2000. P. 213–225. (In Russian).
35. Voytsekhivska O.V., Sitar O.V., Taran N. Yu. Phenolic compounds: diversity, biological activity, prospects of application, **Visnyk of Kharkiv University. Biological Series**, 2015; 1(34): 104–119. (In Ukrainian).
36. Vranova E., Inze D., Breusegem F. Signal transduction during oxidative stress, **J. Exp. Bot**, 2002; 53: 1227–1236.
37. Zaprometov M.N. **Biochemical methods in plant physiology**. Moscow: Science, 1971. 191 p. (In Russian).
38. www.sworld.com.ua/konferm1/306.pdf
39. cpo.stu.cn.ua/Oksana/harch_himia_lekcii/730.html
40. lib.chmnu.edu.ua/pdf/posibnuku/210/3.pdf

THE INFLUENCE OF THE REGOPLANT AND STIMPO ON THE ACTIVITY OF ANTIOXIDANT PROTECTION ENZYMES IN THE *HELIANTHUS ANNUUS* L. AND *BRASSICA NAPUS* L. GROWTH ON THE SUBSTRATIONS OF THE WET RECOVERY OF COAL MINE

S. Yu. Makogonenko, V. I. Baranov, O. I. Terek

*Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskiyi St., Lviv 79005, Ukraine
e-mail: mcsofia@ukr.net*

The influence of optimal growth rates of G.A. and new growth regulators of Stimpo and Régoplant on the activity of antioxidant protection enzymes – peroxidase, catalase and polyphenol oxidase, as well as the content of hydrogen peroxide and phenols in the seedlings of *Helianthus annuus* L. and *Brassica napus* L. due to their growth on extracts from the substrates of the waste heap of coal mines. At influence the studied regulators on plants revealed increased activity of peroxidase, decreased activity of catalase and polyphenoxidase and increased content of hydrogen peroxide. The content of phenolic compounds decreased due to increased activity of peroxidase. The obtained results indicate the changes in the activity of antioxidant enzymes at optimal growth concentrations and their promising application for stimulating plant growth during phy-torecultivation treatment of the waste heaps.

Keywords: Stimpo, Régoplant, gibberellic acid, substrates of coal mines, *Helianthus annuus* L., *Brassica napus* L.

Одержано: 16.12.2017