

*The result is a Hyper-activation nitrate and the inhibitory effect of radiation on the functional activity of the ROS generation (with the activation of respiratory explosion turbolover ether).*

*When two-fold increase in the magnitude of the magnetic field (magnetic induction MP) compared to the background changes the direction of the effect of EMR UHF and shifts the resonant frequency effect. Assuming that MP alters the affinity  $Ca^{2+}$  with  $Ca^{2+}$ -dependent enzymes, increase MP specific way modifies the activity of some key enzymes. On the background of the modified enzymatic activity of EMR UHF is changing that in the future if the impact on functional activity of neutrophils are manifested as activation of synergistic reactions. On the background of the changed functional status of the cell due to the action of MP can become more effective is another frequency of EHF-radiation, so there is a slight shift of the resonance frequency of the effect.*

**Key words:** *electromagnetic wave, UHF band, non-thermal intensity, biological objects, energy conservation, nanotechnology, intensification of growth*

УДК 661.722:663.15:664.788.2:543.42

## **ФЕРМЕНТУВАННЯ СОРГОЦУКРОВОГО СОКУ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТА АНАЛІЗУВАННЯ ЛЕТКИХ БІОПАЛИВНИХ КОМПОНЕНТІВ**

**О. І. Володько, здобувач\***

**Г. В. Лантух, кандидат хімічних наук**

**К. М. Лукашевич, інженер**

**А. Г. Новак, хімік**

**С. П. Циганков, доктор технічних наук**

**Державна установа «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України»**

**E-mail: vilforr@gmail.com**

**Анотація.** Сучасні світові тенденції в енергетиці в розвинених країнах світу спрямовані на всебічне використання поновлюваних джерел енергії через негативний екологічний вплив промисловості та транспорту, що використовують викопні джерела енергії. Україна, маючи один з найбільших потенціалів в Європі в аграрній сфері, не використовує в повній мірі поновлювальні джерела енергії з фітомаси. Одним з

\*Науковий керівник – доктор технічних наук С. П. Циганков

© О. І. Володько, Г. В. Лантух, К. М. Лукашевич, А. Г. Новак, С. П. Циганков, 2016

найрентабельніших та простих методів отримання екологічно чистого рідинного пального є виробництво біоетанолу.

Для його виробництва цукрове сорго може доповнити традиційну сировину для України – бурякоцукрову мелясу, запаси якої є обмежені.

Робота спрямована на впровадження біотехнологій перероблення цукрів сорго в етанол шляхом пристосування технологій зброджування меляси до соргоцукрових соків та сиропів. Зокрема, в роботі проведено ферментування в умовах діючого заводу соргоцукрового соку, отриманого в Сумській обл., з метою встановлення кінетичних параметрів ферментації, та аналізування отриманих летких речовин, з метою їх використання як компонентів суміші з бензином.

В роботі наведено хімічний склад отриманого соргоцукрового соку сорту "Мамонт". Зокрема сік містить гетерогенний склад цукрів: сахароза 68% та інвертний цукор 32%, що може впливати на кінетику зброджування.

Проведено анаеробне ферментування нативного соку цукрового сорго з використанням промислового штаму *Saccharomyces cerevisiae* M5. За допомогою методу газової хроматографії повного випаровування досліджена динаміка змін концентрації етанолу у сферментованій культуральній рідині, що набуває максимального значення (5 % об.) через 15-16 годин після внесення інокуляту, продуктивність за етанолом становить  $2,63 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ .

Методом парофазної газової хроматографії проаналізовано вміст летких метаболітів у культуральній рідині до і після відганання. Встановлено, що такі компоненти сферментованої культуральної рідини як оцтовий альдегід, ацетон, ізобутанол та 1-пропанол відганяються лише на 40–60 %.

Результати роботи демонструють можливість зброджування цукрів сорго штамом *S. cerevisiae* M5 з високою продуктивністю за етанолом.

**Ключові слова:** ферментування, соргоцукровий сік, етанол, парофазний газохроматографічний аналіз

**Постановка проблеми.** З розвитком промисловості зростає потреба у викопному паливі, що збільшує негативні екологічні наслідки. Альтернативою викопному паливу є відновлювана енергетика [1]. Етанол як біопаливо, є одним із важливих замінників рідинного викопного палива, який отримують шляхом ферментування цукрів, джерелом яких є цукро- та крохмалевмісні рослини, лігноцелюозна біомаса і побічні продукти агропромислової галузі [2].

Як альтернативне джерело енергетичної сировини (зокрема цукрів) в Україні останнім часом стали приділяти увагу цукровому сорго (*Sorghum saccharatum*) [3]. До того ж на існуючих біоетанольних заводах спостерігається дефіцит традиційної цукровмісної сировини – бурякоцукрової меляси. Тому ведуться роботи із створення вітчизняних районованих високопродуктивних сортів цукрового сорго, розробляються агротехнічні методи сівби, оброблення та контролювання якості соргоцукрових посівів, технології перероблення соргоцукрової фітомаси [4, 5, 6].

Таким чином, для створення біотехнології перероблення соргоцукрової фітомаси в біоетанол необхідно вивчення та оптимізація ключових технологічних рішень з метою використання легких компонентів спиртового бродіння цукрів сорго в якості складника рідинного палива.

**Аналіз останніх досліджень.** Біоетанол (суміші етанолу та інших легколетких одноатомних спиртів, естерів) як складник бензину широко використовується в Бразилії, США, Індії, Таїланді, Китаї [7–10]. В публікаціях наводяться умови, кінетичні параметри ферментування соргоцукрових соків різних сортів сорго місцевими та комерційними штамами дріжджів. Відмінності та протиріччя в літературних статтях різних авторів головним чином зумовлені специфікою штамів, відмінністю хімічного складу соку сорго, що в свою чергу залежить від сорту рослини та агрономії, а також умовами ферментування (концентрація цукрів, інокуляційних дріжджів та інтенсивністю тепло- та масообмінних процесів в колбі чи ферментаторі [11–13].

Доведено, що на вихід та склад легких речовин (ЛР), що утворюються в процесі ферментування поживного середовища дріжджами, впливає якість субстрату та умови ферментаційного процесу, які складаються з багатьох фізико-хімічних, біологічних чинників [11]. У свою чергу, склад ЛР визначає властивості паливної суміші з бензином [14]. Тому газохроматографічне визначення компонентів ЛР в експериментах проводиться з метою їх ідентифікування та визначення кількісного вмісту, а безпосередньо на виробництві – для контролювання якості готової продукції [15, 16].

**Мета досліджень** полягала у проведенні ферментування культуральної рідини на основі нативного соку цукрового сорго дріжджами *Saccharomyces cerevisiae* M5, вирощеними на цьому ж соку, а також у визначенні супровідних легких речовин методом парофазного газохромато-графічного аналізу. Цукрове сорго сорту «Мамонт» було вирощено на сільгоспугіддях Лебединського району Сумської обл. Подрібнену фітомасу відтискали на промисловому тривальцевому пресі [17]. Соргоцукровий сік аналізували за такими показниками: загальний вміст сухих речовин (СР) % за допомогою

цукрометра або рефрактометра УРЛ–1; загальна кислотність (титрування з NaOH); вміст загального нітрогену по К'ельдалю [18]; редукувальні речовини, сахароза, загальні цукри в перерахунку на глюкозу (сума редукувальних речовин та сахарози) та крохмаль визначали пристосованим до соргоцукрового соку методом Лейна та Ейтона (ISO 5377:1981) [19] після прояснення соку 30 % ацетатом плюмбуму, інверсією сахарози та гідролізом крохмалю. Інверсію сахарози проводили за допомогою соляної кислоти при температурі 68-70 °С впродовж 5 хв. [20]. Крохмаль гідролізували за допомогою розведеної соляної кислоти при нагріванні на водяній бані впродовж 3 годин [21]. Якість соку визначали відношенням зброджуваних цукрів до загальних СР соку. рН вимірювали рН-метром рН-150М. При необхідності зразки соку зберігали для подальших експериментів в морозильній камері при – 20 °С.

У роботі використовували промисловий штам *S. cerevisiae* M5 з колекції штамів мікроорганізмів та ліній рослин Державної установи „Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України”. Засівний матеріал отримували в процесі дріжджогенерування на середовищі з пастеризованого соргоцукрового соку в ферментаторі – апараті чистої культури (АЧК), об'ємом 7,5 м<sup>3</sup> при температурі 28–30 °С та аерацією повітрям інтенсивністю 3 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> годину [17]. Вхідні дріжджі отримували з робочих дріжджогенераторів підприємства, що працює по безперервному способу ферментування мелясного сусла підвищеної концентрації. Відповідно до технологічного регламенту заводу, дріжджі вирощувалися на мелясному суслі з 15 % СР, з додаванням 0,15 % ортофосфорної кислоти та 0,1 % карбаміду до маси меляси. Додаткові солі для живлення дріжджів не вносили.

Анаеробну фазу ферментування проводили в трьох колбах Ерленмейера об'ємом 2 л з гідрозамикачем при 30 °С у статичних умовах. Вносили нативний не пастеризований соргоцукровий сік та засівні дріжджі (інокулят) у співвідношенні 2:1 по об'єму – початковий об'єм культуральної рідини становив 1,5 л. Інокулят вносили з дріжджогенератора в експоненційній фазі – при зниженні видимої густини на 4 % СР [17]. Для запобігання піноутворення до кожної колби додавали піногасник Antifoam FD20PK – 0,03 мл.

У процесі ферментування після перемішування колб відбирали проби культуральної рідини, в якій вимірювали видиму густину – показник цукрометра за робочої температури процесу (30 °С) та та динаміку накопичування етанолу за допомогою газової хроматографії. При необхідності проби заморожували при – 20 °С.

У сферментованій культуральній рідині визначали вміст етанолу та початкову концентрацію СР, яка вираховується за стандартною методикою та складається із суми істинних СР

культуральної рідини та СР, що були використані на утворення біоетанолу. Істинні СР культуральної рідини – показник сахариметра у фільтраті культуральної рідини після відганання етанолу та доведення дистильованою водою до попереднього його об'єму [18]. Незброджені цукри у зрілій культуральній рідині визначали фотоколориметричним методом з резорцином [20]. Після відганання етанолу та інших летких компонентів із сферментованої культуральної рідини (40 % від первинного об'єму), культуральну рідину аналізували на вміст залишкових летких речовин методом парофазної газової хроматографії (ПФ/ГХ). Кількість дріжджових клітин визначали мікроскопіюванням у камері Горяєва.

У процесі ферментування визначали такі параметри: продуктивність за етанолом ( $Q_p$ ,  $\text{г}\cdot\text{л}^{-1}\cdot\text{год}^{-1}$ ), вихід етанолу ( $Y_{p/s}$ ,  $\text{г}\cdot\text{г}^{-1}$ ), що визначається відношенням кількості утвореного етанолу до кількості спожитого субстрату (цукру) по масі; вихід етанолу від теоретичного ( $E_y$ , %). Для визначення  $Q_p$  та  $E_y$  використовували такі співвідношення:

$$Q_p = \frac{P}{T}, \quad (1)$$

та

$$E_y = \frac{Y_{p/s} \times 100}{0.54}, \quad (2)$$

де:  $P$  – концентрація етанолу ( $\text{г}\cdot\text{л}^{-1}$ ),  $T$  – час ферментування (год), 0,54 – максимальний теоретичний вихід етанолу із сахарози.

Для визначення етанолу у ферментаційній рідині використовують як традиційні методи, а саме ензимометрію [22], діхроматне окиснення [23], колориметрію [24], так і більш сучасні – високоефективну рідинну [25] і газову хроматографію [26]. Оскільки сферментовані розчини мають складну матрицю, тобто суспендовані частинки дріжджів, кольорові субстанції, нелеткі вуглеводи, то необхідно застосовувати попереднє пробопідготування, а саме фільтрування, хімічне оброблення, екстрагування розчинником. Усі ці процедури не тільки потребують додаткового часу, а й знижують точність вимірів. Найбільш зручним, точним і швидким методом визначення летких сполук в рідинах зі складною матрицею (а також полімерах) є парофазний (head space) газохроматографічний аналіз (ПФ/ГХ) [27]. Метод заснований на законі Генрі, а саме:

$$H = \frac{C_g}{C_l}; \text{ або } C_g = \frac{H}{1+H} C_o; \quad (3)$$

при

$$C_l = C_o - C_g, \quad (4)$$

де:  $H$  – константа в законі Генрі;  $C_g$ ,  $C_l$  і  $C_o$  – представляють врівноважені концентрації речовин у паровій, рідинній і вихідній речовині відповідно.

У відповідності з (3) концентрація речовини у зразку ( $C_0$ ) може бути отримана вимірюванням  $C_T$  у паровій фазі. При цьому необхідно враховувати деякі обставини, що можуть впливати на константу Генрі. Такими можуть бути: висолювання [28], слабка подібність аналіту рідинній матриці, сильна взаємодія летких речовин, підвищена густина матриці, велика концентрація аналіту. Останнє нівелюється розбавленням. Крім того, великий об'єм зразка збільшує час досягнення рівноваги.

Ці недоліки ПФ/ГХ методу можуть бути подолані при використанні методу повного випаровування (ГХ/ПВ) конденсованого зразка. Враховуючи вищезазначене, метод ГХ/ПВ вбачається найбільш оптимальним для визначення етанолу в таких складних матрицях як сферментовані розчини. Метод майже не потребує спеціального пробопідготування, є універсальним, експресним і досить точним.

Газохроматографічні вимірювання виконували на хроматографі "Цвет-100". Умови хроматографування: детектор полум'яно-іонізаційний; температура випарника – 150 °С; програмування термостату колонок – 60 °С, 2 °С/хв до 130 °С (10 хв); колонка хроматографічна скляна довжиною – 3 м і внутрішнім діаметром – 3 мм; наповнювач колонки: хроматон N-AW силанізований і оброблений 15 % ПЕГ-20 М; швидкість потоку газу-носія (азоту) – 60 см<sup>3</sup>/хв; швидкість потоку водню 25 см<sup>3</sup>/хв; швидкість потоку повітря – 250 см<sup>3</sup>/хв; підсилення – 64·10<sup>10</sup>; об'єм проби – 2 см<sup>3</sup>; шприц медичний місткістю 5 см<sup>3</sup>, що обгорнутий азбестовим шнуром; флакони для проб (типу пеніцилінових) об'ємом 25 см<sup>3</sup> з металевими ковпачками; обтискувальний пристрій FERPRESS H-207 (Швейцарія) або аналогічний пристрій. Кількісне і статистичне оброблення хроматограм виконувалось за допомогою електронної програми «Міліхром 4.1».

Для виконання хроматографічного аналізу проби місткістю 15 см<sup>3</sup> вміщували у флакони місткістю 25 см<sup>3</sup>, додавали мікрошприцом 3 мкл (0,02 % об) внутрішнього стандарту (ізоаміловий спирт). Флакон попередньо витримували у хромованій суміші, промивали водопровідною та дистильованою водою і прожарювали при 220 °С у сушильній шафі. Флакони закривали тефлоновими пробками, герметично обтискали металевими ковпачками за допомогою обтискувального пристрою і вносили в термостат на 30 хв за температури 85 °С.

Шприцом, нагрітим до 90–100 °С відбирали 2 см<sup>3</sup> газової фази і вводили у випарник хроматографа. Експеримент повторювали тричі. За допомогою електронної системи «Міліхром 4.1» знаходили площини хроматографічних смуг, обраховували результати і

середньоквадратичну похибку. Обчислювання виконували за допомогою внутрішнього стандарту, для якого використовували ізоаміловий спирт, який у нашому випадку на хроматограмах відсутній. Стандартні зразки органічних речовин згідно ДСЗУ 162.29-01 (МСО 0376:2002): ацетон, н-бутанол, 2-бутанол, трет-бутиловий спирт, ізо-бутанол, бутилацетат, ізобутилацетат, метанол, н-пропанол, ізо-пропанол, етанол, етилацетат, ізо-аміловий спирт.

Стандартні розчини готувались додаванням x мл стандартної речовини у x мл дистильованої води.

Визначення етанолу за методом повного випаровування ГХ/ПВ дозволяє значно підвищити чутливість, точність і відтворюваність у порівнянні із звичайним методом ПФ/ГХ [27, 29]. Попередніми дослідженнями були визначені умови експерименту: температура випаровування – 105 °С, час випаровування – 3 хв, величина проби 5÷50 мкл. Підготовка зразка і процедура вимірювання були такими: 5–50 мкл розчину зразка вмішували в склянку для випаровування місткістю 25 мл, яку занурювали у гліцеринову баню. Надто в'язкі зразки наносили на клаптик фільтрувального паперу і в такому стані вносили до склянки для випаровування. Градувальний графік будували за методом зовнішнього стандарту. Для цього x мл етанолу розчиняли у 20 мл дистильованої води.

**Результати досліджень.** Ферментування соргоцукрового соку. Характеристики нативного соргоцукрового соку, що використовувався як субстрат при зброджуванні дріжджами *S. cerevisiae* М5 наведено в табл. 1.

**1. Показники соргоцукрового соку, що використовувався при ферментуванні**

Показник	Величина
СР по цукрометру, %	13,0 ± 0,3
Редукувальні речовини, %	3,7 ± 0,1
Сахароза, %	7,8 ± 0,4
Загальний цукор, %	11,5 ± 0,3
Доброякісність, %	88,4 ± 4
рН	4,8 ± 0,05
Кислотність, град	0,3 ± 0,05
Загальний нітроген, г/кг	0,7 ± 0,05
Крохмаль, %	0,5 ± 0,06

n=3, ± стандартне відхилення.

Доброякісність соку 88,4 %, загальний цукор складався не лише з сахарози, а містив приблизно 32 % редукувальних речовин (в основному інвертний цукор). У спиртовому бродінні кінетика утворення етанолу при оптимальних фізичних параметрах процесу залежать від початкової концентрації дріжджів та концентрації цукрів [7, 8].

При змішуванні соку із засівними дріжджами (концентрацією  $1,9 \times 10^8$  кл/мл) отримали вихідну культуральну рідину (табл. 2). Інокулят складав 33,3 % об. Це дає можливість отримати концентрацію дріжджів на початку зброджування на рівні  $0,6 \times 10^8$  кл/мл. Через 2 доби в дозрілій культуральній рідині в стаціонарних умовах біомаса дріжджів дещо збільшилася до  $0,9 \times 10^8$  кл/мл (табл. 2). Початкове рН середовища було в межах норми 4,35 і коригуванню не піддавали. Через 2 доби в дозрілій культуральній рідині на основі соргоцукрового нативного соку рН знизилося до 4,0. Вихід етанолу склав 91,3 % від теоретичного. Подібні високі результати отримали дослідники із США та Бразилії на нативному соргоцукровому соку [9, 10].

Для дослідження динаміки вмісту спирту в бражці на основі соку цукрового сорго проводили відбирання проб через певний час. За даними аналізу культуральних рідин методом ГХ/ПВ побудовано профіль кривої накопичування етанолу в часі (рис. 1). З рисунку видно, що культивування практично закінчилося за 14–15 годин, коли концентрація етанолу не зростала. Видима густина культуральної рідини також сповільнювала швидкість зниження біля 15-ої години культивування та зупинялась на мінімальному значенні 1,6 % СР.

## 2. Показники сферментованого соргоцукрового соку

Показник	Вихідна культуральна рідина	Зріла культуральна рідина
Біомаса дріжджів, кл/мл	$6,3 \times 10^7 \pm \pm 4,3 \times 10^6$	$0,9 \times 10^8 \pm \pm 8,5 \times 10^6$
Видима густина при 30° С, % СР	$8,7 \pm 0,3$	$1,6 \pm 0,1$
Концентрація етилового спирту, % об.	$0,8 \pm 0,01$	$5,0 \pm 0,02$
Істинні СР бражки, %	$10,8 \pm 0,4$	$4,0 \pm 0,3$
Початкова концентрація СР, %	$12,8 \pm 0,4$	$12,9 \pm 0,4$
рН	$4,35 \pm 0,05$	$4,0 \pm 0,05$
Кислотність, град	$0,9 \pm 0,05$	$1,2 \pm 0,05$
Залишковий цукор, г·л <sup>-1</sup>	$85,2 \pm 4,51$	$6,1 \pm 0,3$
Продуктивність за етанолом, Q <sub>p</sub> (г·л <sup>-1</sup> × год <sup>-1</sup> )	$2,63 \pm 0,03$	
Вихід етанолу, Y <sub>p/s</sub> (г·г <sup>-1</sup> )	$0,46 \pm 0,01$	
Вихід етанолу від теоретичного, E <sub>v</sub> (%)	$91,3 \pm 1,2$	

n=3, ± стандартне відхилення.

Ферментування проводили дріжджами, вирощеними на соргоцукровому соку, що дає можливість скоротити Lag-фазу зброджування та підвищити продуктивність біологічного агента. Виходячи з отриманих даних (рис. 1), Lag-фаза процесу могла тривати не більше години. У подібних дослідженнях, де вирощування засівних дріжджів велось на напівсинтетичних



середовищах GYE, YPD або інших «одноцукрових» середовищах Lag-фаза тривала від 2 до 10 годин, що можна пояснити необхідністю продуцента адаптуватись до соргоцукрового середовища, зокрема забезпечити зростання інвертазної активності для інверсії сахарози [12, 13, 30].

Аналізуючи рис. 1, розрахунок максимальної продуктивності дріжджів за етанолом проводили за період 15 годин від початку культивування, що становила  $2,63 \text{ г}\cdot\text{л}^{-1}\cdot\text{год}^{-1}$ . Продуктивність дріжджів при ферментуванні соргоцукрових соків у зарубіжних авторів різняться ( $1,6\text{--}3,19 \text{ г}\cdot\text{л}^{-1}\cdot\text{год}^{-1}$  і навіть  $10,79 \text{ г}\cdot\text{л}^{-1}\cdot\text{год}^{-1}$ ) і залежить головним чином від кількості інокуляційних дріжджів та концентрації цукрів [10–12, 31].

Згідно з графіком (рис. 1) спостерігається друга затримка спиртового бродіння після початку процесу з третьої години. Це можна пояснити діауксією, що обумовлена гетерогенним складом цукрів соку. Спершу дріжджі споживали глюкозу та інвертують сахарозу, фруктоза поступово накопичується і споживається дріжджами останньою [12, 30, 32]. При дріжджогенеруванні (аеробна фаза розвитку дріжджів) цього не спостерігається [17].

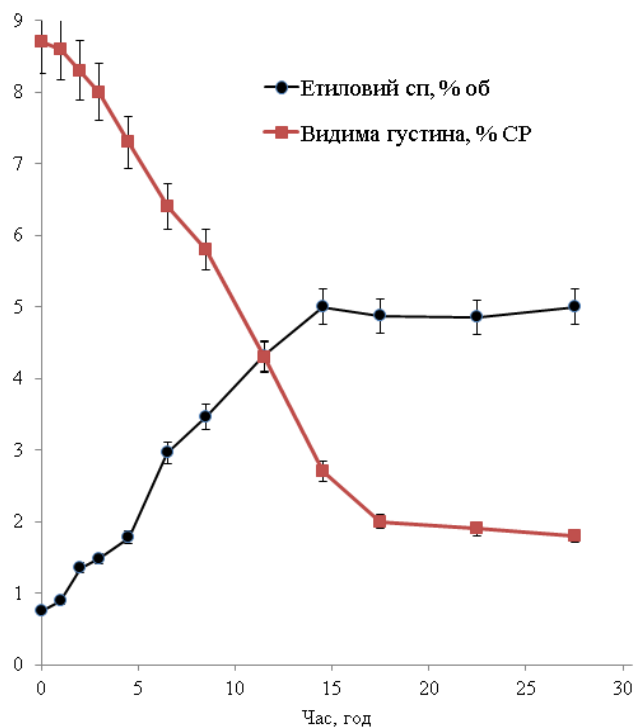


Рис. 1. Динаміка змін вмісту етилового спирту та видимої густини при зброджуванні соргоцукрового соку.

Явище другої Lag-фази не характерне для культуральних рідин, що одержують із використанням меляси [33, 34]. У деяких зарубіжних авторів також спостерігається наявність другої лаг-фази

на характерних кривих накопичування етанолу в культуральній рідині на основі соргоцукрового соку, проте жодного пояснення щодо другої лаг-фази в своїх публікаціях вони не дають [11, 13]. Можливо другу лаг-фазу можна взагалі мінімізувати використавши інший штам чи за допомогою ферментатора з інтенсивним перемішуванням. Ці тенденції спостерігаються в роботах [12, 13].

*Дослідження ЛР культуральних рідин на основі соргоцукрового соку.* Газова хроматографія є основним методом аналітичного контролю летких речовин в продуктах зброджування вуглеводів. Загалом такий аналіз здійснюється через процедуру отримання відгону. Операція отримання відгону потребує певного часу, а у випадку аналізу барди і зовсім проблематична. Метод ПФ/ГХ аналізу не містить вказаних обмежень.

Попередньо проведене порівняння хроматограм бражки отриманих ПФ/ГХ методом та її відігнутого дистиляту, показало їх ідентичність (дані не вказані). З врахуванням зазначеного подальші аналізи виконували методом ПФ/ГХ. З наведених хроматограм (рис. 2) видно, що леткі речовини культуральної рідини на основі соку сорго є типовими продуктами зброджування цукровмістної сировини [15]. Вони покращують розчинність біоетанолу в бензині і якість палива в цілому [14].

Метод ПФ/ГХ аналізу дозволяє відслідкувати динаміку утворення в бражці не лише етанолу, але й супровідних летких речовин спиртового бродіння (табл. 3).

### **3. Масовий вміст летких речовин у сферментованому соку до та після відгнання\***

Леткі речовини (ЛР)	Вміст ЛР у сферментованій культуральній рідині, мг/дм <sup>3</sup>	Вміст ЛР у культуральній рідині після відгнання, мг/дм <sup>3</sup>
оцтовий альдегід	6 ± 0,45	4 ± 0,30
ацетон	6 ± 0,54	3 ± 0,27
етилацетат	1 ± 0,12	не виявлено
1-пропанол	5 ± 0,48	3 ± 0,25
ізобутанол	4 ± 0,28	2 ± 0,35
ізоамілацетат	3 ± 0,41	не виявлено
1-пентанол	3 ± 0,40	1 ± 0,12
етанол	38,4×10 <sup>3</sup> ± 2,1×10 <sup>3</sup>	50 ± 4,30

\*n=3, ± СКВ.

З рис. 2 та табл. 3 видно, що етанол в умовах лабораторного дистилювання відганяється практично повністю, залишкова кількість у здистилюваній культуральній рідині становить 50 мг/мл. Також, при дистилюванні сферментованої культуральної рідини етилацетат та ізоамілацетат практично повністю переходять у дистилят і

відповідно у зневоднений продукт в якості пального. Такі компоненти сферментованої культуральної рідини як оцтовий альдегід, ацетон, ізобутанол та 1-пропанол відганяються лише на 40–60 %. Залишкові кількості цих речовин, а також інші поширені нелеткі продукти спиртового бродіння такі як: гліцерин, сукцинат, альфакетоглутарат, бутандіол, діацетіл знижують вихід етанолу. Більша їх кількість утворюється саме при періодичному бродінні [31].

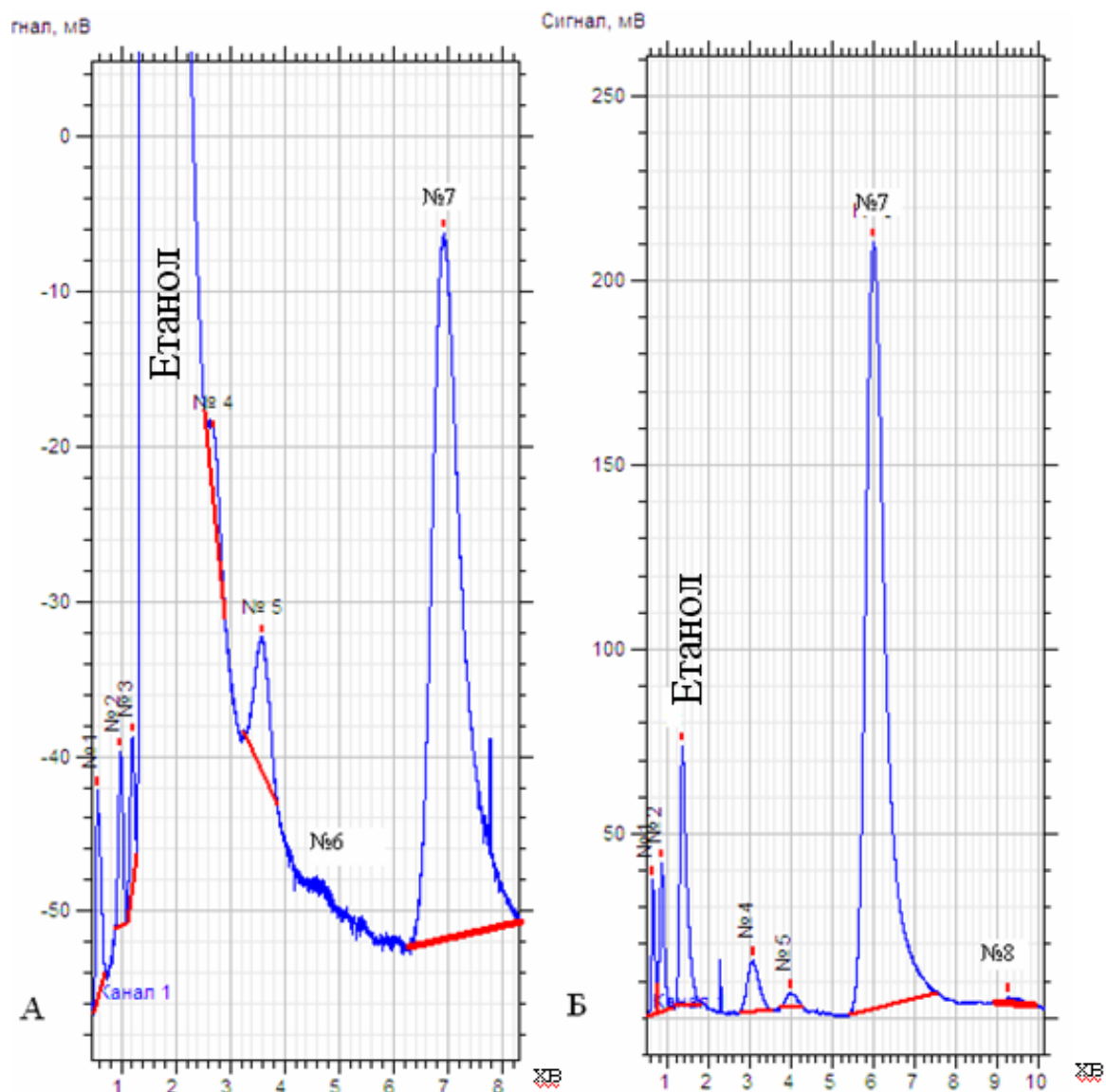


Рис. 2. Хроматограми (ПФ/ГХ) летких компонентів проби сферментованого соку (А) та культуральної рідини після відгання летких речовин (Б). Метод паро-фазного аналізу (Heard Space). Перелік летких речовин: 1 – оцтовий альдегід; 2 – ацетон; 3 – етилацетат; 4 – 1-пропанол; 5 – ізобутанол; 6 – ізоамілацетат; 7 – ізоаміловий (внутрішній стандарт); 8 – 1-пентанол.

Отже, біотехнологія спиртового бродіння за рахунок специфічних умов таких як підвищений вміст етанолу, низький

рівень рН культуральної рідин (4,0–4,5) та високої вихідної концентрації промислового спиртового штаму дріжджів, зумовлює високу продуктивність, що дозволяє швидко і практично без втрат через контамінацію ферментувати нативний соргоцукровий сік при періодичному зброджуванні. Звісно при переході на безперервну систему та/або на ферментування соргоцукрових сиропів підвищеної густини необхідна повна стерилізація соків та сиропів. Так як при збільшенні тривалості процесу ферментування збільшується ризики розповсюдження контамінації [34].

У роботі [13] показано високу специфіку деяких штамів дріжджів по відношенню до гетерогенних цукрових сумішей. Деякі з них виявляють чутливість до компонентів середовища на основі соргоцукрового соку. Наші роботи, а також роботи Левандавського Л. В. показали, що промислові штами-продуценти етанолу *S. cerevisiae* М-5, У-563, V-30 добре ростуть та ферментують соки та сиропи отримані із цукрового сорго [6, 17].

### Висновки

1. Біотехнологія спиртового бродіння дозволяє швидко і практично без втрат через контамінацію ферментувати нативний соргоцукровий сік при періодичному зброджуванні. При переході на безперервну систему та/або на ферментування соргоцукрових сиропів підвищеної густини необхідна повна стерилізація соків та сиропів.

2. У процесі анаеробного ферментування дріжджами *S. cerevisiae* М-5 нативного соргоцукрового соку, з сировини вирощеного в ґрунтово-кліматичних умовах Сумської обл., виявлена наявність двох лаг-фаз. Діауксія, ймовірно, обумовлена неоднорідним складом цукрів соку цукрового сорго (глюкоза, фруктоза, сахароза). При ферментуванні меляси подібного не відбувається через те, що в останній міститься лише один вид цукру – сахароза.

3. Проведено кількісне визначення етанолу та супровідних летких речовин у культуральній рідині до і після відгнання легколетких речовин. При дистилюванні сферментованої культуральної рідини етилацетат та ізоамілацетат практично повністю переходять у дистилят і відповідно у зневоднений продукт. Такі компоненти сферментованої культуральної рідини як оцтовий альдегід, ацетон, ізобутанол та 1-пропанол відганяються лише на 40–60 %.

### Список літератури

1. Sa´nchez, O. J. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks / O. J Sa´nchez, C. A. Cardona // Bioresource Technology. – 2008. – Vol. 99, Issue 13. – P. 5270–5295.
2. Giovanni, D. N. Advances in the Development of Bioethanol: A Review / D. N. Giovanni, E. Santecchia, S. Giulio, P. Fabio // Biofuel's Engineering Process

Technology InTech. 2011. – P. 611 – 638. Режим доступу: <http://www.intechopen.com/books/biofuel-s-engineering-process-technology/advances-in-the-development-of-bioethanol-a-review>.

3. Блюм, Я. Б. Біологічні ресурси і технології виробництва біопалива / [Я. Б. Блюм, Г. Г. Гелетуха, І. П. Григорюк та ін.]. – К.: Аграр Медіа Груп, 2010. – 408 с.

4. Герасименко, Л. А. Оптимізація елементів технології вирощування сорго цукрового для виробництва біопалива в умовах Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.09 / Л. А. Герасименко ; НАН України, Ін-т біоенерг. культур і цукр. буряків. – К., 2013. – 20 с.

5. Гунчак, Т. І. Особливості вирощування сорго цукрового в якості сировини для виробництва біопалива в умовах південно-західного Лісостепу України / Т. І. Гунчак // Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. – 2014. – Вип. 21. – С. 244. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpicb\\_2014\\_21\\_46](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpicb_2014_21_46).

6. Левандовський, Л. В. Використання соку цукрового сорго для біосинтезу спирту / Л. В. Левандовський, С. Т. Олійнічук, Л. В. Ткаченко, А. Ф. Ткаченко // Вісник аграрної науки. – 2004. – № 7. – С. 63–65.

7. Laopaiboon, L. L. Ethanol production from sweet sorghum juice in batch and fed-batch fermentations by *Saccharomyces cerevisiae* / L. L. Laopaiboon, P. Thanonkeo, P. Jaisil, P. Laopaiboon // World Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2007. – Vol. 23, Issue 10. – P. 1497–1500.

8. Nurnasari, E. Factors Affecting Bioethanol Fermentation From Sugar Cane Molasses Using Flocculant *Saccharomyces cerevisiae* NCYC-1195 / E. Nurnasari, A. K. Wardani, A. Sutrisno // Basic and Applied Sciences. – 2015. – Vol. 9, Issue 31. – P. 6–17.

9. Kundiyana, D. K. Influence of temperature, pH and yeast on in-field production of ethanol from unsterilized sweet sorghum juice / D. K. Kundiyana, D. D. Bellmer, R. L. Huhnke, M. R. Wilkins, P.L. Claypool // Biomass and bioenergy. – 2010. – Vol. 34, Issue 10. – P. 1481–1486.

10. Dutra, D. Ethanol Production from the Stem Juice of Different Sweet Sorghum Cultivars in the State of Pernambuco, Northeast of Brazil / D. Dutra, B.G. Neto, S. R. Barros, M. A. Morais J. M., N.J. Tabosa, R.S. Cezar Menezes // Sugar Tech. – 2013. – Vol. 15, Issue 3. – P. 316–321.

11. Tahmina, I. Fermentation kinetics and ethanol production from different sweet sorghum varieties / I. Tahmina, S. Capareda // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. – 2011. – Vol. 4, Issue 3. – P. 33–40.

12. Yuvraj, R. K. Chemical Composition of Sweet Sorghum Juice and its Comparative Potential of Different Fermentation Processes for Enhanced Ethanol Production / R. K. Yuvraj, S. K. Uppal, P. Sharma, H. S. Oberoi // Sugar Tech. – 2013. – Vol. 15, Issue 3. – P. 305–310.

13. Bulawayo, B. Ethanol production by fermentation of sweet-stem sorghum juice using various yeast strains / B. Bulawayo, J. M. Bvochora, M. I. Muzondo, R. Zvauya // Microbiology and Biotechnology. – 1996. – Vol. 12, Issue 4. – P. 357–360.

14. Shah, Y. R. Bioalcohol as green energy – A Review / Y. R. Shah, D. J. Sen // International Journal of Current Scientific Research. – 2011. – Vol. 1, Issue 2. – P. 57–62.

15. Горшунюв, Ю. В. Біотехнологія спиртового зброджування глюкозо-фруктозних сиропів : автореф. дис. канд. техн. наук : 03.00.20 / Ю. В. Горшунюв ; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". – К., 2012. – 20 с.

16. EN 15376: 2011, Automotive fuels – Ethanol as a blending component for petrol – Requirements and test methods.

17. Володько, О. І. Вирощування *Saccharomyces cerevisiae* M5 на основі соку цукрового сорго в умовах діючого підприємства з виробництва біоетанолу / О. І. Володько, С. П. Циганков // Наукові доповіді НУБіП України: – [Електронний ресурс] – 2015. – № 8, Вип. 57. – Режим доступу: [http://nd.nubip.edu.ua/2015\\_8/33.pdf](http://nd.nubip.edu.ua/2015_8/33.pdf).
18. *Инструкция по технохимическому и микробиологическому контролю спиртового производства.* – М.: Агропромиздат, 1986. – 398 с.
19. ISO 5377:1981. Starch hydrolysis products – Determination of reducing power and dextrose equivalent – Lane and Eynon constant titre method.
20. Фертман, Г. И. Химико-технологический контроль спиртового и ликёрово-водочного производства / Г. И. Фертман, М. И. Шойхет. – М.: Пищ. пром. – 1975. – 440 с.
21. Цитович, И. К. Химия с сельскохозяйственным анализом / И. К. Цитович. – М.: Колос. – 1974. – 527 с.
22. Gonchar, M. V. A new oxidase-peroxidase kit for ethanol Assay / M. V. Gonchar, M. M. Maidan, H. M. Pavlishko, A. A. Sibirny // Food Technology and Biotechnology. – 2001. – Vol. 39, Issue 1. – P. 37–42.
23. *Hormitz (Ed.) W. Official Methods of Analysis of the Association of official Analytical Chemists / Hormitz (Ed.) W. // Washington, DC. – 1980, 12th ed.*
24. Zanon, J. P. Colorimetric assay of ethanol using Alcohol dehydrogenase from dry baker's yeast / J. P. Zanon, M. F Peres., E. A. Cattas // Enzyme and Microbial Technology. – 2007. – Vol. 40, Issue 3. – P. 466–470.
25. Lefebvre, D. Faucher Simultaneous HPLC Determination of Sugars, Organic Acids and Ethanol in Sourdough Process / D. Lefebvre, V. Gabriel, Y. Vayssier, C. Fontagne // Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie. – 2002. – Vol. 35, Issue 5. – P. 407–414.
26. Buckee, G. K. Determination of ethanol in beer by gas chromatography (direct injection)- collaborative trial / G. K. Buckee, A. P. Mundy // Journal of the Institute of Brewing. – 1993. – Vol. 99, Issue 5. – P. 381–384.
27. Kolb, B. Static Headspace-Gas Chromatography Theory and Practice / B. Kolb, L.S. Ettre // Wiley-VCH, New York, USA. – 1997.
28. Teja, A. S. Henry's constants of methanol in aqueous systems containig salts / A. S. Teja, A. K. Gupta, K. R. Bullock, X.-S. Chai, J. Y. Zhu // Fluid Phase Equilibria. – 2001. – Vol. 185, Issues 1–2. – P. 265–274.
29. Chai, X. S. Analysis of Volatile Organic Sulphur Compounds in Kraft Liquors by Full Evaporation Headspace Gas Chromatography / X. S. Chai, P. H. Liu, J. Y. Zhu // Journal of pulp and paper science. – 2000. – Vol. 26, Issue 5. – P. 167–172.
30. Guigoua, M. Bioethanol production from sweet sorghum: Evaluation of post-harvest treatments on sugar extraction and fermentation / M. Guigoua, C. Lareo, L. V. Pérez, M. E. Lluberas, D. Vázquez, M. D. Ferrari // Biomass and Bioenergy. – 2011. – Vol. 35, Issue 7. – P. 3058–3062.
31. Laopaiboon, L. Ethanol production from sweet sorghum juice using very high gravity technology: Effects of carbon and nitrogen supplementations / L. Laopaiboon, S. Nuanpeng, P. Srinophakun, P. Klanrit, P. Laopaiboon // Bioresource Technology. – 2009. – Vol. 100, Issue 18. – P. 4176–4182.
32. Jasman, J. Selection of Yeast Strains for Ethanol Fermentation of Glucose-Fructose-Sucrose Mixture / J. Jasman, I. D. Prijambada, C. Hidayat, D. Widiyanto // Indonesian Journal of Biotechnology. – 2012. – Vol. 17, Issue 2. – P. 114–120.
33. Razmovski, R. Ethanol production from sugar beet molasses by *S. cerevisiae* entrapped in an alginate-maize stem ground tissue matrix / R. Razmovski, V. Vučurović // Enzyme and Microbial Technology. – 2011. – Vol. 48, Issue (4–5, 7). – P. 378–385.

34. Ngwenya, T. T. An industrial perspective of factors affecting molasses fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* / T. T. Ngwenya, P. Shukla, N. Baboolal, K. Permaul, S. Singh // *Brewing and Distilling*. – 2012. – Vol. 3, Issue 2. – P. 23–28.

## References

1. Sa'nchez, O. J., Cardona, C. A. (2008). Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology*, Vol. 99, Issue 13, 5270–5295.
2. Giovanni, D. N., Santecchia, E., Giulio, S., Fabio, P. (2011). Advances in the Development of Bioethanol: A Review. *Biofuel's Engineering Process Technology InTech*, 611–638. <http://www.intechopen.com/books/biofuel-s-engineering-process-technology/advances-in-the-development-of-bioethanol-a-review>.
3. Blyum, Ya. B. (2010). *Biologichni resursy i tekhnolohiyi vyrobnytstva biopalyva* [Biological resources and technologies of biofuel production]. K.: Ahrar Media Hrup, 408.
4. Herasymenko, L. A. (2013). *Optyimizatsiya elementiv tekhnolohiyi vyroshchuvannya sorho tsukrovoho dlya vyrobnytstva biopalyva v umovakh Lisostepu Ukrayiny* [Optimization of elements of technology of cultivation of sweet sorghum for biofuel production in conditions of forest-Steppe of Ukraine] : avtoref. dys. ... kand. s.-h. nauk : 06.01.09/ NAN Ukrayiny, In-t bioenerh. kul'tur i tsukr. buryakiv. K., 20.
5. Hunchak, T. I. (2014). *Osoblyvosti vyroshchuvannya sorho tsukrovoho v yakosti syrovyny dlya vyrobnytstva biopalyva v umovakh pivdenno-zakhidnoho Lisostepu Ukrayiny* [Features of cultivation of sweet sorghum as feedstock for biofuel production in conditions of the South West forest-steppe of Ukraine]/ *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kul'tur i tsukrovykh buryakiv*, Vyp. 21, 244. Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpicb\\_2014\\_21\\_46](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpicb_2014_21_46).
6. Levandovs'kyi, L. V., Oliynichuk, S. T., Tkachenko, L. V., Tkachenko, A. F. (2004). *Vykorystannya soku tsukrovoho sorho dlya biosyntezy spyrtu* [The use of the juice of sweet sorghum for production of alcohol]. *Visnyk aharnoyi nauky*, 7, 63–65.
7. Laopaiboon, L. L., Thanonkeo, P., Jaisil, P., Laopaiboon, P. (2007). Ethanol production from sweet sorghum juice in batch and fed-batch fermentations by *Saccharomyces cerevisiae*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, Vol. 23, Issue 10, 1497–1500.
8. Nurnasari, E., Wardani, A. K., Sutrisno, A. (2015). Factors Affecting Bioethanol Fermentation From Sugar Cane Molasses Using Flocculant *Saccharomyces cerevisiae* NCYC-1195. *Basic and Applied Sciences*, Vol. 9, Issue 31, 6–17.
9. Kundiyana, D. K., Bellmer, D. D., Huhnke, R. L., Wilkins, M. R., Claypool, P. L. (2010). Influence of temperature, pH and yeast on in-field production of ethanol from unsterilized sweet sorghum juice. *Biomass and bioenergy*, Vol. 34, Issue 10, 1481–1486.
10. Dutra, D., Neto, B. G., Barros, S. R., Moraes, M. A., Tabosa, N. J., Cezar Menezes, R. S. (2013). Ethanol Production from the Stem Juice of Different Sweet Sorghum Cultivars in the State of Pernambuco, Northeast of Brazil. *Sugar Tech*, Vol. 15, Issue 3, 316–321.
11. Tahmina, I., Capareda, S. (2011). Fermentation kinetics and ethanol production from different sweet sorghum varieties. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, Vol. 4, Issue 3, 33–40.
12. Yuvraj, R. K., Uppal, S. K., Sharma, P., Oberoi, H. S. (2013). Chemical Composition of Sweet Sorghum Juice and its Comparative Potential of Different

Fermentation Processes for Enhanced Ethanol Production. *Sugar Tech*, Vol. 15, Issue 3, 305–310.

13. *Bulawayo, B., Bvochora, J. M., Muzondo, M. I., Zvauya, R.* (1996). Ethanol production by fermentation of sweet-stem sorghum juice using various yeast strains. *Microbiology and Biotechnology*, Vol. 12, Issue 4, 357–360.

14. *Shah, Y. R., Sen, D. J.* (2011). Bioalcohol as green energy – A Review. *International Journal of Current Scientific Research*, Vol. 1, Issue 2, 57–62.

15. *Horshunov, Yu. V.* (2012). Biotekhnolohiya spyrtovoho zbrodzhuvannya hlyukozo-fruktoznykh syropiv [Biotechnology alcoholic fermentation of glucose-fructose syrups] : avtoref. dys. kand. tekhn. nauk : 03.00.20. Nats. tekhn. un-t Ukrainy "Kyyiv. politekhn. in-t". K., 2012, 20.

16. *EN 15376: 2011*, Automotive fuels – Ethanol as a blending component for petrol – Requirements and test methods.

17. *Volod'ko, O. I., Tsyhankov, S. P.* (2015). Vyroshchuvannya *Saccharomyces cerevisiae* M5 na osnovi soku tsukrovoho sorho v umovakh diyuchoho pidpryyemstva z vyrobnytstva bioetanolu [Cultivation of *Saccharomyces cerevisiae* M5 based on the juice of sweet sorghum in the conditions of operating enterprises for the production of bioethanol]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy: [Elektronnyy resurs]*, № 8, Vyp. 57, Rezhym dostupu: [http://nd.nubip.edu.ua/2015\\_8/33.pdf](http://nd.nubip.edu.ua/2015_8/33.pdf).

18. *Instruktsyya po tekhnokhymychemskomu y mykrobyolohychemskomu kontrolyu spyrtovoho proyzvodstva* (1986) [Instruction on technical and microbiological control of alcohol production]. M.: Ahropromyzdat, 398.

19. *ISO 5377:1981*. Starch hydrolysis products – Determination of reducing power and dextrose equivalent – Lane and Eynon constant titre method.

20. *Fertman, H. Y., Shoykhet, M. Y.* (1975). Khymyko-tekhnolohychemskyy kontrol' spyrtovoho y lykero-vodochnoho proyzvodstva [Chemical-technological control of alcoholic and liqueur and vodka production]. M.: Pyshch. Prom, 440.

21. *Tsytovykh, Y. K.* (1974). Khymyya s sel'skokhozyaystvennym analizom [Chemistry and agricultural analysis]. M.: Kolos, 527.

22. *Gonchar, M. V., Maidan, M. M., Pavlishko, H. M., Sibirny, A. A.* (2001). A new oxidase-peroxidase kit for ethanol Assay. *Food Technology and Biotechnology*, Vol. 39, Issue 1, 37–42.

23. *Hormitz (Ed.) W.* (1980). *Official Methods of Analysis of the Association of official Analytical Chemists*. Washington, DC, 12th ed.

24. *Zanon, J. P., Peres., M. F, Cattas, E. A.* (2007). Colorimetric assay of ethanol using Alcohol dehydrogenase from dry baker's yeast. *Enzyme and Microbial Technology*, Vol. 40, Issue 3, 466–470.

25. *Lefebvre, D., Gabriel, V., Vayssier, Y., Fontagne, C.* (2002). Faucher Simultaneous HPLC Determination of Sugars, Organic Acids and Ethanol in Sourdough Process. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, Vol. 35, Issue 5, 407–414.

26. *Buckee, G. K., Mundy, A. P.* (1993). Determination of ethanol in beer by gas chromatography (direct injection)- collaborative trial. *Journal of the Institute of Brewing*, Vol. 99, Issue 5, 381–384.

27. *Kolb, B., Ettre, L. S.* (1997). *Static Headspace-Gas Chromatography Theory and Practice*. Wiley-VCH, New York, USA, 97.

28. *Teja, A. S., Gupta, A. K., Bullock, K. R., Chai, X.-S., Zhu, J. Y.* (2001). Henry's constants of methanol in aqueous systems containig salts. *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 185, Issues 1–2, 265–274.



29. Chai, X. S., Liu, P. H., Zhu, J. Y. (2000). Analysis of Volatile Organic Sulphur Compounds in Kraft Liquors by Full Evaporation Headspace Gas. Journal of pulp and paper science, Vol. 26, Issue 5, 167–172.
30. Guigoua, M., Lareo, C., Pérez, L. V., Lluberas, M. E., Vázquez, D., Ferrari, M. D. (2011). Bioethanol production from sweet sorghum: Evaluation of post-harvest treatments on sugar extraction and fermentation. Biomass and Bioenergy, Vol. 35, Issue 7, 3058–3062.
31. Laopaiboon, L., Nuanpeng, S., Srinophakun, P., Klanrit, P., Laopaiboon P. (2009). Ethanol production from sweet sorghum juice using very high gravity technology: Effects of carbon and nitrogen supplementations. Bioresource Technology, Vol. 100, Issue 18, 4176–4182.
32. Jasman, J., Prijambada, I. D., Hidayat, C., Widiyanto, D. (2012). Selection of Yeast Strains for Ethanol Fermentation of Glucose-Fructose-Sucrose Mixture. Indonesian Journal of Biotechnology, Vol. 17, Issue 2, 114–120.
33. Razmovski, R., Vučurović, V. (2011). Ethanol production from sugar beet molasses by *S. cerevisiae* entrapped in an alginate-maize stem ground tissue matrix. Enzyme and Microbial Technology, Vol. 48, Issue (4–5, 7), 378–385.
34. Ngwenya, T. T., Shukla, P., Baboolal, N., Permaul, K., Singh, S. (2012). An industrial perspective of factors affecting molasses fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. Brewing and Distilling, Vol. 3, Issue 2, 23–28.

## **ФЕРМЕНТИРОВАНИЕ СОРГОСАХАРНОГО СОКА SACCHAROMYCES CEREVISIAE ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И АНАЛИЗА ЛЕТУЧИХ БИОТОПЛИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ**

***А. И. Володька, Г. В. Мешок, К. М. Лукашевич, А. Г. Новак,  
С. П. Цыганков***

**Аннотация.** *Современные мировые тенденции в энергетике в развитых странах мира направлены на всестороннее использование воспроизводимых источников энергии в связи с негативным экологическим влиянием промышленности и транспорта, которые используют ископаемые источники энергии. Украина, которая имеет один с наибольших потенциалов в Европе в аграрной сфере, не использует в полной мере возобновляемые источники энергии из фитомассы. Одним из наиболее рентабельных и простых способов получения экологически чистого жидкого топлива – производство биоэтанола.*

*Для его производства сахарное сорго может дополнить традиционное сырье для Украины – мелассу из сахарной свеклы, запасы которой ограничены.*

*Работа направлена на внедрение биотехнологий переработки сахаров сорго в этанол через адаптацию технологий сбразивания мелассы к сокам и сиропам из сахарного сорго. В частности в работе проведена ферментация в условиях действующего завода сока сахарного сорго, выращенного в Сумской обл., с целью получения кинетических параметров*

ферментации, а также проведения анализов полученных летучих веществ в качестве их применения как добавок к бензину.

В работе приведен химический состав полученного сока сахарного сорго сорта "Мамонт" В частности сок имеет гетерогенный состав сахаров: сахароза 68 % и инвертный сахар 32 %, который может влиять на кинетику ферментации.

Проведено анаэробное ферментирование нативного соку сахарного сорго с использованием промышленного штамма *Saccharomyces cerevisiae* M5. С помощью метода газовой хроматографии полного испарения исследована динамика изменения концентрации этанола в сферментированной культуральной жидкости. Концентрация этанола устанавливается максимальной (5 % об.) через 15-16 часов после внесения инокулята, продуктивность по этанолу составляет  $2,63 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{час}^{-1}$ .

Методом парофазной газовой хроматографии проанализировано содержание летучих метаболитов в культуральной жидкости до и после отгонки. Установлено, что такие компоненты как уксусный альдегид, ацетон, изобутанол та 1-пропанол отгоняются лишь на 40 – 60 %.

Результаты работы показали возможность проведения ферментации сахаров сорго штаммом *S. cerevisiae* M5 с высокой продуктивностью по этанолу.

**Ключевые слова:** ферментирование, соргосахарный сок, этанол, парофазный газохроматографический анализ

## FERMENTATION OF SWEET SORGHUM JUICE BY SACCHAROMYCES CEREVISIAE FOR OBTAINING AND ANALYSIS OF BIOFUEL VOLATILE COMPOUNDS

**O. I. Volodko, G. V. Lantukh, K. M. Lukashevych, A. G. Novak,  
S. P. Tsygankov**

**Abstract.** Modern world tendency in energetics of developed countries are focused on comprehensive employment of renewable energy sources because of negative ecologic impact of industry and transport that use fossil energy sources. Ukraine is having one of the highest agricultural potential in Europe however doesn't apply renewable energy of raw materials from phytomass to the full extent. One of the most profitable and simple way to obtain environmentally friendly liquid fuel is bioethanol production.

Sweet sorghum for bioethanol production can complement sugar beet molasses which is a traditional raw material in Ukraine but has limited reserves.

The current work is aimed in implementation of sorghum sugars processing in ethanol through molasses fermentation technology

*adaptation to sweet sorghum juice and syrup. The fermentation of sweet sorghum juice from functioning plant in Sumy region was performed, kinetic parameters of fermentation were determined, and volatile substances were obtained and analyzed as components of gasoline mix.*

*The chemical composition of sweet sorghum juice (variety "Mammoth") is carried out. Thus, juice contains heterogeneous composition of sugars: sucrose 68% and 32% of invert sugar, which may affect the kinetics of fermentation.*

*The anaerobic fermentation of sweet sorghum crude juice was performed using commercial strain *Saccharomyces cerevisiae* M5. The dynamics of ethanol concentration in fermented cultured broth was investigated with full evaporation headspace gas chromatography method. The maximal ethanol concentration (5 % v/v) was obtained in 15–16 hours after inoculation, ethanol productivity was  $2.63 \text{ g l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .*

*The content of volatile metabolites in the cultured broth before and after distillation was analyzed by headspace gas chromatography method. It was established that such components of fermented cultured broth as acetaldehyde, acetone, isobutanol, and 1-propanol can be distilled only 40–60 %.*

*The results demonstrated the possibility of sorghum sugars fermentation by strain of *S. cerevisiae* M5 with high ethanol productivity.*

**Key words:** *fermentation, sweet sorghum juice, ethanol, headspace gas chromatographic*

УДК 631.001.2

## **ANALYTICAL MODEL OF PARALLEL COMPLEX SYSTEM OF MACHINERY OF PLANTING**

**Valeriy D. Voytyuk, Ivan L. Rogovskii**  
**e-mail: vdv-tsim@ukr.net**

**Abstract.** *Optimization methods of parallel complexes occupy a significant place in the complex of quantitative methods for optimization of parameters of objects of standardization. Examples are parallel complex parallel manufacturing lines, parallel connected elements, schemes, etc. Parallel the complex production machinery of plant is a set of several products of partial interchangeability.*

*Optimal parallel set of products should be chosen, taking into account future changes in the conditions of production and use*

© V. D. Voytyuk, I. L. Rogovskii, 2016