

## ДІЯ МАГНІТНОГО ТА ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛІВ НА ПРОЦЕС БРОДІННЯ

*Розглянуто вплив магнітного та електромагнітного полів, коронного розряду на процес спиртового бродіння. Показано, що під впливом магнітної обробки сповільнюється швидкість реакції гідролізу сахарози. Зроблено висновок про те, що зміни, викликані впливом випромінювання як на біологічний об'єкт дослідження, так і на водне середовище.*

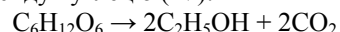
*Considered the influence of the magnetic and electromagnetic fields, the corona discharge on the spirit fermentation event. Displayed, that by the magnetic processing influence the reaction speed of the sucrose hydrolysis is becoming slower. Concluded that the changes are caused with the radiation influence upon the biological exploration object, as well as upon the water environment.*

Зважаючи на велике практичне значення процесів дріжджового бродіння, дослідженню біосинтетичної здатності дріжджових клітин приділяють багато уваги. Один з напрямків досліджень – вплив фізичних факторів на активування процесу (механоактивування, електроактивування, дія магнітних полів тощо). Така обробка мікроорганізмів може як стимулювати їх ферментативну активність і біосинтетичну здатність, так і пригнічувати [1]. Однак, вказані фактори діють одночасно на самі дріжджові клітини і на водне середовище, в якому вони знаходяться. Термодинамічні зміни водної фази додатково впливають на стан мікроорганізмів, оскільки відбувається постійна взаємодія клітин із середовищем (біохімічні процеси). В зв'язку з цим виникають певні труднощі, зумовлені відсутністю надійної базової моделі структури води. На даний час існує понад 20 різних моделей, але жодна з них не може описати феномен повністю. Загальноприйнятим є те, що воду в рідкому стані розглядають як суміш різних полімерів (олігомерів, кластерів), утворених водневими зв'язками між молекулами води.

Тому метою даної роботи було розмежування вказаних процесів, виявлення ступеня впливу фізичних полів на водну фазу та самі дріжджові клітини.

В роботі [2] було показано, що дія магнітного поля на воду та водні системи призводить до змін їх фізико-хімічних властивостей. Після магнітної обробки молекули води стають рухливішими, зростає “структурна температура” розчину. На підставі цих даних в нашій роботі ми спочатку проводили попередню обробку 10-відсоткового розчину сахарози магнітним або електромагнітним полем і після додавання до такого розчину сухих хлібопекарських дріжджів (*Saccharomyces cerevisiae*) досліджували швидкість процесу бродіння. Омагнічування проводили кількома способами. В одному випадку розчин сахарози з допомогою дозатора А-2 протягом 1 години циркулював через систему з 3-х пар постійних магнітів (максимальна індукція 250 мТл), в другому варіанті розчин поміщували в соленоїд з індукцією електромагнітного поля (ЕМП) 2 мТл та частотою 14 Гц і витримували протягом 3 год. Окрім цього використовували електромагнітний пристрій МАГ-30 з індукцією 30 мТл і частотою 50 Гц, час експозиції – 2 год. В усіх випадках час експозиції був зумовлений максимальним ефектом дії магнітного (електромагнітного) поля на воду, що було встановлено попередніми дослідженнями. Швидкість процесу оцінювали за об'ємом CO<sub>2</sub>, який виділявся під час бродіння.

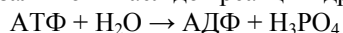
Спиртове бродіння – це строго регламентований ланцюг хімічних реакцій, кінцевим результатом якого є розпад глюкози з утворенням етанолу та оксиду вуглецю (IV):



Якщо вихідною речовиною є цукор (сахароза), то спочатку відбувається реакція гідролізу з утворенням двох молекул – глюкози і фруктози. Внаслідок дії магнітного поля на розчин швидкість такої реакції сповільнюється [3]. Це, відповідно, повинно призводити до сповільнення всього процесу бродіння, що й було підтверджено експериментальним шляхом (рис. 1).

Таку різницю в темпах виділення CO<sub>2</sub> після попередньої обробки розчину сахарози на різних магнітних пристроях можна віднести за рахунок “частотних” та “амплітудних вікон”, характерних для біологічної дії магнітного (електромагнітного) поля.

Наступним етапом анаеробного розпаду вуглеводів при спиртовому бродінні сахарози є фосфорилування глюкози за рахунок АТФ (аденозинтрифосфорної кислоти) з утворенням глюкозо-6-фосфату. Така реакція каталізується ферментом гексокіназою. Цьому передують розщеплення АТФ на АДФ (аденозиндифосфорну кислоту) і фосфатний залишок внаслідок реакції гідролізу:



В омагніченій воді кінетика такого процесу також сповільнюється [4]. За три години бродіння відношення середньостатистичного об'єму CO<sub>2</sub> (V'), який виділявся після попередньої обробки 10-відсоткового (0,29 М) розчину сахарози постійним магнітним полем до такого ж в контрольному розчині (V) становить 0,29. При бродінні 5-відсоткового (0,29 М) розчину глюкози після аналогічної обробки це відношення на 31 % більше: V'/V = 0,38, тобто, в даному випадку однією ланкою гідролізу є менше.

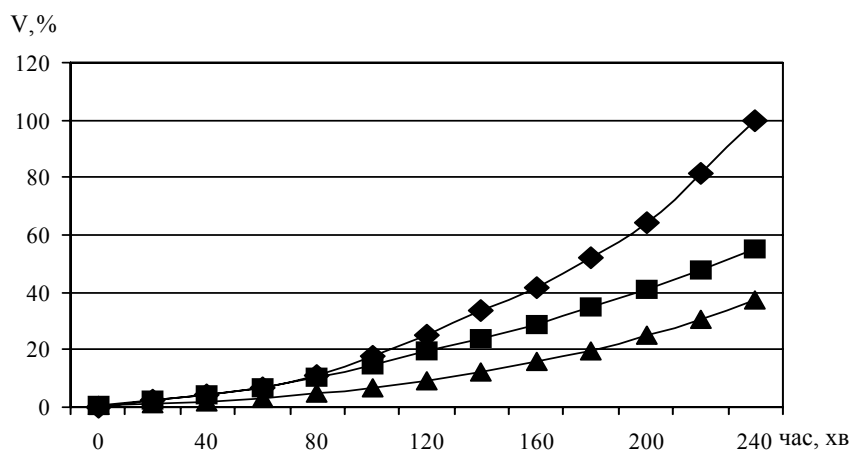


Рис. 1. Відносна зміна швидкості виділення  $\text{CO}_2$  з часом (◆ – контроль; ■ – після обробки розчину сахарози в соленоді; ▲ – після дії постійного магнітного поля)

Подальшими етапами бродіння є незворотне перетворення глюкозо-6-фосфату у фруктозо-6-фосфорну кислоту під впливом ферменту фосфоглюкоїзомерази, після чого фосфатний залишок переноситься з другої молекули АТФ на фруктозо-6-фосфат з утворенням фруктозо-1,6-дифосфату. Під впливом ферменту альдолази фруктозо-1,6-дифосфат розпадається на дві фосфотріози: 3-фосфогліцериновий альдегід і фосфодіоксиацетон. 3-фосфогліцериновий альдегід в присутності особливого ферменту – дегідрогенази фосфогліцеринового альдегіду, коферменту нікотинамідаденіндинуклеотиду (НАД) і вільної фосфорної кислоти окиснюється з утворенням 1,3-фосфогліцеринової кислоти. В омагніченій воді швидкість окисно-відновних реакцій зростає [3], однак, кінетика будь-яких хімічних процесів лімітується найповільнішою стадією, тому внаслідок гальмування швидкості реакцій гідролізу весь процес спиртового бродіння після омагнічування розчину також сповільнюється. Все сказане відносилось до процесів у водній фазі.

При одночасній дії магнітного поля на систему – розчин сахарози (глюкози) + дріжджові клітини весь процес ускладнюється. Поряд з бродінням відбувається нарощування білкової маси мікроорганізмів, механізм та кінетика такого процесу вже зовсім інші.

Нами були проведені дослідження з впливу високочастотного електричного поля (110 кГц, 10 кВ) на процес бродіння сахарози. Тривалість обробки 10-відсоткового розчину – 40 хв. Дія такого поля на воду до певної міри нагадує дію магнітного поля, тобто призводить до зростання “структурної температури”. Дослідження модельної реакції – окиснення тіоктової (ліпоєвої) кислоти йодом – показало, що швидкість такої реакції в опроміненій воді зростає в 2,2 рази, порівняно зі швидкістю в звичайній воді. Виявилося, що виділення  $\text{CO}_2$  з розчину, попередньо обробленого коронним розрядом, різко зростає – в 3,2 рази протягом перших чотирьох годин. Якщо ж таким чином обробляти розчин сахарози разом з дріжджовими клітинами, то виділення  $\text{CO}_2$  різко знижується і лише через 3 години перевищує виділення з контрольного розчину (рис. 2).

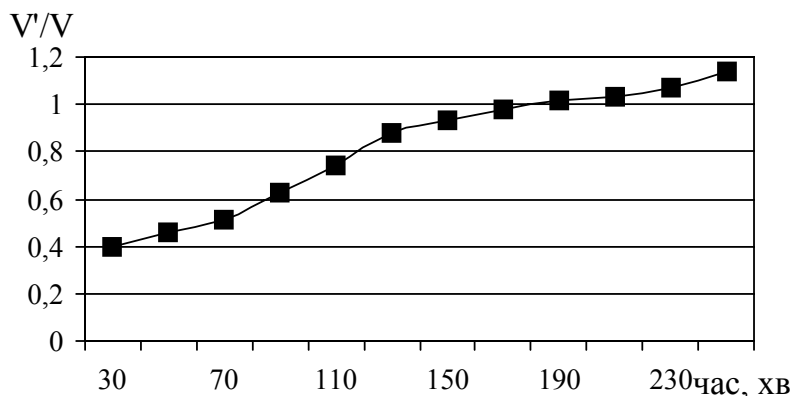


Рис. 2. Зміна відносного виділення  $\text{CO}_2$  з бродильної суміші при дії на неї коронного розряду

Інша картина спостерігається при дії на бродильну суміш електромагнітного поля (30 мТл, 50 Гц). Після попередньої обробки 10 %-го розчину сахарози виділення  $\text{CO}_2$  зменшується, порівняно з контрольным розчином, пізніше ця різниця нівелюється ( $V'/V$  зростає від 0,5 до 1). Якщо ж таким ЕМП проводити обробку бродильної суміші, то за час обробки різниці у виділенні  $\text{CO}_2$  не спостерігається, пізніше  $V'/V$  стає <1. Це свідчить про те, що електричне та магнітне поля діють як на водну фазу, так і на мікроклітини. В роботі [5] йде мова про те, що зміна параметрів ЕМП може призводити як до збільшення, так і до зменшення приросту біомаси мікроорганізмів. Йдеться про характер впливу різних частот на живі організми – існують так звані частотні “вікна”, при яких дія ЕМП особливо відчутна. Вікна бувають “депресивні” (в них ефект дії негативний) і “сенсебілізуючі” (тут ефект дії позитивний). Якщо при певних умовах швидкість приросту

біомаси дріжджових клітин зростає, то це призводить і до зростання виходу продуктів бродіння, про що йшлося в роботі [1]. В наших експериментах також було зафіксоване подібне явище. Після попередньої магнітної обробки 10-відсоткового (0,58 М) розчину глюкози на пристрої з постійних магнітів процес бродіння проходив інтенсивніше, ніж у контрольному розчині: протягом перших чотирьох годин  $V'/V = 1,8$ .

На думку багатьох дослідників первинною мішенню дії ЕМП є клітинна мембрана. В будь-якій живій клітині одночасно проходять складні біохімічні реакції, які пов'язані позитивними та негативними зворотніми зв'язками. Під впливом магнітного чи електромагнітного поля відбувається зміна магнітоелектричних властивостей як внутрішньо- і зовнішньоклітинної води, так і молекул води, що входять до складу клітинних мембран. Мембрани клітин можуть змінювати свої бар'єрні властивості при дії випромінювання і виявляти регуляторну дію на весь організм взагалі та на окремі ланки. Електромагнітні поля викликають зміну мембранного потенціалу та впливають на обмін кальцію в клітинах. Крім того, згідно гіпотези, висловленої в роботі [6], зовнішні ЕМП індукують струми в міжклітинному середовищі, що призводить до електрохімічних змін в компонентах клітинних мембран.

Трансмембранне масоперенесення характеризується двома потоками речовин: з позаклітинного середовища і зворотно. Пасивний транспорт речовин здійснюється в напрямку концентраційних градієнтів, а активний в протилежному напрямку і вимагає затрат енергії. В наших дослідах збільшення концентрації глюкози призводило до зростання співвідношення  $V'/V$ , тобто до інтенсифікації процесу бродіння. Окрім того, для досягнення максимальної ферментативної дії необхідна достатньо висока концентрація субстрату.

Процеси, які відбуваються в клітині, залежать не лише від хімічних перетворень, але і від конфігурації ланцюгів зв'язків всередині цих структур, котрі є слабкими і легко можуть руйнуватися зовнішніми діями, зокрема ЕМП. Зарядово-комплементарна взаємодія між гранями двох елементів у випадку розміщення позитивного заряду однієї грані над негативним зарядом другої визначає самокодування отриманої інформаційної системи води і вона утворює ту чи іншу матрицю взаємного розміщення структурних елементів води. Якщо забрати фактор впливу – речовину або поле, то матриця у випадку енергетично вигіднішого стану порівняно з вихідним, буде довго зберігати (“пам'ятати”) надані властивості, в протилежному разі повернеться у вихідний стан. Вказані ефекти можуть бути пов'язані не лише з безпосередньою дією магнітних полів на білки, але можуть бути зумовлені змінами властивостей розчинника – води, слабких розчинів солей та їх кластерів. Необхідною умовою взаємодії ферменту із субстратом є стерична комплементарність їх структур, тобто, відповідність між структурою і конформацією молекули субстрату і конформацією певної ділянки ферменту. Ця вимога зумовлена характером сил, що зв'язують поверхні ферменту і субстрату: це сили Ван-дер-Ваальса, електростатичні сили і водневі зв'язки. Внаслідок дії магнітного поля на воду енергія водневих зв'язків між молекулами води зменшується, вони стають рухливішими, зростає “структурна температура”. Це призводить до зміни конформації як субстрату, так і ферменту, а отже і до зміни його активності і, відповідно, до зміни кінетики біохімічних реакцій. На підставі цього нами було проведено дослідження впливу постійного магнітного поля на активність каталази дріжджів.

Нарощування культури: 1 г сухих дріжджів в 50 мл 5 %-ного розчину глюкози, підкисленого сульфатною кислотою до рН 4, витримували протягом 24 – 48 годин. Потім до 1 мл суспензії дріжджів (після 48 – годинного нарощування) додавали 20мл 2 %-ного розчину гідроген пероксиду. Одну пробу вносили в конічну колбу (об'ємом 250 мл), до якої були прикріплені постійні магніти (максимальна індукція 250 мТл), друга проба (колба без магнітів) була контрольною. Обидві проби ставили на прилад для струшування АБУ-6С, оскільки при використанні постійних магнітів ефект поля спостерігається лише при умові руху води чи водного розчину через магнітне поле з градієнтом напруженості. Через певні проміжки часу (від 10 до 145 хв) визначали вміст  $H_2O_2$  в досліджуваному розчині. Для цього 2,5 мл розчину гідроген пероксиду вносили в мірну колбу об'ємом 100 мл, доводили до мітки дистильованою водою і аліквотну частину (10 мл) титрували 0,05 н. розчином  $KMnO_4$ . Повторюваність досліду – 3 рази. Результати дослідів показали, що після магнітної обробки розклад гідроген пероксиду сповільнюється (рис. 3).

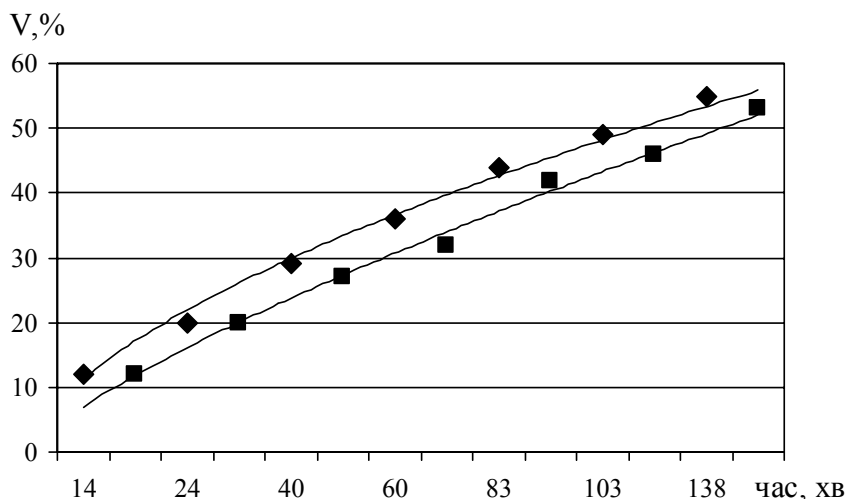


Рис. 3. Розклад  $H_2O_2$  в постійному магнітному полі (◆ – контроль; ■ – дослід)

В наступних дослідах проводили визначення впливу постійного магнітного поля на активність каталази після 4-х годинного росту дріжджів в постійному магнітному полі та росту в попередньо омагніченому середовищі протягом 4 годин.

5 мл суспензії дріжджів (після 24-х годин нарощування біомаси) вносили в 50 мл 5-відсоткового розчину глюкози, суміш вносили в конічну колбу (об'ємом 250 мл), до якою прикріплені постійні магніти. Готували другу пробу – контрольну, без магнітів. Третю пробу готували посівом 5 мл суспензії дріжджів в 50 мл 5-відсоткового розчину глюкози, попередньо омагніченого в магнітній пристрої на основі постійних магнітів протягом 4 годин. Всі проби ставили на апарат для струшування з метою нарощування культури протягом 4 годин. Після цього аналізували активність каталази (час розкладу перексиду: 25 хв, 60 хв). Результати дослідів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Вплив магнітного поля на розклад гідроген пероксиду**

	Розклад $H_2O_2$ , %	
	25 хв	60 хв
Контроль	12,2	26,8
Ріст в постійному магнітному полі	7,32	14,63
Ріст в омагніченому середовищі	12,2	22,0

Як видно з таблиці, і в цьому разі дія магнітного поля здебільшого призводить до гальмування розкладу гідроген пероксиду.

Молекула  $H_2O$ , яка є електрично нейтральною, вирізняється складним розподілом електронної густини: окрім значного дипольного вона має квадрупольний та октупольний моменти, які піддаються значним змінам внаслідок великої рухливості  $H_2O$ , її здатності значно змінювати свою геометрію. Дія магнітного поля призводить до зменшення енергії водневих зв'язків між молекулами води та до зменшення константи її дисоціації, що впливає на кінетику хімічних реакцій з її участю. Дія електричного поля пов'язана із значною поляризованістю молекули  $H_2O$  і особливо сильно впливає на процеси, в яких відбувається самодисоціація молекул води.

Таким чином, наші досліді показали, що фізичні поля, зокрема магнітне та електричне, впливають як на молекули води, так і на клітини живих організмів.

**Література**

1. Кисла Л., Мудрак Т., Кошова В. Фізичні способи активування дріжджів. // Харчова і переробна промисловість. – 2003. – № 5. – С.14 – 15.
2. Классен В.И. Омагничивание водных систем. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
3. Баран Б.А. Влияние магнитного поля на кинетику химических реакций // Укр. хим. журнал. – 1998. – Т.64, № 4. – С. 26-29.
4. Баран Б.А. Вплив магнітного поля на фармакодинаміку деяких сполук // Науковий вісник Ужгородського ун-ту. – 1999. – вип.4. – С. 154-156.
5. Вызулин С.А. Влияние коротковолнового сверхвысокочастотного магнитного излучения на биологическую активность микроорганизмов. // Информационная карта НИОКР. – 2005. – 01. – 31.
6. Tenford T.S., Kaun W.T. Interaction of extremely low frequency electric and magnetic fields with humans. // Health. Phys. – 1987. – № 53. – P.586 – 606.

Надійшла 16.12.2008 р.