

СТРИКАЛЕНКО Т.В., д-р мед. наук, проф., ШАЛИГІН О.В., ас.,
ТРУФКАТІ Л.В., канд. техн. наук, доцент, СКУБІЙ Н.В., асп., СОЛОВЬОВА А.С., маг.
Одеська національна академія харчових технологій

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНЕЗАРАЖУЮЧОЇ ДІЇ ПОЛІГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНІДИНУ ДЛЯ ВОДОПРОВІДНОЇ ВОДИ

Вивчено вплив різних чинників на загальне бактеріальне забруднення водопровідної води. Одержано математичну модель, яка описує загальне бактеріальне число води. Оптимізовано співвідношення чинників (концентрації полігексаметиленгуанідину та температури), які здатні вплинути на мікробіологічні показники якості водопровідної води.

Ключові слова: полігексаметиленгуанідин, математична модель, водопровідна вода, мікробіологічна стабільність.

Influence of different factors is studied on general bacterial contamination of tap water. A mathematical model which describes the bacterial incidence of water is got.

Keywords: poligeksametilenguanidin, mathematical model, tap water, microbiological stability.

Проблема дезінфекції води та водних середовищ в системах водопостачання, водопідготовки, дозування води, як одного із основних сировинних компонентів багатьох підприємств харчової і переробної промисловості, пов'язана з якістю водопровідної води, яка транспортується загальною водопровідною мережею з місця водозбору до місця споживання. Ряд питань, пов'язаних з вибором ефективних способів дезінфекції досі не вирішені, а пошук відповідей на них є актуальною задачею. Існує багато способів дезінфекції, води частину з яких реалізовано на підприємствах, частина вже морально зістаріла, також розробляються нові технології і впроваджують нове обладнання необхідне для дезінфекції безпосередньо на підприємствах [1 – 3]. Кожен з існуючих способів має свої переваги та недоліки. Досвід минулого періоду (часи Радянського союзу) та країн СНД (Росії, України тощо) свідчить про те, що ефективним засобом дезінфекції води та водних середовищ є використання полігексаметиленгуанідину (ПГМГ) [4 – 8]. Інститут екологічних проблем (м. Москва) аналізує бактерицидні властивості полімеру таким чином: ПГМГ має широкий спектр антимікробної дії по відношенню до грамнегативних і грампозитивних мікроорганізмів (мікобактерії туберкульозу, легіонельозу), вірусів (ентеральних і парентеральних гепатитів, ВІЛ, поліомієліту, грипу, герпесу тощо), міцеліальних і неміцеліальних грибів, у тому числі і деяких патогенних [5]. Згідно свідченням дослідників [9]: випробування дії препарату «ДЕЗАВИД-СТОК» (алкїлдиметилбензоламонію хлорид, ПГМГ) для знезараження річної води у порівнянні зі хлором і гіпохлоритом натрію, ефект знезараження (згідно з «СанПін») спостерігався при дозі 0,4 мг/дм³, а практично повне знешкодження таких мікроорганізмів як стафілококи, сальмонели, колифаги, *Pseudomonas aeruginosa*, сульфитредукуючі клостридії спостерігалася при одноразовій дозі препарату 1,5 мг/дм³ (у хлора - 3-4 мг/дм³, у гіпохлориту натрію 2-2,5 мг/дм³). Вітчизняний досвід використання препарату Акватон-10 (діюча речовина ПГМГ) дозволяє визначити такі переваги використання препарату у порівнянні зі хлором [6]:

- підвищення якості питної води,
- зменшення витрат коагулянтів на 50...100 % (залежить від якості води та джерел водопостачання),

- відсутність необхідності у використанні флокулянтів,
- зменшення кількості осаду, що утворюється в процесі очищення води,
- збільшення терміну фільтроциклу,
- зменшення витрат очищеної води для технологічних потреб,
- розв'язання гострої екологічної проблеми, яка пов'язана зі зберіганням хлору,
- покращення умов праці персоналу станції водопідготовки,
- підвищення екологічної безпеки технології підготовки питної води,
- зменшення кількості алюмінію та хлору у стічних водах.

Автори робіт [10, 11] акцентують увагу на загостренні загрози здоров'ю людини та оточуючих живих організмів внаслідок розширення гами хімічних препаратів, які використовують у повсякденному житті та на сучасних підприємствах. Досвід використання ПГМГ та препаратів, які його містять свідчить про низький рівень небезпеки цієї речовини для людини та навколишнього середовища [12, 13]. Аналіз наведеної інформації дає підстави припускати, що визначення ефективності використання ПГМГ для водопровідної води на підприємствах харчової промисловості необхідно врахувати ряд чинників, які здатні впливати на загальне бактеріальне число (ЗБЧ) водопровідної води. Сформулюємо мету та визначимо завдання досліджень.

Метою цієї науково-дослідної роботи є визначення оптимального співвідношення чинників, які впливають на ЗБЧ водопровідної води та прогнозування її мікробіологічного стану.

В якості завдань ми розглянули наступне:

- вибір матриці планування експерименту з відповідними характеристичними точками плану,
- підготовка зразків води та розчинів ПГМГ,
- підготовка живильного середовища для визначення ЗБЧ,
- фіксація чинників на відповідному рівні,
- визначення ЗБЧ,
- мікроскопічні дослідження,
- математична обробка експериментальних даних,
- розробка математичної моделі і перевірка її адекватності реальному експерименту,
- побудова поверхні функції відклику,
- встановлення оптимального співвідношення чинників параметру оптимізації.

Об'єктом дослідження було оптимальне співвідношення чинників, які впливають на ЗБЧ водопровідної води. Предметом дослідження є санітарно-бактеріологічний контроль водопровідної води згідно з методиками (Державні санітарні норми та

правила (ДСанПТН 2.2.4-171-10) України «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною») мереж водопостачання з додаванням ПГМГ і без нього. Основними чинниками було обрано температуру та концентрацію ПГМГ. Вибір чинників ми аргументовано необхідністю змоделювати літні та зимні умови для прогнозування сезонного мікробіологічного стану водопровідної води. Час експозиції становив не менше 1 год [6]. Для побудови математичної моделі було обрано матрицю планування для ортогональних композитних планів другого порядку з кількістю характеристичних точок – 9 (кількість рівнів – 2, чинників – 2). В кожній точці плану експеримент проводили по 3 рази і оцінювали дисперсію відтворюваності. На підставі одержаних даних розраховували критерій Кохрена для визначення однорідності дисперсії. При визначенні емпіричних коефіцієнтів використовували середні арифметичні значення параметру (ЗБЧ). Достовірність емпіричних рівнянь оцінювали на підставі значення коефіцієнта достовірності апроксимації. Оцінку вагомості емпіричних коефіцієнтів здійснювали на підставі критерія Стьюдента. Адекватність одержаної моделі оцінювали на підставі розрахунку критерію Фішера. Для пошуку оптимального співвідношення чинників використовували метод крутого сходження по поверхні відклику при фіксації менш вагомих факторів [14–19].

Зростання ЗБЧ (N) веде до зменшення інтенсивності зміни ЗБК при зміні концентрації ПГМГ. Збільшення числа мікробних клітин веде до зменшення кількості ПГМГ, яка приходить на 1 клітину, а відповідно, і ефективність дезінфекції (рис 1).

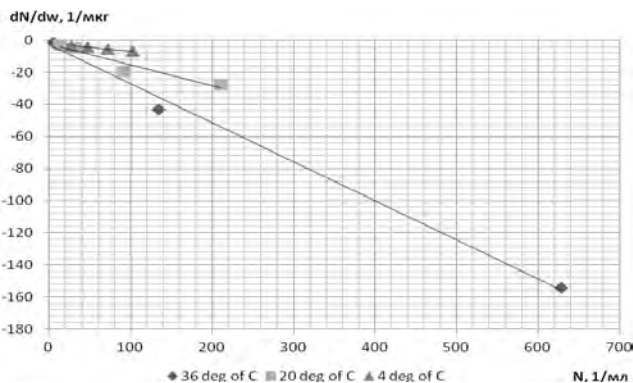


Рис. 1. Залежність інтенсивності зменшення ЗБК при зростанні концентрації ПГМГ від ЗБК

Останній факт можна пояснити наступним чином: для того щоб мікробна клітина була зруйнована необхідно досягти не лише критичної кількості ПГМГ, а також адсорбційно-десорбційна рівновага не порушувалась у часі. Тобто, на одну клітину повинна приходиться конкретна кількість полімеру, яка є сталою протягом 1 год. Зрозуміло, що має бути критична кількість ЗБЧ, вище якої препарат може бути вже не ефективним. Прямі лінії, зображені на графіку можна апроксимувати таким рівнянням:

$$\frac{dN}{dw} = k \cdot N + b, \quad (1)$$

де k – похідна інтенсивності зниження ЗБК при зростанні концентрації ПГМГ за ЗБЧ,

b – значення інтенсивності, коли ЗБЧ дорівнює 0.

Значення коефіцієнтів k, b та коефіцієнту достовірності апроксимації R² розглянутою залежності наведені в таблиці (1).

Таблиця 1
Коефіцієнти емпіричного рівняння (1)

Коефіцієнт	Температура експозиції, °C		
	36	20	4
k,	-0,2434	-0,1292	-0,045
b,	-2,76	-2,431	-2,241
R ²	0,995	0,921	0,996

Коефіцієнти і залежать від температури і визначають інтенсивність зменшення ЗБЧ води (рис. 2).

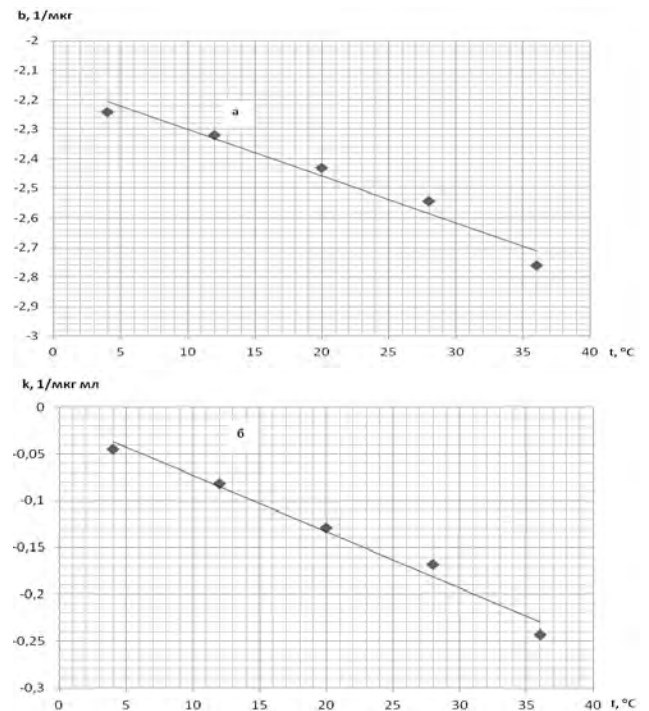


Рис. 2. Залежність інтенсивності зниження ЗБЧ при зростанні концентрації ПГМГ при нульовому значенні ЗБЧ (а) і похідної інтенсивності ЗБК при збільшенні концентрації ПГМГ за ЗБЧ (б) від температури експозиції

Зменшення коефіцієнтів слід інтерпретувати з точки зору зростання дезінфікуючого ефекту при збільшенні температури, що може бути пов'язано зі зростанням енергії активації реагування позитивно зарядженою залишку гуанідинової групи з сумарною негативно зарядженою клітинною стінкою.

В роботі [20] автори розглядають механізм взаємодії ПГМГ з мікробною клітиною з точки зору електростатичної взаємодії (рис. 3), але зростання ефективності ПГМГ з температурою дає підстави припускати, що ключову роль відіграє не лише взаємодія під впливом сили Кулона.

Диференційне рівняння (1) слід інтегрувати за початкових умов $N|_{w=0} = N_0$, де N₀ – значення ЗБК води при нульовій концентрації ПГМГ.

Розв'язання задачі Коші дасть нам часткове рішення диференційного рівняння (1), яке є математичною моделлю, яка описує загальне мікробне число

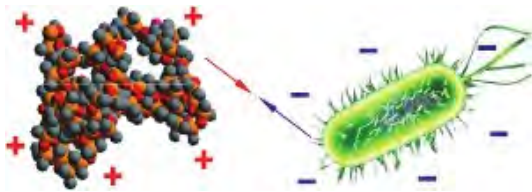


Рис. 3. Механізм взаємодії ПГМГ з мікробною клітиною [17]

водопровідної води за умов використання ПГМГ у якості засобу для дезінфекції. Одержана математична модель несе суттєве прагматичне навантаження – вона дає можливість прогнозувати ЗБЧ при заданому значенні концентрації ПГМГ у розчині.

Вказане рівняння має такий вигляд:

$$N = (N_0 + \frac{b}{k}) e^{kw} - \frac{b}{k}, \quad (2)$$

Видно, що математична модель задовільно описує експеримент (рис. 4), середнє відхилення експериментального результату (точки) від розрахованого на підставі рівняння (2) не перевищує 4 %.

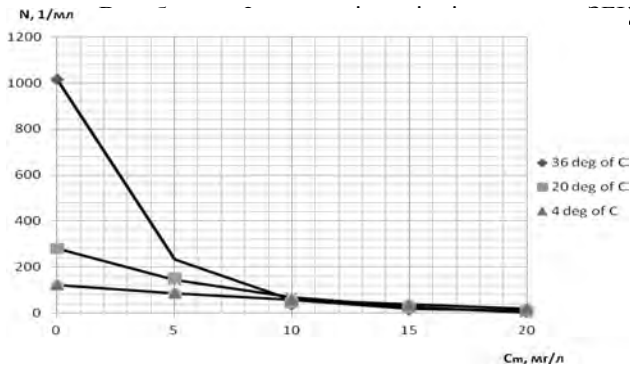


Рис. 4. Залежність ЗБЧ від концентрації ПГМГ

значення за умов відсутності ПГМГ у воді після експозиції протягом 1 год при вказаних температурах. Збільшення температури та концентрації ПГМГ

Таблиця 2
Вихідні значення ЗБЧ при різних температурах експозиції

Вихідна ЗБЧ	Температура, °C		
	36	20	4
N ₀	1014	280	120

веде до зменшення ЗБЧ. На живильному середовищі МПА (м'ясо пептонний агар) виросла відповідна кількість колоній мікроорганізмів переважно аеробного типу дихання (рис. 5). Але крім аеробів на МПА виросло декілька колоній анаеробів. Вважається, що адсорбовані на поверхні мікробної клітини молекули ПГМГ перешкоджають диханню, без якого не можлива нормальна життєдіяльність аеробів [6]. На МПА розвинулися переважно колонії характерні для спорують мікроорганізмів.

На підставі даних, одержаних в результаті проведення експерименту при співвідношенні чинників, яке відповідає характеристичним точкам ОЦКПДП було розроблено математичну модель, що описує мікробіологічний стан водопровідної води і враховує такі чинники, як концентрація ПГМГ і температура. Значення критерію Кохрена (табл. 3) свідчить про од-

норідність дисперсії і задовільну чистоту експерименту без значних випадкових похибок. Математичну модель, що описує ЗБК води можна представити таким рівнянням:

$$N = 82,11 + 71 \frac{w-10}{10} + 15,17 \frac{t-20}{16} - 21 \frac{w-10}{10} \cdot \frac{t-20}{16} + 40,54 \left(\frac{w-10}{10} \right)^2 - 0,667, \quad (3)$$

$$- 2,51 \left(\frac{t-30}{30} \right)^2 - 3,21 \left(\frac{w-12}{4} \right)^2 - 0,574$$

де t – температура експозиції, w – концентрація ПГМГ, мг/дм³.

Середнє значення відносної похибки складає

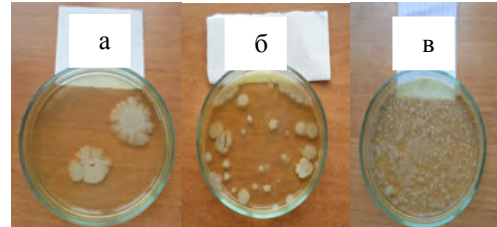


Рис. 5. Культуральні (а – в), ознаки представників мікрофлори водопровідної води

10,4 %.

При заданому значенні одного з факторів можна

Таблиця 3
Критерій Кохрена та Фішера для розглянутої серії випробувань

Критерій	G	G _{crit}	F	F _{crit}
Значення	0,381	0,679	2,13	8,9

встановити значення іншого за умов мінімізації функції відгуку (рис. 6).

Обробку даних здійснювали в математичному

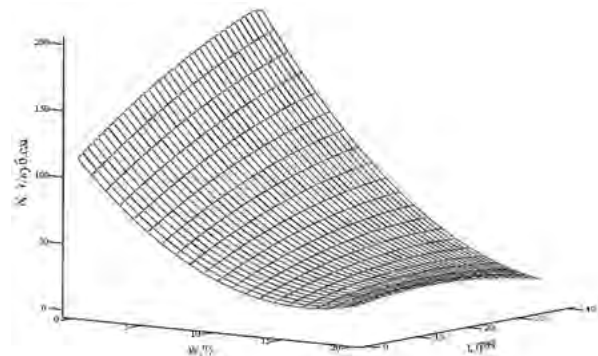


Рис. 6. Поверхня функції відгуку

редакторі Mathcad. В рамках вказаного пакету використовували регресуючі та інтерполюючі функції. Ступінь апроксимуючого поліному дорівнювала 2. Одержані поверхні візуалізують математичну модель (3). Екстремум (точка локального екстремального мінімуму) відповідає співвідношенню факторів: концентрація ПГМГ – 10 %, температура – 36 °C.

Висновки. Зростання температури при сталій концентрації ПГМГ веде до зменшення ЗБЧ, що ми пояснюємо з позиції енергії активації процесу взаємодії молекул полімеру з функціональними групами клітини мікроорганізмів. Зменшення ЗБЧ при зростанні концентрації ПГМГ залежить від поточного значення ЗБЧ. Математично описано інтенсивність зміни ЗБЧ при фіксованій кількості мікроорганізмів

математичним рівнянням, яке прогнозує ізотерму мікробіологічного стану води. При концентрації ПГМГ вищій за 10 мг/л ЗБЧ стає майже інваріантною до концентрації полімеру, а основною залишковою мікрофлорою є спороутворюючі мікроорганізми. Одержана математична модель дає можливість про-

гнозувати ЗБЧ води, а поверхня функції відгуку дозволяє вирішувати задачу оптимізації мікробіологічних показників якості водопровідної води для літніх та зимніх умов.

Поступила 11.2011

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кульський, Л.А. Технологія очистки природних вод [Текст] / Л.А. Кульський, П.П. Строкач. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1981. – 328 с.
2. Николадзе, Г.И. Технологія очистки природних вод [Текст] / Г.И. Николадзе. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 479 с.
3. Запольський, А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: Підручник [Текст] / А.К. Запольський. – К.: Вища шк., 2005. – 671 с.
4. Реагенти комплексного действия на основе гуанидиновых полимеров [Текст]. – Выпуск 4. – Киев, 2010. – 92 с.
5. Гембицький, П.О. Полімерний біодидний препарат полігексаметиленгуанідин [Текст] / П.О. Гембицький, І.І. Войцева. – Запоріжжя: «Поліграф», 1998. – 44 с.
6. Стрикаленко, Т.В. Канализу проблеми внедрения новых технологий обеззараживания воды [Текст] / Т.В. Стрикаленко. – Водопостачання та водовідведення. – 2009. – №1. – С. 35-42.
7. Общая токсикология [Текст] / Под ред. Б.А. Курляндского, В.А. Филова. – М.: Медицина, 2002. – 608 с.
8. Шандала, М.Г. Профилактическая токсикология и профилактическая медицина. Гигиена и санитария [Текст] / М.Г. Шандала. – 2007. – № 1. – С. 7-9.
9. Застосування реагенту Акватон-10 для знезараження води плавальних басейнів. Методичні вказівки [Текст] / МВ 9.9.4.9.4.5.-058-2000. – К.: МОЗ України, 2000.
10. Нижник, Т.Ю. Эффективность обеззараживания и очистки воды биоцидными полимерными реагентами [Текст] / Т.Ю. Нижник, В.Ф. Мариевский, А.И. Баранова и др. – Вісник Одеської Державної Академії будівництва та архітектури. – 2005. – Випуск № 19. – С. 53-58.
11. Ахназарова, С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии [Текст]: Учеб. Пособие для хим.-технол. Спец. Вузov / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Высш. Шк., 1985. – 327 с.
12. Фёрстер, Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа [Текст] / Э. Фёрст, Б. Ренц, пер. с нем. В.М. Ивановой. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 301 с.
13. Зажигаев, Л.С. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента [Текст] / Л.С. Зажигаев, А.А. Кишлян, Ю.И. Романиков. – М.: Атомиздат, 1978. – 232 с.
14. Батунер, Л.М. Математические методы в химической технике [Текст] / Л.М. Батунер, М.Е. Позин. – Л.: Госхимиздат, 1960. – 640 с.
15. Бояринов, А.И. Методы оптимизации в химической технологии [Текст] / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров. – М.: Химия, 1969. – 564 с.
16. Прохоров, Ю.В. Теория вероятностей: Основные понятия предельные теоремы случайных процессов [Текст] / Ю.В. Прохоров. – М.: Наука, 1967. – 495 с.
17. <http://intex-best.com.ua/a49062-cho-takoe-dezavid.html>

УДК 664.644.022.392

КАЛУГІНА І.М., канд. техн. наук, доцент
Одеська національна академія харчових технологій

МОДЕЛЮВАННЯ ДРАГЛЕПОДІБНИХ СТРАВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З ДОБАВКАМИ МОРСЬКИХ ВОДОРОСТЕЙ

Автором проведена оптимізація технологій приготування рибного холодоцю з добавкою ламінарії і рибного желе з добавкою фукусу з використанням методів математичного моделювання експериментів. Аналіз отриманих даних оптимізації технологічних процесів виробництва драгледоподібних страв показав, що введення добавок морських водоростей дозволяє стабілізувати процес структуроутворення драгледоподібних страв. Після завершення етапу комп'ютерного моделювання встановлені оптимальні композиції інгредієнтів і раціональні технологічні режими приготування драгледоподібних страв.

Ключеві слова: оптимізація, ламінарія, фукус, холодець рибний, желе.

By an author the conducted optimization of technologies of preparation of fish galantine with addition of laminaria and fish inhabited with addition a fucus with the use of methods of mathematical design of experiments. The analysis of the got data of optimization of technological process of production of galantine foods refined that introduction of additions of algae allowed to stabilize the process of gelation of galantine foods. After completion of the stage of computer design optimum compositions of ingredients and rational technological modes of preparation of gelatine foods are set.

Keywords: optimization, laminaria, fucus, galantine fish, jelly.

Останніми роками все частіше в технологіях функціональних продуктів харчування використовують добавки з морських водоростей. Це обумовлено унікальним хімічним складом цих продуктів моря. Морські водорості містять ряд речовин, що мають високу біологічну активність: вітаміни, макро- і мікроелементи, амінокислоти, високомолекулярні полісахариди, зокрема альгінову кислоту [1,2]. Альгінати є присутніми в морських водоростях, але і досі не знайдені в наземних рослинах, так, вміст альгінової кислоти в ламінарії коливається від 15 до 30% [3]. Експериментально і клінічно встановлено, що солі альгінової кислоти при вживанні внутрішньо мають імуностиму-

люючі, антацидні, іонообмінні і радіопротекторні властивості. Альгінова кислота має здатність адсорбувати воду вагою майже в 300 разів більше за власний. Завдяки високому вмісту в хімічному складі альгінової кислоти продукти переробки бурих морських водоростей можуть бути використані в якості структуроутворювачів в технологіях драгледоподібних страв. В традиційних рецептурах вищеозначених страв в якості структуроутворювача використовують яловичий желатин. Желатин – драглеутворююча речовина, продукт денатурації колагену. Особливої користі в ньому немає, навпаки, часто та в великих кількостях використовувати желатин не рекомендують через ризик утворення каменів у нирках та підвищення згортаємості крові. Проте головною проблемою широкого використання водоростей в якості альтернативного желатину драглеутворювача є те, що їхні смак та запах не подобаються багатьом людям. Тому доцільно вводити бурі водорості до страв, схожих за смаком. В такому випадку корисні елементи краще засвоюються, а смак страви стає більш прийнятним. На підставі теоретичного аналізу і практичного вивчення фізико-хімічних і органолептичних властивостей продуктів переробки бурих морських водоростей ламінарії і фукусу обґрунтована можливість їх використання в технологіях драгледоподібних страв, а саме холодоцю рибного і желе рибного.

Зміни традиційного рецептурного складу внаслідок заміни одних інгредієнтів іншими впливають на структурно-механічні і органолептичні властивості новостворених продуктів, саме тому модифікація