

**ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ
ВИСОКОЇ НАПРУГИ НА КІЛЬКІСНІ ПОКАЗНИКИ ФОТОСИНТЕЗУЮЧИХ
ПІГМЕНТІВ ПОКРИТОНАСІННИХ РОСЛИН****Л. Маргітай, О. Волошин, В. Рошко, А. Крон***Ужгородський національний університет**вул. Волошина, 32, Ужгород 88000, Україна**e-mail: kafentom@univ.uzhgorod.ua, margitaj@mail.ru*

Електромагнітне поле ліній електропередач високої напруги виступає як чітко виражений екологічний фактор впливу на перебіг асиміляційних процесів у покритонасінних рослин. Інтенсивність синтезу хлорофілу *a*, *b* і каротиноїдів достовірно зменшується в умовах хронічного електромагнітного стресу з підвищенням напруженості електромагнітного поля ліній електропередач високої напруги.

Ключові слова: хронічний електромагнітний стрес, хлорофіл *a*, хлорофіл *b*, каротиноїди.

Електромагнетизм як фізичне явище постійно присутній у біосфері протягом всього періоду її розвитку. Електричне і магнітне поля Землі, електромагнітне поле космічного походження й атмосферний електромагнетизм виявляли і виявляють свій вплив на всі без винятку живі організми планети. Але протягом останнього століття розвинувся, поширився і набув високої інтенсивності новий екологічний фактор антропогенного походження – електромагнітне поле (ЕМП) ліній електропередач (ЛЕП) високої напруги промислової частоти. У зв'язку з цим напруженість ЕМП у зонах дії ЛЕП високої напруги зростає порівняно з природним фоном у сотні й тисячі разів. Неперервний, інтенсивний розвиток енергетики визначає створення густої мережі ЛЕП, загальна протяжність якої постійно зростає. А це означає, що величезні площі суходолу і, відповідно, різноманітні екосистеми з притаманними їм біологічними угрупованнями зазнають незвичайного екологічного впливу з важкопрогнозованими біологічними наслідками.

Наші пошуки у рамках вивчення впливу ЕМП ЛЕП високої напруги на рослинні організми [1, 13] були спрямовані на виявлення типових і закономірних реакцій покритонасінних рослин на дію досліджуваного фактора. Попередні результати цих досліджень дозволяють стверджувати, що зазначений антропогенний фактор діє як активний інгібітор. У цьому плані вивчення асиміляційних структур рослин, і перш за все пігментів (хлорофілів та каротиноїдів) – головних фоторецепторів рослинних клітин, має важливе значення для аналізу взаємодії рослин з умовами середовища та дослідження адаптації їх до різних факторів [10, 15]. Пігментний склад фотосинтетичного апарату формується залежно від генотипу, екологічних умов і стадії розвитку рослини [12]. Вивчення вмісту фотосинтезуючих пігментів може бути корисним для оцінки екологічного стану місця зростання рослин, аналізу взаємодії рослини з умовами довкілля, аналізу реакції рослин на зміну умов вегетації, дослідження передумов потенційної продуктивності різних видів рослин.

У конкретному випадку досліджувалися показники пігментного складу (хлорофіл *a*, хлорофіл *b*, каротиноїди) у вегетуючих зелених органах, характерних для низинних лучних екосистем, трав'янистих рослин, які ростуть в умовах хронічного електромагнітного стресу. Зазначені параметри об'єктивно характеризують особливості перебігу фізіологічних процесів у рослинах і можуть слугувати індикаторним показником стану екологічних умов.

Дослідження впливу електромагнітного поля ліній електропередач високої напруги на кількісні показники пігментного складу покритонасінних рослин ми проводили в умовах польового експерименту (2007 р.) у зоні дії ЛЕП "Західноукраїнська – Альбертірша" з напругою 750 кВ. Відбір матеріалу здійснювали в околицях с. Ірлява Ужгородського району Закарпатської області на низинній суходільній луці, що характеризується слабо порушеним різнотравним рослинним угрупованням. Дослідна ділянка періодично використовується як пасовище. Об'єкти вивчення впливу ЕМП ЛЕП підбирали з позиції їх доступності та зручності для досліджень і як такі, що є характерними для місцевих рослинних формацій. Важливою умовою тут виступає зростання аборигенних видів рослин у зоні дії ЕМП ЛЕП постійно, тобто у стані хронічного електромагнітного стресу.

Для виявлення фізіологічних реакцій рослинних організмів на досліджуваний екологічний фактор антропогенного походження і для оцінки його інтенсивності збір матеріалу та відбір проб здійснювали на п'яти стандартних віддальх від ЛЕП:

– безпосередньо під ЛЕП, у місці найнижчого провисання дротів (напруженість ЕМП – 20,6 кВ/м);

– на віддалі 50 м від ЛЕП (2,6 кВ/м);

– на віддалі 100 м від ЛЕП (0,21 кВ/м);

– на віддалі 150 м від ЛЕП (0,05 кВ/м);

– на віддалі 200 м від ЛЕП (0,01 кВ/м).

Вказані віддалі підібрані нами довільно, але з урахуванням можливості аналізу впливу різних напруженостей електромагнітного поля ліній електропередач на живі компоненти екосистем (чим менша віддаль до ЛЕП, тим вища напруженість ЕМП). Віддаль у 200 м слугувала контролем, оскільки на такій віддалі виявляються лише фонові значення електромагнітного поля.

Об'єктивність польового експерименту забезпечувалась одноманітністю рослинності на всіх досліджуваних віддальх і одноманітністю мікрорельєфу в межах лучної екосистеми. Задані умови вибору пробних ділянок дозволяли урівняти переважну сукупність екологічних факторів, які діють на кожній ділянці досліджуваної площі (структура ґрунту, вологість ґрунту, температура ґрунту, відсутність мікропонижень поверхні ґрунту, де постійно збирається тала і дощова вода, приблизно однакова кількість рослин на одиницю площі та ін.). Усе це дало можливість виділити електромагнітне поле ЛЕП як окремих, добре виражений фактор впливу на покритонасінні рослини і водночас нівелювати сукупність побічних (супутніх) екологічних факторів впливу на досліджувані компоненти екосистем і фіксувати ЕМП як чітко виражений первинний фактор.

Як досліджувані рослини для вивчення характеру накопичення хлорофілів і каротиноїдів були вибрані звичайні для суходільних карпатських лучних екосистем види покритонасінних із тривалим періодом вегетації: *Plantago lanceolata* L. (Plantaginaceae), *Crepis biennis* L. (Asteraceae), *Hieracium pilosella* L. (Asteraceae). Екземпляри рослин для лабораторних досліджень підбирали з типових місцезростань, однакові за розміром і стадією вегетації.

Вміст фотосинтезуючих пігментів досліджували спектрофотометричним методом. Наважки брали зі середньої за довжиною частини листової пластинки досліджуваних рос-

лин, причому використовували листки зі середини розетки, однакової просторової орієнтації. Екстракцію пігментів проводили 100% ацетоном за Д. І. Сапожниковим [11, 14].

Вимірювання оптичної густини здійснювали на спектрофотометрі СФ-46 при довжинах хвиль 440,5, 644 та 662 нм. Концентрацію пігментів розраховували за Холмом-Веттштейном [18]. Обчислення вмісту пігментів проводили відносно одиниці сирої маси листків рослин. Досліди виконували у п'ятикратній повторності. Статистичну обробку отриманих результатів здійснювали за методикою, запропонованою Л.Г. Маргітай, Б.М. Паляницею, О.І. Терек [6].

Принциповий підхід до оцінки впливу ЕМП ЛЕП високої напруги промислової частоти на фізіологічні процеси покритонасінних полягає у встановленні достовірної різниці окремих показників асиміляційної діяльності у рослин, що ростуть у зоні дії ЕМП з напруженістю від фонові до високої (понад 10 кВ/м) і дуже високої (понад 20 кВ/м). У такому широкому спектрі інтенсивності електромагнітного стресу можна очікувати чітких реакцій рослинного організму на вплив досліджуваного фактора антропоїчної природи. Якщо вказаний фактор виявляє реальний вплив на фізіологічні процеси, то кількісні показники продуктів життєдіяльності у рослин на різних віддальх від ЛЕП, тобто в умовах різної напруженості ЕМП, будуть відрізнятися і визначати характер впливу – негативний чи позитивний.

Проведений нами аналіз кількісних показників фотосинтезуючих пігментів рослин, що ростуть в умовах хронічного електромагнітного стресу, виявив їхнє значне варіювання в зоні активної дії ЛЕП високої напруги (див. таблицю).

Кількісні показники пігментів рослин із розрахунку на масу сирої речовини у зоні дії різних напруженостей ЕМП ЛЕП-750 кВ (15.09.2007 р., с. Ірлява; М±s; при n=5)

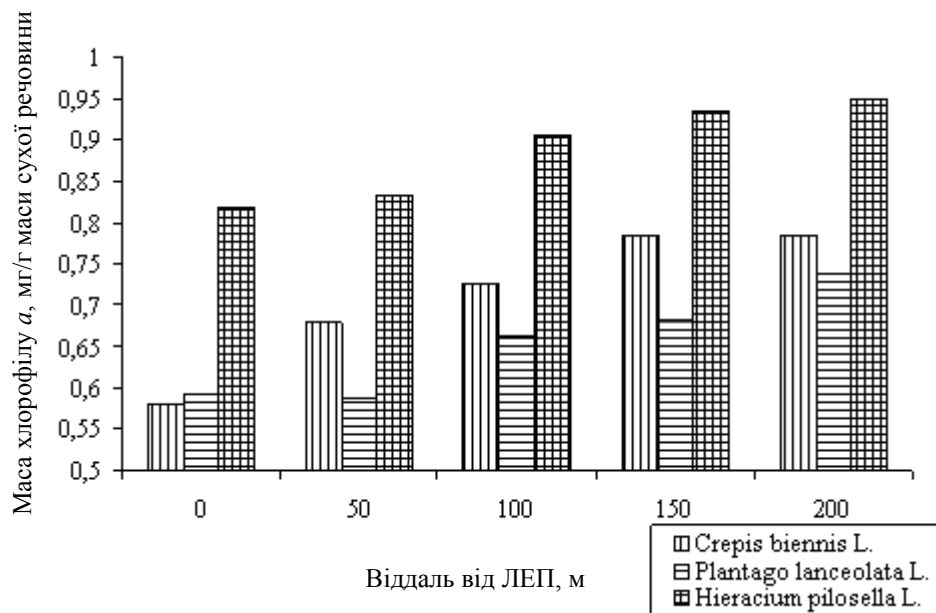
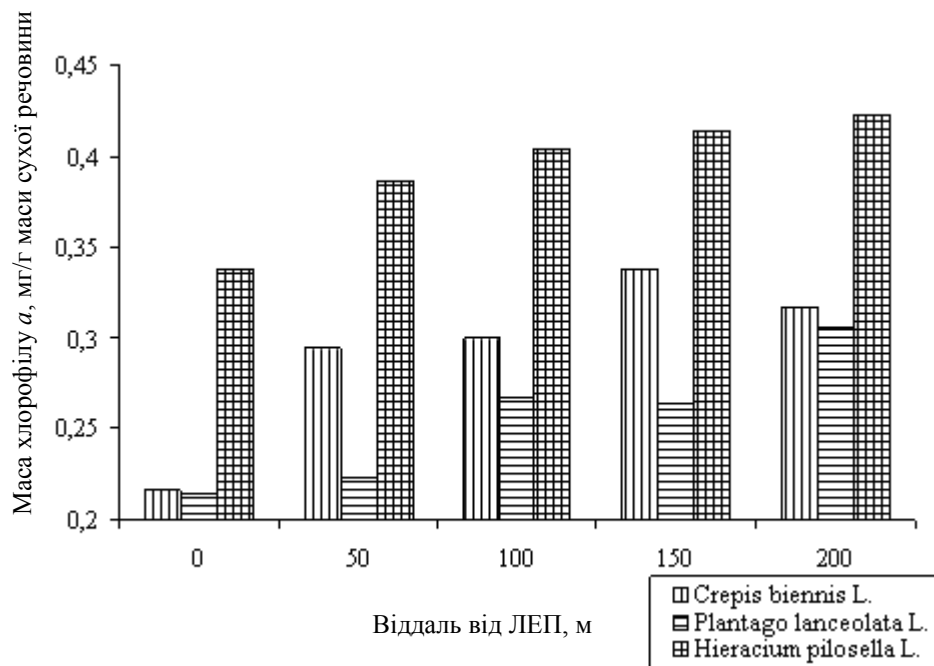
| Пігменти | Віддаль від ЛЕП, м | | | | |
|-------------------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 |
| <i>Crepis biennis</i> L. | | | | | |
| хлорофіл <i>a</i> (мг/г) | 0,580±0,069 | 0,679±0,104 | 0,728±0,051 | 0,786±0,136 | 0,786±0,121 |
| хлорофіл <i>b</i> (мг/г) | 0,216±0,012 | 0,294±0,050 | 0,300±0,028 | 0,338±0,061 | 0,317±0,046 |
| хлорофіл <i>a+b</i> (мг/г) | 0,797±0,081 | 0,974±0,154 | 1,028±0,072 | 1,124±0,196 | 1,103±0,167 |
| каротиноїди (мг/г) | 0,207±0,035 | 0,277±0,038 | 0,307±0,020 | 0,337±0,018 | 0,326±0,031 |
| <i>a/b</i> | 2,671±0,188 | 2,313±0,043 | 2,439±0,187 | 2,328±0,080 | 2,478±0,020 |
| <i>a+b/каротиноїди</i> | 3,891±0,363 | 3,533±0,430 | 3,344±0,084 | 3,318±0,395 | 3,377±0,213 |
| <i>Plantago lanceolata</i> L. | | | | | |
| хлорофіл <i>a</i> (мг/г) | 0,591±0,059 | 0,586±0,033 | 0,663±0,066 | 0,680±0,083 | 0,740±0,203 |
| хлорофіл <i>b</i> (мг/г) | 0,214±0,016 | 0,223±0,018 | 0,267±0,003 | 0,264±0,032 | 0,306±0,094 |
| хлорофіл <i>a+b</i> (мг/г) | 0,805±0,075 | 0,809±0,051 | 0,930±0,064 | 0,944±0,115 | 1,045±0,297 |
| каротиноїди (мг/г) | 0,205±0,015 | 0,235±0,036 | 0,267±0,047 | 0,227±0,030 | 0,251±0,053 |
| <i>a/b</i> | 2,749±0,072 | 2,626±0,062 | 2,483±0,272 | 2,577±0,050 | 2,443±0,093 |
| <i>a+b/каротиноїди</i> | 3,931±0,079 | 3,476±0,319 | 3,539±0,396 | 4,169±0,117 | 4,104±0,348 |
| <i>Hieracium pilosella</i> L. | | | | | |
| хлорофіл <i>a</i> (мг/г) | 0,818±0,021 | 0,833±0,145 | 0,907±0,073 | 0,934±0,007 | 0,949±0,184 |
| хлорофіл <i>b</i> (мг/г) | 0,338±0,025 | 0,386±0,054 | 0,404±0,032 | 0,414±0,024 | 0,423±0,030 |
| хлорофіл <i>a+b</i> (мг/г) | 1,156±0,045 | 1,219±0,199 | 1,312±0,068 | 1,348±0,027 | 1,372±0,184 |
| каротиноїди (мг/г) | 0,277±0,016 | 0,337±0,010 | 0,350±0,024 | 0,351±0,004 | 0,365±0,028 |
| <i>a/b</i> | 2,428±0,115 | 2,148±0,081 | 2,247±0,107 | 2,264±0,127 | 2,231±0,302 |
| <i>a+b/каротиноїди</i> | 4,179±0,073 | 3,602±0,489 | 3,559±0,093 | 3,837±0,111 | 3,795±0,300 |

Для всіх досліджуваних видів спостерігається чітка тенденція до зменшення хлорофілу *a*, хлорофілу *b* і каротиноїдів зі збільшенням напруженості ЕМП ЛЕП високої напруги, тобто в міру наближення до ЛЕП. Сума хлорофілів *a* і *b* у результатах наших дослідів підпорядковується такій самій закономірності. Діапазон змін вмісту хлорофілу *a* під впливом ЕМП для *Crepis biennis* L. становить 35,51%, для *Plantago lanceolata* L. – 26,28%, для *Hieracium pilosella* L. – 16,01%. Показник вмісту хлорофілу *b* змінюється в межах досліджуваних віддалей на 56,48% для *Crepis biennis* L., на 42,99% для *Plantago lanceolata* L. і на 25,15% для *Hieracium pilosella* L. Отримані нами кількісні параметри синтезу хлорофілів свідчать, що вміст хлорофілу *b* виявився лабільнішим в умовах активної дії ЕМП ЛЕП порівняно із вмістом хлорофілу *a*.

Вміст каротиноїдів змінюється під впливом ЛЕП високої напруги у ширшому діапазоні: для *Crepis biennis* L. на 62,8%, для *Plantago lanceolata* L. на 30,24% і для *Hieracium pilosella* L. на 31,77%. Виходячи з інтенсивності фізіологічної реакції досліджуваних рослин на дію електромагнітного стресу, найвища чутливість до ЕМП виявилась у *Crepis biennis* L., найнижча – у *Hieracium pilosella* L. На фоні приблизно однакової тривалості та загальної періодизації фенофаз цих видів рослин останній завершує цвітіння дещо раніше. Відповідно фізіологічна активність його на період відбору проб була трохи нижчою, ніж у решти видів. До певної міри нижчий діапазон розмаху показників фотосинтезуючих пігментів можна пояснити більшою затіненістю *Hieracium pilosella* L. у високотравному рослинному угрупованні лучної екосистеми. Хоча слід обумовити, що у всіх трьох видів нижні листки утворюють прикореневу розетку. Але висота *Plantago lanceolata* L. і *Hieracium pilosella* L. суттєво нижча, ніж у *Crepis biennis* L. Це свідчить про більш затінені умови їх зростання, що чітко підтверджується отриманими результатами вмісту пігментів.

Результати наших досліджень свідчать, що під впливом ЕМП ЛЕП високої напруги вміст хлорофілів і каротиноїдів достовірно зменшується (рис. 1-3). У такому випадку ЕМП виступає як стресовий фактор, що активно впливає на перебіг синтетичних процесів у зелених вегетуючих частинах вищих рослин. Виявлені нами негативні фізіологічні реакції рослинних організмів, що проявляються у зменшенні кількісних показників хлорофілів зі збільшенням напруженості ЕМП, підтверджуються відомостями про екологічний стрес [2, 5, 8, 9, 15, 16], одним із проявів якого є зменшення вмісту пігментів.

При розрахунку співвідношення між хлорофілами *a* і *b* ми отримали показники, близькі до 2,3, що свідчить про тіневитривалість досліджуваних видів рослин [3, 4, 7, 17]. З одного боку, ці види хоча формально і не належать до тіневитривалих (бо є компонентами відкритих лучних рослинних екосистем), характеризуються прикореневою листковою розеткою, що завжди перебуває в затіненні інших рослин лучного угруповання. А з іншого боку, зазначене співвідношення виявляє загальну тенденцію до збільшення, зі зростанням напруженості ЕМП ЛЕП. За літературними даними [3, 7], зростання показника співвідношення хлорофілу *a* і хлорофілу *b* відбувається при збільшенні світлолюбності рослин. У нашому випадку це можна пояснити тим, що під впливом ЕМП ЛЕП високої напруги спостерігається достовірне пригнічення росту [1] як інтегрального показника всіх фізіологічних процесів, котрі відбуваються у вищих рослин. Отже, високорослі рослини в зоні активної дії ЕМП відзначаються меншою висотою, ніж у нормі, і, відповідно, спричинюють менше затінення досліджуваних нами видів. Тому низькорослі рослини з прикореневою розеткою безпосередньо під ЛЕП високої напруги мають вищу інтенсивність освітлення, ніж у зоні меншого електромагнітного інгібуван-

Рис. 1. Динаміка накопичення хлорофілу *a* під впливом ЕМП ЛЕП-750 кВ.Рис. 2. Динаміка накопичення хлорофілу *b* під впливом ЕМП ЛЕП-750 кВ.

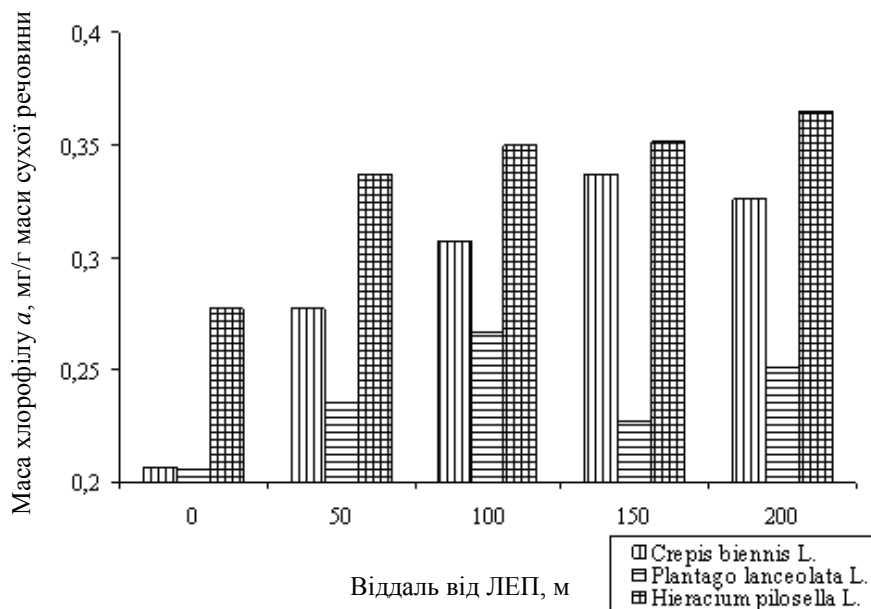


Рис. 3. Динаміка накопичення каротиноїдів під впливом ЕМП ЛЕП-750 кВ.

ня. Через це вони закономірно реагують підвищенням показника співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b*.

Отже, електромагнітне поле ЛЕП високої напруги промислової частоти виступає як чітко виражений екологічний фактор впливу на перебіг асиміляційних процесів у покритонасінних рослин.

Кількісні показники фотосинтезуючих пігментів в асиміляційних тканинах досліджуваних рослин корелюють з напруженістю ЕМП ЛЕП високої напруги.

Інтенсивність синтезу хлорофілу *a*, *b* і каротиноїдів достовірно зменшується із підвищенням напруженості ЕМП ЛЕП високої напруги.

1. Волошин О. І., Крон А. А., Рошко В. Г. Вплив електромагнітного поля ліній електропередач високої напруги на окремі морфологічні показники покритонасінних рослин // Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. біол. 2008. Т. 22. С. 118–121.
2. Вороб'єва Н. А., Зотикова А. П., Соболевская Ю. С. и др. Структура и функциональная активность листового аппарата сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) в субальпике // Физиология растений – наука III тысячелетия: Междунар. конф. М., 1999. Т. I. С. 33–34.
3. Гродзинский А. М., Гродзинский Д. М. Краткий справочник по физиологии растений. К.: Наук. думка, 1964. 388 с.
4. Дымова О. В., Далькэ И. В., Головки Т. К. Структурно-функциональная организация фотосинтетического аппарата теневыносливых растений // Физиология растений – наука III тысячелетия: Междунар. конф. М., 1999. Т. I. С. 355.
5. Кудінова О. В., Бойко М. І. Вміст пігментів та органічного вуглецю в інфікованих кореневою губкою проростках *Pinus sylvestris* L. // Укр. ботан. журн. 2005. Т. 62. № 2. С. 280–288.

6. *Маргітай Л., Паляниця Б., Терек О.* Аналіз результатів спектрофотометричного дослідження вмісту фотосинтезуючих пігментів у листках рослин із застосуванням комп'ютерних програм // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2006. Вип. 41. С. 123–131.
7. *Мережко О. І., Величко І. М.* Таємниці зеленої фабрики. К.: Наук. думка, 1990. 103 с.
8. *Михальський М. Ф., Ткачов В. І., Григорюк І. П., Ніколайчук В. І.* Зміни пігментного комплексу і відбиваючих властивостей в листках сортів озимої пшениці, індуковані полімерними формами цитокініну та ауксину в умовах посухи // Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. біол. 2000. № 7. С. 65–69.
9. *Морзун В. В., Григорюк І. П., Нижник Т. П.* Пігментний фонд хлоропластів в листках сортів картоплі за умов посухи та обробки полістимуліном К // Наук. записки Терноп. пед. ун-ту. Сер. біол. Спец. випуск: Фізіологія рослин. 2002. Т. 3. № 18. С. 180–186.
10. *Мусієнко М. М.* Фотосинтез: Навч. посібник. К.: Вища шк., 1995. 247 с.
11. *Мусієнко М. М., Паршикова Т. В., Славний П. С.* Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. К.: Фітосоціоцентр, 2001. 200 с.
12. *Прядкина Г. А., Дмитриева В. В.* Онтогенетические изменения содержания каротиноидов и ксантофиллов в листьях яровой пшеницы в зависимости от уровня азотного питания // Физиология и биохимия культ. растений. 2007. Т. 39. № 3. С. 212–219.
13. *Рошко В. Г., Роман В. В.* Вплив електромагнітного поля ліній електропередач на покритонасінні рослини // Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. біол. 1997. Т. 4. С. 122–128.
14. *Сапожников Д. И.* Пигменты пластид зелёных растений и методика их исследования. М.; Л., 1964. С. 78.
15. *Таран Н. Ю.* Каротиноїди фотосинтетичних тканин за умов посухи // Физиология и биохимия культ. растений. 1999. Т. 31. № 6. С. 414–422.
16. *Титаренко Т. Є., Кірізії Д. А., Кутаїв О. І.* Вплив затоплення ґрунту на CO₂-газообмін, транспірацію, вміст пластидних пігментів і флуоресценцію хлорофілу у плодкових рослин // Физиология и биохимия культ. растений. 2001. Т. 33. № 3. С. 268–274.
17. *Syvash O. O., Zolotaro 'va O. K.* Evolutionary analysis of chlorophyll *b* functional role in photosynthetic apparatus // Ukr. Botan. J. 2001. Vol. 58. N 2. P. 152–159.
18. *Wettstein D.* Von Chlorophyll-letale und der submicroscopische Formwechsel der Plastiden // Exp. Cell. Res. 1957. Vol. 12. N 23. P. 427.

**INFLUENCE OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD OF HIGH-VOLTAGE
POWER TRANSMISSIONS LINES ON PHOTOSYNTETIC PIGMENTS
CONTENT IN MAGNOLIOPHYTA PLANTS**

L. Margitay, O. Voloshyn, V. Roshko, A. Kron

*Uzhgorod National University
32, Voloshyn St., Uzhgorod 88000, Ukraine
e-mail: kafentom@univ.uzhgorod.ua, _margitaj@mail.ru*

Electromagnetic field of high-voltage power transmissions lines dials as strongly expressed ecological factor, which has an influence on the assimilations process of magnoliophyta plants. It is discovered that the intensity of synthesis of chlorophyll *a*, *b* and carotenoids reduces under chronic electromagnetic stress, when electromagnetic field of high-voltage power transmissions lines is increasing.

Key words: chronic electromagnetic stress, chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, carotenoids.

Стаття надійшла до редколегії 05.05.08

Прийнята до друку 14.05.08