

МОРФОФІЗИОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ *POPULUS PYRAMIDALIS* ROZ. В УМОВАХ УРБОТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ СЕРЕДОВИЩА

Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника

Досліджено екологічні особливості *Populus pyramidalis* Roz. в умовах хронічного впливу урботехногенного забруднення середовища. Проаналізовано інформативність ряду морфометричних і фізіолого-біохімічних показників як біоіндикаційних маркерів урботехногенного забруднення. *Populus pyramidalis* рекомендовано для використання як індикатор при здійсненні біоіндикаційних досліджень.

Ключові слова: урботехногенне забруднення, *Populus pyramidalis* Roz., фотосинтетичні пігменти, пролін, нітрогенний обмін, морфометричні показники.

В. И. Парпан, М. М. Миленская

Прикарпатский национальный университет им. В. Стефаника

МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ *POPULUS PYRAMIDALIS* ROZ. В УСЛОВИЯХ УРБОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ

Исследованы биоиндикационные особенности *Populus pyramidalis* Roz. в условиях хронического влияния урботехногенного загрязнения среды. Проанализирована информативность некоторых морфометрических и физиолого-биохимических показателей как биоиндикационных маркеров урботехногенного загрязнения среды. *Populus pyramidalis* рекомендована для использования в качестве индикатора при проведении биоиндикационных исследований на молекулярном и органном уровне.

Ключевые слова: урботехногенное загрязнение, *Populus pyramidalis* Roz., фотосинтетические пигменты, нитрогенный обмен, морфометрические показатели.

V. I. Parpan, M. M. Mylenka

Vasyl Stefanyk Pricarpathian National University

MORPHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF *POPULUS PYRAMIDALIS* ROZ. UNDER THE CONDITIONS OF URBANIZATION AND ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE ENVIRONMENT

Bioindicative characteristics of *Populus pyramidalis* Roz. under the conditions of urbanization and anthropogenic impact on the environment have been studied. The informativity of certain morphometric, physiological and biochemical indices as bioindicative markers of urbanization and anthropogenic pollution has been analyzed. Using of *Populus pyramidalis* as an indicator in molecular and organic bioindicative researches is recommended.

Key words: urbanization and anthropogenic pollution, *Populus pyramidalis* Roz., photosynthetic pigments, nitrogen metabolism, morphometric indicators, bioindicative markers.

Інтенсифікація антропогенного втручання у функціонування природних екосистем спричинює їх глибокі деструктивні зміни (Травлев, 1989; Голубець, 1994). Найвідчутніший прояв цього процесу має місце в урбанопромилових комплексах, де забруднення довкілля сягає рівня екологічно значимого фактора (Кучерявий, 2001). Його хронічний вплив є лімітуючим для багатьох біологічних видів, особливо у випадках потрапляння у довкілля токсикантів, до яких організми еволюційно не пристосовані (Коршиков, 1995).

Вплив урботехногенних полютантів проявляється зміною інтегральних показників фітотівальності і формуванням пристосувально-захисних механізмів рослин. В основі адаптаційної здатності рослинних організмів до дії стресових чинників лежить зміна низки морфофізіологічних параметрів листків. Вони індикують ранні порушення біологічних систем навіть за незначних доз стресора, характеризують стан асиміляційного апарату у досліджуваних умовах і є одними з найбільш інформативних показників якості середовища (Шацкая, 1976; Сергейчик, 1990; Коршиков, 1995, 2003; Гнатів, 2000; Кордюм, 2003). Особливо цінними індикаторами є деревні рослини, які

безпосередньо входять у комплекси озеленення міст та санітарно-захисних зон промислових підприємств. В умовах тривалої експозиції вони відчують на собі комплексний хронічний вплив антропогенно модифікованих факторів середовища (Кулагин, 1974; Случик, 2000; Парпан, 2009).

Одним із найбільш поширених представників дендрофлори в містах України є тополя пірамідална (*Populus pyramidalis* Roz.). Аналіз морфологічних особливостей виду в умовах різного рівня забруднення та оцінка перспективи використання виявлених змін у практиці біоіндикаційних досліджень є актуальною проблемою біо-екології і метою даного дослідження.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Дослідження проводились у Бурштинській урбоєкосистемі монофункціонального типу, яка розташована в Галицькому районі Івано-Франківської області, у зоні впливу одного із найбільших підприємств паливно-енергетичного комплексу України – Бурштинської теплоелектростанції (БуТЕС). У межах урбоєкосистеми Бурштина виділяються гетерогенні за ступенем забруднення зони: до помірно забруднених належить зона комплексного озеленення міста; селітебна й аграрна зони відносяться до категорії середньозабруднених, а на придорожніх ділянках і ПП БуТЕС рівень трансформації є максимальним (Миленька, 2009).

Об'єктом дослідження були морфологічні показники листків *P. pyramidalis* зелених насаджень різнофункціональних зон Бурштина. Контрольними слугували рослини, які зростали на умовно чистій території поблизу м. Рогатин, близької за природно-кліматичними умовами (Парпан, 2004).

Відбір листя здійснювали з гілок одного порядку галузження з підвітряного боку дерева за методикою Г. І. Маргайлик (1961) у період завершення повного розвитку асиміляційної системи (серпень-вересень).

На молекулярному рівні визначали внутрішньотканинні концентрації фотосинтетичних пігментів (хлорофілів *a*, *b* та каротиноїдів), вільного проліну та загального, білкового й небілкового нітрогену. Уміст пігментів визначали спектрофотометрично (Мусієнко, 2001) у свіжозібраних листках при довжинах хвиль 663 нм (хлорофіл *a*), 645 нм (хлорофіл *b*) і 440 нм (каротиноїди). Концентрацію хлорофілів розраховували за формулами Вернера – Ветшттейна (Бессонова, 1991). Уміст вільного проліну визначали фотоколориметрично ($\lambda = 520$ нм) відповідно до апробованих методик (Ермаков, 1987). Загальний нітроген у листках рослин визначали прискореним мікрометодом Кьельдаля. Визначення вмісту нітрогену білкових сполук виконували за Неслером, а небілкову фракцію розраховували формулярно (Руденко, 2008). Усі виміри проводили в трикратній повторності для кожної модельної особини.

Визначення площі листових пластинок здійснювали ваговим методом (Руденко, 2008). Наявність некротичних і дехромаційних ушкоджень установлювали візуально. Класифікацію виявлених уражень листка проводили з використанням схеми, запропонованої Р. Шубертом (Шуберт, 1988). Ступінь ушкодження здійснювали обчисленням частки видимих патологій від загальної площі листової пластинки. На одну дослідну ділянку виконували по 50 вимірів кожного параметра для модельної особини.

Інтерпретацію одержаних даних проводили з використанням методів математико-статистичного аналізу за допомогою редактора MS Excel 2003.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Результати досліджень указують на значну чутливість *P. pyramidalis* до впливу урботехногенного забруднення як на молекулярному, так і на органному рівні.

Зміни вмісту фотосинтетичних пігментів рослин урбоєкосистеми статистично достовірні ($P < 0,05$) порівняно із контрольними (табл. 1).

Зниження сумарного вмісту хлорофілів *a* та *b* відбувається пропорційно градієнту урботехногенного навантаження. Даний показник флукує в діапазоні від 1,22 мг/г у листках рослин із помірно забрудненої зони до 0,73 мг/г – на максимально забрудненій території при фоновому значенні – 2,98 мг/г. Така тенденція реалізується в основному за рахунок зниження вмісту хлорофілу *a*. Фонова концентрація останнього в листі

P. pyramidalis становить 2,36 мг/г, що в 3,5 разу перевищує цей показник у зоні комплексного озеленення. Мінімальна внутрішньотканинна концентрація хлорофілу *a* відмічена для особин, які зростають на ПП БуТЕС, і становить 0,30 мг/г. Частка хлорофілу *b* у сумарному вмісті зелених пігментів також зростає пропорційно рівню забруднення. На це вказує зниження відношення вмісту хлорофілу *a* до хлорофілу *b*: від 1,22 у помірно забрудненій зоні до 0,70 – на максимально забрудненій території при фоновому значенні 3,88. Така тенденція є ознакою депресії фотосинтетичних процесів. Достовірне ($P < 0,01$) зниження вмісту каротиноїдів є ознакою низької толерантності *P. pyramidalis* до впливу урботехногенних поллютантів.

Таблиця 1

Уміст фотосинтетичних пігментів у листках *P. pyramidalis* різнофункціональних зон Бурштинської урбоєкосистеми (мг/г сирової маси)

Пігмент	Варіант дослідження	Умовно чиста територія	Рівень забруднення				
			I	II	III	IV	V
			Зелені міські насадження	Селітебна зона	Аграрна зона	Придорожня ділянка	ПП БуТЕС
Хлорофіл <i>a</i>		2,36±0,03	0,67±0,03*	0,50±0,03*	0,45±0,03*	0,40±0,05*	0,30±0,06*
Хлорофіл <i>b</i>		0,62±0,03	0,55±0,05*	0,49±0,02*	0,44±0,03*	0,41±0,07*	0,43±0,05*
Каротиноїди		0,30±0,02	0,21±0,02*	0,17±0,01*	0,14±0,03*	0,11±0,02*	0,11±0,01*
Хл <i>a</i> / Хл <i>b</i>		3,81	1,22	1,02	1,02	0,98	0,70

* Вірогідні зміни показника порівняно з фоновим значенням.

Примітка. I – помірно забруднена територія; II – середньозабруднена територія; III – максимально забруднена територія.

Однією з універсальних стрес-протекторних сполук вищих рослин, яка за несприятливих екологічних умов спричинює поліфункціональний біологічний ефект і забезпечує підтримку клітинного гомеостазу та його перехід у новий адаптивний стан, є амінокислота пролін (Шуберт, 1988; Dalaune, Verma, 1993; Кузнецов, 1999; Парпан, 2009). Зміна його концентрації може слугувати інформативним маркером зростання антропогенного пресингу на екотопі. Достовірне ($P < 0,001$) зростання вмісту вільного проліну в листках *P. pyramidalis* (рис.1) вказує на активізацію захисного потенціалу рослин за дії урботехногенних стресорів. Фонове значення концентрації амінокислоти становить 0,240±0,002 мг/г сирової маси. Мінімальна концентрація проліну в умовах урбоєкосистеми відмічена в листових тканинах рослин зони комплексного озеленення (0,525±0,007мг/г), а максимальна – на території ПП БуТЕС (0,741±0,010 мг/г).

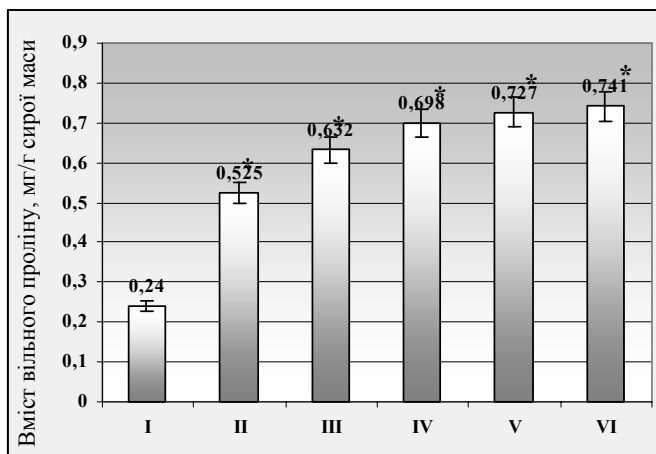


Рис. 1. Внутрішньотканинні концентрації вільного проліну в листках *P. pyramidalis* у різнофункціональних зонах Бурштинської урбоєкосистеми (*Вірогідні зміни показника порівняно з фоновим значенням)

Примітка. (тут і надалі): I – фонові територія; II – зелені міські насадження; III – селітебна зона; IV – аграрна зона; VI – придорожні ділянки; VII – ПП БуТЕС.

Порушення метаболізму нітрогенних сполук проявляється статистично достовірною зміною ($P < 0,001$) вмісту білкового, небілкового та загального нітрогену в листках рослин різнофункціональних зон, порівняно із фоновою територією (рис. 2). Зменшення вмісту білкового нітрогену відбувається на фоні зростання частки його небілкової форми в послідовному ряді: умовно чиста територія → помірно забруднена → середньозабруднена → максимально забруднена територія. Зростання частки небілкових форм нітрогену є наслідком інтенсифікації процесів гідролізу за сукупної дії промислових емісій БуТЕС та урбогенних факторів впливу.

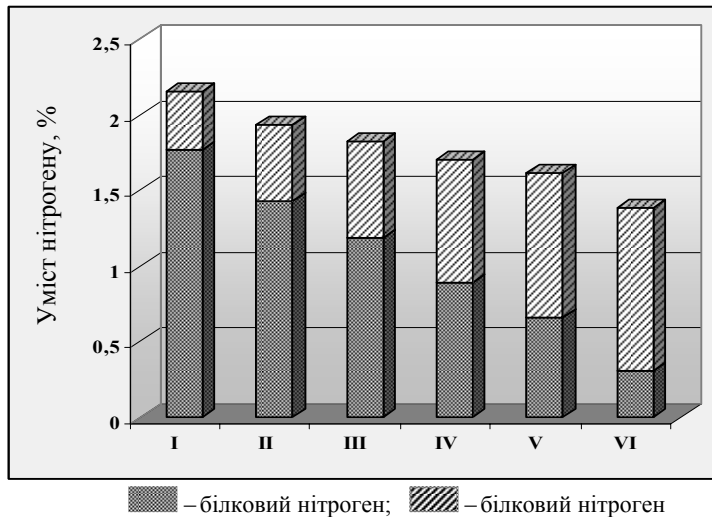


Рис. 2. Уміст загального нітрогену в листових тканинах *P. pyramidalis* у різнофункціональних зонах м. Бурштин

У цілому нітрогенний обмін деревних рослин є лабільним процесом, інтенсивність і спрямованість якого значною мірою визначаються ступенем урботехногенного навантаження. Найбільш інформативною біоіндикаційною ознакою є вміст небілкової форми нітрогену.

Зменшення розмірів листових пластинок є загальною тенденцією при інтенсифікації урботехногенного впливу (рис. 3).

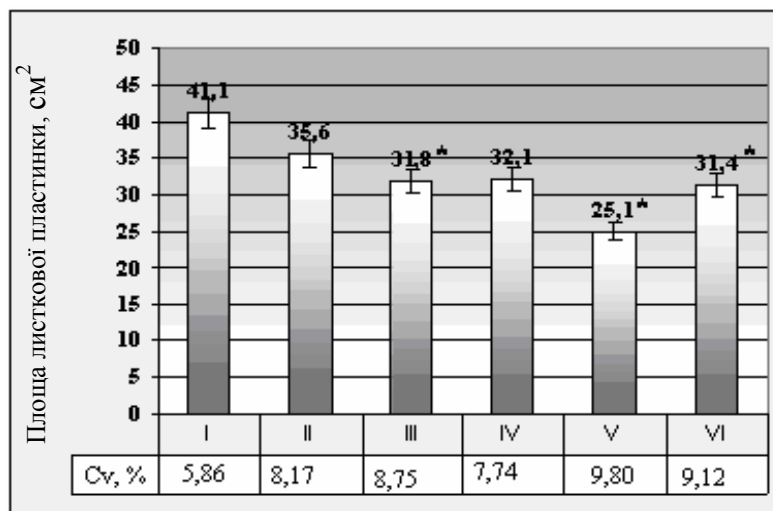
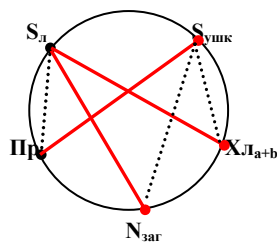


Рис. 3. Площа листових пластинок *P. pyramidalis* у різнофункціональних зонах м. Бурштин та коефіцієнти її варіації (C_v , %)

Статистично достовірні ($P < 0,05$) зміни відносно контрольного показника мають місце в селітебній зоні, на придорожніх ділянках та в межах ПП БуТЕС. Тут середні значення площі листкових пластинок нижчі від контрольних відповідно на 23, 39 і 24 %. За розглянутим параметром у всіх досліджених видів збільшується гетерогенність групової реакції, про що свідчить зростання коефіцієнта варіації (C_v). Найвищі значення показника відмічені для рослин максимально забрудненої території.

Поряд із зниженням площі листкових пластинок відбувається зростання дехромаційних і некротичних ушкоджень листків. Відсоткова частка некротизованих листкових пластинок зростає пропорційно інтенсифікації урботехногенного пресингу. На умовно чистій території відсоток ураження листя модельних особин становить 4 %. В умовах різнофункціональних зон урбоекосистеми цей показник флукує в діапазоні від 13 % у зоні комплексного озеленення до 56 % на ПП БуТЕС.

Кореляційний аналіз окремих біохімічних і морфологічних параметрів *P. pyramidalis* указує на існування відмінних за тіснотою та напрямом статистичних зв'язків між аналізованими параметрами (рис. 4).



$S_{л}$ – площа листкової пластинки, cm^2 ;
 $S_{ушк}$ – некротичне ушкодження листка, %;
 $Пр$ – уміст вільного проліну в листках, мг/г сирої маси;
 $X_{лa+b}$ – уміст суми хлорофілів a та b , мг/г сирої маси;
 $N_{заг}$ – уміст загального нітрогену, мг/г сирої маси

— тисний позитивний зв'язок – тисний негативний зв'язок

Рис. 4. Кореляційні залежності між окремими морфометричними та біохімічними показниками *P. pyramidalis* в умовах Бурштинської урбоекосистеми

Установлено наявність достовірних кореляційних залежностей між усіма аналізованими параметрами при значенні коефіцієнта кореляції Пірсона $> 0,75$. Це вказує на біоіндикаційну перспективність *P. pyramidalis* як на молекулярному, так і на морфологічному рівні. Позитивна залежність виявлена між такими показниками: рівень некротичного ушкодження листкової пластинки – внутрішньоклітинна концентрація вільного проліну; площа листка – сумарний уміст хлорофілів a та b , площа листка – уміст загального нітрогену. Негативними кореляційними залежностями пов'язані такі параметри, як площа листка й внутрішньоклітинна концентрація вільного проліну; рівень некротичного ушкодження листкової пластинки і уміст загального нітрогену. Характерним є тисний негативний достовірний кореляційний зв'язок ($r > 0,75$, $P < 0,05$) між рівнем некротичного ушкодження асиміляційних органів і сумарним умістом фотосинтетичних пігментів. Зниження сумарної концентрації хлорофілів a та b відбувається пропорційно до зростання мікрофолії, на що вказують високі значення коефіцієнтів лінійної кореляції між даними показниками ($r > 0,75$, $P < 0,05$). Це свідчить про посилення ксероморфних властивостей виду в умовах урботехногенного забруднення середовища існування. Установлено тисний достовірний негативний кореляційний зв'язок ($r > 0,75$, $P < 0,05$) між рівнем некротичного ушкодження листків і умістом загального нітрогену. Це пов'язано з дисиміляцією білкових нітрогенних сполук при зростанні урботехногенного навантаження.

ВИСНОВКИ

Вплив урботехногенного забруднення спричинює в особин *P. pyramidalis* перебудову комплексу морфологічних та фізіолого-біохімічних механізмів, спрямованих на збереження рослинного гомеостазу в трансформованих умовах середовища існування.

Фізіолого-біохімічні показники *P. pyramidalis* (стан фотосинтетичного пігментного комплексу, уміст вільного проліну та показники нітрогенного обміну) зміню-

ються пропорційно рівню урботехногенного навантаження на екотопи. Установлено зменшення суми хлорофільних пігментів (до 76 %) і відношення $Xl a / Xl b$ (до 5,5 разу) та зростання вмісту небілкових сполук нітрогену (до 2,8 разу) і внутрішньотканинних концентрацій вільного проліну (до 3,1 разу). Зазначені показники можуть слугувати інформативними ознаками для молекулярного рівня біоіндикаційних досліджень.

Урботехногенне забруднення має значний вплив на морфологічні показники листків *P. pyramidalis*. Найбільш виражений фітотоксичний ефект відмічено в придорожній зоні міста та безпосередньо на ПП БуТЕС, забруднення яких є максимальним. У зоні комплексного озеленення, яка є помірно забрудненою, морфометричні показники достовірно не відрізняються від контрольних. Зміна площі листків і ступінь некротичного ураження листкових пластинок можуть слугувати інформативними неспецифічними ознаками органного рівня біоіндикаційних досліджень урбоекосистем.

P. pyramidalis є перспективним біоіндикатором при здійсненні оцінки екологічного стану урбанізованих і техногенно порушених екосистем та рекомендується для використання при створенні еколого-ефективних культурфітоценозів у містах та санітарно-захисних зонах теплових електростанцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Антропогенні зміни** біогеоценотичного покриву в Карпатському регіоні / Ред. М. А. Голубець. – К.: Наук. думка, 1994. – 170 с.
- Бессонова В. П.** Морфофункциональные исследования растений в условиях загрязнения среды тяжелыми металлами: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.16 – «Экология» / В. П. Бессонова. – Д., 1991. – 36 с.
- Биоиндикация наземных экосистем** / Ред. Р. Шуберт]. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
- Взаимодействие растений с техногенно загрязненной средой. Устойчивость. Фитоиндикация. Оптимизация** / И. И. Коршиков, В. С. Котов, И. П. Михеенко и др. – К.: Наук. думка, 1995. – 191 с.
- Гнатів П. С.** Стрессова адаптивна реакція дерев у техногенному доквіллі / П. С. Гнатів // Науковий вісник УкрДЛТУ. – Львів: УкрДЛТУ, 2000. – Вип. 10.1. – С. 69 – 72.
- Клеточные механизмы адаптации** растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях / Ред. Е. Л. Кордюм. – К.: Наук. думка, 2003. – 277 с.
- Коршиков И. И.** Содержание азота в листьях древесных растений и их повреждаемость – индикационные показатели эмиссионных воздействий химкомбината по производству азотных удобрений / И. И. Коршиков, А. А. Игнатенко, Е. Н. Виноградова // Промышленная ботаника. – 2003. – Т. 3. – С. 120 – 126.
- Кузнецов В. В.** Проллин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция / В. В. Кузнецов, Н. И. Шевякова // Физиология растений. – 1999. – Т. 46. – С. 321-336.
- Кулагин Ю. З.** Древесные растения и промышленная среда / Ю. З. Кулагин. – М.: Наука, 1974. – 123 с.
- Кучерявий В. П.** Урбоекологія / В. П. Кучерявий. – Львів: Світ, 2001. – 440 с.
- Маракаев О. А.** Техногенный стресс и его влияние на листовые древесные растения / О. А. Маракаев, Н. С. Смирнова, Н. В. Загосхина // Экология. – 2006. – № 6 – С. 410-414.
- Маргайлик Г. И.** К методике отбора листьев древесных растений для сравнительных морфолого-анатомических и физиологических исследований / Г. И. Маргайлик // Ботан. журн. – 1961. – Т. 50, № 1. – С. 89-90.
- Методы биохимического** исследования растений / Под. ред. А. И. Ермакова. – Л.: Наука, 1987. – 122 с.
- Миленська М. М.** Біоіндикаційна оцінка екологічного стану Бурштинської урбоекосистеми: Автореф. дис. ... канд. біол. наук: спец. 03.00.16 «Екологія» / М. М. Миленська. – Д., 2009. – 23 с.
- Мусієнко М. М.** Спектрофотометричні методи у практиці фізіології, біохімії та екології рослин / М. М. Мусієнко, Т. В. Паршикова, П. С. Славний. – К.: Фітосоціоцентр, 2001. – 200 с.
- Парпан В. І.** Вміст вільного проліну у листках деревних рослин як індикаційна ознака екологічного стану урбанізованих територій / В. І. Парпан, М. М. Миленська // Наук. зап. Держ. природознавчого музею. – 2009. – Вип. 25. – С. 155-156.
- Парпан В. І.** Забруднення техногенними полюгантами лісових екосистем в Івано-Франківській області / В. І. Парпан, Д. Д. Ганжа, Ю. С. Шпарик // Наукові праці ЛАН України. – 2004. – Вип. 3. – С. 91-95.
- Руденко С. С.** Загальна екологія. Ч. 2. Природні наземні екосистеми / С. С. Руденко, С. С. Костишин, Т. В. Морозова. – Чернівці: Книги – XXI, 2008. – 308 с.

Сергейчик С. А. Физиолого-биохимические аспекты устойчивости растений в техногенной среде / С. А. Сергейчик, А. А. Сергейчик // Промышленная ботаника, состояние и перспективы развития. – К.: Наук. думка, 1990. – 256 с.

Случик І. Й. Біоіндикація стану довкілля на урбанізованій території за допомогою представників роду *Populus L.*: Автореф. дис. ... канд. біол. наук: спец. 03.00.16 «Екологія» / І. Й. Случик. – Чернівці, 2000. – 18 с.

Травлев А. П. Научные основы биотехногенной биогеоценологии / А. П. Травлев // Биогеоценологические исследования лесов техногенных ландшафтов степной Украины. – Д.: ДГУ, 1989. – С. 4-9.

Шацкая Р. М. Содержание общего и белкового азота в листьях и корнях растений в условиях промышленной среды / Р. М. Шацкая // Растения и промышленная среда. – К.: Наук. думка, 1976. – С. 141-142.

Dalauney A. J., Verma D. P. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants // Plant Journal. – 1993. – Vol. 4. – P. 215-223.

Надійшла до редколегії 10.11.09