

Гиренко Наталія Ігорівна, асист., кафедра технологій виробництва і професійного освіти, Луганський національний університет ім. Т. Шевченка. Адрес: пл. Гоголя, 1, г. Старобільськ, Луганська обл., Україна, 92703. E-mail: girenko_ni@ukr.net.

Hirenko Nataliia, assist., Department of production technology and vocational education, Lugansk Taras Shevchenko National University. Address: 1 Gogol Square, the City of Starobilsk, Luhansk Region, Ukraine, 92703. E-mail: girenko_ni@ukr.net.

Дуб Володимир Васильович, канд. техн. наук, доц., кафедра устаткування харчової і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: vvdub7@gmail.com.

Дуб Владимир Васильевич, канд. техн. наук, доц., кафедра оборудования пищевой и отельной индустрии им. М.И. Беляева, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. E-mail: vvdub7@gmail.com.

Dub Vladimir, Candidate of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.), Associate Professor, Department of Food and Hotel Industry named after M.I. Belyaev, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: str. Klochkivska, 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. E-mail: vvdub7@gmail.com.

Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, доц. О.Г. Терешкіним, канд. техн. наук, доц. І.В. Лебединцем, д-ром техн. наук, проф. М.О. Янчевюю. Отримано 15.10.2016. ХДУХТ, Харків.

УДК 665.256.15

УСТАНОВЛЕННЯ ХАРАКТЕРУ СПІЛЬНОГО АНТИОКСИДАНТНОГО ВПЛИВУ ТОКОФЕРОЛІВ І ФЛАВОНОЇДІВ НА ПРОЦЕС ОКИСНЕННЯ ОЛІЙ

О.Ф. Аксьонова, А.О. Демидова, А.С. Кіндрашина, Т.О. Березка

Досліджено сумарний інгібуючий вплив токоферолів і флавоноїдів на процес окиснення олій. Доведено синергетичний ефект між токоферолами та флавоноїдами. Установлено, що екстрактивні речовини, одержані з пагонів чорниці, мають антиоксидантні властивості.

Ключові слова: окиснення, токоферолі, флавоноїди, синергізм.

УСТАНОВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА СОВМЕСТНОГО АНТИОКСИДАНТНОГО ВЛИЯНИЯ ТОКОФЕРОЛОВ И ФЛАВОНОИДОВ НА ПРОЦЕСС ОКИСЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

Е.Ф. Аксенова, А.А. Демидова, А.С. Киндрашина, Т.А. Березка

Исследовано суммарное влияние токоферолов и флавоноидов как ингибиторов процесса окисления масел. Доказан синергетический эффект между токоферолами и флавоноидами. Установлено, что экстрактивные вещества, полученные из побегов черники, проявляют антиоксидантные свойства.

Ключевые слова: окисление, токоферолы, флавоноиды, синергизм.

ESTABLISHMENT OF THE NATURE OF THE JOINT ANTIOXIDANT INFLUENCE OF TOCOPHEROLS AND FLAVONOIDS TO PROCESS OF VEGETABLE OILS OXIDATION

O. Aksenova, O. Demidova, A. Kindrashina, T. Berezka

Plant flavonoids are not only physiologically important substances and antioxidants, which have been intensively studied in decades. For oil industry it is interesting to establish cooperation between flavonoids and the most common natural antioxidant oils – tocopherols. Tocopherols and flavonoids are antioxidants of type I, that their inhibitory effect not associated with open circuit, and the destruction of molecules hydroperoxides.

To improve the efficiency of tocopherol as an antioxidant, it should be used in mixtures with other inhibitors of oxidation. One of the areas of search oxidation inhibitors is highly efficient search of synergistic mixtures. Synergist provide significant increase antioxidant effects, so they can be used in smaller quantities. Studies have proven the existence of synergies between the studied substances. Antioxidant Research conducted on the impact of inhibitors of Volumetric installation by determining the oxidation kinetics of oils, such as setting the length of the induction period. The study was conducted in conditions of initiated oxidation, is the sample oil added a certain amount of nitrile iso-oleic acid. Constant speed initiation achieved by adding the same number of nitrile iso-oleic acid. As plant extracts contain flavonoids, oak bark, nettle, marigold, mint, blueberry shoots were selected. Inhibitory effect of antioxidants mounted relative to the sample of refined sunflower oil. Oils always contain a certain amount of tocopherols, since the last addition does not add oil and natural investigated antioxidant effect of tocopherols` number. The values of synergies between tocopherols sunflower oil and flavonoids of various plants were quantified. Flavonoids derived from plant materials exhibit approximately the same amount of synergies with tocopherols (except flavonoids mint). The effect of antioxidant previously unexplored blueberry shoots was also found.

Keywords: oxidation, tocopherols, flavonoids, synergy.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Велику увагу вчених привертають властивості α -токоферолу як найбільш важливого біоантиоксиданта, що характеризується дуже високою реакційною здатністю щодо пероксидних радикалів [1].

Відомий складний механізм впливу токоферолу в безводних ліпідних субстратах, його участь не лише в реакціях обриву ланцюгів, але й у реакціях продовження ланцюгів і розкладання гідропероксидів. Останні реакції призводять до зниження антиоксидантної активності токоферолу. В роботі [1] показано, що період повного гальмування ланцюгів окиснення α -токоферолом спостерігається лише за його концентрацій від $1 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^{-4}$ М (і змінюється пропорційно концентрації інгібітору). У разі подальшого збільшення концентрації токоферолу збільшується початкова швидкість окиснення, скорочується період повного гальмування. Ці дані свідчать про складний механізм впливу α -токоферолу на процес окиснення жирів і його участь не лише в реакціях обриву ланцюгів, а й у реакціях подовження ланцюгів. У процесі окиснення α -токоферол утворює досить стабільні радикали, які здатні брати участь у побічних реакціях подовження ланцюгів із молекулами жирів (RH): $In\cdot + RH \rightarrow R\cdot + InH$. У результаті цієї реакції відновлюється активна фенольна форма антиоксиданту, яка далі взаємодіє з пероксидними радикалами в ланцюгах окиснення: $RO_2 + InH \rightarrow ROOH + In\cdot$.

Тому можна зробити висновок, що для підвищення ефективності токоферолу як антиоксиданта його слід застосовувати в сумішах з іншими інгібіторами окиснення.

Одним із напрямів пошуку вискоелективних інгібіторів окиснення є пошук синергетичних сумішей. Синергісти забезпечують значне посилення антиоксидантного впливу, тому їх можна використовувати в меншій кількості.

Виділяють три типи синергетичних ефектів: кінетичний, хімічний і фізичний. Для кінетичного синергізму характерні ефекти, за яких не відбувається взаємодія компонентів між собою. Такий тип синергізму найбільш можливий для сумішей, компоненти яких впливають на різні стадії процесу окиснення. Хімічний синергізм відбувається за рахунок хімічної взаємодії антиоксидантів і продуктів їх перетворення із субстратом, що окиснюється. При цьому відбувається регенерація більш активного інгібітору з його радикала за рахунок менш ефективного інгібітору, продукту перетворення або інертної речовини. Поліфункціональні сполуки, такі як поліфеноли, здатні виявляти автосинергетичний ефект, зумовлений можливістю руйнування пероксидів. Фізичний синергізм пов'язаний зі впливом фізичних чинників (розчинення, дифузія тощо) або впливом компонентів, які мають фізичну природу [2].

Відомо, що поліфеноли деяких рослин є сильними антиоксидантами. Тому доцільно встановити специфіку їх взаємодії з токоферолами олій щодо процесу гальмування окиснення олій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У клітинах тварин і людини флавоноїди не синтезуються, їх наявність у тканинах повністю залежить від споживання у їжу рослин. Питання впливу флавоноїдів на здоров'я людини залишається відкритим до сьогодні – дослідження кореляції між споживанням флавоноїдів та кількістю серцево-судинних, онкологічних та інших захворювань дають суперечливі результати. На відміну від загальновідомих вітамінів Е та С, відсутність у їжі флавоноїдів не призводить до розвитку вираженого їх дефіциту (включення флавоноїдів до групи вітамінів Р виявилось передчасним та було відхилене). Проте, не дивлячись на це, усі дослідники відмічають, що флавоноїди однозначно впливають позитивно на стан здоров'я людини [3]. У 2010 р. ЮНЕСКО оголосило середземноморську дієту нематеріальною культурною спадщиною народів Італії, Іспанії, Греції, Франції [4]. Дослідники особливе місце відводять поліфенольним сполукам, які містяться в оливковій олії, фруктах і вині [5]. Доведено, що, потрапляючи до організму людини, флавоноїди беруть участь у численних процесах кліткової сигналізації, метаболізму, експресії генів, навіть захищають організм від паразитів та інфекцій [3]. Тому завдання розробки різноманітної продукції, що містить флавоноїди, є актуальною для харчової промисловості України.

Флавоноїди – фенольні сполуки, які містять фрагмент дифенілпропану ($C_6-C_3-C_6$) та є найчастіше похідними 2-фенілхроману (флавану) або 2-фенілхромону (флавону). Флавоноїди прийнято розділяти на декілька груп: катехіни, лейкоантоцианідини, антоцианідини, флаванони, флавонони, флаволи, флавоноли, ізофлаволи, халкони, дигідрохалкони, аурони, флаволігнани, біфлавоноїди [6]. Тобто різноманітність флавоноїдів величезна і налічує 8 тисяч видів [3]. Через неоднорідність будови цих речовин розрізняються їх фізико-хімічні властивості, у тому числі таких важливий для технології параметр, як розчинність у полярних і неполярних речовинах. Так аглікони, глікозиди флавоноїдів, які містять 1–2 моноцукрових залишки, добре розчинні в ефірах, спиртах, ацетоні, але практично нерозчинні у воді. Глікозиди, що містять більше 3 моноцукрових залишків, добре розчинні у воді. Не дивлячись на різноманітність відомих способів вилучення флавоноїдів, найбільш доцільним, простим і безпечним є їх вилучення із застосуванням водно-етанольних розчинів.

Мета статті – установлення можливого синергетичного ефекту між токоферолами та флавоноїдами.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження антиоксидантного впливу інгібіторів проводилися на волюметричній установці шляхом визначення кінетики окиснення олії, а саме встановлення довжини періоду індукції [7]. Дослідження проводили в умовах ініційованого окиснення, тобто до зразка олії додавали відому кількість АІБН (нітрил ізомасляної кислоти). Уведенням однакової кількості АІБН досягали постійної швидкості ініціювання.

Як рослини, екстракти яких містять флавоноїди, були вибрані кора дуба, кропива, календула, м'ята, пагони чорниці.

Сушу рослинну сировину заливали сумішшю води та етилового спирту 96%-го у співвідношенні 40:60 відповідно, витримували за температури 40–50°C упродовж 2 год. Одержані екстракти відфільтровували від рослинної сировини та визначали в них вміст сухих речовин (шляхом висушування до постійної маси), який склав: для кори дуба – 1,6% (щодо маси рослинної сировини), для кропиви – 1,4%, для м'яти – 1,2%, для календули – 5,2%, для пагонів чорниці – 1,4%.

Інгібуючий ефект антиоксидантів установлювався щодо зразка соняшникової рафінованої олії.

Олії завжди містять деяку кількість токоферолів, тому останні додатково не добавлялись до олії, а досліджувався антиоксидантний вплив природної кількості токоферолів. Згідно з рис. 1 період індукції зразка соняшникової олії в заданих умовах окиснення становив 22 хв.

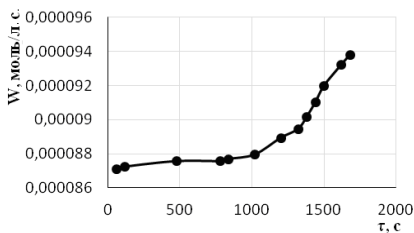


Рис. 1. Кінетика окиснення соняшникової олії за температури дослідження 70°C та кількості АІБН 2%

Для того щоб установити спільний вплив токоферолів і флавоноїдів, звісно, необхідно дослідити їх антиоксидантний вплив на зразок олії окремо кожного. Для вилучення токоферолів із соняшникової олії останню пропускали через шар активованого

вугілля (фільтр із шаром вугілля поміщали до лійки Бюхнера, яку приєднували до колби Бунзена, і пропускали через шар вугілля олію декілька разів (10–20 за допомогою вакуум-насоса). Відсутність токоферолів у одержаній олії перевіряли шляхом визначення періоду індукції (рис. 2). Характер залежності (пряма), яку ми бачимо на рис. 2, показує відсутність періоду індукції, тобто в зразку олії не міститься жодних антиоксидантів і не відбувається гальмування процесу окиснення.

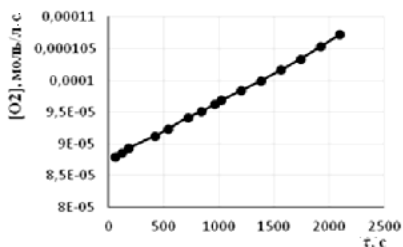


Рис. 2. Кінетика окиснення зразка соняшникової олії, із якої були вилучені токоферолі, за температури дослідження 70°C та кількості АІБН 2%

До олії, із якої були вилучені природні токоферолі, додавали екстракт календули, в кількості 2% щодо олії, тобто встановлювали інгібуючий вплив на зразок лише флавоноїдів календули. Згідно з рис. 3 період індукції становив 8 хв.

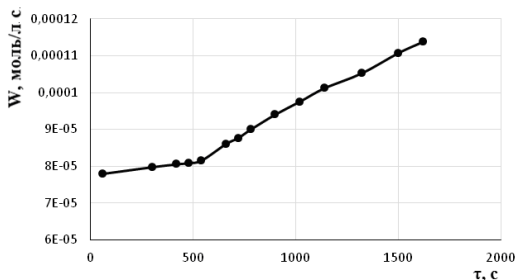


Рис. 3. Кінетика окиснення зразка соняшникової олії, яка не містить токоферолів, але містить екстракт календули, за температури дослідження 70°C та кількості АІБН 2%

Дані щодо періодів окиснення зразка олії без токоферолів із додаванням екстрактів флавоноїдів інших рослин наведено в табл. 1. Наведені дані (рис. 3, табл. 1) свідчать про наявність інгібуючого ефекту одержаних екстрактів щодо олії.

Таблиця 1

Періоди індукції окиснення олії без токоферолів за наявності екстрактів рослин

Водно-спиртовий екстракт рослин	Період індукції окиснення олії без токоферолів та з екстрактами рослин в кількості 2% щодо олії, с
Кора дуба	510
Кропива	250
М'ята	480
Календула	540
Пагони чорниці	305
Без додавання екстракту	0

Потім необхідно визначити сумарний антиоксидантний вплив токоферолів і флавоноїдів. Тобто визначити періоди індукції зразка олії з природним вмістом токоферолів та з доданою кількістю (2%) екстрактів рослин. У ході досліджень одержано кінетичні криві (рис. 4), які свідчать про збільшення періоду індукції олії за наявності обох антиоксидантів. Дані про окиснення всіх зразків наведені у табл. 2.

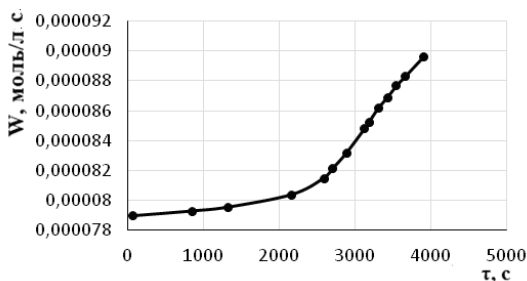


Рис. 4. Кінетика окиснення соняшникової олії з природним вмістом токоферолів та екстрактом календули в кількості 2% за температури дослідження 70°C та кількості АІБН 2%

Таблиця 2

**Періоди індукції окиснення соняшникової олії за наявності
присутності екстрактів рослин**

Водно-спиртовий екстракт рослини	Період індукції окиснення соняшникової олії з природним вмістом токоферолів та екстрактами рослин в кількості 2% щодо олії, с
Кора дуба	2460
Кропива	2340
М'ята	1920
Календула	2580
Пагони чорниці	2760
Без додавання екстракту	1320

Для встановлення характеру спільного впливу двох інгібіторів порівнювали між собою просту суму періодів індукції окремих компонентів (адитивний вплив $\Sigma\tau_i$) і бруто-ефективність їх суміші (τ_Σ) [7]. Якщо в результаті поєднання інгібіторів одержували більше значення в періодах індукції ($\Delta\tau$) порівняно з адитивним впливом інгібіторів, тобто ($\tau_\Sigma > \Sigma\tau_i$), то в спільному впливі інгібіторів установлюється ефект синергізму. В умовах, якщо спільний вплив антиоксидантів був меншим порівняно із сумою ефектів інгібування двох окремих речовин ($\tau_\Sigma < \Sigma\tau_i$), необхідно зробити висновок про виявлення антагонізму в спільному впливі інгібіторів. Ефект синергізму оцінювали за різницею $\Delta\tau = \tau_\Sigma - \Sigma\tau_i$ та у відносних одиницях $\Delta\tau / \Sigma\tau_i \cdot 100\%$. Для токоферолу та екстракту календули (рис. 5) він склав: $\Sigma\tau_i = 1320 + 540 = 1860$ с, $\tau_\Sigma = 2580$ с, тобто $\Delta\tau = 720$ с або у відносних одиницях $\Delta\tau = 38,7\%$. Результати кількісної оцінки синергетичного ефекту між токоферолами та флавоноїдами наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Синергетичний ефект токоферолу та екстрактів рослин

Водно-спиртовий екстракт рослини	Ефект синергізму токоферолу та екстракту флавоноїдів у% ($\Delta\tau$)
Кора дуба	32,3
Кропива	25,8
М'ята	3,2
Календула	38,7
Пагони чорниці	48,4

Таким чином, результати досліджень (табл. 3, рис. 5) доводять наявність синергетичного ефекту між токоферолами олії та флавоноїдами рослин.

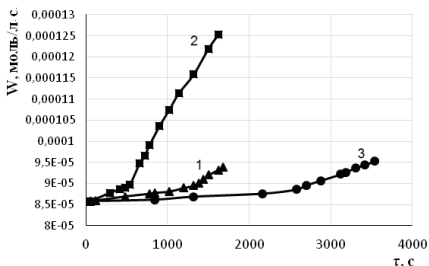


Рис. 5. Кінетика окиснення соняшникової олії за температури дослідження 70°C та кількості АБН 2% таких зразків: 1 – соняшникової олії з природним вмістом токоферолів, 2 – соняшникової олії без токоферолів та екстрактом календули в кількості 2%, 3 – соняшникової олії з природним вмістом токоферолів та екстрактом календули в кількості 2%

Відомо, що реакції, які перебігають за наявності сумішей інгібіторів-синергістів, що обривають ланцюги, характеризуються збільшенням довжини періоду індукції без зміни швидкості окиснення. Швидкість окиснення в зразках соняшникової олії з токоферолом, флавоноїдами та без інгібіторів різна (рис. 1, 3) та складала $1E-08x + 7E-05$, $5E-09x + 7E-05$ та $7E-09x + 9E-05$. Відповідно, це додатково свідчить про те, що токофероли та флавоноїди є антиоксидантами 1-го типу, тобто їх інгібуючий ефект пов'язаний не з обривом ланцюгів, а з руйнуванням молекул гідропероксидів.

Висновки. У ході досліджень було доведено синергетичний ефект сумішей токоферолів і флавоноїдів щодо інгібування процесу окиснення олії. Синергетичні ефекти токоферолів соняшникової олії та флавоноїдів кори дуба, м'яти, пагонів чорниці, календули було кількісно оцінено. Флавоноїди, одержані з різної рослинної сировини мають приблизно однаковий вплив на синергетичний ефект із токоферолами (крім флавоноїдів м'яти). Також було доведено антиоксидантну дію недослідженої раніше рослинної сировини – пагонів чорниці.

Список джерел інформації / References

1. Ronald Ross, Preedy, Victor R. (2008), *Tocotrienols: Vitamin E Beyond*, CRC Press, 422 p.

2. Перевозкина М. Г. Тестирование антиоксидантной активности полифункциональных соединений кинетическими методами : монография / М. Г. Перевозкина. – Новосибирск : СибАК, 2014. – 240 с.

Pervezkina, M.G. (2014), *Testing antioxidant activity polyfunctional compounds kinetic methods [Testirovanie antioksidantnoy aktivnosti polyfunktionalnyh soedineniy kineticheskimi metodami]*, SibAK, Novosibirsk, 240 p.

3. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина / Ю. С. Тараховский, Ю. А. Ким, Б. С. Абдрасиль, Е. Н. Музафаров – Пущино : Synchronbook, 2013. – 310 с.

Tarahnovsky, U.S., Kim, U.A., Abdrasily, B.S., Muzafarov, E.N. (2013), *Flavonoids: biochemistry, biophysics, medicine [Flavonoidy: biohimia, biofizika, medicina]*, Synchronbook, Puschino, 310 p.

4. Дієтичне харчування / Черевко О. І., Дуденко Н. В., Павлоцька Л. Ф. та ін. – Х.: Світ книг, 2016. – 359 с.

Cherevko, O.I., Dudenko, N.V., Pavlotskaja, L.F., Dimitrievich, L.R., Skurikhina L.A. (2016), *Dietary food [Dietychne harchuvannja]*, Svit knyg, Kharkiv, 359 p.

5. Scoditti, E., Calabriso, N., Massaro, M., Pellegrino, M., Storelli, C., Martines, G., De Caterina, R. (2012), Mediterranean diet polyphenols reduce inflammatory angiogenesis through MMP-9 and COX-2 inhibition in human vascular endothelial cells: a potentially protective mechanism in atherosclerotic vascular disease and cancer, *Arch.Biochem.Biophys.* – pp. 81-89.

6. Федосеева Г. М., Фитохимический анализ растительного сырья, содержащего флавоноиды : учеб. пособие для студентов фармацевтического факультета / Г. М. Федосеева, В. М. Минович. – Иркутск, 2009. – 67 с.

Fedoseeva, G.M., Mirovich, V.M. (2009) *Phytochemical analysis of the plant material, containing flavanoids [Fitohimichnyj analiz rastitelnogo syrja, soderzhashego flavanoidy]*, Irkutsk, 67p.

7. Ушкалова В. Н. Стабильность липидов пищевых продуктов / В. Н. Ушкалова– М. : Агропромиздат, 1988. – 152 с.

Ushkalova, V.N. (1988), *Stability of food lipids [Stabilnost lipidov pischevyh produktov]*, Agropromizdat, Moscow, 152p.

Демидова Анастасія Олександрівна, канд. техн. наук, доц., кафедра технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». Адреса: вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002, Тел. 0973241684; e-mail: ademidova2016@gmail.com

Демидова Анастасия Александровна, канд. техн. наук, доц., кафедра технологии жиров и продуктов брожения, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». Адрес: ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002, Тел.: 0973241684; e-mail: ademidova2016@gmail.com

Demydova Anastasiya, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor Senior of fats and fermentation products department. Address: NTU KhPI 21, Frunze str., 61002, Kharkiv. Tel.: 0973241684; e-mail: ademidova2016@gmail.com

Аксёнова Олена Федорівна, канд. техн. наук, доц., кафедра загальної та харчової хімії, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Ключківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: 0505764056; e-mail: aeph@mail.ru.

Аксенова Елена Федоровна, канд. техн. наук, доц., кафедра общей и пищевой химии, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Ключковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: 0505764056; e-mail: aeph@mail.ru.

Aksenova Elena, PhD. techn. Sciences, Assoc., Department of General and Food Chemistry Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel. 0505764056; e-mail: aeph@mail.ru.

Кіндрашина Аліна Сергіївна, студ., кафедра технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». Адреса: вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002. Тел.: 0973241684.

Кіндрашина Алина Сергеевна, студ., кафедра технологии жиров и продуктов брожения, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». Адрес: ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002. Тел.: 0973241684.

Kindrashina Alina, student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Department of fats and fermentation products. Address: NTU KhPI 21, Frunze str., 61002, Kharkiv. Tel.: 0973241684.

Березка Тетяна Олександрівна, канд. техн. наук, доц., кафедра технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». Адреса: вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002, Тел. 0973241684; e-mail: berezka_tatyana_kpi@meta.ua.

Березка Татьяна Александровна, канд. техн. наук, доц., кафедра технологии жиров и продуктов брожения, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». Адрес: ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002, Тел. 0973241684; e-mail: berezka_tatyana_kpi@meta.ua.

Berezka Tetiana, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor Senior of fats and fermentation products department. Address: NTU KhPI 21, Frunze str., 61002, Kharkiv. Tel.: 0973241684; e-mail: berezka_tatyana_kpi@meta.ua.

Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, доц. Є.П. Пивоваровим, канд. техн. наук О.І. Упатовою, канд. техн. наук Н.О. Отрошко. Отримано 15.10.2016. ХДУХТ, Харків.