



Т.Є. ХРИСТОВА<sup>1</sup>, О.Є. ПЮРКО<sup>2</sup>,  
М.М. МУСІЄНКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Київський національний університет ім. Тараса Шевченка  
вул. Володимирська, 64, м. Київ, 01033, Україна

<sup>2</sup> Мелітопольський державний педагогічний університет  
вул. Леніна, 20, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312,  
Україна

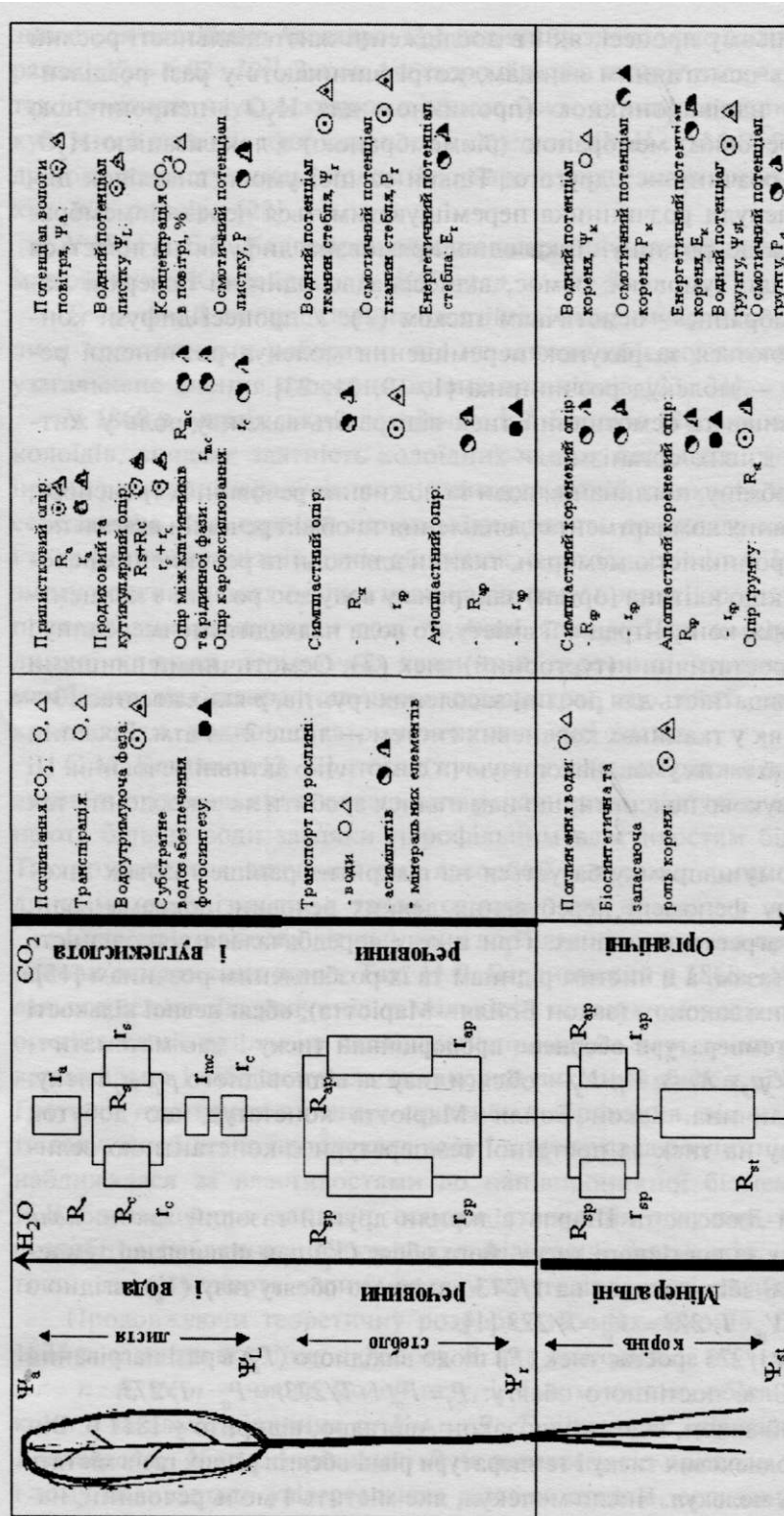
## **ЕВОЛЮЦІЯ ПОГЛЯДІВ НА ОСМОТИЧНІ ЯВИЩА В РОСЛИНАХ**

*Ключові слова: газові закони, осмотичні явища, осмотичний тиск, всисна сила, осмометр, дифузія, напівпроникна мембрана, концентрація, клітинний сік*

На сьогодні чітко встановлено, що рослинним організмам властиві мультіваріабельність і багаторівневість одночасного перебігу значної кількості реакцій та процесів у різних компартментах завдяки їх розділенню за допомогою біомембран і специфічності вмісту кожного з них [7, 13]. Завдяки технічному прогресу вдосконалюються методи досліджень, розширюються контакти між різними напрямками науки та дисциплінами, на основі кооперативних експериментальних досліджень формується сучасна теорія обміну речовин рослинних організмів, кожна ланка якого реалізується відповідно до загальнобіологічних законів природи [9]. Це переконливо ілюструють матеріали, за якими ми розробили узагальнюючу схему [18], в удосконаленому вигляді подану на рис. 1.

Її зміст засвідчує, що з'ясовані далеко не всі проблеми обміну речовин, тому виявлення нових деталей і закономірностей на різних рівнях організації триває.

© Т.Є. ХРИСТОВА,  
О.Є. ПЮРКО,  
М.М. МУСІЄНКО, 2009



○ - 1   ○ - 2   ● - 3   △ - 4   △ - 5   △ - 6   ▲ - 7   ▲ - 8

Рис. 1. Узагальнююча схема стану розробки методів та ступеня вивченості взаємозв'язків різних процесів у рослині. Умовні позначення: **Методи:** 1 — розроблені; 2 — ті, що інтенсивно розробляються; 3 — перспективні, але недостатньо розроблені; 4 — майже не розроблені. **Процеси:** 5 — вивчені; 6 — ті, що інтенсивно вивчаються; 7 — важливі, але недостатньо вивчені; 8 — майже не вивчені. **Methods:** 1 — developed; 2 — it is intensively developed; 3 — perspective, but deficiently developed; 4 — don't almost developing. **Processes:** 5 — studying; 6 — it is intensively studied; 7 — important, but deficiently studied; 8 — don't almost studied

Важливе місце в цьому процесі, як і в дослідженні життєдіяльності рослин загалом, належить осмотичним явищам, котрі виникають у разі розділення компартменту напівпроникною (проникною для  $H_2O$  і непроникною для розчинених речовин) мембраною (біомембраною) з локалізацією  $H_2O$ , з одного боку, а розчину — з другого. Тільки за цієї умови внаслідок дифузного руху молекули розчинника переміщуватимуться через біомембрану від розчинника до розчину. Така односпрямована дифузія називається **осмосом**, а сила, що зумовлює осмос, віднесена до одиниці поверхні напівпроникної мембрани, — **осмотичним тиском** ( $P$ ). У процесі дифузії концентрації вирівнюються за рахунок переміщення молекул розчиненої речовини, а осмосу — молекул розчинника [1, 19, 21, 23].

Осмотичні явища та осмотичний тиск відіграють важливу роль у життєдіяльності всіх живих організмів.

Процеси газообміну, поглинання води та поживних речовин, їх транспорт, накопичення у певних компартментах, виділення та обмін речовин взагалі пов'язані з різною проникністю мембран, тканин для води та розчинених речовин [12, 17, 18]. Якщо клітина (орган) занурена у воду або розчин з концентрацією меншою, ніж концентрація її вмісту, то вода надходитиме всередину і створюватиме гідростатичний (тургорний) тиск ( $T$ ). Осмотичними явищами пояснюється непридатність для рослин засоленних ґрунтів,  $p$  яких досягає 13—15 атм, тимчасом як у тканинах кореневих систем — лише 2—4 атм. Рослини пристосовуються до таких умов, накопичуючи осмотично активні речовини. Ці факти потрібно науково пояснити, що намагалися зробити як закордонні, так і вітчизняні вчені.

Робота в даному напрямку базується на відкритих раніше газових законах та виявленому феномені перебування деяких речовин, зокрема води, водночас у трьох агрегатних станах. При цьому передбачалася відповідність законів не тільки газам, а й чистим рідинам та їх розбавленим розчинам [15].

Згідно з першим законом (закон Бойля—Маріотта), **обсяг певної кількості газу за постійної температури обернено пропорційний тиску** і має математичний вираз  $V_1 p_1 = V_2 p_2 = K$ , де  $V_1, V_2$  — обсяги газу за відповідного  $p_1, p_2$  тиску;  $K$  — постійна величина. Закон Бойля—Маріотта констатує, що добуток обсягу даного газу на тиск за постійної температури є константною величиною.

У 1802 р. Гей-Люссак та Шарль відкрили другий газовий закон: **коли нагрівати масу газу за постійного тиску, його обсяг ( $V_t$ ) при підвищенні температури на кожен  $^{\circ}C$  збільшується на  $1/273$  вихідного обсягу газу ( $V_o$ )**, згідно з виразом:  $V_t = V_o + V_o \cdot T/273 = V_o \cdot T/273$  [1].

Аналогічно на  $1/273$  зростає тиск ( $P_t$ ) щодо вихідного ( $P_o$ ) в разі нагрівання його на кожен  $^{\circ}C$  за постійного обсягу:  $P_t = P_o(1 + T/273) = P_o \cdot T/273$ .

Третій газовий закон, відомий як закон Авогадро, відкрито у 1811 р. Він констатує, що **за однакових тиску і температури рівні обсяги різних газів містять однакову кількість молекул**. Число молекул, яке містить 1 моль речовини, на-

зивається **постійною Авогадро**. Цю величину знаходимо за математичним виразом:  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ . Закон Авогадро відіграв велику роль як у розвитку хімії, так і суміжних наук, оскільки, з одного боку, сприяв визнанню атомно-молекулярного вчення, сформованого в середині XVIII ст. М.В. Ломоносовим, а з другого, користуючись числом Авогадро, можна знайти маси атомів та молекул, їхні розміри [22].

У 1834 р. Б.Е. Клапейрон об'єднав перший і другий газові закони й отримав рівняння Клапейрона:  $p \cdot V/T = r$ ;  $p \cdot V = r \cdot T$ .

Теоретичні напрацювання постійно підтримувалися та підтверджувалися практичними роботами, але не завжди об'єднувалися в єдине ціле — узагальнене вчення стосовно живих організмів [23, 31].

У 1868 р. український дослідник І.Г. Борщов [8], вивчаючи властивості колоїдів, виявляє здатність колоїдних часток поглинати поверхнею частки інших речовин, передусім розчинника, в різній кількості, залежно від умов середовища. Він вважав, що колоїди входять до складу клітин рослинних і тваринних організмів, їхніх оболонок, протопластів і т.д. Ці уявлення дали змогу пояснити поглинання води насінням у процесі проростання, здатність протоплазми утримувати воду та інші явища. При цьому оболонку рослинної клітини, аналогічно тваринній перетинці, почали розглядати як мембрану діалізатора (штучного осмометра), що легко пропускала воду і кристаліди, водночас затримуючи колоїдні частки.

С.М. Богданов [3—7], досліджуючи ступінь набрякання насіння з білковими та крохмальними запасними речовинами, з'ясував, що перші поглинають більше води завдяки гідрофільним властивостям білкових колоїдів. Так розпочалося вивчення сил адсорбції у процесі поглинання води рослинними організмами, а також осмотичного механізму поглинання води.

Суттєвим є внесок вітчизняних дослідників у вчення про фізико-хімічні основи осмотичних явищ. Так, Й.В. Баранецький у 1868—1869 рр. порівнював концентрацію розчинів та кількість поглинутої води, використовуючи оригінальний прилад, в якому напівпроникна перетинка розташовувалась вертикально і забезпечувала однаковий вихідний тиск у різних камерах [2]. Готуючи перетинки з різним ступенем набрякання, він намагався отримати таку, яка б легко пропускала воду і затримувала розчинні речовини, тобто наближалася за властивостями до напівпроникної біомембрани. Досліди Й.В. Баранецького заклали основи створення штучної нирки, сприяли розробці мембранних фільтрів для фільтрації ферментів, токсинів, вірусів тощо, які відіграють велику роль у життєдіяльності людини.

Продовжуючи теоретичну розробку газових законів, Д.І. Менделєєв у 1874 р. замінив постійну складову  $R$ , яка відноситься до 1 молю газу, згідно з  $r = n \cdot R$ , де  $n$  — число молей газу, і, таким чином, об'єднав усі газові закони в загальне рівняння  $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$ , відоме як «**рівняння Менделєєва — Клапейрона**». У цьому рівнянні  $R$  не залежить від природи та кількості газу і тому називається **універсальною газовою сталою**, величина та розмірність

якої визначаються тими ж одиницями, якими вимірюються тиск і об'єм, тому  $R = p \cdot V/n \cdot T = p_0 \cdot V_0/T_0$ , де  $V_0$  — обсяг 1 молю газу за нормальних умов (22,4 л при  $p = 760$  мм рт. стовпчика і  $t = 0^\circ \text{C}$ ) [25, 32].

Фізичний сенс газової сталої стає зрозумілим, якщо врахувати: при постійному тиску з підвищенням температури збільшується об'єм газу. В цьому разі при зростанні об'єму ( $\Delta V$ ) і температури ( $\Delta T$ ), рівняння матиме такий вигляд:  $p \cdot (V + \Delta V) = R \cdot (T + \Delta T)$ , а після розкриття дужок та врахування, що  $p \cdot V = R \cdot T$  та  $p \cdot \Delta V = R \cdot \Delta T$ , отримуємо  $R = p \cdot \Delta V / \Delta T$ . Але додаток тиску на зміну об'єму є роботою, яку визначають через  $A$ , тому при  $p \cdot \Delta V = A$  отримуємо  $R = A / \Delta T$ . Якщо зміна температури  $\Delta T = 1^\circ \text{C}$ , то  $R = A$ . Отже, газова стала дорівнює тій роботі проти зовнішнього тиску, яку виконує один моль газу за підвищення температури на  $1^\circ \text{C}$  [1, 25, 28].

У 1877 р. П.Ф. Пфєффер за допомогою осмометра, який послужив прототипом для виготовлення інших приладів (рис. 2), вимірює осмотичний тиск розчинів сахарози різної концентрації і формує уявлення про осмометр як аналог клітини. Таким чином, автор запропонував на багато років наперед модель рослинної клітини, засновану на порівнянні живої клітини з фізичним приладом [13, 26, 29, 30].

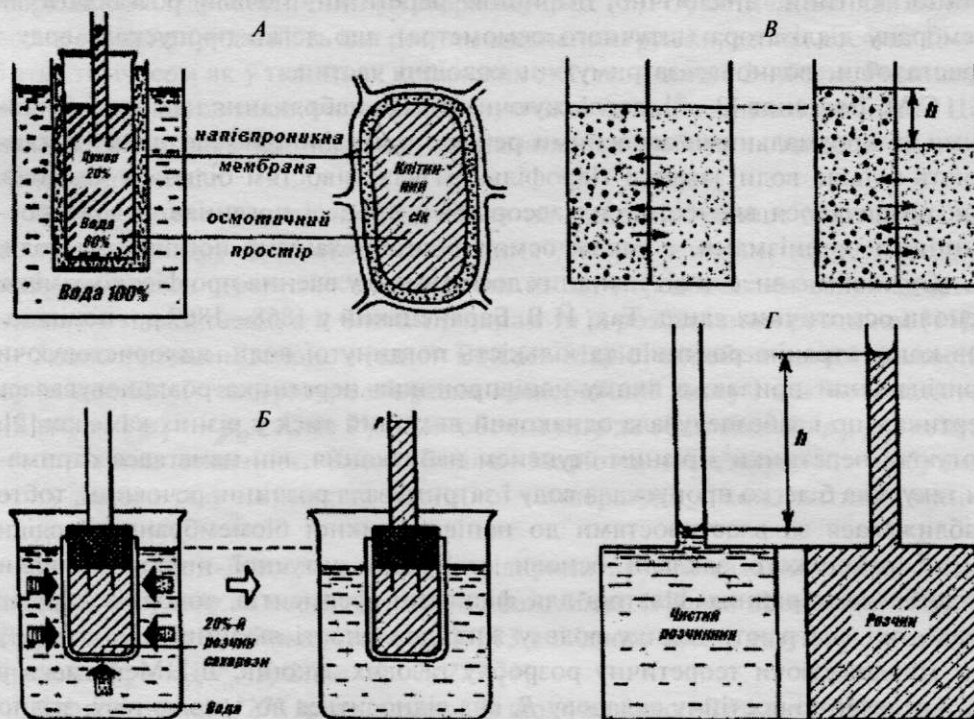


Рис. 2. Схеми рослинної клітини й осмометра. Умовні позначення: А — за Ліббертом [24]; Б — за Польовим [29]; В — за Меріоном [27]; Г — за Калоусом і Павличком [19]  
Fig. 2. The cell and osmometer schemes. Symbols indicate: А — by Libbert [24]; Б — by Poliyvoy [29]; В — by Merion [27]; Г — by Callous and Pavlychko [19]

Вивчаючи процес розчинення та властивості розчинів, які являють собою не тільки однорідні суміші двох або кількох речовин, а й продуктів їх взаємодії, Д.І. Менделєєв встановив, що під час розчинення відбуваються водночас два явища: фізичне і хімічне. Охолодження або розігрівання розчину він пояснив переважанням одного з них. Виділення теплоти при розчиненні вчений пов'язував із хімічною взаємодією розчиненої речовини та води. В результаті утворюються нестійкі екзотермічні хімічні сполуки, частина яких перебуває в дисоційованому стані. Теорія розроблялася впродовж 1860—1887 рр., вона отримала назву **гідратної, або хімічної теорії розчинів Д.І. Менделєєва** [25, 32] і відіграла велику роль у формуванні поглядів на осмотичні явища в рослинах. Згідно з нею **чисті хімічні речовини реагують між собою або дуже повільно, або дуже швидко (вибухово), тимчасом як у розчинах реакції завжди відбуваються уповільнено**, що є надзвичайно важливим для живих організмів.

У 1886 р. Я.Г. Вант-Гофф, вивчаючи результати дослідів П.Ф. Пфєффера з осмотичного тиску розчинів, з'ясував, що між станом речовин у розчині та газовим станом тієї ж речовини існує аналогія, яка має не лише якісний (односпрямована дифузія через напівпроникну перетинку), а й кількісний характер. **Осмотичний тиск розчину на межі розчин-розчинник дорівнює газовому тиску, який би виникав, якщо б розчинна речовина перебувала в газоподібному стані та займала об'єм розчину за такої ж температури.** Свій закон Вант-Гофф представив у вигляді виразу:  $P_{осм.} \cdot V = n \cdot R \cdot T$ , а при  $C = n/V > P_{осм.} = n/V \cdot R \cdot T = C \cdot R \cdot T$ .

За рівнянням осмотичний тиск пропорційний молярній концентрації розчиненої речовини ( $C$ ) та абсолютній температурі ( $T$ ). Експериментально доведено, що це рівняння є слушним тільки для розбавлених розчинів і що похибка осмотичного тиску, розрахованого за рівнянням Менделєєва — Клапейрона, буде меншою, якщо молярну концентрацію ( $C$ ) замінити моляльною ( $m$ ), — тоді  $P_{осм.} = m \cdot R \cdot T$ . Практично Вант-Гофф обґрунтував застосування газових законів для розрахунків осмотичного тиску розбавлених розчинів, які асоціюються з концентрацією клітинного соку вегетативних органів рослин [19, 24].

Відкритий закон є адекватним для неелектролітів. Під час вивчення властивостей розчинів електролітів (кислот, лугів, солей) було встановлено, що вони мають високий осмотичний тиск порівняно з молярними розчинами відповідних неелектролітів. Тому для електролітів Я.Г. Вант-Гофф запропонував допоміжний множник  $i$  — **ізотонічний коефіцієнт**, який показує, у скільки разів реальний осмотичний тиск ( $P_{виз.}$ ) розчину більше розрахованого ( $P_{роз.}$ ), тобто  $i = P_{виз.}/P_{роз.}$ . Для електролітів рівняння Вант-Гоффа матиме вигляд:  $P = i \cdot C \cdot R \cdot T$ . Коефіцієнт  $i$  для неелектролітів дорівнює  $1$ , а для електролітів —  $>1$  і визначається за рівнянням:  $i = 1 + \alpha \cdot (n - 1)$ , де  $\alpha$  — ступінь електролітичної дисоціації,  $n$  — кількість іонів, на які розпадається молекула електроліту. Його значення збільшується в разі розбавлення розчинів, наближаючись до певної величини, характерної для конкретного електроліту [1, 12, 25].

Тривалий час осмотичний тиск клітини вважали рушійною силою поглинання і транспорту води рослиною [33—35]. Але в міру накопичення експери-

ментальних даних стає зрозумілим, що, пояснюючи цей процес, треба враховувати не тільки  $P_{осм.}$ , а й гідростатичний тиск ( $T$ ), який формується в результаті надходження води в клітину (рослину). Тому на початку ХХ ст. Уршпрунг і Блум [12, 27] як рушійну силу цього процесу назвали «сисну силу» ( $S$ ), що чисельно дорівнювала різниці між осмотичним ( $P_{осм.}$ ) і тургорним ( $T$ ) тисками:  $S = P - T$ .

В.С. Майер у 1938 р. для пояснення цього процесу запропонував термін «дефіцит дифузного тиску» (ДДТ) води в біологічній системі: «та величина, на яку дифузний тиск цієї води менший дифузного тиску води, що має таку ж температуру і такий самий атмосферний тиск» [8],  $ДДТ = P_{осм.} - T$ . В ряді випадків  $S$  і ДДТ були вищими за  $P$ , і тоді  $S(ДДТ) = P + T$ . Такі явища спостерігалися в разі циторізу, коли під час зневоднення протопласт не відходив від оболонки клітини [14, 15, 32].

Висунуті ще в 1930—1935 рр. О.М. Алексєєвим ідеї термодинамічного підходу до вивчення водного режиму рослин почали застосовувати лише в останні 50 років. У 1960 р. для характеристики водного режиму в системі «грунт—рослина—атмосфера» ввели поняття «водний потенціал» (ВП,  $\psi$ ). Цей термодинамічний показник стану води в системі є похідною двох інших термодинамічних показників — активності ( $\alpha$ ) та хімічного потенціалу ( $\mu_w$ ) води. Активність води визначається за формулою  $\alpha_w = P/P_o$ , де  $P$  — тиск водяної пари над системою;  $P_o$  — тиск насиченої пари над чистою водою за тих самих умов [1, 10, 13—15].

Хімічний потенціал води ( $\mu_w$ ) — похідний від її активності параметр, який визначає максимальну кількість вільної енергії молекул води, що може бути перетворена на роботу:  $\mu = \mu_w^o + RT \lg a_w$ , де:  $\mu_w^o$  — хімічний потенціал чистої води;  $R$  — газова стала;  $T$  — абсолютна температура;  $a_w$  — активність води в системі. В розчині та клітині  $a_w < 1$ , тому  $\lg a_w$  — має від'ємне значення.

У порівняльних дослідженнях фізіологи рослин часто використовують параметр **водний потенціал** ( $\psi$ ), який дорівнює різниці хімічних потенціалів чистої води та води в дослідній системі (клітина, тканина, орган), віднесеної до одиниці обсягу ( $\bar{V}$ ):  $\psi = \mu - \mu_o / \bar{V}$  [12, 25, 27, 30].

Визначення  $\psi$  базується на твердженні: якщо концентрація розчину, в якому перебуває рослинний об'єкт, не змінюється, то величина осмотичного потенціалу ( $P_{осм.}$ ) дорівнює  $\psi$  рослинного зразка з протилежним знаком:  $-\psi = P$ . Безпосереднє визначення  $P$  методами кріоскопії [20] та ебуліоскопії потребує складної апаратури, тому часто використовують плазмолітичний метод або рефрактометричне визначення змін концентрацій осмотично активних розчинів (після того, як в них перебували рослинні зразки або клітинний сік) з подальшими розрахунками  $P$  та  $\psi$  [11, 27, 30].

Оскільки клітинний сік являє собою розчин із багатьма розчиненими речовинами (цукри, солі, органічні кислоти і т.д.), інтегральні параметри дорівнюватимуть, відповідно:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \dots + P_j = P_n$$

$$\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 + \Psi_3 + \dots + \Psi_j = \Psi_n$$

Знаходження окремо  $P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_j$  та  $\Psi_1 + \Psi_2 + \Psi_3 + \dots + \Psi_j$  — дуже копітка робота, на що вказував ще Slavik [34, 35], тому в дослідженнях частіше використовують загальні величини концентрації розчинених речовин (визначених рефрактометрично) без урахування складових, у результаті чого можливі значні похибки. Українські вчені запропонували методику визначення осмотичних тисків органічної та мінеральної складових [16—18], згідно з якою загальна відсоткова концентрація клітинного соку ( $C_{заг.}$ ) встановлюється рефрактометрично, а після спалювання зразка й отримання золи — відсоткова концентрація мінеральної ( $C_m$ ) та органічної ( $C_{ор.}$ ) складових:  $C_{заг.} = C_m + C_{ор.}$ . При цьому молярна концентрація відповідних складових розраховується за відсотковою концентрацією за виразом:  $C_m = C_{\%} \cdot \beta / M_p \cdot 100$ , де  $C_m$  — молярна концентрація розчину (моль/л сахарози для органічної,  $NaCl$  — для мінеральної складових);  $\beta$  — густина розчину ( $кг/м^3$ );  $C_{\%}$  — концентрація складової клітинного соку (%);  $M_p$  — молекулярна маса розчиненої речовини (г/моль); 100 — коефіцієнт переведення значень параметра у відсотки.

Визначивши ( $P$ ,  $\psi$ ) мінеральної та органічної складових клітинного соку, знаходять значення цього параметра для рослинного зразка в цілому ( $P_{зр.}$ ):

$$P_{зр.} = P_{ми.} + P_{ор.}; \quad \Psi_{зр.} = \Psi_{ми.} + \Psi_{ор.}$$

Такий підхід дозволив констатувати за експериментальними результатами: за однакового засолення ґрунту (2,5 %  $NaCl$ )  $\psi$  у справжнього галофіта *Salicornia europaea* L. досягає 4,83 МПа (4,03 — за рахунок мінеральної та 0,8 % — органічної складових) за досить низької концентрації (17 %) клітинного соку, а у глікогалофіту *Artemisia santonica* L. — 4,01 МПа (2,24 — за рахунок  $\psi_{ми.}$  та 1,77 —  $\psi_{ор.}$ ) при значно вищій концентрації клітинного соку — 25,9 %. Розроблена методика дає змогу проводити фізіологічний моніторинг фітоценозів для перспективного передбачення їх розвитку, передусім у посушливих та засолених регіонах [18].

Отже, всі процеси в матеріальному світі здійснюються за загальними законами природи і певною мірою аналогічні для різних станів речовин. Осмотичні явища — широко відомі процеси, на яких базується вся життєдіяльність рослинних організмів. Попри давність вивчення цих процесів, їх наукове дослідження триває і досі. При цьому значним є внесок вітчизняних учених-фізіологів.

1. Базиліні С.А., Ерофеев Б.В., Подобаяв Н.И. Основы физической и коллоидной химии. — М.: Просвещение, 1975. — 398 с.
2. Баранецкий О.В. Исследования над диосмосом по отношению его к растениям // Тр. СПб. о-ва естествоиспыт. / Протокол 7-го заседания Ботан. отд. о-ва естествоиспыт. от 20.11.1869. — СПб., 1870. — С. 1—42.
3. Богданов С.М. Потребность прорастающих семян в воде // Киев. университетские известия. — 1887. — № 8. — С. 1—24.
4. Богданов С.М. Потребность прорастающих семян в воде // Киев. университетские известия. — 1887. — № 9. — С. 25—48.



5. Богданов С.М. Потребность прорастающих семян в воде // Киев. университетские известия. — 1887. — № 10. — С. 49—72.
6. Богданов С.М. Потребность прорастающих семян в воде // Киев. университетские известия. — 1887. — № 11. — С. 73—102.
7. Богданов С.М. Потребность прорастающих семян в воде // Киев. университетские известия. — 1887. — № 12. — С. 1—42.
8. Борцов И.Г. О свойствах и частичном строении некоторых коллоидных веществ, участвующих в образовании растительных и животных организмов // Журн. Рос. хим. о-ва. — М., 1869. — Т. 1. — С. 194—212.
9. Бровдій В.М., Гаца О.О. Енергетичні закони екології. — К., 2001. — 102 с.
10. Гороневский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряг Е.Ф. Краткий справочник по химии. — К.: Наук. думка, 1987. — 829 с.
11. Ермаков А.И., Арасимович В.Е., Смирнова-Иконникова М.И. и др. Методы биохимического исследования растений. — Л.: Колос, 1972. — 456 с.
12. Жолкевич В.Н., Гусев Н.А., Капля А.В. и др. Водный обмен растений. — М.: Наука, 1984. — 255 с.
13. Журавлёва Н.А. Механизм устьичных движений, продукционный процесс и эволюция. — Новосибирск: Наука, 1992. — 140 с.
14. Зялалов А.А. Физиолого-термодинамический аспект транспорта воды по растению. — М.: Наука, 1984. — 136 с.
15. Измайлов Н.А. Теория растворов от Д.И. Менделеева до наших дней // Из истории отечественной химии. — Харьков: Харьков. ун-т, 1952. — С. 282—323.
16. Казаков Є.О. Методологічні основи постановки експерименту з фізіології рослин. — К.: Фітосоціоцентр, 2000. — 272 с.
17. Казаков Є.О., Пюрко О.Є., Мусієнко М.М. Клітинний сік як діагностичний параметр адаптаційного синдрому галофітів // Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. — Серія Біол. — 2002. — Вип. 11. — С. 62—65.
18. Казаков Є.О., Пюрко О.Є., Христова Т.Є. Методологічні аспекти фізіологічного моніторингу рослин Приазов'я // Питання біоінд. та екології. — Запоріжжя, 2002. — Вип. 7, № 2—3. — С. 141—152.
19. Калоус В., Павличек З. Биофизическая химия. — М.: Мир, 1985. — 248 с.
20. Кармадонов Ю.К. Прибор для определения осмотического давления в микрообъемах жидкости // Физиол. и биохим. культ. раст. — 1986. — 18, № 1. — С. 91—93.
21. Кларксон Д. Транспорт ионов и структура растительной клетки. — М.: Мир, 1978. — 368 с.
22. Ковиц Т.Е. Избранные труды по химии и химической технологии. — М.: АН СССР, 1951. — С. 15—423.
23. Лепешкин В.В. Исследования над осмотическими свойствами и тургором растительных клеток // Зап. АН. — 1907. — 22. — С. 1241—1294.
24. Либберт Э. Физиология растений. — М.: Мир, 1968. — 494 с.
25. Менделеев Д.И. Исследование водных растворов // Избр. соч. — М.: Госхимиздат, 1934. — 623 с.
26. Мусієнко М.М. Фізіологія рослин. — К.: Либідь, 2005. — 682 с.
27. Мэрион Дж. Б. Общая физика с биологическими примерами. — М.: Высш. шк., 1986. — 623 с.
28. Никольский Б.П., Григоров О.Н., Позин П.Е. и др. Справочник химика. — М.; Л.: Гос. науч.-техн. изд-во хим. л-ры, 1962. — 1069 с.
29. Полевой В.В. Физиология растений. — М.: Высш. шк., 1989. — 464 с.
30. Сабинин Д.А. О корневой системе растений как осмотическом аппарате // Изв. биол. НИИ при Перм. гос. ун-те, 1925. — 3, вып. 4. — С. 42—48.
31. Тимирязев К.А. Избранные сочинения. — М.: Сельхозгиз, 1948. — Т. 1—4. — 430 с.
32. Химическая энциклопедия. — М.: Большая Рос. энцикл., 1992. — Т. 3. — 639 с.

33. Roth D., Bergman H. Methoden zur Bestimmung des pflanzen wasser deficits und inze direktenerung der Zusatzwasserversorgung. — ?bersichtsbeitrag // Arch. Acker- und pflanzendenbau und Bodenk. — 1973. — 17, № 9. — P. 675—693.
34. Slavik B. The influence of water deficit on transpiration // *Physiol. Plant.* — 1958. — 11, № 3. — P. 524—536.
35. Slavik B. Method of studying plant water relations // *Ecological studies Prague: Publ. House of Czochosl. Acad. Science N.J.* — Springer, 1974. — Vol. 9. — 450 p.

Рекомендує до друку  
Л.І. Мусатенко

Надійшла 27.05.08

*Т.Е. Христовая<sup>1</sup>, О.Е. Пюрко<sup>2</sup>, Н.Н. Мусиенко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко

<sup>2</sup> Мелитопольский государственный педагогический университет

### ЭВОЛЮЦИЯ ВЗГЛЯДОВ НА ОСМОТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ У РАСТЕНИЙ

Рассматривается эволюция взглядов на формирование осмотических явлений у растений. Показано, что они базируются на открытых ранее газовых законах. Констатируется гетерогенность осмотических составляющих, из которых минеральная всегда имеет меньшую процентную концентрацию относительно органической, но обуславливает высокое осмотическое давление.

*Ключевые слова:* газовые законы, осмотические явления, осмотическое давление, сосущая сила, осмометр, диффузия, полупроницаемая мембрана, концентрация, клеточный сок.

*T. E. Khristovaya<sup>1</sup>, O. E. Pyurko<sup>2</sup>, N. N. Musienko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Taras Shevchenko Kiev National University

<sup>2</sup> Melitopol State Pedagogical University

### EVOLUTION OF VIEWS ON OSMOTIC PHENOMENA IN PLANTS

Evolution of views on formation of osmotic phenomena in plants is considered. It is shown that they are based on gas laws discovered earlier. It is established the heterogeneity of osmotic components, of which the mineral component always has lower percentage concentration as compared to the organic one, but determines a high osmotic pressure.

*Key words:* gas laws, osmotic phenomena, osmotic pressure, suction power, osmometre, diffusion, semipermeable membrane, concentration, cell sap.