

INFLUENCE OF IONS-SALT COMPOSITION OF WATER ON THE QUALITY OF BEER

A. Ludyn, V. Reutsky

Lviv Polytechnic National University

Key words:

Ion-salt composition
Reverse osmosis
Mash water
Ion ratio
Hop bitterness
Extract
Foam resistance
Mashing process

Article history:

Received 09.01.2023
Received in revised form
17.01.2023
Accepted 31.01.2023

Corresponding author:

A. Ludyn
E-mail:
anatolii.m.ludyn@lpnu.ua

ABSTRACT

Minerals dissolved in water have an important effect on the overall chemistry of the brewing process. Ions from these minerals affect the pH of water, its hardness, alkalinity and mineral composition. These parameters are the most important factors in determining the suitability of water for brewing, in particular for the mashing process. For that reason, it is very important to study the ion-salt composition of mash water and its influence on the quality of beer.

The method of regulating the ion-salt composition of water, which is necessary for its use in the mashing process in order to obtain high-quality beer is discussed in the article. Prepared water obtained by reverse osmosis is free from ions as much as possible, which enabled to prepare water with the necessary ion-salt composition for rubbing by adding appropriate salts. Using prepared water in the mashing process, beer samples were obtained, which were evaluated according to sensory and physicochemical indicators.

The effect of ion-salt composition of mash water on beer quality indicators was studied. It was found that calcium and sodium cation complexes, as well as a mixture of sulfates and chlorides dissolved in the water used for the mashing process, have the most significant impact on beer quality. Concentrations of individual ions in such water do not show any pronounced dependence on beer quality indicators.

It was studied that the increase in the ratio of cations $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ and sulfates and chlorides $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ in the mash water has a positive effect on the sensory and quality indicators of beer: the ratio of key ions affects hop bitterness to the greatest extent among the quality indicators of beer. In addition, the ratio of $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ cations has a positive effect on the foam resistance of beer, and the ratio of sulfates and chlorides $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ leads to an increase in the share of alcohol in the finished drink. According to the tasting evaluation of beer, samples with a higher ratio of key ions have a brighter taste and aroma.

ВПЛИВ ІОННО-СОЛЬОВОГО СКЛАДУ ВОДИ НА ЯКІСТЬ ПИВА

А. М. Лудин, В. В. Реутський

Національний університет «Львівська політехніка»

Розчинені у воді мінерали мають важливий вплив на загальну хімію процесу пивоваріння. Іони з цих мінералів впливають на рН води, її жорсткість, лужність і мінеральний склад. Ці параметри є найважливішими факторами у визначенні придатності води для пивоваріння, зокрема для процесу затирання. Зважаючи на це, важливим є питання вивчення іонно-сольового складу заторної води і її впливу на якість пива.

У статті розглянуто спосіб регулювання іонно-сольового складу води, необхідного для використання її в процесі затирання з метою одержання якісного пива. Підготовлена вода, одержана шляхом зворотного осмосу, максимально звільнена від іонів, що дає змогу шляхом додавання відповідних солей готувати воду з необхідним для затирання іонно-сольовим складом. Використовуючи підготовлену воду в процесі затирання, одержали зразки пива, які оцінювали за органолептичними та фізико-хімічними показниками.

Вивчено вплив іонно-сольового складу заторної води на показники якості пива. Виявлено, що найвідчутніший вплив на якість пива чинять комплекси катіонів кальцію і натрію, а також суміші сульфатів і хлоридів, розчинених у воді, яка використовується для процесу затирання. Концентрації індивідуальних іонів у такій воді не виявляють якоїсь вираженої залежності на показники якості пива.

Досліджено, що зростання співвідношення катіонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ та сульфатів і хлоридів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ у заторній воді позитивно впливає на органолептичні та якісні показники пива. Найбільше з якісних показників пива співвідношення ключових іонів впливає на хмелеву гіркоту. Крім цього, співвідношення катіонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ позитивно впливає на піностійкість пива, а співвідношення сульфатів і хлоридів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ призводить до збільшення частки спирту в готовому напої. За дегустаційною оцінкою пива у зразків з вищим співвідношенням ключових іонів спостерігається більш яскравий смак і аромат.

Ключові слова: іонно-сольовий склад, зворотний осмос, заторна вода, співвідношення іонів, хмелева гіркота, екстракт, піностійкість, процес затирання.

Постановка проблеми. Розчинені у воді мінерали мають важливий вплив на загальну хімію процесу пивоваріння. Іони, в основному, потрапляють у воду з ґрунту і кам'яних мінералів, з якими вона контактує, що впливає на мінералізацію підземної води. Вода, що протікає через вапняк і гіпсові утворення, зазвичай є більш жорсткою, ніж вода, що протікає через граніт або вапняк. Іони з цих мінералів впливають на рН води, її жорсткість, лужність і мінеральний склад. Ці параметри є найважливішими факторами у визначенні придатності води для пивоваріння, причому зміна одного параметра може вплинути на інші. Різні іонні складові води можуть вплинути на процес затирання і смакові відчуття в готовому пиві.

Таким чином, іонно-сольовий склад води, яка використовується для пивоваріння, зокрема для процесу затирання, має величезне значення для одержання якісної продукції. З тієї причини залишається актуальним вивчення іонно-сольового складу такої води і її впливу на якість пива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Якщо вода, яка буде використовуватись у виробництві пива, має недостатню якість, тоді здійснюється її додаткова підготовка. Такі способи, як дистиляція, зворотний осмос, вугільна фільтрація, пом'якшення води гашеним вапном (реакція Кларка), кип'ятіння, додавання мінералів можуть поліпшити якість води для пивоваріння (Briggs et al., 2004). Солі кальцію та магнію — це елементи, що переважають у воді (Kadlec, 2002).

Важливим показником, що впливає на процес затирання, є рН затору, від якого залежать колір, прозорість, смак сусла, а потім і пива. Ледь кислий затор з рН від 5,2 до 5,8 (при кімнатній температурі) покращує ензимні процеси під час затирання. При затиранні рН знижується за рахунок активності ферментів солоду, які вивільняють фосфати з нуклеїнових кислот. У процесі варіння сусла кислотність сусла підвищується шляхом осадження фосфатів у присутності іонів кальцію і магнію. Гіркі кислоти хмелю та продукти реакції Маяра додатково сприяють зниженню рН. Під час бродіння рН знижується через діяльність дріжджів, які споживають амінокислоти та виробляють органічні кислоти. Рівень рН також змінюється через присутність вуглекислого газу, який розчиняється в розчині (Basařová et al., 2010; Punčochářová, 2019). Регулювання рН затору дає змогу пивоварові отримувати сусло з потрібним характером, необхідним для готового пива. У більшості випадків рекомендується утримання рН затору в значеннях між 5,3 і 5,5 (Eßlinger, 2009).

Кальцій благотворно впливає на ферментативні процеси при затиранні і є важливим для клітинних стінок дріжджів. Кальцій покращує осадження дріжджів, зменшує помутніння пива, прискорює процес фільтрації і промивки затору, а також позитивно впливає на смак хмелю. У заторі кальцій реагує з фосфатами солоду (фітини), знижує рН затору і випадає в розчин у вигляді фосфату кальцію, вивільняючи при цьому протони. Якщо вода має низький вміст кальцію, то достатня кількість його для роботи дріжджів міститься в ячмені і пшениці. Але використання такої води може викликати погіршення осадження дріжджів і утворення пивного каменю. Кальцій має слабкий вплив на смак пива, але при високих концентраціях утворює сполуки з аніонами, які можуть надати йому мінерального присмаку. Інша проблема, з якою можна зіткнутися при високій концентрації кальцію, полягає в тому, що кальцій замінює магній у метаболізмі дріжджів, що негативно впливає на їх стан і продуктивність. Рекомендований діапазон кальцію становить від 50 мг/л до 150 мг/л (Karbassi, 2000; Ganbaatar et al., 2015).

Магній — поживна речовина для дріжджів і важливий супутній фактор для деяких ферментів. Як і кальцій, магній реагує з солодом, але має слабший ефект при порівнянні з першим. Мінімальне значення магнію (5 мг/л) позитивно впливає на осадження дріжджів — ячмінь або пшениця в заторі легко забезпечать таку концентрацію. У помірних кількостях магній підкреслює смак пива, але якщо рівень пивоварної води перевищує 30 мг/л, смак пива буде кислим і терпким (Briggs et al., 2004; Karbassi, 2000).

Натрій надає пиву кислий і солоний смак, але він отруйний для дріжджів і в надлишку робить смак пива металевим і різким. Зазвичай, рекомендований діапазон натрію становить 10...70 мг/л, хоча для досягнення навмисного солоного або кислого ефекту можна використовувати навіть 150 мг/л. У присутності хлору натрій надає напою «округлість». (Kadlec, 2002; Eßlinger, 2009).

Хлориди використовуються для надання напою насиченого солодкого смаку та насиченого солодового відтінку. Хлориди, зазвичай, додають у формі хлориду кальцію або хлориду натрію. Вони також сприяють стабільності під час процесу затирання. Регульоване співвідношення хлоридів і сульфатів може врівноважити солодкість і хмелеву гіркоту у напої (Briggs et al., 2004; Karbassi, 2000).

Сульфати використовуються, щоб надати пиву бажаного хмільного смаку. Концентрації цих солей, які перевищують необхідний рівень, привносять у пиво сірчасті аромати. У воді з високою концентрацією сульфатів натрій повинен бути зменшеним до мінімального для того, щоб уникнути різкості або мінерального присмаку. Кількість доданих сульфатів різко змінюється залежно від бажаного рівня хмелю. Там, де потрібна гіркота, можна використовувати сульфати, щоб посилити цей смаковий профіль. Через високі концентрації сульфатів приглушується відчуття солодового смаку, яке є характерним для багатьох сортів пива. Якщо концентрація сульфату є надто високою, він може вступити в реакцію з дріжджами та утворити сірководень з його неприємним запахом (Briggs et al., 2004).

Карбонати та бікарбонати є важливими для одержання якісного пива, оскільки вони визначають рН затору. Їх сильна лужність запобігає підвищенню кислотності рН, що призводить до терпких смаків і насиченого танінами пива. Вони також сприяють круглому, солодовому смаку в пиві, а при високих рівнях можуть надати гіркоти, бажаної для темних сортів. Однак, якщо рівень карбонатів не регулювати під час бродіння, існує ризик підвищення рН пива вищого за норми, що призведе до ослаблення ферментативних процесів і зробить смак хмелю більш грубим. Контроль і регулювання вмісту бікарбонатів у воді є дуже важливим для досягнення бажаного рН при затиранні (Briggs et al., 2004; Basařová et al., 2010).

У пивоварінні існують іони, які можуть зіпсувати пивоварну воду. Так, хлор, який використовується як дезінфікуючий засіб, може реагувати з аміаком з утворенням хлораміну. І хлор, і хлорамін псують смак пива, а також заважають бродінню. Залізо (Fe^{+2} і Fe^{+3}) ніколи не є бажаним іоном у пиві: воно надає пиву чорнильний присмак і перешкоджає правильному бродінню. Всього 0,05 мг/л заліза у воді може зіпсувати готовий напій. Марганець, якщо концентрація його перевищує 0,01 мг/л, вносить у пиво металевий і неприємний присмак. Іони марганцю, які часто зустрічаються в поєднанні із залізом, впливають не тільки на смак, але й на прозорість пива та життєдіяльність дріжджів. Недопустимими у воді для приготування доброго пива є нітрати та нітрити (Briggs et al., 2004; Basařová et al., 2010).

Мета статті: дослідження впливу іонно-сольового складу води, яка використовується для процесу затирання у виробництві пива, на показники якості пивної продукції.

Матеріали і методи. Основою дослідження є вода, що використовується для затирання. Водопровідна вода, іонно-сольовий склад якої представлено в табл. 1,

виявилась непридатною для процесу пивоваріння: присутність у ній солей заліза, нітратів і надмірна кількість гідрокарбонатів негативно впливає на якість готового продукту.

Таблиця 1. Іонно-сольовий склад водопровідної води

Катіони	Вміст		Аніони	Вміст	
	мг/л	мг-екв		мг/л	мг-екв
Натрій	23,99	1,04	Хлориди	17,75	0,50
Кальцій	70,14	3,50	Сульфати	46,51	0,97
Залізо	0,28	0,01	Нітрати	5,50	0,09
Магній	12,16	1,00	Нітрити	—	—
Марганець	—	—	Карбонати	—	—
Мідь	—	—	Гідрокарбонати	244,00	4,00
Разом	106,57	5,56	Разом	313,76	5,56

Для подальшого дослідження брали підготовлену воду, одержану шляхом зворотного осмосу. Така вода максимально звільнена від іонів, що дало змогу шляхом додавання відповідних солей готувати воду з необхідним для затирання іонно-сольовим складом. З цією метою водопровідну воду готували на установці зворотного осмосу ECOSOFT MO36000 з мембранним елементом типу Ecosoft 4" ELP-4040. Підготовка води на вказаному обладнанні здійснювалась згідно з ТУ У 29.2-31582737-001-2003. Через вміст іонів заліза і нітратів у водопровідній воді перед мембраною її піддавали обробці іонообмінним фільтром, у результаті чого у воді спостерігався підвищений вміст натрію. Іонно-сольовий склад води, одержаної шляхом зворотного осмосу, наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Іонно-сольовий склад води, одержаної шляхом зворотного осмосу

Катіони	Вміст		Аніони	Вміст	
	мг/л	мг-екв		мг/л	мг-екв
Натрій	10,39	0,45	Хлориди	3,55	0,10
Кальцій	6,01	0,30	Сульфати	16,88	0,35
Залізо	—	—	Нітрати	—	—
Магній	2,43	0,20	Нітрити	—	—
Марганець	—	—	Карбонати	—	—
Мідь	—	—	Гідрокарбонати	30,50	0,50
Разом	18,83	0,95	Разом	50,93	0,95

На основі підготовленої води готувались п'ять зразків води, яка використовується у процесі затирання з метою одержання різних типів пива. Зразок 1 — для одержання легкого світлого пива; зразок 2 — для одержання світлого пива верхового бродіння та середньої охмеленості; зразок 3 — для одержання бурштинового пива верхового бродіння та високої охмеленості; зразок 4 — для одержання темного пива верхового бродіння та невисокої охмеленості; зразок 5 — для одержання темного пива верхового бродіння та середньої охмеленості.

Для одержання вказаних зразків використовувались відповідні солі. Для підвищення концентрації іонів магнію та сульфатів додавався сульфат магнію, іонів кальцію та хлоридів — хлорид кальцію, іонів натрію — хлорид натрію (харчова

сіль), бікарбонатів та іонів натрію — бікарбонат натрію (харчова сода). Крім вказаних солей, для збільшення концентрації іонів кальцію використовувався гіпс. Концентрації солей визначали за (Накорчевська, Аргатенко, 2000). Іонно-сольовий склад одержаних зразків заторної води наведений у табл. 3.

Таблиця 3. Іонно-сольовий склад води для процесу затирання з метою одержання різних типів пива

Зразок заторної води	Вміст іонів у воді для затирання, мг/л						$\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$	$\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	HCO_3^{-}		
1	19,0	2,5	10,4	17,0	27,0	109	1,83	0,63
2	76,0	7,0	35,0	77,0	63,0	44	2,17	1,22
3	55,0	7,0	16,0	83,0	46,0	31	3,43	1,80
4	56,0	5,0	21,0	50,0	46,0	108	2,67	1,09
5	57,0	5,0	16,0	62,0	46,0	82	3,56	1,35

Для одержаних проб готового пива проводили органолептичний аналіз, де оцінювали смак, аромат, прозорість, піноутворення, хмелеву гіркоту, а також фізико-хімічний аналіз, де визначали титровану кислотність, видимий екстракт, вміст спирту, піностійкість.

Органолептичні показники зразків пива визначали згідно з ДСТУ 7103:2020. Хмелеву гіркоту аналізували за 10-бальною системою. Тривалість існування піни, тобто піностійкість (час, який минув з моменту виникнення піни до її руйнування), визначали у хвиликах. Дегустацію проводили у добре провітрованому приміщенні з температурою 22 °С, температура пива при цьому становила 12 ± 2 °С. Передусім дегустували світлі сорти пива в порядку зростання концентрації початкового сусла, а потім у тому ж порядку — темні.

Визначення титрованої кислотності проводили згідно з ДСТУ 4852:2007. Вміст спирту та екстракт у пиві визначали згідно з ДСТУ 7104:2009.

Викладення основних результатів дослідження. Як показали дослідження, концентрації індивідуальних іонів у воді не проявляють якоїсь вираженої залежності на показники якості пива. Виявлено, що найвідчутніший вплив на якість готового напою чинять комплекси катіонів кальцію та натрію, а також суміш сульфатів і хлоридів, розчинених у воді, яка використовується у процесі затирання. Тому проводився аналіз впливу співвідношення катіонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ та сульфатів і хлоридів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ у заторній воді на різні показники якості пива, одержаного на основі відповідного зразка води. Результати аналізу якості зразків пива представлені в табл. 4.

Згідно з даними, наведеними в табл. 1, будуємо графіки залежності показників якості пива від співвідношення іонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ та $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ у заторній воді.

З рис. 1 видно, що титрована кислотність пива зростає зі збільшенням співвідношення іонів у заторній воді до якогось максимуму (при співвідношенні $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ цей максимум складає 1,22, при співвідношенні $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ — 2,17), після якого починає зменшуватись.

Таблиця 4. Показники якості пива, одержаного із зразків досліджуваної заторної води з різним іонно-сольовим складом

Зразок пива	Співвідношення іонів у заторній воді		Показники якості пива з досліджуваної води				
	$\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$	$\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$	Видимий екстракт, % мас.	Кислотність, мг 0,1 н NaOH в 100 мл пива	Хмелева гіркота, бали	Піностійкість, хв	Вміст спирту, % мас.
1	1,90	0,63	13	1,85	1,5	2,03	4,8
2	2,17	1,22	12,5	3,40	2,3	2,25	5,0
3	3,43	1,80	16,5	2,40	7,2	2,66	7,1
4	2,67	1,09	12,5	2,60	3,0	2,40	5,2
5	3,56	1,35	16,0	2,80	4,6	3,08	6,2

00

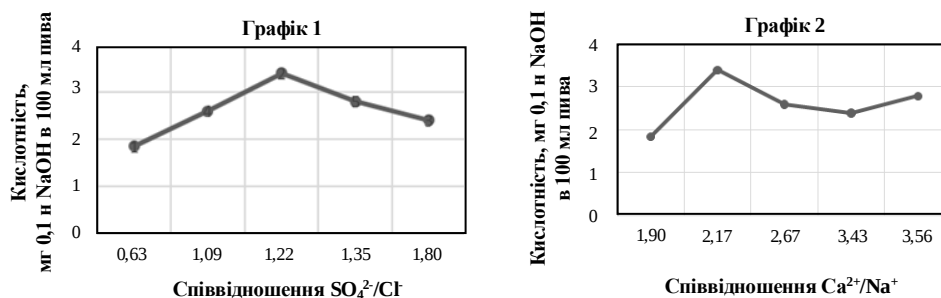


Рис. 1. Залежність титрованої кислотності пива від співвідношення іонів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ (графік 1) та $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ (графік 2) у заторній воді

Співвідношення катіонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ та співвідношення сульфатів і хлоридів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ однаково незначно впливає на видимий екстракт пивних зразків: підтримується на рівні 12,5...13,0% мас., після досягнення значення $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ 1,22 (для $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ — 2,67) екстракт трохи зростає (рис. 2).

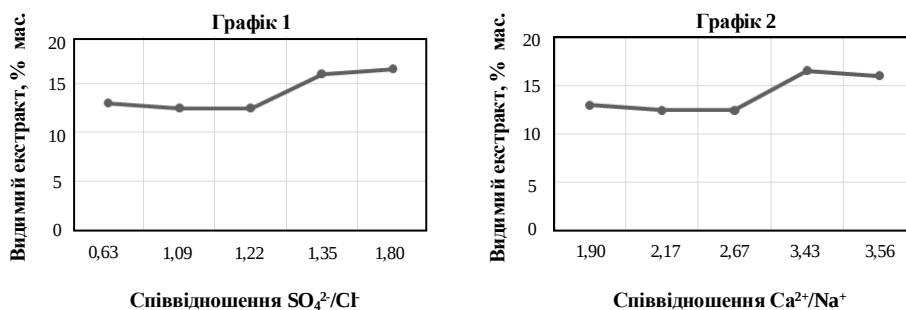


Рис. 2. Залежність видимого екстракту пива від співвідношення іонів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ (графік 1) та $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ (графік 2) у заторній воді

З рис. 3 видно, що на піностійкість пива впливає збільшення співвідношення катіонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ у заторній воді. Збільшення співвідношення солей $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$

спричиняє зростання піностійкості, але тільки до значення 1,35, після якого вона незначно знижується.

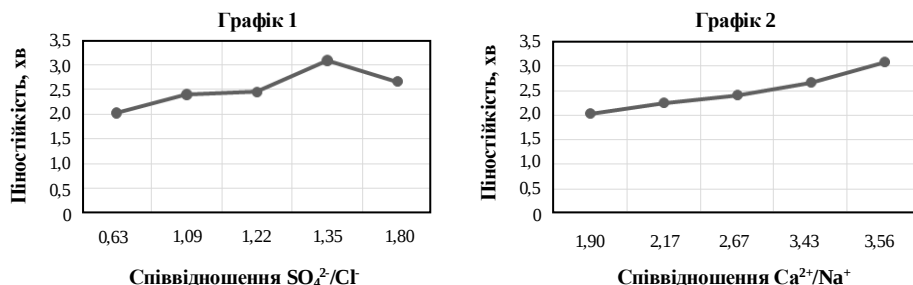


Рис. 3. Залежність піностійкості пива від співвідношення іонів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ (графік 1) та $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ (графік 2) у затірній воді

Співвідношення $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ та $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ неоднаково впливають і на вміст спирту у пивних зразках: зростання співвідношення $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ веде до збільшення масової частки спирту в пиві, тоді як збільшення співвідношення $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ спричиняє зростання частки спирту тільки до значення 3,43, після чого починається зниження (рис. 4).

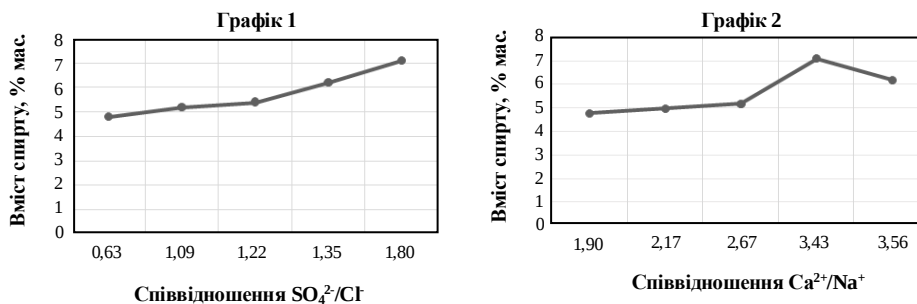


Рис. 4. Залежність вмісту спирту у пиві від співвідношення іонів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ (графік 1) та $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ (графік 2) у затірній воді

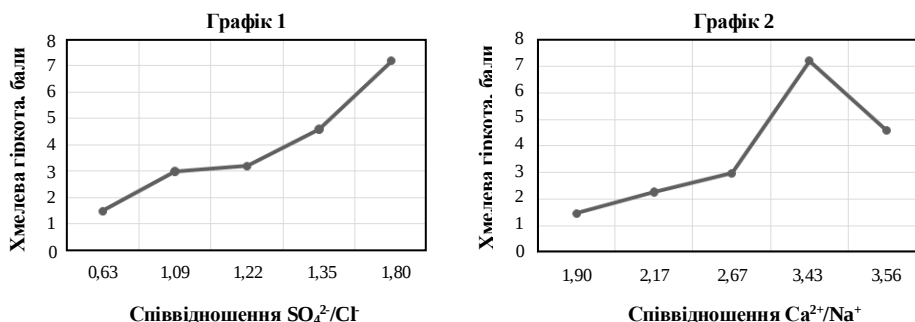


Рис. 5. Залежність хмелевої гіркоти пива від співвідношення іонів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ (графік 1) та $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ (графік 2) у затірній воді

Як показали результати досліджень, найбільше з якісних показників пива співвідношення ключових іонів впливає на хмелеву гіркоту та на інші органолептичні показники. Якщо співвідношення $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ знаходиться в діапазоні $[0-1]$, то гіркота пива буде низькою; якщо $[1-1,25]$ — гіркота пива є середньою і слабо вираженою; діапазон $[1,25-2,0]$ і вище відповідає за сильно охмелене та гірке пиво. Для співвідношення іонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ відповідні діапазони є інакшими: $[0-2,7]$ — гіркота є слабкою, $[2,7-3,4]$ — гіркота різко зростає, $[3,4]$ і вище — хмелева гіркота слабшає.

Збільшення співвідношення $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ веде до зростання частки спирту в пиві (на 25%) і видимого екстракту (на 15%). Такі показники, як титрована кислотність і піностійкість також зростають зі збільшенням $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$, але до певного значення (1,22 — для екстракту і 1,35 — для піностійкості), після якого зменшуються. Особливо чітко проглядається точка максимуму на графіку залежності кислотності від співвідношення $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$.

Збільшення співвідношення $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ позитивно впливає на піностійкість пива (збільшує на 25%) і приблизно однаково впливає на видимий екстракт та вміст спирту в пиві: при досягненні значення 3,43 ці показники зростають на 20%, після цього показники зменшуються. Вплив співвідношення цих катіонів на титровану кислотність є несуттєвим.

Висновки

Досліджено воду, одержану шляхом зворотного осмосу, та розглянуто спосіб регулювання її іонно-сольового складу, необхідного для використання цієї води у процесі затирання з метою одержання якісного пива. Виявлено, що найвідчутливіший вплив на якість пива чинять комплекси катіонів кальцію та натрію, а також суміш сульфатів і хлоридів, розчинених у воді, яка використовується для процесу затирання. Концентрації індивідуальних іонів у воді не проявляють якоїсь вираженої залежності на показники якості пива.

Досліджено, що більше співвідношення катіонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ та сульфатів і хлоридів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ у затирній воді позитивно впливає на органолептичні та деякі якісні показники пива: найбільше з якісних показників пива співвідношення ключових іонів впливає на хмелеву гіркоту. Крім цього, збільшення співвідношення катіонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ позитивно впливає на піностійкість пива, а збільшення співвідношення сульфатів і хлоридів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ веде до зростання частки спирту в готовому напої. За дегустаційною оцінкою пива у зразків з вищим співвідношенням ключових іонів спостерігається більш яскравий смак і аромат.

У перспективі плануються дослідження з вивчення впливу всіх індивідуальних іонів пивоварної води, а також співвідношення іонів кальцію та магнію на якість пива з використанням при цьому різноманітних способів підготовки води.

Література

- Домарецький, В. А. (1999). *Технологія солоду та пива*. К.: Урожай.
- Мелетьєв, А. Є., Тодосійчук, С. Р., Кошова, В. М. (2007). *Технохімічний контроль солоду, пива та безалкогольних напоїв*. Вінниця: Нова книга.
- Накорчевська, В. Ф., Аргатенко, Т. В. (2000). *Хімія води і мікробіологія. Вправи і методичні вказівки до їх виконання*. К.: КНУБА.

Никилишин, І. Є., Дзіняк, Б. О., Піх, З. Г., Оробчук, О. М., Кічура, Д. Б. (2019). *Біохімія бродильних виробництв*. Львів: видавництво Т. Сороки.

Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. В. 2 ч. (1980). К.: Наукова думка.

ТУ У 29.2-31582737-001-2003. «Установки зворотньоосмотичної фільтрації».

Briggs, D. E., Boulton, P. A. Brookes, R. Stevens. (2004). *Brewing: Science and practice*. England: Woodhead Publishing, 900 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1533/9781855739062>.

Basařová, G., Šavel, J., Basař, P., Lejsek, T. (2010). *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva (Brewing: theory and practice of beer production)*. 1st ed. Prague, Czech Republic: Publisher VŠCHT. 904 p.

Eßlinger, H. M. (2009). *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets*. 2nd ed. Weinheim, Germany: Wiley. P. 674.

Edberg, S. C., Rise, E. W., Karlin, R. J., Alen, M. J. (2000). *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*. 88. P. 106—116.

Ganbaatar, C., Kubáň, V., Kráčmar, S., Valášek, P., Fišera, M., Hoza, I. (2015). Liquid chromatographic determination of polyphenols in Czech beers during brewing process. *Potravinářstvo Slovak Journal of Food Sciences*. Vol. 9, №1. P 24—30. DOI: <http://dx.doi.org/10.5219/421>.

Hucker, B., Wakeling, L., Vrieskoop, F. (2011). The Quantitative Analysis of Thiamin and Riboflavin and Their Respective Vitamers in Fermented Alcoholic Beverages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 59, no. 23. P. 12278—12285. <https://doi.org/10.1021/jf202647x>.

Karbassi, F., Saboury, A. (2000). Thermodynamic studies on the interaction of calcium ions with alpha-amylase. *Thermochim. Acta*. № 362. P. 121—129. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-6031\(00\)00579-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-6031(00)00579-7).

Kadlec, P. (2002). *Technologie potravin II (Food Technology II)*, Praha: Vydavatelství VŠCHT. 236 p. ISBN: 80-7080-510-2.

Kirkmeyer, G., Martel, K., Thompson, G., Radder, L. (2004). *Optimizing Chloramine Treatment*. American Water Works Association. 2nd Ed. AWWA.

Nutrients in Drinking Water. Protection of the Human Environment. (2005). Water, Sanitation and Health. WHO. Geneva.

Punčochářová, L., Pořízka, J., Diviš, P., Štursa, V. (2019). Study of the influence of brewing water on selected analytes in beer. *Potravinářstvo Slovak Journal of Food Sciences*. Vol. 13, № 1. P 24—30. DOI: <https://doi.org/10.5219/1046>.

Smith, E. J., Davison, W., Hamilton-Taylor, J. (2002). Methods for preparing synthetic freshwaters. *Water Research*, vol. 36, no. 5, P. 1286—1296. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00341-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00341-4).

Saboury, A. A., Ghasemi, S., Umar Dahot, M. (2005). Thermodynamic study of magnesium ion binding to alpha amylase. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics*, vol. 42, no. 5. P. 326—329. [http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/3533/1/IJBB%2042\(5\)%20326-329.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/3533/1/IJBB%2042(5)%20326-329.pdf).