

УДК 581.151

В. С. Більчук, Л. В. Шупранова

Дніпропетровський національний університет

## ОСОБЛИВОСТІ НАКОПИЧЕННЯ НЕСТРУКТУРНИХ ВУГЛЕВОДІВ У ПАГОНАХ РІЗНИХ ВИДІВ РОДУ *ACER* В УМОВАХ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Наведені результати дослідження впливу шкідливих викидів коксохімічного виробництва на накопичення крохмалю та сахарози у пагонах різних видів роду *Acer* L. Встановлено, що інгредієнти викидів коксохімічного виробництва гальмують процес гідролізу крохмалю, що викликає суттєве зменшення кількості цукрів і негативно впливає на зимостійкість вивчених рослин.

The research results on influence of the by-product-coking industry emission on starch and saccharose accumulation in sprouts of the *Acer* L. species are presented. The toxic ingredients of the coke production wastes inhibit the process of starch hydrolysis that provokes considerable decrease of the sugars content and negative influence on the plants' winter hardiness are established.

### Вступ

У моніторингових дослідженнях регіонів, що зазнають хронічного впливу промислових викидів, показники вуглеводного обміну – один із найбільш інформативних тест-параметрів стану рослин. Порушення фотосинтетичної функції рослини, що перебуває в умовах забрудненої атмосфери, незмінно відбиваються на кількісному вмісті та співвідношенні різних форм вуглеводів [1]. Тому для розуміння процесів адаптації рослинних організмів до антропогенного забруднення необхідне знання біохімічних характеристик метаболізму вуглеводів у онтогенезі.

Для діагностики стану рослин велике значення має перетворення крохмалю. З цим показником пов'язують морозостійкість і зимостійкість рослинних організмів [5]. У той же час досліджень у цьому напрямку, особливо тих, що мають на меті вивчення механізмів дії поллютантів на зимостійкість, недостатньо. У зв'язку з цим мета роботи – оцінити вплив техногенних емісій коксохімічного виробництва на зміни вмісту цукрів і крохмалю в пагонах різних видів рослин роду *Acer* L. в осінньо-зимовий період.

### Матеріал і методи досліджень

Дослідження впливу промислового забруднення на динаміку водорозчинних цукрів і крохмалю в однорічних пагонах різних видів роду *Acer* L. (*A. platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L., *A. tataricum* L., *A. negundo* L.) проводили на моніторинговій ділянці, що розташована на території коксохімічного виробництва ВАТ «Дніпрококс» (м. Дніпропетровськ). Пріоритетні забруднювачі атмосфери в цьому районі – токсичні гази: діоксид сірки ( $SO_2$ ) та діоксид азоту ( $NO_2$ ). За даними Центральної заводської лабораторії, забруднювачі у повітрі містяться в таких концентраціях: діоксид сірки – 0,1451, оксид вуглецю – 4,6, оксид азоту – 0,1082, сірководень – 0,131, фенол – 0,0106, аміак – 0,3172, завислі речовини – 0,875 мг/м<sup>3</sup>.

Контрольний майданчик був розташований на території Ботанічного саду ДНУ (м. Дніпропетровськ). В атмосферному повітрі контрольного культурбіогеоценозу означені хімічні токсиканти перебували на рівні ГДК. Визначення кількості крохма-

лю проводили об'ємним біхроматним методом, сахарози за [3]. Результати експерименту опрацьовані при  $p < 0,05$  з використанням методів аналізу малих вибірок [2; 4].

### Результати та їх обговорення

Вивчення динаміки накопичення крохмалю в корі дерев родини *Acer* L. (табл. 1) контрольних і дослідних варіантів у осінньо-зимовий період свідчить про те, що вміст полісахариду не є сталою величиною: цей показник варіює в залежності від виду рослин та стадії онтогенезу. Дані про накопичення крохмалю в досліджених деревах свідчать про те, що серед видів роду *Acer* L. найбільша його кількість міститься в корі пагонів клена американського (*A. negundo* L.) – 12,6%. За вмістом полісахариду в корі кленів різних видів у жовтні їх можна розташувати в ряд: *A. negundo* L. > *A. tataricum* L. > *A. platanoides* L. > *A. pseudoplatanus* L.

Таблиця 1

Динаміка накопичення крохмалю у пагонах різних видів роду *Acer* L.

Дата відбору проб	Вміст крохмалю, %					
	кора			деревина		
	дослід	контроль	% від контролю	дослід	контроль	% від контролю
<i>A. negundo</i> L.						
12.10.01	12,13 ± 0,06	12,59 ± 0,22	96,4	10,35 ± 0,15	10,69 ± 0,18	96,8
12.11.01	10,39 ± 0,15	11,74 ± 0,04	88,5	9,80 ± 0,08	10,20 ± 0,18	96,1
15.12.01	10,15 ± 0,25	11,42 ± 0,10	88,9	9,30 ± 0,20	10,01 ± 0,23	92,9
17.01.02	10,00 ± 0,11	11,19 ± 0,30	89,4	9,30 ± 0,04	10,11 ± 0,17	92,0
17.02.02	11,24 ± 0,16	11,61 ± 0,15	96,8	11,41 ± 0,05	11,61 ± 0,10	98,3
21.03.02	13,16 ± 0,14	14,03 ± 0,19	93,8	11,58 ± 0,21	11,78 ± 0,06	98,3
18.04.02	11,78 ± 0,08	12,63 ± 0,19	93,3	9,66 ± 0,32	10,21 ± 0,15	94,6
<i>A. platanoides</i> L.						
12.10.01	2,65 ± 0,16	3,61 ± 0,56	73,4	4,43 ± 0,02	5,85 ± 0,40	75,7
12.11.01	2,68 ± 0,16	3,15 ± 0,06	85,1	3,80 ± 0,09	5,70 ± 0,11	66,7
15.12.01	2,32 ± 0,07	2,59 ± 0,09	89,6	3,60 ± 0,18	5,50 ± 0,02	65,5
17.01.02	2,28 ± 0,09	2,45 ± 0,03	93,1	2,62 ± 0,08	2,97 ± 0,06	88,2
17.02.02	2,30 ± 0,06	2,60 ± 0,03	88,6	2,75 ± 0,04	3,19 ± 0,04	86,2
21.03.02	3,64 ± 0,07	3,69 ± 0,04	98,7	3,69 ± 0,01	5,92 ± 0,03	62,3
18.04.02	2,27 ± 0,04	3,21 ± 0,04	70,7	2,85 ± 0,40	5,76 ± 0,05	49,5
<i>A. tataricum</i> L.						
12.10.01	7,00 ± 0,16	7,22 ± 0,17	96,9	7,13 ± 0,13	7,18 ± 0,23	99,3
12.11.01	5,03 ± 0,19	5,20 ± 0,14	96,8	5,51 ± 0,07	5,31 ± 0,07	96,4
15.12.01	3,22 ± 0,05	3,56 ± 0,03	90,5	3,80 ± 0,03	4,20 ± 0,03	90,5
17.01.02	2,46 ± 0,02	3,24 ± 0,08	75,9	2,89 ± 0,04	3,56 ± 0,05	81,2
17.02.02	3,85 ± 0,03	4,48 ± 0,05	85,9	3,98 ± 0,03	5,11 ± 0,16	77,9
21.03.02	6,40 ± 0,03	6,61 ± 0,02	96,8	6,57 ± 0,03	6,62 ± 0,17	99,2
18.04.02	5,74 ± 0,03	5,44 ± 0,05	94,8	5,89 ± 0,02	6,06 ± 0,02	97,0
<i>A. pseudoplatanus</i> L.						
12.10.01	2,80 ± 0,11	3,03 ± 0,02	92,4	3,15 ± 0,02	4,02 ± 0,04	78,4
12.11.01	1,85 ± 0,81	2,36 ± 0,08	78,4	1,62 ± 0,64	2,50 ± 0,15	64,8
15.12.01	1,81 ± 0,17	2,26 ± 0,11	80,1	1,60 ± 0,07	2,44 ± 0,14	65,6
17.01.02	1,58 ± 0,08	2,03 ± 0,11	77,8	1,57 ± 0,06	2,47 ± 0,19	63,6
17.02.02	2,00 ± 0,07	2,57 ± 0,24	77,8	2,61 ± 0,18	3,11 ± 0,03	83,9
21.03.02	2,16 ± 0,14	2,41 ± 0,11	89,6	3,09 ± 0,06	3,51 ± 0,40	88,0
18.04.02	1,85 ± 0,13	2,80 ± 0,14	66,1	2,67 ± 0,04	3,05 ± 0,49	87,5

Починаючи з жовтня, у зв'язку з опаданням листя і похолоданням, у корі відбувається різке зниження кількості крохмалю в усіх видів кленів, які росли в умовах Ботанічного саду, що обумовлено, згідно з літературними даними, його активним гідролізом. Слід відзначити, що зниження вмісту полісахариду залежить від виду клена. Так, концентрація вуглеводу в пагонах *A. negundo* L. у листопаді складає 92,8 % від його кількості в жовтні. Зниження вмісту крохмалю в корі *A. tataricum* L. найбільш значне серед вивчених видів роду *Acer* L. і складає 30 % від його кількості в жовтні. У грудні спостерігалась загальна тенденція подальшого зниження полісахариду в корі кленів. У зимові місяці рівень крохмалю в корі контрольних рослин кленів найнижчий: у клена гостролистого 2,3–2,5 %, *A. pseudoplatanus* L. – 2,0–2,2 %, *A. tataricum* L. – 3,0–3,5 %, *A. negundo* L. – 11,2–11,5 %. Зниження рівня крохмалю при холоддовому стресі – характерна неспецифічна реакція рослин [6]. При цьому кількісний показник зниження вмісту крохмалю є елементом специфічності.

У березні відмічено максимальну кількість полісахариду в корі усіх досліджених дерев, який збігається з набряканням бруньок. Весняний крохмальний максимум нижчий, ніж осінній. Аналогічна закономірність відмічена в роботі [6] для пагонів троянд. У *A. negundo* L. у корі вміст крохмалю в березні перевищував цей показник у жовтні. З початком росту пагонів уміст у них крохмалю знижується, що свідчить про активізацію метаболізму. Внаслідок хронічного впливу на рослини інгредієнтів промислових викидів кількість крохмалю в корі пагонів знижується порівняно з контролем, особливо для *A. pseudoplatanus* L., *A. platanoides* L., *A. tataricum* L., *A. negundo* L. В умовах забруднення середовища полікомпонентними викидами максимума накопичення крохмалю виражені менш чітко, ніж у контролі. Для *A. pseudoplatanus* L. і *A. platanoides* L. кількість крохмалю в умовах забруднення майже однакова у жовтні–грудні, що можливо за рахунок уповільнення гідролізу крохмалю в зимовий період за цих умов.

Таким чином, зниження кількості крохмалю в корі деревних рослин в умовах забруднення середовища може негативно впливати на зимостійкість. Більш низький його вміст в умовах хронічної дії на рослини компонентів промислових емісій має негативне значення для початкових періодів росту пагонів дерев.

Для подальшого розуміння метаболізму крохмалю було досліджено динаміку його накопичення у деревині пагонів деревних рослин. За вмістом крохмалю в деревині всі види контрольних дерев можна розташувати в такий ряд: *A. pseudoplatanus* L. (4,0 %), *A. platanoides* L. (5,8 %), *A. tataricum* L. (7,0 %), *A. negundo* L. (10,6 %). Уміст крохмалю в деревині *A. pseudoplatanus* L., *A. platanoides* L. перевищує його кількість у корі, а в деревині *A. negundo* L. вміст крохмалю менший, ніж у корі. Аналіз даних динаміки накопичення крохмалю в деревині пагонів свідчить про те, що зміни вмісту полісахариду в таких рослинах, як *A. tataricum* L. і *A. pseudoplatanus* L. аналогічні закономірностям, які відбувались в їх корі. У деревині *A. platanoides* L. і *A. negundo* L., на відміну від кори, спостерігається збільшення вмісту полісахариду в листопаді порівняно з жовтнем. Холодовий стрес у грудні–лютому викликає значне підвищення гідролізу крохмалю, про що свідчить різке зниження (на 20 %) вмісту вуглеводу в деревині. При цьому мінімум накопичення неструктурного вуглеводу в деревині припадає на січень, на відміну від кори (лютий).

Унаслідок хронічного впливу на рослини промислового забруднення кількість крохмалю в деревині пагонів у зимово-весняний період значно знижується порівняно з контролем, особливо у кленів гостролистого і несправжньоплатанового. В умовах дії забруднення середовища максимума накопичення крохмалю виражені менш чітко, ніж у контролі для *A. pseudoplatanus* L. і *A. platanoides* L. Слід відзначити, що техногенне забруднення викликає більш суттєві зміни в корі, ніж у деревині. Неоднакові зміни в

накопиченні полісахариду в корі та деревині в осінньо-зимово-весняний період свідчать про неоднакову спрямованість змін у цих гістологічних елементах пагонів. У деревині крохмаль локалізований у паренхімних клітинах. На думку деяких авторів, це пояснюється захистом деревини від зовнішніх впливів. У цій тканині відмічено найбільш стабільний характер гідролізу в осінньо-зимовий період. Таким чином, в умовах аерогенного забруднення середовища вміст крохмалю в корі та деревині різних видів кленів у осінньо-зимово-весняний період залишається нижчим порівняно з контролем. Весняний максимум крохмалю, як у нормі, в пагонах рослин забруднених ділянок відмічений у березні. Із початком росту вміст полісахариду знижується в пагонах усіх досліджених об'єктів.

Характер динаміки вмісту крохмалю в осінньо-зимовий період у пагонах деревних рослин тісно пов'язаний з кількісними змінами цукрів. У корі пагонів *A. pseudoplatanus* L. динаміка накопичення сахарози має складний характер (табл. 2).

Таблиця 2

Динаміка накопичення сахарози у пагонах різних видів роду *Acer* L.

Дата відбору проб	Вміст сахарози, %					
	кора			деревина		
	дослід	контроль	% від контролю	дослід	контроль	% від контролю
<i>A. negundo</i> L.						
12.10.01	0,25 ± 0,013	0,29 ± 0,03	86,3	0,36 ± 0,01	0,35 ± 0,01	101,7
12.11.01	0,42 ± 0,06	0,43 ± 0,02	99,8	0,41 ± 0,06	0,44 ± 0,03	94,5
15.12.01	0,47 ± 0,02	0,49 ± 0,02	96,9	0,47 ± 0,02	0,43 ± 0,01	108,1
17.01.02	0,18 ± 0,07	0,19 ± 0,02	97,4	0,19 ± 0,03	0,18 ± 0,02	106,0
17.02.02	0,32 ± 0,05	0,31 ± 0,01	103,2	0,27 ± 0,02	0,28 ± 0,01	93,6
21.03.02	0,28 ± 0,03	0,24 ± 0,01	113,9	0,23 ± 0,03	0,28 ± 0,07	80,3
18.04.02	0,42 ± 0,06	0,39 ± 0,02	106,9	0,11 ± 0,06	0,31 ± 0,03	34,5
<i>A. platanoides</i> L.						
12.10.01	0,25 ± 0,63	0,31 ± 0,15	87,7	0,27 ± 0,18	0,28 ± 0,01	98,9
12.11.01	0,17 ± 0,12	0,17 ± 0,03	101,2	0,18 ± 0,16	0,14 ± 0,03	124,5
15.12.01	0,27 ± 0,88	0,25 ± 0,04	101,2	0,24 ± 0,03	0,22 ± 0,01	108,5
17.01.02	0,32 ± 0,12	0,35 ± 0,07	90,6	0,33 ± 0,02	0,36 ± 0,01	148,1
17.02.02	0,32 ± 0,50	0,31 ± 0,21	101,3	0,31 ± 0,02	0,30 ± 0,12	102,7
21.03.02	0,18 ± 0,54	0,17 ± 0,33	114,1	0,10 ± 0,43	0,09 ± 0,07	96,9
18.04.02	0,17 ± 0,12	0,19 ± 0,05	60,4	0,20 ± 0,46	0,18 ± 0,01	106,5
<i>A. tataricum</i> L.						
12.10.01	0,30 ± 0,02	0,32 ± 0,01	94,1	0,34 ± 0,01	0,35 ± 0,01	97,4
12.11.01	0,37 ± 0,01	0,44 ± 0,03	83,9	0,45 ± 0,08	0,54 ± 0,01	83,6
15.12.01	0,31 ± 0,05	0,32 ± 0,03	96,3	0,30 ± 0,06	0,31 ± 0,01	97,7
17.01.02	0,29 ± 0,05	0,30 ± 0,03	98,3	0,28 ± 0,09	0,27 ± 0,01	103,7
17.02.02	0,21 ± 0,01	0,25 ± 0,05	83,4	0,25 ± 0,05	0,22 ± 0,02	113,7
21.03.02	0,14 ± 0,05	0,17 ± 0,01	83,0	0,15 ± 0,03	0,15 ± 0,01	98,7
18.04.02	0,28 ± 0,01	0,16 ± 0,02	105,7	0,21 ± 0,01	0,20 ± 0,01	101,0
<i>A. pseudoplatanus</i> L.						
12.10.01	0,26 ± 0,03	0,25 ± 0,03	106,4	0,52 ± 0,01	0,40 ± 0,15	131,1
12.11.01	0,27 ± 0,03	0,30 ± 0,08	93,3	0,43 ± 0,16	0,46 ± 0,20	93,9
15.12.01	0,31 ± 0,08	0,45 ± 0,16	70,3	0,35 ± 0,02	0,45 ± 0,05	77,7
17.01.02	0,36 ± 0,02	0,36 ± 0,18	100,0	0,43 ± 0,07	0,41 ± 0,02	106,1
17.02.02	0,36 ± 0,05	0,48 ± 0,05	76,0	0,47 ± 0,05	0,47 ± 0,03	102,6
21.03.02	0,22 ± 0,04	0,24 ± 0,02	88,7	0,22 ± 0,03	0,27 ± 0,03	78,1
18.04.02	0,34 ± 0,02	0,38 ± 0,05	90,0	0,25 ± 0,06	0,18 ± 0,03	148,6

Із жовтня по лютий спостерігається незначне збільшення вмісту сахарози, у березні – концентрація дисахариду зменшується з подальшим зростанням цього показника в квітні. Максимум цукру виявляється у лютому, що узгоджується з динамікою гідролізу крохмалю. Дещо інша залежність зміни сахарози спостерігається для кори *A. platanoides* L. Уміст дисахариду знижується в листопаді порівняно з жовтнем; спостерігається подальший ріст цього показника до січня. У лютому–березні рівень цукру знижується. А в період ранньої вегетації (квітень) уміст цукру підвищується. Максимум накопичення сахарози в корі *A. tataricum* L. припадає на листопад із подальшим зниженням цього показника до березня. Більш складна залежність зміни дисахариду спостерігається в корі *A. negundo* L. Для цього виду кленів спостерігається три максимуми накопичення цукру: у грудні, лютому та квітні. Дослідження вмісту сахарози в деревині клена татарського з контрольного майданчика свідчить про збільшення цього показника з жовтня по січень з подальшим його зниженням у лютому–квітні (див. табл. 2).

Слід відзначити, що зменшення вмісту сахарози в деревині починається з листопада. Зміни вмісту сахарози в деревині клена американського мають деякі особливості: максимум вмісту дисахариду спостерігається в грудні. У деревині *A. platanoides* L. і *A. pseudoplatanus* L. спостерігається загальна тенденція підвищення сахарози в січні з подальшим зниженням цього показника. Порівняння вмісту сахарози в деревині пагонів дерев, які зростають у контрольних і дослідних умовах ВАТ «Дніпрококс», свідчить про те, що полікомпонентні промислові викиди в усіх випадках зменшують накопичення вуглеводів.

Найістотнішими такі зміни стають у листопаді–січні в деревині *A. platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L. та *A. tataricum* L. Таким чином, в умовах хронічного впливу на рослини інгредієнтів промислових викидів відмічається нижчий рівень накопичення крохмалю, що призводить до значного зменшення кількості сахарози порівняно з контролем. У чутливих видів роду *Acer* L. відзначаються значні відхилення від норми накопичення вуглеводів. За кількісними показниками перетворення вуглеводів не можна однозначно судити про морозостійкість рослин, але вміст цукрів має значення в підвищенні стійкості до низьких температур, бо вони виконують кріопротекторну функцію. Тому зниження кількості цукрів у пагонах деревних рослин в умовах забруднення середовища може негативно впливати на їх зимостійкість.

### Висновок

Хронічний вплив поллютантів коксохімічного заводу призводить до зниження накопичення крохмалю в корі та деревині досліджених рослин, що є неспецифічною реакцією на забруднення. Дія інгредієнтів промислових викидів гальмує процес гідролізу крохмалю, що викликає значне зменшення кількості цукрів. Це негативно впливає на зимостійкість. У присутності полікомпонентних викидів коксохімічного виробництва в корі та деревині пагонів деревних рослин відбуваються зміни у співвідношенні компонентів вуглеводів, що свідчить про зміни в метаболізмі ферментних систем перетворення вуглеводів. Серед досліджених кленів найбільш стійкими за показником вмісту крохмалю та цукрів є клени американський та гостролистий.

### Бібліографічні посилання

1. **Бессонова В. П.** Методи біоіндикації в оцінці екологічного стану довкілля. – Запоріжжя: ЗДУ, 2001. – 196 с.

2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1973. – 336 с.
3. Починок Х. Н. Методы биохимического анализа растений. – К.: Наукова думка, 1976. – 132 с.
4. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів. – Донецьк, 1999. – 210 с.
5. Трунова Т. И. Физиологические и биохимические основы адаптации растений к морозу // С.-х. биология. – 1984. – № 6. – С. 3–10.
6. Туманов И. И. Физиология закаливания и морозостойкости растений. – М.: Наука, 1979. – 359 с.

Надійшла до редколегії 02.11.05.

УДК 57.022 + 57.055 + 573.22 + 591.532.1 + 591.553.5

В. В. Бригадиренко

*Днепропетровский национальный университет*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРОФИЧЕСКИХ СЕТЕЙ МЕТОДАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

На прикладі консорції, що складається з продуцента та 8 видів консументів, пов'язаних 14 трофічними зв'язками, описаний алгоритм побудови імітаційної моделі трофічної мережі у середовищі Microsoft Excel. Проаналізовано динаміку продуктивності та споживання біомаси модельної системи. Сформульовані закономірності функціонування трофічних мереж.

The algorithm of simulating the trophic net in a system consisted of 1 producer and 8 consumer species, which linked by 14 trophic relations, using Microsoft Excel is presented. Dynamics of productivity and biomass consumption in the model system are analyzed. Regularities of consortium nets functioning are stated.

### Введение

Фундаментальная биогеоценология, созданная акад. В. М. Сукачевым [15] и развитая научной школой проф. А. Л. Бельгарда [2; 3; 16], заложила основы понимания природных сообществ как интегральных саморегулирующихся систем. Сотрудниками Комплексной экспедиции Днепропетровского университета по изучению степных лесов [1] проведены исследования фауны лесных сообществ, которые позволили перейти к моделированию отдельных популяций и их сообществ – биоценозов.

Моделирование трофических взаимодействий в биологических системах в настоящий момент находится на этапе описания взаимодействий между двумя–тремя видами [6; 7; 13]. Увеличение объема и структурированности моделируемых систем связано с экспоненциальным возрастанием количества связей в модели, проявлением новых механизмов взаимодействия между элементами системы. В связи с этим описание системы совокупностью уравнений в интегральной форме становится очень громоздким.

Природные сообщества принадлежат к типу диффузных систем. В плохо организованных (диффузных) системах нельзя четко выделить отдельные явления (факторы, переменные), определяющие ход процесса [11]. Большое значение в функционировании экосистем выполняют механизмы, программируемые в информатике по типу «Если ..., то ..., иначе ...». С увеличением количества связей в системе их зна-