

# Переваги заміни традиційного удобрення цукрових буряків залишками органічних відходів цукроваріння з біогазової станції

*Анджей Барига, доктор-інженер, Інститут біотехнологій сільськогосподарської та харчової промисловості ім. проф. Вацлава Домбровського у Варшаві*

*Боженна Полець, доктор, Інститут біотехнологій сільськогосподарської та харчової промисловості ім. проф. Вацлава Домбровського у Варшаві*

## Відходи цукроваріння, піддані процесу метанового бродіння

У 2009-2011 роках в Інституті цукроваріння Інституту біотехнологій сільськогосподарської та харчової промисловості реалізовано дослідження, в результаті якого було розроблено технологію безперервного метанового бродіння бурякового жому та інших відходів цукроваріння: бурякових уламків, хвостиків і бурякового листа.

Такі відходи – це хороший матеріал для процесу метанового бродіння, оскільки вони містять велику кількість органічних та біогенних речовин,

становить метан (таб. 2).

Як слідує з даних, наведених у таб. 2, вміст метану перевищував 50% об'єму у всіх випадках. Серед дослідних видів вихідної сировини для бродіння найвищий вміст метану (56,08 об'ємних відсотків) містив біогаз, який отримали з бурякового жому.

У жодному виді біогазу, який отримали в результаті бродіння окремих видів вихідної сировини, не виявлено присутності вуглеводних  $C_2 - C_6$  у кількості понад 0,001 об'ємного відсотка.

Діоксид вуглецю був присутній у кількості 40 об'ємних відсотків. Водень не виявлено у складі

*Таблиця 1*

## Якість вихідної сировини, яка становить матеріал для метанового бродіння

Позначення	Одиниці вимірювання	Значення		
		Буряковий жом	Бурякові уламки і хвостики	Листя цукрових буряків
Органічні речовини	% с.р.	94,88	94,91	82,07
Загальний білок	% с.р.	12,34	12,85	25,80
Сирий жир	% с.р.	0,71	0,96	0,66
Сира клітковина	% с.р.	21,79	14,78	11,53
Безазотисті екстрактивні речовини	% с.р.	60,02	66,41	45,95
Загальний фосфор	г P/кг с.р.	49,6	60,0	66,4
Загальний азот	г N/кг с.р.	239,24	251,04	407,12

які необхідні для метанових бактерій: азоту і фосфору (таб. 1).

## Біогаз з відходів цукроваріння, підданих метановому бродінню

В результаті метанового бродіння дослідних видів вихідної сировини виділяється біогаз у кількості, яка залежить від навантаження реактора сухою речовиною (рис.1).

При сумірному навантаженні реактора найбільші кількості біогазу отримували при бродінні бурякового жому, менші – у разі бурякових уламків і хвостиків, а найменші – при бродінні бурякового листа.

У складі біогазу, отриманого у процесі метанового бродіння усіх відходів, домінуючу кількість

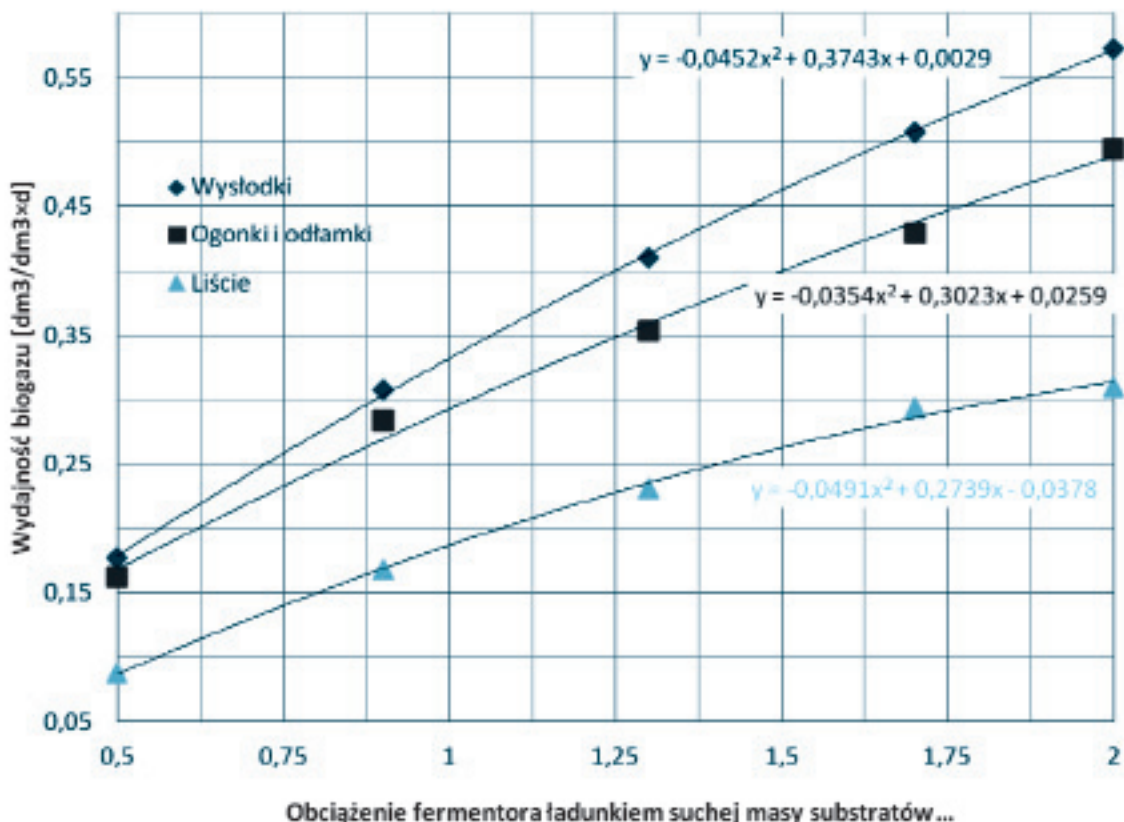
жодного виду дослідного біогазу.

Частка азоту у складі біогазу була найбільшою у випадку біогазу, який отримали з бурякового листа, і становила 12,07 об'ємного відсотка. Вміст азоту для інших двох видів вихідної сировини коливався у межах 0,81-1,28 об'ємного відсотку.

Вміст сірководню у біогазі, який отримали з жому, становив 118 мг/м<sup>3</sup>, а для інших видів вихідної сировини був ідентичним 177 мг/м<sup>3</sup>.

Біогаз, який отримали у процесі бродіння, має високу енергетичну цінність (таб. 3).

Біогаз, який отримали в результаті бродіння бурякового жому, характеризувався більшою на 2 МДж/м<sup>3</sup> теплотою згоряння і теплотворною здатністю, ніж біогаз з хвостиків і бурякових уламків та листа цукрового буряка.



Вихід біогазу [дм³/дм³хд]  
Жом Хвостики і уламки Листя  
Навантаження ферментера сухою речовиною.../

Рис. 1. Залежність виходу біогазу з одиниці ємності реактора від завантаження сухої речовини.

Таблиця 2

Хімічний склад біогазу, отриманого у процесі метанового бродіння

Вид вихідної сировини для бродіння	Вміст окремих складників біогазу					
	CH <sub>4</sub>	Вуглеводні C <sub>2</sub> -C <sub>6</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
	об'ємний відсоток	об'ємний відсоток	об'ємний відсоток	об'ємний відсоток	об'ємний відсоток	мг/м³
Бураковий жом	56,08	< 0,001	43,11	0,81	0	118
Буракові уламки і хвостики	51,11	< 0,001	47,61	1,28	0	177
Листя цукрових буряків	51,56	< 0,001	36,37	12,07	0	177

Таблиця 3

Властивості біогазу, який отримали в результаті метанового бродіння

Вид вихідної сировини для бродіння	Густина	Відносна густина	Теплота згоряння	Теплотворна здатність	Число Воббе вище
	кг/м³	-	МДж/ м³	МДж/ м³	МДж/ м³
Бураковий жом	1,2630	0,9768	22,43	20,17	22,70
Буракові уламки і хвостики	1,3221	1,0230	20,45	18,38	20,22
Листя цукрових буряків	1,2381	0,9576	20,61	18,53	21,06

Число Воббе, яке виражається як відношення питомої теплоти згоряння газу до квадратного кореня його густини і становить підставу для поділу газоподібних видів палива на підгрупи, становило 22,70 МДж/м³ у випадку біогазу з буракового жому і відповідно 20,22 і 21,06 МДж/м³ у випадку

біогазі з хвостиків і буракових уламків та з листя цукрового буряка.

Якість виробленого біогазу вказує, що після усунення сірководню його можна подавати до газового двигуна, де хімічна енергія біогазу перетворюється на електричну і теплову енергію; або безпосередньо

## ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

в котельню чи сушарку, як паливо. Також може використовуватися подібно до природного газу, наприклад, для перетворення на рідке паливо.

### Залишки, отримані в результаті метанового бродіння відходів цукроваріння

Після метанового бродіння залишаються зброжені відходи, які складаються з твердих і рідких компонентів.

Внаслідок отримання в результаті бродіння великих кількостей залишків, які містять біогенні речовини, виникає необхідність шукати можливості для їх ефективного використання.

При використанні сільськогосподарських відходів, зокрема, залишків від процесу бродіння бурякового жому, обов'язковим є виконання ряду вимог ЄС. Ці вимоги стосуються як ґрунту, де передбачається використання сільськогосподарських відходів, так і якості відходів.

У таблиці 1 представлені ці вимоги та результати дослідження залишків, отриманих в результаті бродіння, які використовувалися у польових дослідженнях на плантації цукрового буряка у 2013-2015 роках.

Проаналізувавши результати досліджень, проведених на підставі чинних вимог законодавства ЄС, встановлено, що дослідні залишки від бродіння відходів цукроваріння можуть використовуватися у сільському господарстві без застережень.

### Сільськогосподарське використання залишків, які отримали в результаті метанового бродіння відходів цукроваріння

Вплив удобрення плантації цукрового буряка залишками від процесу бродіння бурякового жому на технологічну цінність сировини визначено на підставі дослідження 11 основних показників, які визначають технологічну цінність сировини. На підставі цих показників можна зробити висновки щодо правильності провадження окремих процесів під час виробництва цукру.

У таблиці 5 наведені результати статистичного аналізу показників технологічної цінності в залежності від способу внесення добрив (фактор А) і вегетаційного сезону (фактор В). Окремі показники порівнюються з оптимальними значеннями для переробки на цукор.

Пояснення символів: Na – вміст розчинного натрію у буряках в мвал/100г сахарози, K – вміст розчинного калію у буряках в мвал/100г сахарози,  $\alpha$ -N – вміст  $\alpha$ -амінокислотного азоту в буряках в мвал/100г сахарози, S.s – вміст сухої речовини у буряках у %, 1 – вміст інвертного цукру в мвал/100г буряків, S.c – вміст цукру в буряках у %, Pr розч. – вміст кондуктометричної золи у буряках у %,  $\alpha$ -N – вміст  $\alpha$ -амінокислотного азоту в буряках у %, N амідний – вміст амідного азоту у буряках у %.

Дані, наведені у таблиці 5, демонструють, що

Таблиця 4

### Якість залишків, що отримали в результаті бродіння, які використовувалися на дослідній плантації цукрових буряків, і порівняння з допустимими кількостями важких металів та мікроорганізмів при сільськогосподарському використанні відходів

Параметри	Одиниці вимірювання	Параметри залишків, що отримали в результаті бродіння, які використовувалися у польових дослідженнях на плантації цукрового буряка у вегетаційний період:				Допустима кількість важких металів і мікроорганізмів при застосуванні у сільському господарстві
		2013	2014	2015	Середнє 2013-2015	
Кадмій (Cd)	мг/кг с.р.	2,7	2,2	5,2	3,4	≤ 20
Свинець (Pb)	мг/кг с.р.	17,1	42,4	22,1	27,2	≤ 750
Нікель (Ni)	мг/кг с.р.	5,5	8,8	5,5	6,6	≤ 300
Хром (Cr)	мг/кг с.р.	29,6	< 25,0	26,3	27,0	≤ 500
Ртуть (Hg)	мг/кг с.р.	0,543	0,357	0,426	0,442	≤ 16
Мідь (Cu)	мг/кг с.р.	108	88	115	104	≤ 1000
Цинк (Zn)	мг/кг с.р.	446	295	470	404	≤ 2500
Реакція	pH	7,8	7,5	7,6	7,6	-
Органічні речовини	% с.р.	55,8	51,6	30,9	46,1	-
Кальцій (Ca)	г/кг с.р.	129	82	134	115	-
Магній (Mg)	г/кг с.р.	4,02	8,4	11,4	7,9	-
Загальний азот К'ельдаля (N)	г/кг с.р.	138,4	170,4	207,0	171,9	-
Загальний фосфор (P)	г/кг с.р.	12,6	15,9	12,6	13,7	-
Калій (K)	г/кг с.р.	10,3	11,9	12,3	11,5	-
Хвороботворні бактерії роду <i>Salmonella</i>	в 100 г осаду	0	0	0	0	0
Кількість живих яєць кишкових паразитів: <i>Atrichuris sp.</i> , <i>Trichuris sp.</i> , <i>Toxocara sp.</i>	шт./кг с.р.	0	0	0	0	0

Статистичний аналіз результатів порівняльних досліджень впливу способу удобрення плантації цукрового буряка на технологічну цінність сировини у 2013-2015 роках

Спосіб удобрення (А)	Вегетаційний сезон (В)			Середнє (А)	Позитивні показники для технології
	2013	2014	2015		
<b>Показник передбачуваної чистоти густого соку - <math>Cz_{sg} = 99,36 - 0,1427(Na + K + \alpha - N)</math></b>					
Мінеральне добриво	97,3 <sup>d</sup>	89,9 <sup>a</sup>	99,3 <sup>c</sup>	95,5 <sup>a</sup>	> 92
Відтік з ферментера	97,9 <sup>e</sup>	91,6 <sup>b</sup>	99,3 <sup>c</sup>	96,3 <sup>b</sup>	
Середнє (В)	97,6 <sup>b</sup>	90,8 <sup>a</sup>	99,3 <sup>c</sup>		
<b>Показник «чистоти буряка» = <math>Ck\% \times 100/Ss\%</math></b>					
Мінеральне добриво	81,00 <sup>b</sup>	77,33 <sup>ab</sup>	75,00 <sup>a</sup>	77,78	> 70
Відтік з ферментера	77,00 <sup>ab</sup>	77,33 <sup>ab</sup>	76,33 <sup>ab</sup>	76,89	
Середнє (В)	79,00	77,33	75,67		
<b>Показник передбачуваної кількості цукру у мелясі - <math>Ck_m = 0,349(Na + K)</math></b>					
Мінеральне добриво	1,300 <sup>b</sup>	4,200 <sup>c</sup>	2,446 <sup>c</sup>	2,649 <sup>b</sup>	< 2
Відтік з ферментера	0,967 <sup>a</sup>	3,567 <sup>d</sup>	2,526 <sup>c</sup>	2,353 <sup>a</sup>	
Середнє (В)	1,133 <sup>a</sup>	3,883 <sup>c</sup>	2,486 <sup>b</sup>		
<b>Показник лужності з урахуванням інвертного цукру - <math>WAI = Na + K/\alpha - N + I</math></b>					
Мінеральне добриво	3,03 <sup>ab</sup>	10,37 <sup>e</sup>	6,67 <sup>cd</sup>	6,69 <sup>b</sup>	> 1,8
Відтік з ферментера	2,23 <sup>a</sup>	8,80 <sup>de</sup>	4,60 <sup>bc</sup>	5,21 <sup>a</sup>	
Середнє (В)	2,63 <sup>a</sup>	9,58 <sup>c</sup>	5,63 <sup>b</sup>		
<b>Показник зольності = <math>Ck / Pp</math> розч.</b>					
Мінеральне добриво	60,33 <sup>cd</sup>	42,67 <sup>a</sup>	56,00 <sup>c</sup>	53,00 <sup>a</sup>	> 40
Відтік з ферментера	63,33 <sup>d</sup>	49,33 <sup>b</sup>	55,67 <sup>c</sup>	56,11 <sup>b</sup>	
Середнє (В)	61,83 <sup>c</sup>	46,00 <sup>a</sup>	55,83 <sup>b</sup>		
<b>Показник <math>\alpha</math>-амінокислотного азоту = <math>Ck / \alpha - N</math></b>					
Мінеральне добриво	2341 <sup>a</sup>	2096 <sup>a</sup>	1696 <sup>b</sup>	7135	> 800
Відтік з ферментера	3050 <sup>a</sup>	2163 <sup>a</sup>	15400 <sup>b</sup>	6871	
Середнє (В)	2129 <sup>a</sup>	2696 <sup>a</sup>	16183 <sup>b</sup>		
<b>Показник амідного азоту = <math>Ck / \alpha</math>-амідний</b>					
Мінеральне добриво	1544 <sup>a</sup>	1233 <sup>a</sup>	1964 <sup>c</sup>	1580 <sup>a</sup>	> 750
Відтік з ферментера	1426 <sup>a</sup>	1581 <sup>ab</sup>	3143 <sup>c</sup>	2050 <sup>c</sup>	
Середнє (В)	1485 <sup>a</sup>	1407 <sup>a</sup>	2553 <sup>b</sup>		
<b>Показник редукуючих (відновлюючих) речовин = <math>Ck / \text{Інв.}</math></b>					
Мінеральне добриво	260,7 <sup>ab</sup>	229,7 <sup>ab</sup>	585,3 <sup>c</sup>	358,6	> 100
Відтоком з ферментера	176,7 <sup>a</sup>	237,0 <sup>ab</sup>	401,0 <sup>bc</sup>	271,6	
Середнє (В)	218,7 <sup>a</sup>	233,3 <sup>a</sup>	493,2 <sup>b</sup>		
<b>Показник нецукрів = <math>Ck / Nc</math> розч</b>					
Мінеральне добриво	4,33 <sup>b</sup>	3,57 <sup>ab</sup>	3,00 <sup>a</sup>	3,63	> 10
Відтік з ферментера	3,67 <sup>ab</sup>	3,47 <sup>ab</sup>	3,27 <sup>a</sup>	3,47	
Середнє (В)	4,00 <sup>b</sup>	3,52 <sup>ab</sup>	3,13 <sup>a</sup>		
<b>Показник калієвої лужності = <math>K / \alpha - N</math></b>					
Мінеральне добриво	15,0 <sup>a</sup>	24,0 <sup>a</sup>	98,3 <sup>b</sup>	45,8	> 8
Відтік з ферментера	17,0 <sup>a</sup>	19,3 <sup>a</sup>	103,3 <sup>b</sup>	46,6	
Середнє (В)	16,0 <sup>a</sup>	21,7 <sup>a</sup>	100,8 <sup>b</sup>		
<b>Показник зольної лужності = <math>Pp</math> розч./ <math>\alpha - N</math></b>					
Мінеральне добриво	38,3 <sup>a</sup>	49,7 <sup>a</sup>	303,3 <sup>b</sup>	130,4	> 15
Відтік з ферментера	48,0 <sup>a</sup>	44,3 <sup>a</sup>	280,0 <sup>b</sup>	124,1	
Середнє (В)	43,2 <sup>a</sup>	47,0 <sup>a</sup>	291,7 <sup>b</sup>		

у випадку усіх дослідних параметрів коренеплоди після збору з плантацій, удобрених традиційним способом, тобто мінеральними добривами, і удобрених залишками від бродіння жому, суттєво відрізнялися в залежності від вегетаційного сезону (середнє значення В).

Натомість в залежності від способу удобрення для середнього значення для 3 років для всіх дослідних параметрів (середнє значення А) не виявлено суттєвої різниці між якістю буряків, удобрених мінеральними добривами, та удобрених залишками від бродіння.

Це означає, що залишки від бродіння жому мо-

жуть без застережень застосовуватися як альтернатива традиційному мінеральному добриву, беручи до уваги розвиток цукрових буряків.

Як видно з даних, наведених у таблиці 5, у випадку усіх дослідних показників технологічної якості коренеплодів, зібраних з плантацій, удобрених традиційним способом, тобто мінеральними добривами, та удобрених залишками від бродіння жому, виникла суттєва різниця в залежності від вегетаційного сезону (середнє значення В).

Натомість в залежності від способу удобрення для середнього значення за 3 роки (середнє значення А) не виявлено суттєвої різниці між тех-



Рис. 2. Середня місячна температура повітря підчас вегетації буряків у 2013-2015 роках.



Рис. 3. Середня місячна кількість опадів підчас вегетації буряка у 2013-2015 роках.

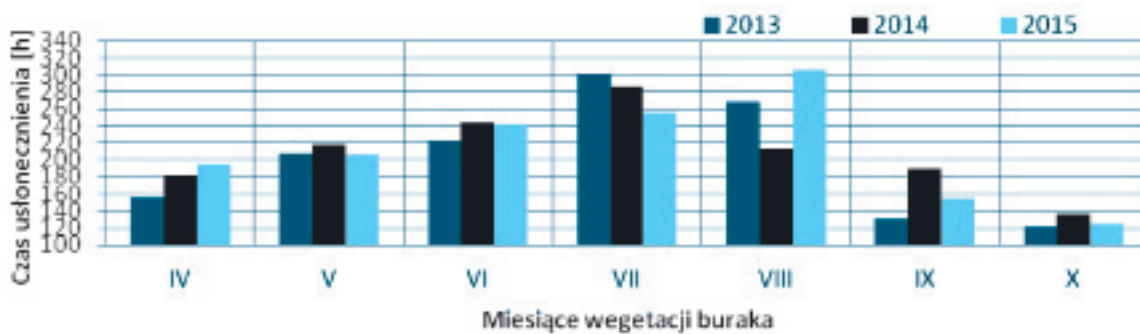


Рис. 4. Середня місячна кількість сонячних годин підчас вегетації буряків у 2013-2015 роках.

нологічною якістю буряків, зібраних з плантацій, удобрених мінеральними добривами і залишками від бродіння, для 6 показників технологічної якості з 11, зокрема для показників «чистоти»,  $\alpha$ -амінокислотного азоту, редукуючих речовин, нецукрів, калієвої та зольної лужності.

Суттєву статистичну різницю виявлено в залежності від способу удобрення для середнього значення за 3 роки (середнє значення А) для 5 показників з 11: зольного, амідного азоту, передбачуваної чистоти густого соку, передбачуваної кількості цукру в мелясі та лужності з урахуванням інвертного цукру.

Рисунки 2-4 підтверджують, що вегетаційні сезони цукрового буряка у 2013-2015 роках виразно відрізнялися середньою місячною температу-

рою, середньою кількістю опадів і кількістю сонячних днів.

Найбільш сприятливі погодні умови в період початкового росту буряків були у 2013 р., а найменш сприятливі – у 2015 р.

Найсприятливіші погодні умови для приросту біомаси були у 2013 р., а найменш сприятливі – у 2014 р.

Натомість для приросту цукру погодні умови у 2013-2015 можна визнати подібними.

Нижче більш детально описані залежності окремих показників технологічної якості сировини від способу удобрення в окремі періоди вегетації цукрового буряка.

Передбачувана чистота густого соку ( $Cz_{sg}$ ) сприятлива для технології переробки, якщо сягає

значення понад 92%. Статистичний аналіз середніх результатів, отриманих протягом 3 років досліджень в обох версіях удобрення виявив, що різниця була суттєвою, але на користь удобрення залишками від бродіння жому. Передбачувана чистота густого соку буряків, удобрених залишками від бродіння, дорівнювала 96,3 і була більшою, ніж цей параметр, визначений для буряків, удобрених мінеральним добривом, значення якого становило 95,5 (таблиця 2).

Показник чистоти буряків позитивний для технології переробки, якщо його значення перевищує 70. В обох версіях удобрення сполуками азоту та у всіх дослідних вегетаційних періодах цей показник був вищим, ніж мінімальне необхідне значення. Коренеплоди були дозрілими і не викликали застережень щодо якості.

Статистичний аналіз не виявив суттєвого впливу способу удобрення на значення показника «чистоти» буряків. Різниця між середніми результатами, отриманими протягом 3 років досліджень, в обох версіях удобрення була несуттєвою. Цей показник у випадку мінерального удобрення дорівнював 77,78, а при застосуванні для удобрення залишків, отриманих в результаті бродіння жому - 76,89 (таблиця 2).

Показник передбачуваної кількості цукру в мелясі (Скм) не повинен перевищувати 2%. Втрати у мелясі є найбільшими серед втрат цукру у технологічному процесі, тому цей показник має домінуюче значення для цукрового заводу.

Тільки у 2013 році показник Скм був сприятливим для цукрового заводу в обох версіях удобрення. У 2014 і 2015 роках для обох версій удобрення його значення перевищувало 2. Різниця між середніми значеннями, отриманими протягом 3 років досліджень, в обох версіях удобрення була статистично суттєвою (таблиця 2). Значення цього показника було кращим у коренеплодах, удобрених залишками від бродіння жому (2,353), ніж у коренеплодах, удобрених мінеральним добривом (2,649).

Показник лужності з урахуванням інвертного цукру позитивний для технології, якщо його значення вище 1,8. Значення показника менше 1,8 вказує на недостатню натуральну лужність буряків відносно кількості альфа-амінокислотного азоту та інвертного цукру і дозволяє передбачити зменшення лужності під час процесу згущення соку. Також можна передбачити зменшення оптимальної лужності процесів попередньої дефекації та процесу II сатурації. Як видно з таблиці 2, цей показник був високим як у випадку удобрення мінеральними добривами, так і для удобрення відтоком з ферментера. Вважають, що значення показника лужності понад 2,3 свідчить про високу натуральну лужність і припускає можливість збільшення лужності під час згущення соку. Статистичний аналіз (таблиця 2) виявив, що різниця

між середніми значеннями, отриманими протягом 3 років досліджень, в обох версіях удобрення була статистично суттєвою (таблиця 2). Значення цього показника для коренеплодів, удобрених залишками від бродіння жому, становило 5,21, а для коренеплодів, удобрених мінеральним добривом - 6,69. Суттєвим був також вплив на ці показники кліматичних умов протягом вегетаційного періоду.

Зольний показник визначає, у скільки разів вміст цукру перевищує вміст золи.

1. Значення позитивне, якщо вміст цукру принаймні у 40 разів вище, ніж вміст золи. Цей показник був вищим, ніж значення, наведене у критеріях. З даних, наведених у таблиці 2, слідує, що усі дослідні проби цукрових буряків відповідали вимогам критеріїв для зольного показника, незалежно від способу удобрення і вегетаційного періоду.

Якщо значення зольного перевищує 40, то це свідчить про зрілість коренеплодів, а також про невисокий вміст у буряках елементів, що утворюють мелясу. Статистичний аналіз (таблиця 2) виявив, що різниця протягом 3 років між середніми значеннями передбачуваного зольного показника, виявлена між обома версіями удобрення, була суттєвою. Кількісне значення показника становило 53,00 при удобренні мінеральними добривами і 56,11 при застосуванні для удобрення відтоку з ферментера. Суттєвим був також вплив на ці показники кліматичних умов протягом окремих вегетаційних періодів.

Показник альфа-амінокислотного азоту показує, у скільки разів вміст цукру більший, ніж вміст альфа-амінокислотного азоту. Значення позитивне, якщо вміст цукру принаймні у 800 разів вищий. Високий вміст азоту у вигляді  $\alpha$ -амінокислот негативно впливає на переробку коренеплодів, оскільки ці сполуки впливають на:

- підсилення забарвлення розчинів внаслідок взаємодії простих цукрів з амінокислотами,
- зниження рівня рН соку, що бере участь у технологічних операціях.

Усі проби коренеплодів, взяті з експериментальних ділянок, продемонстрували кількісну відповідність даному критерію, незалежно від способу удобрення і вегетаційного періоду (таблиця 2). Показник  $\alpha$ -амінокислотного азоту мав найбільше значення у коренеплодах буряків, зібраних у 2015 р. Статистичний аналіз виявив, що різниця між значеннями передбачуваного показника  $\alpha$ -амінокислотного азоту різних версій удобрення і різних вегетаційних періодів була несуттєвою.

Значення показника у багато разів перевищувало мінімальне необхідне значення для сировини високої технологічної якості, що вказувало на відносно низький вміст альфа-амінокислотного азоту і не викликало погіршення чистоти густого соку, зменшення лужності і збільшення кількості солей кальцію.

## ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

Показник амідного азоту позитивний для технології переробки, якщо значення цукру принаймні у 750 разів більше, ніж вміст амідного азоту (це відповідає вмісту амідного азоту 0,133г/100г S).

Для переробки цукрових буряків сполуки амідного азоту є небажаними, оскільки їх термічно-хімічна деградація є досить тривалою, з виділенням аміаку у газову фазу.

Деградовані аміди викликають:

- зниження рівня рН соку, в основному зменшення лужності густого соку,
- забруднення конденсату у випарних апаратах, який скеровується до парових котлів живлення турбогенераторів,
- збільшення кількості піролідонкарбонової кислоти, яка може викликати збільшення вмісту солей кальцію у рідкому соці.

Отже, зменшення кількості амідів у сировині і соку має позитивний вплив на переробку.

У пробах буряків з експериментальних ділянок, незалежно від способу удобрення, кількісне значення цього показника було сприятливим для переробки (таблиця 2). Середнє значення за 3 роки виявило суттєву різницю між способами удобрення на користь застосування залишків, отриманих в результаті бродіння. Показник амідного азоту у випадку удобрення мінеральними добривами був приблизно удвічі більшим, ніж мінімальне значення для сировини хорошої якості. Натомість при удобренні відтоком з ферментера показник був приблизно утричі вищим. Значення цього показника свідчить про те, що у випадку удобрення відтоком з ферментера цукрові буряки засвоювали меншу кількість амідного азоту.

Показник редукуючих речовин позитивний для технології переробки, якщо вміст цукру принаймні у 100 разів вищий, ніж вміст інвертного цукру. Редукуючі речовини мають негативний вплив на перебіг технологічного процесу, викликаючи:

- підсилення забарвлення внаслідок активної реакції з амінокислотами,
- зниження рівня рН внаслідок легкого утворення органічних кислот у лужному середовищі.

З таблиці 2 слідує, що середні значення показника редукуючих речовин при обох способах удобрення і протягом трьох вегетаційних періодів перевищували 100. З проведених досліджень слідує, що меншу кількість редукуючих речовин засвоюють буряки, удобрені мінеральним добривом. Найбільше значення розрахованого показника редукуючих речовин у цьому випадку дорівнювало 358,6. Більшу кількість редукуючих речовин засвоювала сировина, яку вирощували на ділянці, удобреній відтоком з ферментера, розрахований показник редукуючих речовин становив 271,6. Але статистичний аналіз середніх результа-

тів, отриманих протягом 3 років дослідження, виявив, що різниця між двома версіями удобрення була несуттєвою.

Показник нецукрів для всіх версій удобрення був відносно низьким, тобто несприятливим для переробки (таблиця 2). Кількісне значення показника було дуже наближеним і коливалося протягом 3 років від 3,00 до 4,33 при удобренні мінеральними добривами та від 3,27 до 3,67 при застосуванні для удобрення відтоку з ферментера. Значення цього показника менше 10 свідчить про скерування на переробку недозрілої сировини, і може призвести до переробки сировини з високим вмістом нецукрів. У такому випадку можна чекати виникнення технологічних проблем, які можуть з'явитися під час процесу екстракції та наступних процесів вироблення цукру.

Статистичний аналіз показав, що різниця між передбачуваними середніми значеннями показника нецукрів за 3 роки, визначеними для різних версій удобрення, була несуттєвою.

Показник калієвої лужності повинен перевищувати 8, а показник зольної лужності - 15. Від вільних катіонів та легкорозчинних солей калію і натрію, що містяться у клітинному соку цукрових буряків, залежить так звана «натуральна лужність соку». Ці катіони виконують позитивну роль у технології переробки буряків, підтримуючи лужну, тобто бажану реакцію соку. При застосуванні обох способів удобрення як показник калієвої лужності, так і показник зольної лужності перевищував передбачені показники. Статистичний аналіз (таблиця 2) виявив, що різниця між середніми значеннями передбачуваного показника калієвої і зольної лужності протягом 3 років для двох версій удобрення була несуттєвою. Натомість суттєвий вплив на ці показники мали кліматичні умови протягом окремих вегетаційних періодів.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що оцінка придатності буряків до використання у цукровій промисловості, визначена на підставі формул, що визначають залежність між хімічним складом буряків та їх технологічною цінністю, була позитивною. Встановлено, що заміна мінерального добрива залишками від метанового бродіння цукрових буряків забезпечує позитивні показники технологічної якості цукрового буряка, що переробляється.

Досліджено 11 різних показників технологічної цінності цукрових буряків, удобрених традиційним способом та залишками, які отримали в результаті бродіння жому. У випадку застосування для удобрення плантації цукрового буряка залишків, отриманих в результаті бродіння, визначили 9 показників якості буряка, позитивних для технології переробки на цукор (середнє значення за 3 роки), до яких належать: висока передбачувана чистота густого соку – 96,3, позитивний показник «чистоти» буряків - 76,89, позитивні значен-

ня зольного показника - 56,11,  $\alpha$ -амінокислотного азоту – 6871, амідного азоту - 2050, редукуючих речовин - 271,6 лужності з урахуванням інвертного цукру - 5,21, калієвої лужності - 46,6 і зольної лужності - 124,1. З 11 дослідних показників якості буряка отримали 2 негативні значення для технології переробки на цукор (показник  $Sk_m$ , тобто передбачувана кількість цукру у мелясі, та показник нецукрів). Однак слід підкреслити, що вони були несприятливими як для буряків, удобрених традиційним способом, так і для удобрених залишками від бродіння з біогазової станції. Середнє значення за 3 роки передбачуваної кількості цукру у мелясі при мінеральному удобренні становило 2,649, а при застосуванні відтоку з ферментера - 2,353, при оптимальному значенні для технології виробництва цукру <2. Натомість середнє значення за 3 роки показника нецукрів становило 3,63 у буряках, удобрених мінеральним добривом, і 3,47 при удобренні залишками з біогазової станції, при допустимому значенні для технології виробництва цукру >10.

Статистичний аналіз отриманих результатів досліджень виявив, що у випадку середнього значення за 3 роки для 6 з 11 показників технологічної якості відсутня суттєва різниця між технологічною якістю буряків, зібраних з плантацій, удобрених мінеральним добривом, і буряків, удобрених органічними залишками. Це показники: «чистоти» буряків,  $\alpha$ -амінокислотного азоту, редукуючих речовин, нецукрів, калієвої та зольної лужності.

Суттєву статистичну різницю виявлено у випадку середнього значення за 3 роки в залежності від способу удобрення для 5 показників з 11: зольного, амідного азоту, передбачуваної чистоти густого соку, передбачуваної кількості цукру у мелясі та лужності з урахування інвертного цукру.

Натомість у випадку усіх дослідних показників технологічної якості коренеплодів, зібраних з плантацій, удобрених традиційним способом, мінеральним добривом і залишками від бродіння жому суттєвою була різниця в залежності від вегетаційного періоду.

Результати дослідження вказують на можливість обмежити застосування мінеральних добрив при вирощуванні цукрового буряка.

Удобрення залишками від бродіння бурякового жому гарантує так зване «збалансоване» сільське господарство, забезпечує впровадження до ґрунту біогенних речовин, які використовувалися у попередній вегетаційний період цукрового буряка.

### Висновки

1) Вміст важких металів, хвороботворних мікроорганізмів і паразитів у залишках від бродіння бурякового жому відповідає вимогам допуску їх використання як біологічного добрива у сільському господарстві.

2) Оцінка промислової цінності цукрових буряків з експериментальних ділянок, проведена на підставі якісних критеріїв, виявила, що викопані цукрові буряки у більшості випадків відповідали технологічним критеріям, незалежно від способу удобрення.

3) З проведених досліджень слідує, що при вирощуванні цукрових буряків залишки від бродіння бурякового жому можуть замінити мінеральне добриво.

4) Удобрення залишками від бродіння бурякового жому гарантує так зване «збалансоване» сільське господарство, забезпечуючи впровадження до ґрунту біогенних речовин, які використовувалися у попередній вегетаційний період цукрового буряка. ■

## ЦІКАВІ ФАКТИ

### Цукрові буряки: цифри та факти



Стандартне футбольне поле дорівнює одному гектару. На ньому можна виростити 90 000 сходів цукрових буряків, що задовольняє щорічну потребу в цукрі майже 350 людей.

Згідно даних USDA у поточному сезоні 2017/18 світове виробництво цукру із цукрових буряків та тростини становитиме 179 млн. тонн. Загалом цукор виробляється в 113 країнах по всьому світу. Сімдесят одна країна виробляє цукор з цукрової тростини, тільки тридцять п'ять – з цукрових буряків.

Активно використовуються і побічні продукти виробництва: 7% урожаю цукрових буряків використовуються в якості корму для тварин і 3% меляси зберігається у галузі в якості сировинного матеріалу.