



УДК 57.012.4:581.44:582.374.2

© 2012

Л. В. Войтенко, М. М. Щербатюк, М. П. Стахів,
член-кореспондент НАН України Л. І. Мусатенко

Ультраструктурні особливості клітин міжвузля хвоща польового (*Equisetum arvense* L.)

Проведено електронно-мікроскопічне дослідження ультраструктури клітин міжвузля хвоща польового. Встановлено, що клітини різних зон інтеркалярного росту відрізняються за ультраструктурними особливостями. Для клітин інтеркалярної меристеми характерна електронно-щільна цитоплазма. З переходом до активного росту розтягуванням збільшується осмотично активний компартмент клітини — вакуоля, яка у повністю диференційованій клітині досягає 80% об'єму протопласта. Хлоропласти клітин міжвузля, що росте, мають щільну мембранну систему, що свідчить про їх високу фотосинтетичну активність.

Інтеркалярний ріст, який є одним із проявів високої організації морфогенетичних процесів у рослинних організмів, вивчався переважно у представників культурної флори, в основному — злаків. Ми ставили за мету дослідити ультраструктурні особливості росту клітин міжвузля хвоща польового (*Equisetum arvense* L.)

У досліджах використовували вегетативні пагони хвоща польового (*Equisetum arvense* L.). Вивчали ультраструктуру меристематичних клітин, зони розтягування, а також особливості будови диференційованих клітин 13-го від кореневища міжвузля хвоща.

Фіксацію проводили 3%-м розчином глютаральдегіду на фосфатному буфері з рН 7,2 протягом 2 год. Постфіксацію здійснювали 1%-м розчином тетроксиду осмію при кімнатній температурі протягом 3 год. Матеріал після зневоднення зростаючими концентраціями етилового спирту (згідно з загальноприйнятою методикою) заливали сумішшю епону з аралдитом. Ультратонкі зрізи готували за допомогою скляних ножів ультрамікротома LKB-3 та контрастували цитратом свинцю протягом 7 хв [1, 2]. Зрізи тканин міжвузля досліджували і фотографували в трансмісійному електронному мікроскопі JEM-1230 (JEOL, Японія). Розміри структур на мікрофотографіях визначали за допомогою програми UTHSCSA Image Tool 3.0, використовуючи задану на зображенні лінійку-шкалу та користуючись окуляр-мікрометром.

Відповідно до отриманих даних, клітини міжвузля хвоща польового мають неоднакову будову і знаходяться на різних стадіях диференціації. Як і у міжвузлях злаків [3, 4], у хвощів можна виявити зони інтеркалярної меристеми, розтягування та диференціації. Треба

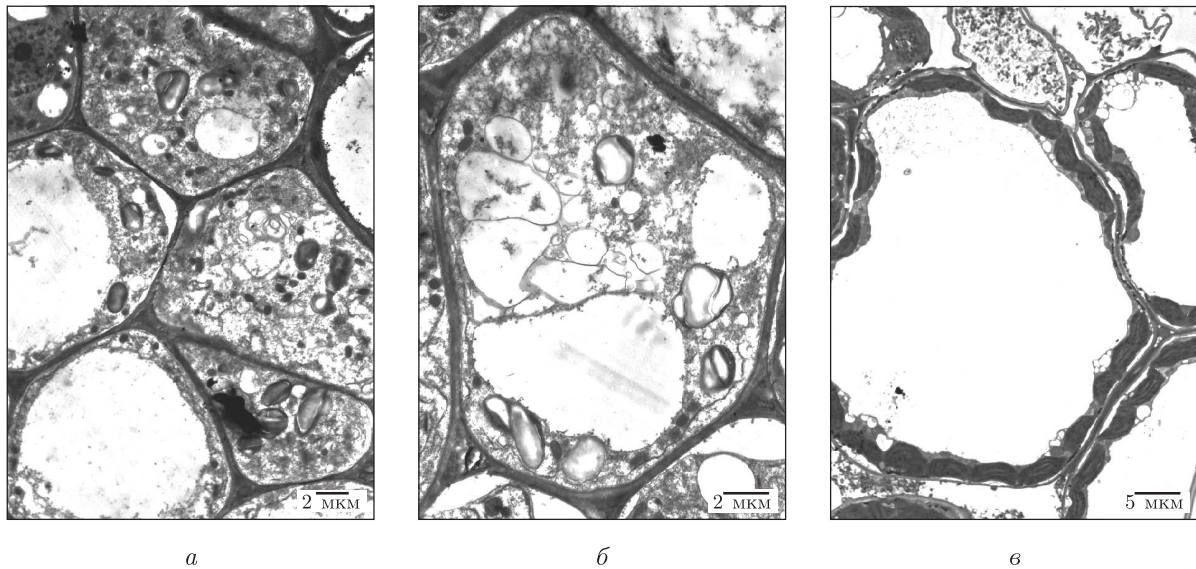


Рис. 1. Зони росту міжвузля інтеркалярної меристеми хвоща польового: *a* — зона меристеми; *б* — зона розтягування; *в* — клітини паренхіми зони диференціації

відзначити, що частина клітин інтеркалярної меристеми ділиться в площині, паралельній осі стебла, внаслідок чого збільшується число рядів клітин по вертикалі і забезпечується ріст у товщину.

Результати електронно-мікроскопічних досліджень показали, що клітини меристематичної зони вакуолі займають незначний об'єм (рис. 1, *a*). Як і для апікальної меристеми стебла, для клітин вставної меристеми хвоща польового характерна наявність кількох дрібних провакуолей та високий вміст органел у цитоплазмі. Із переходом клітин до росту розтягуванням збільшується у декілька разів осмотично активний компартмент клітини — вакуоля, відбувається новоутворення мітохондрій, які відзначаються високою енергетизацією, тобто характеризуються добре розвинутою системою мембран.

Як відомо, клітини зони інтеркалярної меристеми за своєю ультраструктурою досить подібні до апікальних. Однак їх розмір на декілька порядків перевищує розміри клітин апікальних меристем стебла. Клітинне ядро зазвичай округлої, зрідка овальної форми, має контрастну оболонку. Нуклеоплазма характеризується високою гомогенністю, ядерце значних розмірів. Цитоплазма електронно-щільна. Невеликі мітохондрії округлої форми рівномірно розподілені в цитоплазмі. Пластиди представлені типовими амілопластами більш-менш овальної форми з одним, рідше двома або трьома крохмальними зернами. Функціонально оболонка є формоутворюючою, опорною і захисною компонентою клітини. Крім того, з нею пов'язані процеси поглинання, транспорту і виділення клітиною води та розчинених у ній речовин. Залежно від функціональної спеціалізації самої клітини роль одних функцій може зростати, інших, навпаки, втрачатись. Саме цим пояснюються варіації структури оболонки, що спостерігаються в клітинах різних типів [5, 7].

Зона розтягування складається з клітин, для яких характерна наявність вакуолей (див. рис. 1, *б*). Окремі дрібні вакуолі виявляють тенденцію до злиття. Як відомо, для зони розтягування коренів характерний високий рівень експресії аквапоринів, які забезпечують швидке надходження води у вакуолю і підтримують ріст клітин розтягуванням [6, 8]. Безумовно, подібні процеси відбуваються і в ростучих клітинах міжвузлів хвоща. Формування

центральної вакуолі є надзвичайно важливим процесом. Завдяки швидкому збільшенню її об'єму змінюється співвідношення цитоплазма/вакуоля на користь вакуолі, оскільки її об'єм зростає значно швидше, ніж об'єм цитоплазми. Вакуоля, підтримуючи тургор клітини, що росте розтягуванням, сприяє формуванню такого балансу між площею поверхні та об'єму протопласта, завдяки якому відбувається інтенсивний обмін речовинами з навколишнім середовищем і реєстрація сигналів, що надходять до цитоплазми [1, 8].

Ядра клітин зони розтягування набувають характерної для рослинних клітин, що ростуть, гвинтоподібної форми [5]. Структура амілопластів характеризується наявністю великих крохмальних зерен і формуванням периферійних мембранних структур. Своєю чергою, мітохондрії мають розвинену внутрішню структуру і чітку, контрастну оболонку, що також є характерним для активноростучих клітин [5, 9].

Клітинам зони диференціації властива наявність однієї великої вакуолі (див. рис. 1, в). Цитоплазма представлена у вигляді вузького пристінного шару і має незначну електронну щільність. Органели рівномірно розподілені по всьому об'єму цитоплазми. Мітохондрії зберігають структуру з чіткою зовнішньою мембраною. Для зони диференціації характерне утворення великих міжклітинників як результат значного збільшення об'єму клітин та зміни їх форми. Міжклітинники набувають трикутної або злегка еліпсоїдної форми. Судячи з ультраструктурних ознак хлоропластів, виявлених у приепідермальних шарах паренхіми, вони мають високу функціональну активність, тобто їх внесок у сумарний продукційний процес рослин є досить значним.

За нашими спостереженнями, збільшення довжини міжвузлів у хвощів відбувається послідовно, на відміну від злаків, міжвузля яких видовжуються одночасно [10, 11]. Таким чином, ультраструктурні дослідження анатомо-морфологічної будови стебла хвоща (*E. arvense* L.) показали, що клітини його міжвузлів мають неоднакову морфологію та перебувають на різних стадіях диференціації і ростуть як завдяки клітинним поділам, які здійснюються найвірогідніше за типом поділів, характерних для колончастої меристеми, так і за рахунок базипетального розтягування клітин.

1. Гайер Г. Электронная гистохимия. – Москва: Мир, 1974. – 488 с.
2. Фурст Г. Г. Методы анатомо-гистохимического исследования растительных тканей. – Москва: Наука, 1979. – 155 с.
3. Дудинський Я. А., Медведєв А. А. Цитологічна характеристика інтеркалярного росту злаків і методологічні можливості вивчення його метаболізму // Укр. ботан. журн. – 1970. – **27**, № 1. – С. 83–89.
4. Щербатюк М. М. Особливості структури ростових зон міжвузля кукурудзи *Zea mays* L. // Вісн. Харків. Нац. аграр. ун-ту. – 2009. – Вип. 3(18). – С. 28–34.
5. Атлас ультраструктуры растительных клеток / Под. ред. Г. М. Козубова, М. Ф. Даниловой. – Петрозаводск, 1972. – 296 с.
6. Обручева Н. В. Поступление воды как фактор растяжения клеток // Укр. ботан. журн. – 2008. – **65**, № 4. – С. 596–603.
7. Bowes B. G. A. Color Atlas of Plant Structure. – Ames, IA: Iowa Univ. Press, 2000. – 192 p.
8. Иванов В. Б. Меристема как самоорганизующаяся система: поддержание и ограничение пролиферации клеток // Физиол. растений. – 2004. – **51**, № 6. – С. 926–941.
9. Marshall G. Growth and Development of Field Horsetail (*Equisetum arvense* L.) // Weed Science. – 1986. – **34**. – P. 271–275.
10. Мартин Г. Г. Клітинний ріст стебла кукурудзи // Укр. ботан. журн. – 1988. – **45**, № 4. – С. 35–39.
11. Evert R. F. Esau's plant anatomy. – 3rd ed. – Hoboken, New Jersey: Wiley Interscience, 2007. – 607 с.

Л. В. Войтенко, Н. Н. Щербатюк, М. П. Стахив,
член-корреспондент НАН Украины **Л. И. Мусатенко**

Ультраструктурные особенности клеток междоузлия хвоща полевого (*Equisetum arvense* L.)

Проведено електронно-микроскопічне дослідження ультраструктури кліток міждоузлія хвоща полевого. Установлено, що клітки різних зон інтеркалярного росту відрізняються по ультраструктурним особливостям. Для кліток інтеркалярної меристеми характерна електронно-плотна цитоплазма, при переході до активного росту розтягненням збільшується осмотично активний компартмент клітки — вакуоль, яка у повністю диференційованій клітці досягає 80% об'єму протопласта. Хлоропласти кліток ростущого міждоузлія мають ущільнену мембранну систему, яка свідчить про їх фотосинтетичну активність.

L. V. Voytenko, M. M. Shcherbatyuk, M. P. Stakhiv,
Corresponding Member of the NAS of Ukraine **L. I. Musatenko**

Ultrastructural features of internode cells of field horsetail (*Equisetum arvense* L.)

By electron microscopy, the cell ultrastructure of growing internodes of field horsetail is investigated. It is shown that cells of various intercalary growth zones differ by ultrastructural features. The electron-dense cytoplasm is characteristic of intercalary meristem cells. With the transition of cells to the active growth, the osmotically active compartment, vacuole, which occupies 80% of volume of protoplast in fully differentiated cells, is increased. The chloroplasts of growing internode cells have a massive membrane system, which indicates their high photosynthetic activity.