

**А.І. САФОНОВ**

Донецький національний університет  
вул. Університетська, 24, м. Донецьк, 83055

**ГІСТОСТРУКТУРНІ МОДИФІКАЦІЇ НАСІНИН РОСЛИН В УМОВАХ  
ЗАБРУДНЕННЯ МЕТАЛАМИ**

*ключові слова: фітоіндикація, ембріологічні структурні трансформації,  
металонавантажання*

*key words: phytoindication, embryological structural transformations, metallic  
pressure*

---

**A.I. SAFONOV**

**HYSTOSTRUCTURAL MODIFICATIONS OF SEEDS OF PLANTS  
UNDER METALLIC PRESSURE**

Donetsk National University  
24 Universitetskaya str., Donetsk, 83055, Ukraine

It is found out that changes of structure of plants in embryological aspect can be caused by heightened concentration of heavy metals in soils. Specific reaction of plants-indicators to environmental contamination by the basic metals-toxicants is determined. Hystostructural transformations of seeds of *Tripleurospermum perforatum* (Mérat) M. Lainz, *Tanacetum vulgare* L., *Cichorium intybus* L., *Tragopogon major* Jacq. and peculiarities of sculpture of seeds are recommended to use in order to test technogenical pressure upon soils in anthropogenically changed ecotopes. It has been established that anatomical plasticity of a plant organism may serve as the criterion of anthropotolerance while growing under conditions of heavy metal.

---

Одним із базових методів оцінки стану довкілля є фітоіндикація екологічних факторів [2]. Ембріоструктурні показники індикаторних видів рослин вивчені недостатньо й майже не використовувалися з метою проведення моніторингу техногенотрансформованих екотопів Донбасу [3, 5, 6, 11, 12]. Фрагментарні свідчення про вплив забруднення навколишнього середовища на формування і досягання плодів і насінин не дають можливості в повному обсязі виявити вплив цього фактора на потенційну й реальну насінневу продуктивність [9]. Однак визначено, що найчутливішими до обробки токсикантами є прогамна фаза запліднення та ранні стадії ембріогенезу. Визначено деяке зниження показників кількості, маси, розміру насінин і плодів під впливом забруднювачів в умовах техногенного середовища [9, 11]. Як вважають Т.Б.Батигіна, Г.М.Анісімова, І.В.Лянгузова та І.І.Шамров [9], необхідні подальші дослідження насінин рослин в умовах різних типів забруднення навколишнього середовища для визначення чутливих і стійких до цього екологічного чинника видів.

Мета дослідження – вивчення деяких ембріологічних показників структурного поліморфізму індикаторних видів рослин в умовах посиленого забруднення ґрунтів металами.

Пробні площі були закладені в контрольних фонових умовах (сел. Серебрянка (Сереб.)) і в зонах високої концентрації техногенних викидів з висо-

ким умістом металів (Артемівський завод з обробки кольорових металів (АЗОКМ) та Костянтинівський завод “Укрцинк” (КЗУЦ) в Донецькій обл.). Види родини *Asteraceae* Dumort., такі як *Tripleurospermum perforatum* (Mérat) M.Lainz, *Tanacetum vulgare* L., *Cichorium intybus* L., *Tragopogon major* Jacq. значно поширені в районі дослідження, чим пояснюється вибір їх як фітоіндикаторів. Плоди збирали в період їхнього повного досягання.

Анатомо-метричне вивчення проведене на мікроскопі Ergaval з використанням МОГ-1-15Х.

Під час мікроскопічного дослідження були отримані значення таких ознак:

А – товщина шару ендосперму (мкм),

В – ступінь диференціації зародка, його сформованість та чіткість прояву під час фарбування (%),

С – товщина насінневої шкірки (мкм),

Д – кількість повітряних порожнин на поперечному зрізі,

Е – товщина шару склеренхіми (мкм).

Гістологічні дослідження проведені за стандартними методиками для ембріологічних препаратів [1, 10, 11].

Для порівняння з описами анатомічних ознак насінин інших видів і родів *Asteraceae*, а також з метою гістологічної диференціації та ідентифікації належності клітинних угруповань до певних тканин використовували загальноприйнятну термінологію [7-9, 13].

Об’єм вибірки для контрольної зони становить 100, дослідної – 50 вимірів кожної ознаки. Для елімінації матрикальної гетероспермії зрізи робили в середній частині дослідних сім’янок з центральної частини суцвіття.

Уміст свинцю, цинку, нікелю та міді в ґрунтах визначали атомно-абсорбційним методом [4].

Результати елементного аналізу вмісту токсикантів у ґрунтах для відповідних пробних площ представлені в табл. 1, де можна спостерігати значні варіювання концентрації металів, порівняно з контролем. Свинець належить до важких металів першого класу небезпеки. За нашими даними, регіональний фон для Артемівського та Костянтинівського р-нів Донецької обл. змінюється від 5 до 27 мг/кг ґрунту. У цих районах забруднення свинцем спостерігається на понад 42% площі. Накопичення металу в ґрунтах свідчить про наявність достатньо потужної металопресингової екзогенії в системі північних промислових вузлів Донбасу. Забруднення коренезаселеного шару свинцем відбувається під час переробки кольорових металів, спалювання вугілля, згоряння бензину, роботи підприємств коксохімії та металургії. Цинк – елемент другого класу небезпеки. Фоновий рівень металу на території промвузлів коливається від 90 до 200 мг/кг ґрунту, що майже наближається до граничноприпустимих концентрацій. Наші попередні результати встановили техногенну наявність цинку у коренезаселеному шарі ґрунту, при цьому значних металогенних аномалій не виявлено, але виявлено спряжене накопичення свинцю і цинку у ґрунті. Шляхи потрапляння Zn в біосферу аналогічні Pb. Нікель належить до групи суперекотоксикантів. Його фоновий рівень, за нашими даними, коливається в рамках 20-48 мг/кг. Значна концентрація металу в ґрунтах відзначається в зонах промислового навантаження. Мідь належить до другого класу небезпеки.

Фоновий рівень знаходиться в діапазоні 20-30мг/кг.

За нашими даними (1998-2002 рр.), інтенсивність забруднення ґрунтів металами перевищує природну акумуляцію та детоксикацію [5, 6].

Таблиця 1.

**Вміст деяких важких металів у ґрунтах на пробних площах, мг/кг сухої маси**

Пробна площа	Метали			
	Pb	Zn	Ni	Cu
Сереб.	72,95±0,40	205,72±0,94	44,26±0,14	24,11±0,01
АЗОКМ	425,84±6,95	515,07±1,71	197,24±4,27	531,77±3,94
КЗУЦ	850,46±9,42	566,07±2,31	189,02±6,47	276,19±10,15

Гістоструктурні виміри для контрольної зони представлені в табл. 2, для дослідних – у табл. 3 та 4.

Визначено, що за умов збільшення концентрацій важких металів у середовищі, відбуваються відповідні анатомічні зміни в насінинах рослин, що відповідає нашим попереднім результатам для карпічних елементів дослідних видів [5, 6].

Слід зазначити, що на порушення, які індуковані навколишнім середовищем, накладаються природні відхилення від розвитку й будови ембріологічних структур, тому говорити про ступінь трансформації та порівнювати результати можна за умов достовірної статистичної різниці. Проведеним нами поліфакторним дисперсійним аналізом було показано наявність істотних різниць між групами вибірок, що дозволяє простежити залежність структурних змін від посилення дії фактора стресу.

Таблиця 2.

**Гістоструктурні ознаки насінин дослідних видів, що ростуть біля сел. Серебрянка (контроль)**

Вид	Ознаки				
	A	B	C	D	E
<i>T. perforatum</i>	29,4±0,95	96-98	13,4±0,10	6,3±0,50	62,6±1,50
<i>T. vulgare</i>	33,4±1,02	94-96	13,5±0,23	7,4±0,50	65,5±1,54
<i>C. intybus</i>	34,5±1,12	95-97	12,2±0,25	7,2±0,45	70,0±1,60
<i>T. major</i>	54,4±1,56	97-98	17,1±0,17	9,4±0,60	102,0±4,12

Таблиця 3.

**Гістоструктурні ознаки насінин дослідних видів, що ростуть на території Артемівського заводу з обробки кольорових металів**

Вид	Ознаки				
	A	B	C	D	E
<i>T. perforatum</i>	23,0±0,90	75-80	19,2±0,24	6,4±0,50	79,4±3,23
<i>T. vulgare</i>	21,6±0,67	65-75	24,8±0,27	7,5±0,55	110,1±3,17
<i>C. intybus</i>	24,8±0,65	60-70	17,4±0,12	7,9±0,40	124,3±5,01
<i>T. major</i>	38,2±0,55	55-60	26,0±0,34	9,9±0,55	142,7±4,42

**Гістоструктурні ознаки насінин дослідних видів, що ростуть на території  
Костянтинівського заводу “Укрцинк”**

Вид	Ознаки				
	A	B	C	D	E
<i>T. perforatum</i>	25,2±0,57	70-75	20,1±0,50	6,0±0,10	95,6±4,12
<i>T. vulgare</i>	26,5±1,05	65-75	22,3±0,54	7,2±0,20	115,2±5,04
<i>C. intybus</i>	28,0±1,10	60-65	19,2±0,23	7,0±0,50	130,7±6,05
<i>T. major</i>	37,4±0,50	50-60	27,9±0,28	9,0±0,55	151,8±6,65

Аналіз табл. 2-4 свідчить, що за збільшення забрудненості металами достовірно зменшуються товщини шару ендосперму й насінневої шкірки, особливо на території Артемівського заводу з обробки кольорових металів; диференціація зародку у відсотковому відношенні зменшується, що свідчить про деструктивні й деградаційні процеси, які, у свою чергу, повинні проявитися на початкових етапах кільчення насіння; збільшується товщина шару склеренхіми. Ці зміни вказують на появу в рослинного організму ксероморфних ознак під впливом фактора неспецифічного стресу. Показник кількості повітряних порожнин на поперечному зрізі насінин достовірно не змінювався за зростання концентрації металів у ґрунтах, швидше за все, цей показник залежить від фактора водонасиченості ґрунтів. Найбільшим поліморфізмом характеризується *T. major*.

У зрілого зародка дослідних рослин можна побачити дві центральні клітини, які знаходяться поруч зі ще неподіленими елементами периферії. Центральна плерома відщеплює ініціалі перикамбію (періциклу). Кореневий чохлик і дерматоген формуються з одного й того ж ініціального шару клітин – дермакаліптрогену. За концентрації Ni в ґрунті понад 190 мг/кг спостерігається порушення росту кореня загалом і відсутність кореневого чохла (*C. intybus*, *T. perforatum*).

Зважаючи на те, що чохлик має двобічне походження (центральна його частина (колумела) походить з гіпофізу, а на периферії – з дерматогену), можна припустити деградацію або індуковане металогенне гальмування формування цих тканин. Вичленування протодерми спостерігається одночасно для різних боків зародку (у контрольних умовах), але за забруднення цинком понад 430 (440) мг/кг у ґрунті, утворюються різні тканини за кількістю клітин (ярусність), швидше за все, унаслідок гетеротенденційних периклінальних поділів (*C. intybus*, *T. perforatum* та *T. vulgare*).

Усі клітини спочинкового центру потенційно здатні до поділу, що дає можливість поповнювати популяцію ініціальних клітин у випадку зупинки їхньої здатності до мітозу через різні причини, наприклад, після дії стресових факторів, якими можуть бути, у тому числі, і надвисокі концентрації важких металів.

Концентрації в ґрунті свинцю понад 270 мг/кг індукують мітотичну активність спочиваючого центру (проліферування клітин *T. vulgare*).

Нами відзначені випадки тератологічної полікотилії та схізокотилії для

*C. intybus* (Cu 300-350 мг/кг (17-18%), 350-400 мг/кг (27-28%) та понад 400 мг/кг (33-35%)); *T. perforatum* – 20-22; 24-27; 41-44%; *T. vulgare* – 5-8; 9-10; 10%, відповідно.

Природна схізокотилія в зонах фонового забруднення не перевищує 3%. Ступінь схізокотилії може бути різним – від невеличкої виїмки на верхівці сім'ядолі (*T. perforatum* та *T. vulgare* (Pb > 310 мг/кг)) до типової полікотилії (*C. intybus*).

Гемітри- й гемітетракоктилія (часткове розщеплення однієї або двох сім'ядолей двусім'яного зародку) трапляється в *C. intybus* за надвисоких концентрацій важких металів у ґрунтах.

Розділення сім'ядолей призводить до певних змін як у будові зародкового кореня і гіпокотилію, так і в послідовності диференціації листкових примордіїв на апексі пагону (*C. intybus*). При цьому, чим глибше розділення, то, відповідно, на нижчому рівні осі “гіпокотиль – корінь зародку” відбувається це розщеплення, що призводить, у першу чергу, до радикальної зміни провідної системи. Анізокотилія (як результат складних перетворень у ході органогенезу, який позачергово залежить від послідовних змін орієнтації клітинних поділів у різних частинах зародку [9]) у нашому експерименті становить 20-21% (*C. intybus*), 40-42% (*T. perforatum*), 35-39% (*T. vulgare*) за концентрації Рb в ґрунті понад 310 (320) мг/кг, під час росту в контрольних фонових умовах – 0,5; 0,1 та 2,4%, відповідно. Випадки трьохсім'ядольних зародків, за забруднення середовища, притаманні плодам *C. intybus*.

Ендотеста складається з палісадного шару близьких до кубічних клітин у *C. intybus* (Cu > 400 мг/кг), зірчастих – *T. perforatum* або видовжених клітин – *C. intybus* і *T. vulgare* (Ni > 210 мг/кг). Потовщення стінок клітин можуть бути сферичними, U-подібної форми з непотовщеною стінкою на периферії насінини, колоподібними, сітчастими або спіралеподібними.

У тунуценулярних насінних зародках *C. intybus* унутрішній епідерміс інтегументу порівняно досить швидко взаємодіє з зародковим мішком і диференціюється в чохлоподібний ендотелій. Тенденція до екзотесталії спостерігається в багатьох насінин, в яких утворюються інші головні механічні шари. У цьому випадку відбувається зсунення тканин на периферії насінних покривів або, навіть, стінки плоду.

Для первинної скульптури поверхні насінин характерні такі зміни: ізодіаметричний обрис клітин (*T. vulgare*), антиклінальні стінки не стабільно деформовані (*T. vulgare*, *C. intybus*), дольчасті (*C. intybus*), нечіткий та виїмчастий рельєф меж (*T. perforatum*), конічна та куполоподібна кривизна зовнішніх периклінальних стінок (*C. intybus*).

Усі ці зміни характеру інтегументарного складу зареєстровані на території Артемівського заводу з переробки кольорових металів.

Вторинна скульптура тести *C. intybus* має гладку поверхню в контрольних зонах вирощування, бородавчасту й сітчасту – за концентрацій нікелю понад 300 мг/кг у ґрунті.

Кутикулярний шар визначає процес поляризації зародку під час формування осі “апекс пагону – апекс кореня” і бере участь у процесі дозрівання зародку. Морфологічне різноманіття кутикулярних структур (вторинна, третинна скульптура тести) відображається в локально розташованих воскових

ділянках, формуванні суцільного шару ( $Ni > 220$ ;  $Cu > 500$  мг/кг) для *C. intybus*; у нормі кутикула гістологічно не диференціюється.

У зонах промислового забруднення спостерігаються численні випадки матрикальної гетероспермії та дисиметричного поліморфізму (*T. major*).

Варто окремо відзначити, що всі дослідні рослини здебільшого пропорційно накопичують важкі метали в тканинах, що може використовуватися для індикації накопичення.

Також виявлено значні збільшення концентрації Zn та Cu в атипових плодах, де відбувається біолітична трансформація лабільних форм металів. Відбувається процес нівелювання шкідливих викидів з підвищеним умістом металів.

Звісно, не тільки метали призводять до зміни анатомо-морфологічних показників, але на дослідних ділянках саме валові форми й загальні концентрації важких металів зумовлюють полютоагресивність ґрунтів.

### Висновки

Проведені дослідження свідчать про те, що рослини *Tripleurospermum perforatum* (Merat) M. Laipz, *Tanacetum vulgare* L., *Cichorium intybus* L., *Tragopogon major* Jacq., які ростуть на забруднених територіях, характеризуються загальною тенденцією до збільшення ксероморфності, спостерігається значне варіювання анатомічних ознак насінин, що може використовуватися для тестування ступеня забруднення важкими металами. Найпластичнішими тканинами, за збільшення вмісту важких металів у ґрунті й рослинах, виявилися ендосперм, склеренхіма й насіннева шкірка. Отримані результати ще раз підтверджують, що ступінь структурної пластичності рослинного організму, зокрема насінин, може бути критерієм стійкості рослин до факторів техногенного забруднення, у тому числі до концентрації важких металів у ґрунтах.

### ЛІТЕРАТУРА

1. **Жинкина Н.А., Воронова О.Н.** К методике окраски эмбриологических препаратов // Ботан. журн. – 2000. – 85, №6. – С. 168-170.
2. **Корженевский В.В.** Современное состояние и уровни фитоиндикации // Журн. общ. биол. – 1992. – 53, №5. – С. 704-714.
3. **Макрушин Н.М.** Основы гетеросперматологии. – М.: Агропромиздат, 1989. – 287 с.
4. **Обухов А.И., Плеханова И.О.** Атомно-абсорбционный анализ в почвенно-биологических исследованиях. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1991. – 184 с.
5. **Сафонов А.І.** Гетерокарпічні тенденції сім'янок деяких представників *Asteraceae* Dum. під впливом металевого забруднення // Наук. вісник УжНУ. Сер. Біол. – 2001. – № 9. – С. 227-229.
6. **Сафонов А.І.** Індикаторна пластичність рослин в умовах металонавантаження: карпологічний аспект // Питання біоіндикації та екології. – 2002. – 7, № 2-3. – С. 77-82.
7. **Сенников А.Н., Илларионова И.Д.** Морфологическое и анатомическое строение семян видов рода *Hieracium* (*Asteraceae*) и близких родов // Ботан. журн. – 2001. – 86, № 3. – С. 37-59.
8. **Сравнительная эмбриология цветковых растений. *Davidiaceae-Asteraceae*** / Ред. Т.Б.Батыгина, М.С.Яковлев. – Л.: Наука, 1987. – 392 с.

9. **Эмбриология** цветковых растений. Терминология и концепции / Ред. Т.Б.Батыгина. – Системы репродукции. – СПб: Мир и семья, 2000. – Т. 3. – 640 с.
10. **Embryology of Angiosperms** / Ed. Johri B.M. – Berlin: Springer-Verlag, 1984. – 602 p.
11. **Fenner M.** Seed Ecology. – London – N. York: Champan & Hall, 1985. – 151 p.
12. **Sarma D.V.** Embriological, palynological and foliar dermotype studies in *Asteraceae*. – Waltair: Ardhra University, 1996. – 576 p.
13. **Werker E.** Seed anatomy. Encyclopedia of plant anatomy. – Berlin: Borntraeger, 1997. – 1670 p.