

УДК 581.121.

**ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ВОДЯНОГО  
РЕЖИМУ ШАВЛІЇ ЛІКАРСЬКОЇ****М.І.ФЕДОРЧУК – к.с.-г.наук, Херсонський державний аграрний університет**

Як культурну рослину, шавлію лікарську вирощують у багатьох країнах Європи, Америки та Азії. Всі органи цієї рослини містять ефірну олію (більше всього листя – 0,5-2,5%), що має широке застосування в медицині як протизапальний і дезінфікуючий засіб.

Дані про врожаї і зміст ефірної олії в шавлії лікарській наведені [1, 3, 4, 5, 9] і показують, що врожайність свіжих листів досягає 150 ц/га, з них одержують приблизно 50 кг ефірної олії на гектар.

Ботанічна характеристика шавлії лікарської наведена [3, 4]. Шавлія лікарська засуhostійка рослина, гарно зимує навіть у районах, де температура повітря узимку досягає  $-30^{\circ}\text{C}$ . Цвіте шавлія в травні, а насіння дозріває у липні. Шавлія не особливо вимоглива до ґрунту. Як багаторічну культуру, шавлію вирощують протягом 6-8 років, а розмножують насіннями. Після того, як рослини утворюють 4-5 листків, вони проріджуються, й одночасно з цим вноситься азотне добриво. Під час вегетаційного періоду проводиться 2-3 культивуації, а восени після останнього збору листя рослини підгодовують фосфорними добривами. Збір листя проводять у період бутонізації, стебла зрізають на висоту приблизно 10-15 см від землі. Після цього листи відокремлюють від стебел і сушать при температурі  $50-60^{\circ}\text{C}$ . Після жнив рослини знову розвиваються і до осені проводять друге збирання.

В останні роки вивченню цієї культури приділяється велика увага, у науковій літературі є багато інформації про різні процеси її життєдіяльності, однак майже немає інформації про її водяний режим.

Метою наших досліджень було вивчення особливостей динаміки водяного режиму шавлії лікарського протягом вегетаційного періоду і його взаємозв'язок з факторами зовнішнього середовища для створення динамічної моделі цього процесу, що має прогностичне значення.

Методика.

Рослини шавлії лікарського вирощувалися у вегетаційних судинах ємністю 10 літрів. Рослини 1-2-го року посадки. Досвіди проводилися в трикратній повторності (1997-2002).

Експерименти проводилися у факторостатних умовах і в умо-

вах вегетаційного досвіду.

У кліматичній камері один з параметрів був незалежно перемінний, а інші – стабілізувалися.

Для проведення експериментів використовувалася фітотетрична система «Экоплант» [2, 6, 7, 11, 12], що дозволяє реєструвати параметри зовнішнього середовища, і рослини. Одержувана інформація надходила до бази даних ЕОМ, потім оброблялася різними пакетами прикладних математичних програм (наприклад, у «Windows-97, Excel» і ін.). При цьому інформація є безупинною чи одержуваною із заданою дискретністю, рослини не ушкоджуються, а застосовані методи вимірів не роблять впливу на навколишнє середовище.

Система дозволяє вимірювати температуру листків рослини, різницю температур лист-повітря, відносну швидкість [2, 6, 7, 11, 12] ксилемного і флоемного потоків у пагонах (стеблах) рослин і зміну їх тургесцентності (діаметра), дифузійний опір листа, біоелектричну різницю потенціалів, водяний потенціал листків, ріст різних органів рослини в довжину, інтенсивність CO<sub>2</sub>-газообміну та інші параметри.

Крім фітотетричних перетворювачів, у систему входять кілька алгоритмічних датчиків (вимір сумарної сонячної радіації, дифузійного опору листа, водяного потенціалу листків і ґрунту), розрахунок показників яких проводиться за спеціальними програмами, містить у собі кілька вимірів і вимагає часу не менше 600 сек. Для виміру устяного опору листа використовували методи, описані [11].

Транспірацію вимірювали ваговим методом.

З параметрів зовнішнього середовища система дозволяє вимірювати температуру і вологість повітря, температуру краплини роси, сумарну сонячну радіацію, температуру ґрунту на глибині 3 і 11 см, водяний потенціал ґрунту.

При проведенні експериментів в умовах вегетаційного досвіду протягом усього періоду вегетації ми використовували дані метеостанції Нікітського ботанічного саду (див. нижче):

- температура повітря, град.С;
- сумарні опади, мм;
- тривалість сонячного саява, година;
- температура ґрунту, CO<sub>2</sub>;
- відносна вологість повітря, %.

Результати й обговорення

Дослідження проводили протягом усього періоду вегетації шавлії лікарської, що має наступні фенофази розвитку (див. табл.1).

Таблиця 1 – Фенофази розвитку шавлії лікарської

Фенофази	Середня дата	Відхилення
1. Початок відростання	10/4	± 6,0
2. Бутонізація	6/5	± 4,0
3. Початок цвітіння	21/5	± 4,0
4. Кінець цвітіння	5/8	± 6,3
5. Дозрівання плодів	10/8	± 12,3
6. Кінець вегетації	8/11	± 20,0

Раніше [6] нами була розроблена мультиплікативна динамічна модель транспірації саджанців плодових культур, яку можна представити в наступному виді:

$$I(t) = I_{\max} * f_1(Q) * f_2(d_{\text{воз}}) * f_3(W_{\text{поч.}}) * f_4(d_{\text{кс.}})$$

де:

–  $I(t)$  – поточне значення інтенсивності транспірації за досліджуваний період часу;

–  $I_{\max}$  – максимальне значення інтенсивності транспірації за досліджуваний період часу;

–  $f_1(Q)$  – залежність наведеної інтенсивності транспірації (нормованої до одиниці) від сумарної сонячної радіації;

–  $f_2(d_{\text{воз}})$  – залежність приведеної інтенсивності транспірації від дефіциту вологості повітря;

–  $f_3(W_{\text{поч.}})$  – залежність приведеної інтенсивності транспірації від вологості ґрунту;

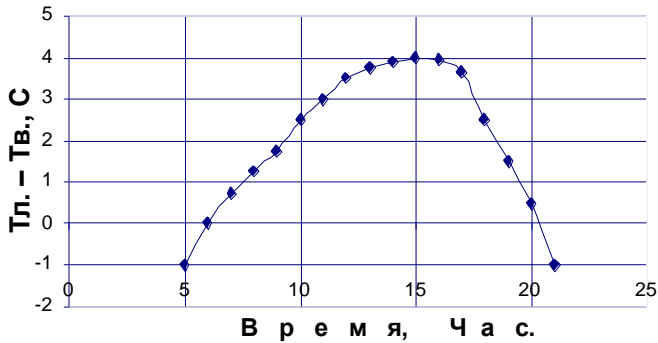
–  $f_4(d_{\text{кс.}})$  – залежність приведеної інтенсивності транспірації від дефіциту вологості ксилеми.

Розроблена модель має досить високу точність (10-15%) і має прогностичне значення. Однак цілком застосувати модель у наших дослідженнях ми не змогли через відсутність конструкції датчиків, що дозволяють робити вимір  $d_{\text{кс.}}$  на трав'янистих рослинах. Замість цієї залежності ми спробували використовувати іншу. Відомо, що різниця температур лист-повітря ( $T_{\text{л.}} - T_{\text{в.}}$ ) є непрямою характеристикою інтенсивності транспірації [6, 8], і ми застосували цей параметр у даній моделі (див. вище).

На Рис.1. представлено природний хід цього параметра за світовий період доби.

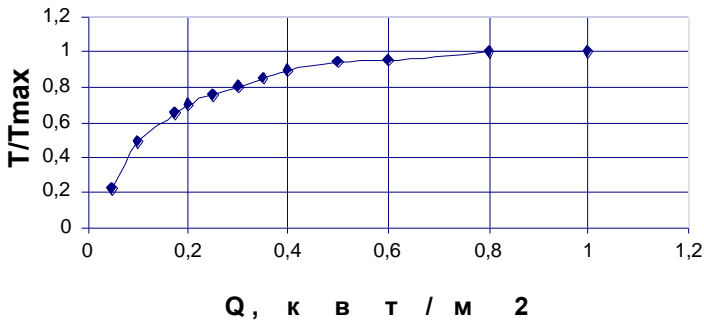
З цього рисунка видно, що в ранковий час (5-6) різниця температур негативна, тобто лист холодніший повітря, потім при підвищенні сонячної радіації лист поступово нагрівається і його температура стає вищою температури повітря, навіть не дивлячись на охолоджуючий вплив транспірації. Максимальну температуру лист має приблизно о 15 годині – вона вища температури повітря на  $4^{\circ}\text{C}$ . Величина цієї різниці залежить від особливості будівлі листа і напру-

женості усіх факторів зовнішнього середовища й у першу чергу від вологості ґрунту [6].



**Рис. 1. Зміна різниці температур лист – повітря (Тл. – Тв.) шавлії лікарської за світлий час доби.**

Для побудови моделі ми провели серію дослідів у кліматичній камері з метою перебування функцій, що входять в описану вище модель.



**Рис.2. Залежність наведеної інтенсивності транспірації від освітленості**

На рис.2. показано залежність приведеної інтенсивності транспірації від освітленості ( $Q = f(T/T_{max})$ ).

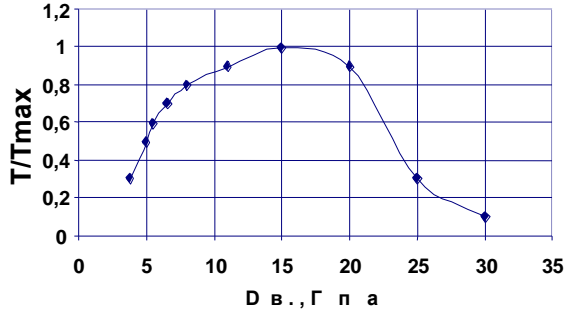
При вивченні цієї залежності для виключення впливу інших факторів зовнішнього середовища вони були стабілізовані і дорівнювали:

– вологість ґрунту - 90-70% НВ,  $T_{воз.} = 22-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $h_a = 0,7-0,8$ . З цієї залежності видно, що світлова крива наближається до плато насичення при освітленості  $0,5-0,6\text{ кВт/м}^2$ , що є важливою характе-

ристикую даної культури при її вирощуванні.

Ця залежність була апроксимована поліномом 5-й ступеня, і були отримані наступні коефіцієнти:

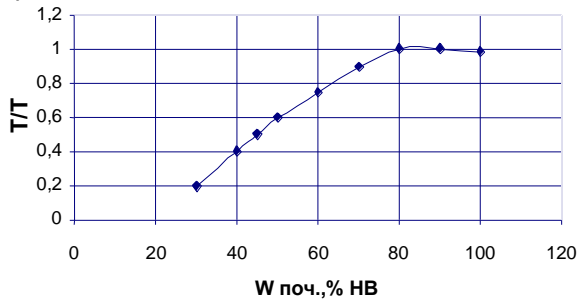
$Z_0 = -0,068$ ;  $C_1 = 7,33$ ;  $C_2 = -25,07$ ;  $C_3 = 45,781$ ;  $C_4 = -41$ ;  $C_5 = 14,029$ .



**Рис. 3. Залежність наведеної інтенсивності транспірації від дефіциту вологості повітря**

При вивченні цієї залежності вологість ґрунту в судинах підтримувалася 70-80% НВ, освітленість 0,5 квт/м<sup>2</sup>.

З отриманої залежності видно, що максимум інтенсивності транспірації на рівні 0,9 Т/Т max відповідає 12-18 Гпа. Потім впливає спад і при 25 Гпа Т/Т max складає лише 0,3.



**Рис.4. Залежність наведеної інтенсивності транспірації від вологості ґрунту**

При вивченні цієї залежності для виключення впливу інших факторів зовнішнього середовища вони були стабілізовані і дорівнювали :

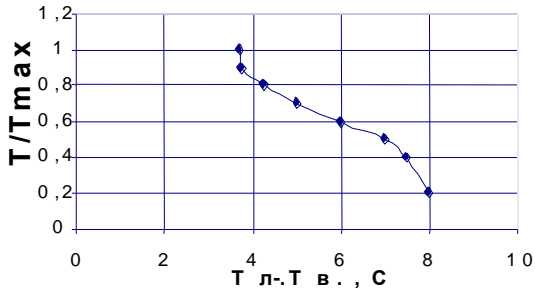
$T_v = 22-24 \text{ C}^\circ$ ;  $h_a = 0,7 - 0,8$ , освітленість 0,5квт/ м<sup>2</sup>.

З наведеного графіка видно, що  $T/T_{max}$  дорівнює 0,9 при 70%НВ, потім плавно знижується аж до значення 0,2 при 30%НВ.

Для вивчення залежності  $T_l - T_v = f(T / T_{max})$  були стабілізовані основні фактори зовнішнього середовища:

$T_v = 22-24 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $h_a = 0,7 - 0,8$ , освітленість  $0,5 \text{ кВт/м}^2$ ,

$W_{поч.} = 70-80 \text{ \%НВ}$ , а для зміни інтенсивності транспірації устячка листів замазувалися вазеліном.



**Рис 5. Залежність наведеної інтенсивності транспірації від різниці температур лист – повітря**

Як видно з наведеного графіка, при максимальній транспірації й освітленості  $0,5 \text{ кВт/м}^2$ , перегрів листа складав  $3,7^\circ \text{C}$ , потім мірою зменшення інтенсивності транспірації і, отже, зменшення її охолоджуючого впливу, відбувався перегрів листа і при  $T/T_{max}=0,2$  він склав  $8^\circ \text{C}$ .

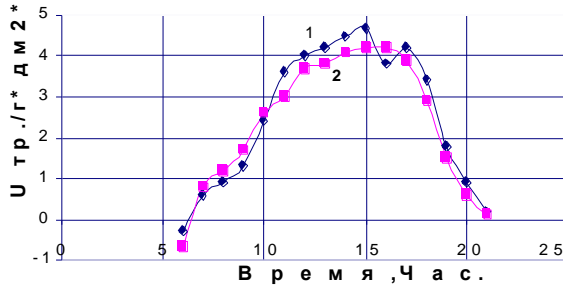
Інші залежності були також апроксимовані поліномом 5-го ступеня і відповідно дорівнювали:

$D_v = f(T/T_{max})$ ;  $Z_0 = -1,474$ ;  $C_1 = 0,789$ ;  $C_2 = -0,111$ ;  $C_3 = 0,008$ ;  $C_4 = 0$ ;  $C_5 = 0$ .

$W_{поч.} = f(T/T_{max})$ ;  $Z_0 = -1,96$ ;  $C_1 = 0,165$ ;  $C_2 = -0,005$ ;  $C_3 = 0$ ;  $C_4 = 0$ ;  $C_5 = 0$ .

$T_l - T_v = f(T/T_{max})$ ;  $Z_0 = 201,998$ ;  $C_1 = -185,958$ ;  $C_2 = 67,659$ ;  $C_3 = -12,105$ ;  $C_4 = 1,064$ ;  $C_5 = -0,037$ .

Отримані в такий спосіб залежності дозволяють розрахувати інтенсивність транспірації в будь-який момент часу з інтервалом у 1-у годину.



**Рис. 6. Зміна інтенсивності транспірації шавлі лікарської за світлий час доби**

1 – експериментальна крива;

2 – теоретична крива.

Як видно з наведеного графіка, експериментальна і теоретична криві близькі за формою, а розрахунок показує, що погрішність моделі не перевищує 15-20%. Така модель уже може мати прогностичне значення [6,7].

При проведенні досліджень в умовах вегетаційного досвіду ми також досліджували взаємозв'язок між факторами зовнішнього середовища й інтенсивністю транспірації. У якості незалежних змінних були взяті:

- Інтенсивність сумарної сонячної радіації, квт/м<sup>2</sup> - X1
- Вологість повітря, % - X2
- Температура повітря, 3 - X3
- Температура ґрунту, 3 - X5
- Дефіцит вологості повітря, Гпа -X4
- Різниця температур лист- повітря, 3 -X6

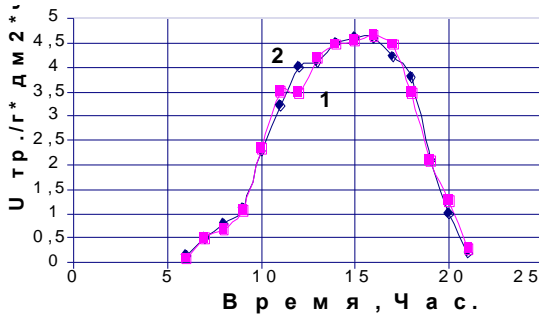
У процесі експерименту рослини поливалися до 90-70% НВ.

Рівняння множинної регресії для інтенсивності транспірації – у (залежна змінна) має вигляд:

$$y = 4,2473 + 4,2949X1 - 0,00723X2 - 0,0873X3 + 4,731X4 - 4,893X5 + 0,286X6;$$

Коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 0,99666;$$



**Рис. 7. Зміна інтенсивності транспірації шавлії лікарської за світлий час доби**

1. Експериментальна залежність.
2. Теоретична залежність.

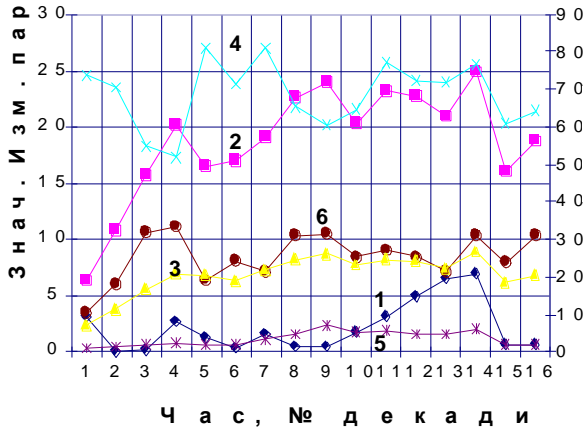
Як видно з рис. 7, експериментальна і теоретична залежності дуже близькі за формою, і ця модель також може мати прогностичне значення.

Увесь період розвитку шавлії лікарської (див. таблицю) був розбитий нами на 16 декад . Для них були розраховані середні за декаду значення параметрів зовнішнього середовища (дані метеостанції Нікітський сад) і наші виміри.

Ними були:

1. Температура повітря – град.С.
2. Сумарні опади – мм.
3. Тривалість сонячного сяйва – година.
4. Температура ґрунту – °С.
5. Відносна вологість повітря ,%.
6. Різниця температур лист-повітря, °С (наші виміри).





**Рис. 8. Природні зміни (середніх за декаду) значень вимірюваних параметрів навколишнього середовища протягом періоду вегетації шавлії лікарської (позначення - див. вище 1-6 відповідно).**

Виходячи з цих даних, побудували математичну модель (рівняння множинної лінійної регресії) залежності інтенсивності транспірації від факторів зовнішнього середовища.

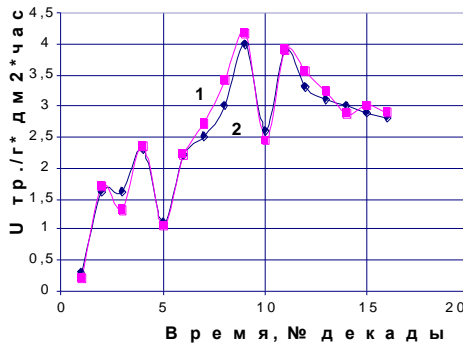
Рівняння має вигляд :

$$y=2,548+1,208X1-0,2895X2-0,636X3-0,749X4-0,0201X5+0,0241X6;$$

Позначення незалежних змінних X1-X6 (див. вище - відповідно).

Коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 0,96543$$



**Рис.9. Зміна інтенсивності транспірації протягом періоду вегетації шавлії лікарської**

1. Експериментальна залежність.

2. Теоретична залежність.

3. Як видно з цього рисунка, експериментальна і теоретична залежності не дуже відрізняються.

Розрахунки показали, що максимальна помилка моделі складає 20-25%, що для біологічних об'єктів цілком прийнятно.

Проведені нами дослідження з вивчення особливостей динаміки водяного режиму шавлії лікарської у факторостатних умовах і в умовах вегетаційного досвіду дозволили вивчити залежність інтенсивності транспірації від основних факторів зовнішнього середовища, що дало можливість побудувати динамічну модель цього процесу з інтервалом часу в 1-у годину. Помилка моделі склала 15-20%, що має прогностичне значення.

Розбивка всього періоду вегетації шавлії лікарської на 16 декад і перебування залежностей між середніми за декаду значеннями основних факторів зовнішнього середовища й інтенсивністю транспірації дозволило побудувати динамічну модель водного режиму з вищевказаним кроком. Точність моделі, природно, нижча (20-25%), однак для біологічних об'єктів вона теж може мати прогностичне значення.

### **Список літератури:**

1. Бондаренко А.К., Чуб В.Г., Бондаренко Б.С., Овдиенко О.А. Лікарські рослини півдня України. -Київ: Асоціація українських експортерів друкованої продукції. -1992. -262 с.
2. Баликів Н.Г. Методи і пристрої автоматичної реєстрації процесів росту деревних рослин // Біофізичні методи досліджень у екофізіології деревних рослин. –Л. –Наука: -1979. -с.18-34.
3. Бекетовский Д.Н. Введення у вивчення лікарських і ароматичних рослин. - Москва. - Сельхозгиз .- 1937 .- с.121.
4. Гаммерман А.Ф., Кидаев Г.Н., Яценко-Хмелевский А.А. Лікарські рослини .- М.: Вища школа .- 1984.- 400 с.
5. Илиева С. Лікарські культури .- Софія - 1981 .-262 с.
6. Ильницький О.А., Лишук А.И., Ушкаренко В.А. Фітомоніторинг у рослинництві.- Херсон .- 1987.- 235 с
7. Клейман Э.И. Водяний режим рослин при різких змінах факторів середовища- Автореф. Дис... канд биол наук- Кишинів-1988- 17с.
8. Созловский Т. Водяний обмін рослин //М- Колосся-1969- 247с.
9. Работягов В.Д., Ушкаренко В.А., Федорчук М.И. Эфиромасличные и пряновкусовые растения в народной медицине .-Херсон, .- Айлант, -1998 .- 78с.
10. Тон Ю.Д., Клейман Э.И. Спосіб визначення устьичного опору листів. - А.С. №1639497 .- 1991 .- Б.И. №40.
11. А.С. №1337645 Пристрій для контролю відносної зміни тургесцентности- Балашов А.Н., Рубинштейн Д.С., Тон Ю.Д.-1987 - Б.И. №34.
12. Чернавин А.С. Посібник із застосування добрив під лікарські й ефіроносні рослини .- М.- Л.- 1933 .- 82с.