

УДК 664.1.035.6

<sup>1</sup>Стещенко О.М., асп., <sup>1</sup>Арсеньєва Л. Ю., д.т.н., проф.,  
<sup>2</sup>Паламарчук О. П., к.б.н., <sup>3</sup>Ройко О. Ю.  
E-mail: olya\_steshenko@mail.ru

1 - Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна,

2 - Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришко НАН України,  
м. Київ, Україна

3 - Волинський технікум Національного університету харчових  
технологій, м. Луцьк, Україна

### ВСТАНОВЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАКЦІЇ ФІТОАДАПТОГЕННОЇ СУМІШІ

Життя сучасної людини супроводжується постійним впливом стресових факторів, внаслідок чого виникає стан «передхвороби», який часто переходить у хворобу. В зв'язку з тим, що практично неможливо усунути фактори, які спричиняють стрес, необхідно шукати шляхи підвищення адаптаційних можливостей організму. В зв'язку з цим в Національному університеті харчових технологій розроблено фітоадаптогенну суміш, до складу якої входять сушені листки ехінацеї, елеутерококу, аралії та гінкго білоба. Склад суміші обумовлений спрямованою фізіологічною дією її компонентів. Метою досліджень було визначення оптимальних параметрів процесу екстракції фітоадаптогенної суміші для повного вилучення біологічно активних речовин. Для оптимізації було обрано наступні вхідні параметри: дисперсність рослинної сировини, співвідношення сировини та екстрагенту і тривалість екстрагування. Виходом процесу екстракції обрано масову частку сухих речовин екстракту. У процесі дослідження використано рефрактометричний метод. На підставі проведених досліджень визначено оптимальні умови процесу екстракції біологічно активних речовин з фітоадаптогенної суміші, які становлять: дисперсність 0,5 мм, співвідношення сировини до екстрагенту 1:20, тривалість екстрагування 5 год. Вихід сухих речовин за таких умов становить 8,15%. Відносна похибка отриманих результатів не перевищує 3,6%. Отриманий екстракт є перспективним для створення асортименту функціональних харчових продуктів адаптогенної дії.

**Ключові слова:** адаптогени, ехінацея пурпурова, аралія маньчжурська, гінкго білоба, елеутерокок колючий, фітоадаптогенна суміш, екстракція, функціональний інгредієнт, продукти спрямованої фізіологічної дії

УДК 664.1.035.6

Стещенко О. М., Арсенєва Л. Ю., Паламарчук Е. П., Ройко А. Р.  
Національний університет пищевих технологій

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ ФИТОАДАПТОГЕННОЙ СМЕСИ

Жизнь современного человека сопровождается постоянным воздействием стрессовых факторов, в результате чего возникает состояние «предболезни», которое часто переходит в болезнь. В связи с тем, что практически невозможно устранить факторы, вызывающие стресс, необходимо искать пути повышения адаптационных возможностей

организма. В связи с этим, в Национальном университете пищевых технологий разработана фитоадаптогенная смесь, в состав которой входят сушеные листья эхинацеи, элеутерококка, аралии и гинкго билоба. Состав смеси обусловлен направленным физиологическим действием ее компонентов. Целью исследований было определение оптимальных параметров процесса экстракции фитоадаптогенной смеси для полного извлечения биологически активных веществ. Для исследований были выбраны следующие входные параметры: дисперсность растительного сырья, соотношение сырья и экстрагента, продолжительность экстрагирования. Выходом процесса экстракции избрано массовую долю сухих веществ экстракта. В процессе исследования использован рефрактометрический метод. На основании проведенных исследований определены оптимальные условия процесса экстракции биологически активных веществ из фитоадаптогенной смеси, которые составляют: дисперсность 0,5 мм, продолжительность экстрагирования 5 ч и соотношение сырья к экстрагенту 1:20. Выход сухих веществ при таких условиях составляет 8,15 %. Относительная погрешность полученных результатов не превышает 3,6 %. Полученный экстракт является перспективным для создания ассортимента функциональных пищевых продуктов адаптогенного действия.

**Ключевые слова:** адаптогены, эхинацея пурпурная, аралия маньчжурская, гинкго билоба, элеутерококк колючий, фитоадаптогенная смесь, экстракция, функциональный ингредиент.

UDC 664.1.035.6

**O.M. Steshenko, L. Y. Arsenieva, O. P. Palamarchuk, A. Y. Royko**

*National University of Food Technologies*

#### **DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF PHYTOADAPTOGENE MIXTURE EXTRACTION**

*The life of a modern man is accompanied by constant exposure to stress factors, which cause a state of "preexisting disease" that often turns into disease. Due to the fact that it is virtually impossible to eliminate the factors which cause stress, we need to look for the ways to enhance the adaptive capacity of the organism. In this regard, the National University of Food Technologies has developed phytoadaptogene mixture which consists of the dried leaves of Echinacea, Eleutherococcus, Aralia and Ginkgo biloba. The mixture is composed due to physiological effects made by its components. The aim of the study was to determine the optimal parameters of the extraction process of the phytoadaptogene mixture for complete extraction of biologically active substances. For studies there were selected the following input parameters: the dispersion of plant material, the ratio of raw material and extractant and duration of extraction. The mass fraction of solids in the extract solution taken during the extraction process was selected as the output of the extraction. During the study refractometric method was applied. On the basis of these studies the optimum process conditions of the extraction of biologically active substances in phytoadaptogene mixtures have been determined; they are the following: dispersion of 0.5 mm, length 5 h and extraction of raw material to extractant ratio of 1:20. Under such conditions we get the output of solids as 8.15 %.*

*The relative error of the results does not exceed 3.6%. The resulting extract is promising to create a range of functional foods with adaptogenic action.*

**Key words:** *adaptogens, Echinacea purpurea, Aralia Manchu, Ginkgo Biloba, Eleutherococcus senticosus, fitoadaptohenna mixture, extraction, functional ingredient products aimed physiological effects.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Швидкий темп життя сучасної людини, несприятлива екологічна ситуація, інформаційне перевантаження, постійне психоемоційне напруження, складні соціально-економічні умови поставили перед людством велику проблему – невідповідності внутрішніх адаптаційних можливостей організму до умов навколишнього середовища, що, в свою чергу, викликає стрес в організмі. Внаслідок тривалої дії стресових факторів у людини виникає стан «передхвороби»: знижується працездатність, порушується сон, спостерігається підвищена втомлюваність, апатія, погіршується настрій, що, зрештою, часто переходить у хворобу. В зв'язку з тим, що практично неможливо усунути фактори, які спричиняють стрес, необхідно шукати шляхи підвищення адаптаційних можливостей організму [1-4]. Одним з ефективних шляхів стимуляції адаптивного статусу організму людини є використання природних адаптогенів з широким спектром біологічно активних речовин (вітаміни, пігменти, поліфенольні та ліпофільні сполуки, ферменти та ін.).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Адаптогени - це природні біологічно активні речовини, які підвищують резистентність організму до дії стресових факторів зовнішнього середовища (фізичні та психологічні навантаження, холод, спека, зміна кліматологічних умов, гіпоксія тощо) [1-3].

Систематизація даних сучасних літературних джерел [1-4] дозволила окреслити наступні функції адаптогенів:

- підвищення активності імунної системи зі стимуляцією стійкості організму до розвитку інфекційних захворювань;
- нормалізація діяльності серцево-судинної системи;
- регуляція обміну речовин;
- нормалізація функції ендокринної системи;
- стимуляція статевої та репродуктивної функцій;
- виявлення прямої антиоксидантної дії;
- нормалізація клітинного метаболізму;
- покращення реологічних властивостей крові;
- стимуляція ЦНС із сприянням швидкому формуванню і відновленню умовних рефлексів;
- стимуляція репаративної та регенераційної функцій;
- послаблення токсичної дії багатьох хімічних агентів, в тому числі лікарських засобів.

Існують різні підходи до класифікації адаптогенів залежно від того, яка ознака покладена в її основу. Класифікацію адаптогенів, а також найбільш поширені їх представники зображено на рисунку 1.

Більшість адаптогенів випускають у формі лікарських засобів. Проте, доцільним і необхідним є розроблення технологій функціональних харчових

продуктів адаптогенної дії. Для цього до їх складу необхідно вводити сухі та рідкі екстракти адаптогенів з сировини рослинного та тваринного походження.

Перспективною групою адаптогенів є фітоадаптогени, до яких відносять женьшень, елеутерокок, лимонник китайський, родіолу рожеву, левзею сафлоровидну тощо. Також вже доведені адаптогенні властивості осики, ехінацеї, льону тощо. Адаптогенні властивості проявляють різні частини рослин, наприклад, корінь (ехінацея, родіола рожева, елеутерокок колючий, аралія маньжурська левзея сафлоровидна, женьшень, тощо), листки (ехінацея, гінкго білоба, елеутерокок), плоди (лимонник китайський), кора (осика, тополя тремтяча), насіння (оля льону).



**Рис. 1. Класифікація адаптогенів і найбільш поширені їх представники**

Більшість фітоадаптогенів піддають ефективному екстрагуванню за допомогою спирту. Проте, спиртові екстракти не можна використовувати для таких груп населення як діти, вагітні та годуючі матері, особи певних професій (спортсмени, водії тощо). Враховуючи даний факт, а також те, що адаптогенний ефект проявляє не одна речовина, а цілий комплекс БАР, то доцільним є проведення досліджень з визначення оптимальних параметрів процесу екстракції.

**Формування цілей статті.** Метою досліджень було визначення оптимальних параметрів процесу екстракції фітоадаптогенної суміші з метою повного вилучення біологічно активних речовин.

**Виклад основного матеріалу.** В Національному університеті харчових технологій розроблено фітоадаптогенну суміш, яка може використовуватись як функціональний інгредієнт для створення продуктів спрямованої фізіологічної дії, зокрема цукристих кондитерських виробів (мармелад, желе, льодяники,

батончики, суфле, парфе, тощо), кисломолочних продуктів (йогурти, десерти), напоїв.

До складу фітоадаптогенної суміші входять сушені листки ехінацеї, елеутерококу, аралії та гінкго білоба. Склад суміші обумовлений спрямованою фізіологічною дією її компонентів.

До основних біологічно активних компонентів листків ехінацеї пурпурової відносяться [3-7]: полісахариди, які представлені водорозчинними пектиновими речовинами, геміцелюлозою; фенольні сполуки — лютеолін, кверцетин, рутин, антоціани, дубильні речовини пірокатехінової групи тощо; фенолкарбонові кислоти — кавова, кафтарова, хлорогенова кислоти та їх похідні; мікроелементи — значною мірою накопичуються К, Са, Na, Р, Mg; алкалоїди; ефірні олії; вітаміни — провітамін А і вітамін С; алкіламіди ненасичених кислот; сапоніни; білкові речовини. Якісний склад вільних і зв'язаних амінокислот представлений такими незамінними амінокислотами, як валін, треонін, метіонін, ізолейцин, лейцин, лізин, гістидин, фенілаланін; жирні кислоти (у надземних частинах домінують пальмітинова та ліноленова жирні кислоти).

Результати експериментальних і клінічних досліджень [5, 6] свідчать, що фармакологічна дія БАР ехінацеї пов'язана, перш за все, з тим, що вони стимулюють імунну систему. Також ехінацея має протимікробну, фунгіцидну, протизапальну, антиоксидантну, протиалергічну, радіопротекторну, нейротропну та тонізуючу дії, стимулює функцію центральної нервової системи, підвищує потенцію, сприяє загоєнню ран, опіків, виразок.

БАР елеутерококу представлені [8-10] тритерпеноїдними сапонінами, лігнінами, кумаринами, фенольними речовинами, зокрема флавонами, серед яких переважають сирингін та елеутерозид Е, які вважаються найбільш активними компонентами. Наявність в молекулах цих сполук гідроксильної та карбоксильної групи визначає їх хімічну активність, біохімічну та фармакологічну дію. Крім того, в листках містяться каротиноїди, алкалоїди, олеїнова кислота.

Препарати елеутерококу [4,8-10] підвищують розумову і фізичну працездатність, збуджують центральну нервову систему, проявляють антиоксидантну, загальностимулюючу та імуномодулюючу дію, володіють протиканцерогенними, кардіопротекторними та радіопротекторними властивостями, сприяють оптимізації всіх видів обміну, відновлюють імунітет, підвищують гостроту зору і умовно-рефлекторну діяльність.

БАР листків гінкго представлені [11, 12] терпеновими трилактонами - представниками яких є білобалід та гінкголіди А, В, С, J. Дані речовини знайдені виключно у листках гінкго білоба. Представниками біофлавоноїдів є флавонол-О-глікозиди: кемпферол, кверцетин, ізорамнетин, міріцетин, гінкгетин, білобетин. Сумарний вміст флавонолглікозидів знаходиться в межах 22 - 27%. Також у листках гінкго виявлені конденсовані таніни, органічні кислоти (бензойна кислота та її похідні, гінкголеві кислоти), амінокислоти (аспарагін), катехіни, стероїди, воски, цукри, мінеральні речовини — калій, магній, кальцій, фосфор, залізо, селен, марганець, мідь, титан, ферменти (супероксиддисмутаза).

Фізіологічні властивості, листків гінкго, в першу чергу, пов'язані з впливом на найважливіші системи організму людини — мозок і кровообіг. У результаті огляду наукових досліджень [11, 12] виявлено такий клінічний ефект

екстрактів листків гінкго: посилення кровообігу в головному мозку, протидія агрегації тромбоцитів, надзвичайно сильні антиоксидантні властивості, гальмування процесів трансформації холестерину в бляшки, поліпшення реологічних властивостей крові, підвищення еластичності та міцності кровоносних судин та стінок капілярів, підвищення розумової та фізичної працездатності організму тощо.

Хімічний склад аралії маньчжурської вивчений досить добре. Встановлено [13, 14], що основними діючими речовинами є тритерпенові сапоніни — глікозиди олеанолової кислоти (аралозиди А, В і С). Крім того, у листках є вуглеводи, ефірні масла, флавоноїди, алкалоїди, тритерпеноїди, органічні кислоти і антоціани.

Аралозиди аралії надають їй загальнозміцнюючу і загальнотонізуючу дію, активують білковий синтез, знижують вміст цукру в крові за рахунок значного збільшення проникності клітинних мембран для глюкози. Аралія володіє [13,14] антитоксичною, радіопротекторною, протизапальною дією, нормалізує розумову і фізичну працездатність, викликає збудження ЦНС, стимулює роботу серця.

Експериментальні та клінічні дані [5-14] свідчать про низький рівень токсичності використаних у композиції рослин та лікарських екстрактів, створених на їх основі у терапевтичних дозах.

З огляду на це, значний науковий та практичний інтерес представляє встановлення оптимальних параметрів процесу екстракції фітоадаптогенної суміші з листків даних рослин. Для подальших досліджень обрано наступні вхідні параметри: дисперсність рослинної сировини, співвідношення сировини та екстрагенту і тривалість екстрагування. Виходом процесу обрано масову частку сухих речовин екстракту. В якості екстрагенту використано воду.

При виборі дисперсності фітоадаптогенної суміші використовували частинки сировини, які проходять через сито з діаметром отворів 0,5, 1, 2, 3, 4 та 5 мм. При виборі співвідношення сировини та екстрагенту були вивчені наступні варіанти 1:20, 1:50, 1:100. При встановленні часу екстракції вилучення проводили через 30 хв, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4 та 5 год.

Результати досліджень подано у таблицях 1 – 3.

Таблиця 1

**Вплив дисперсності сировини на вилучення сухих речовин фітоадаптогенної суміші (співвідношення сировина:екстрагент - 1:50, тривалість екстрагування – 30 хв)**

Розмір частинок сировини, мм	Вміст БАР, %					
	Партія сировини					Середнє значення
	1	2	3	4	5	
0,5	7	7,1	7,3	7	7,2	7,12
1	5,5	5,4	5,3	5,8	5,4	5,48
2	4,9	5,2	5,1	4,9	5,3	5,08
3	4,8	4,9	4,7	4,9	5	4,86
4	4,6	4,7	5	4,8	4,5	4,72
5	4,5	4,6	4,3	4,5	4,4	4,46

За комплексом досліджень (табл. 1-3) було проведено статистичний аналіз експериментальних даних з метою оцінки дисперсій вибірок, отриманих в різних експериментах, та значущості регресії.

Для перевірки гіпотези про достовірність експериментальних даних було проведено дисперсійний аналіз. У якості статистичного критерію було обрано критерій Фішера. Результати розрахунків дали змогу прийняти гіпотезу про рівність генеральних дисперсій на рівні значущості 0,05, і тому отримані результати можна використовувати в регресійному аналізі.

Таблиця 2

**Вплив співвідношення сировини та екстрагенту на вилучення сухих речовин фітоадаптогенної суміші (дисперсність сировини 0,5 мм, тривалість екстрагування - 30 хв)**

Співвідношення сировина:екстрагент	Вміст БАР, %					Середнє значення
	Партія сировини					
	1	2	3	4	5	
1:20	7,7	7,9	8	7,6	7,8	7,8
1:50	7,3	6,8	7	6,9	7,1	7,02
1:100	6,5	6,7	7	6,8	7	6,8

Таблиця 3

**Вплив тривалості екстрагування на вилучення сухих речовин фітоадаптогенної суміші (дисперсність - 0,5 мм, співвідношення сировина:екстрагент - 1:20)**

Тривалість екстрагування, год	Вміст БАР, %					Середнє значення
	Партія сировини					
	1	2	3	4	5	
0,5	7,8	7,6	7,9	7,8	8	7,82
1	8,1	7,8	8,2	8	8	8,02
1,5	8,1	7,8	8,2	8,1	8	8,04
2	8,2	7,8	8,2	8,1	8,1	8,08
2,5	8,2	7,9	8,2	8,2	8,1	8,12
3	8,2	7,9	8,3	8,2	8,1	8,14
4	8,2	7,9	8,3	8,2	8,1	8,14
5	8,2	7,9	8,3	8,2	8,1	8,14

Визначено рівняння регресії, яке описує залежність масової частки сухих речовин від вхідних параметрів. Розглянуто емпіричну формулу виду (1):

$$y(x_1, x_2, x_3) = a + \frac{b}{x_1} + cx_2 + \frac{d}{x_3}. \quad (1)$$

Невідомі параметри формули  $a, b, c, d$  обчислено при використанні методу найменших квадратів.

Після підстановки необхідних даних із врахуванням замін та розв'язку системи рівнянь отримано наступні параметри емпіричної формули (1):

$$a = 4,186; \quad b = 1,374; \quad c = 25,097; \quad d = -0,191.$$

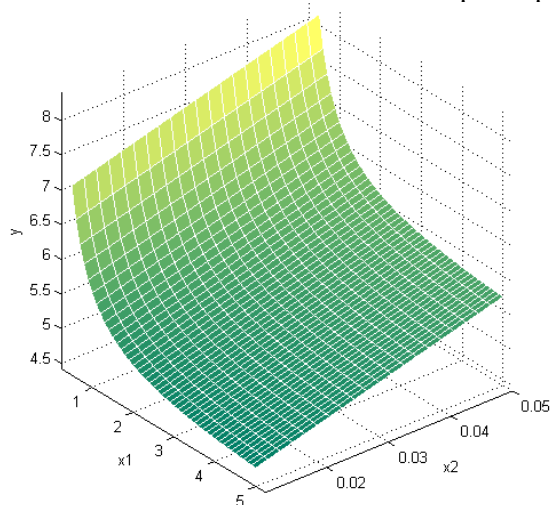
Виведено рівняння регресії залежності масової частки сухих речовин від дисперсності фітоадаптогенної суміші, співвідношення сировини та екстрагенту, тривалості екстрагування. Рівняння має вигляд (2):

$$y = 4,186 + \frac{1,374}{x_1} + 25,097x_2 - \frac{0,191}{x_3}. \quad (2)$$

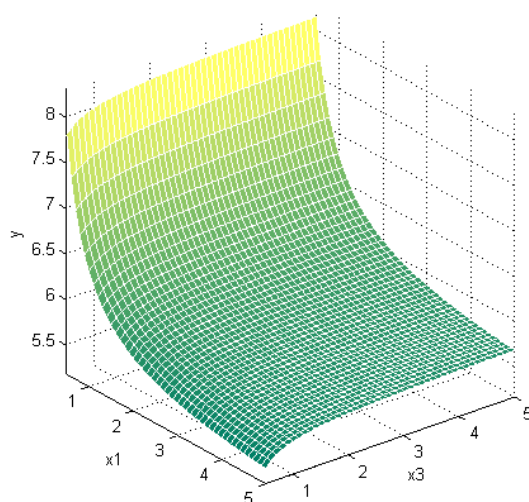
За допомогою отриманого рівняння регресії знайдено оптимальні значення  $x_1, x_2, x_3$ , за яких масова частка сухих речовин  $y$  є максимальною

8,15%: дисперсність фітоадаптогенної суміші - 0,5 мм, співвідношення сировина:екстрагент 1:20, тривалість екстрагування - 5 год. Відносна похибка отриманих результатів не перевищує 3,6%.

На рис. 2-4 графічно зображено залежність виходу масової частки сухих речовин екстракту за оптимальних значень вхідних параметрів.

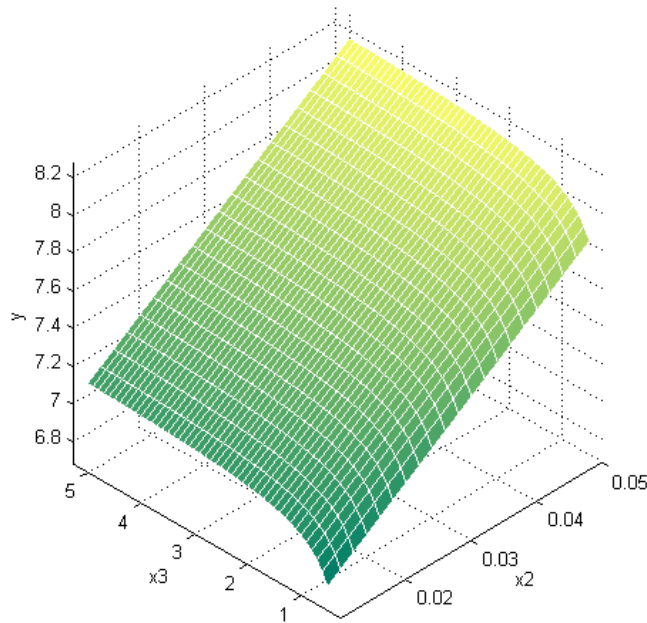


**Рис. 2. Залежність виходу масової частки сухих речовин екстракту фітоадаптогенної суміші від дисперсності сировини та співвідношення сировина:екстрагент за тривалості екстрагування  $x_3 = 5$  год**



**Рис. 3. Залежність виходу масової частки сухих речовин екстракту фітоадаптогенної суміші від дисперсності сировини і тривалості екстрагування за співвідношення сировина:екстрагент  $x_2 = 0,05$  або 1:20**





**Рис. 4.** Залежність виходу масової частки сухих речовин екстракту фітоадаптогенної суміші від співвідношення сировина:екстрагент і тривалості екстрагування за розміру частинок сировини  $x_1 = 0,5$  мм

**Висновки.** На підставі проведених досліджень визначено оптимальні параметри процесу екстракції біологічно активних речовин з фітоадаптогенної суміші, які становлять: дисперсність 0,5 мм, співвідношення сировини до екстрагенту 1:20, тривалість екстрагування 5 год. Отриманий екстракт є перспективним для створення асортименту функціональних харчових продуктів адаптогенної дії. На подальших етапах досліджень планується детальне вивчення хімічного складу отриманого екстракту, а також розробка інноваційних харчових продуктів з його використанням.

#### Література

1. Міщенко О. Я. Фармакологічна активність і механізми дії нового класу адаптогенів на основі продуктів бджільництва і бурштинової кислоти : автореф. дис... д-ра фарм. наук: 14.03.05 / О. Я. Міщенко; Нац. фарм. ун-т. – Х., 2010. – 39 с.
2. Щелкина Е. Г. Лекарства для здоровых людей или защита от стресса / Е. Г. Щелкина // Провизор. – 2009. - №3. – С. 35 – 39.
3. Цокало І. Є. Розробка та дослідження твердих лікарських форм адаптогенної дії на основі ехінацеї пурпурової та кислоти бурштинової : автореф. дис... канд. фарм. наук: 15.00.01 / Є. Г. Цокало; Нац. фарм. ун-т. – Х., 2011. – 22 с.
4. Горчакова Н. В. Адаптогены в спортивной медицине / Надежда Горчакова // Наука в олимпийском спорте. – 2006. - № 2. – С. 22 – 36.
5. Питання введення до Державної Фармакопеї України «Ехінацеї пурпурової корені» / Е. Е. Котова, А. Г. Котов, О. Г. Вовк // ФАРМАКОМ. — 2009. — №3. — С. 5 – 15.

6. Рибак О. В. Аналіз сучасного асортименту препаратів ехінацеї / О. В. Рибак, К. І. Сметаніна // Фітотерапія. Часопис. - 2011. - №3. - С. 51-56.
7. Пухляк А. Г. Перспективи розширення асортименту сухих десертних молочних сумішей / А. Г. Пухляк, Г. П. Калініна, С. В. Мерзлов [та ін.] // Вісник сумського національного аграрного університету. - 2013. - №7. - С. 179 – 184.
8. Добряков Ю. И. Результаты фармакологических исследований природного лекарственного сырья Дальневосточного региона / Юрий Добряков // Вестник ДВО РАН. - 2004. - №3. - С. 87-92.
9. Ктикян Т. Г. Влияние курсового приема *Eleutherococcus senticosus* на биохимические, гематологические и гормональные показатели крови спортсменов / Т. Г. Ктикян, А. С. Оганесян, А. Ж. Хачатрян [и др.] // Медицинская наука Армении НАН РА. - 2012. - №3. - С. 5-14.
10. Губич О. И. Изучение влияния экстракта элеутерококка на показатели углеводного обмена и перекисного окисления липидов у крыс в экспериментальной модели гиперфагии / О. И. Губич, Т. Н. Зырянова, Т. Н. Мамай и [и др.] // Труды БГУ. - 2012. - №7. - С. 173–178.
11. Мищенко Т. С. Применение экстракта гинкго билоба в лечении пациентов с хроническими сосудистыми заболеваниями головного мозга / Т. С. Мищенко, В. Н. Мищенко, И. А. Лапшина // Міжнародний неврологічний журнал. - 2012. - №2. - С. 9-13.
12. Буланкин Д. Г. Исследование по стандартизации и разработке лекарственных средств на основе листьев гинкго двулопастного: автореф. дис. на здобуття канд. фарм. наук: спец. 14.04.02 «Фармацевтична хімія, фармакогнозія» / Буланкін Денис Георгійович; Самарський державний медичний університет. — Самара, 2011. — 23 с.
13. Писарев Д. И. Сапонины и их определение в корневищах аралии маньчжурской в условиях Белгородской области / Д. И. Писарев, Н. А. Мартынова, Н. Н. Нетребенко [и др.] // Химия растительного сырья. - 2009. - №4. - С. 197-198.
14. Гришковец В. И. Гемолетическая активность тритерпеновых гликозидов семейства аралиевых / В. И. Гришковец, И. И. Довгий, Л. А. Яковишин // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. - 2010. - №4. - С. 268-275.

Рецензент – д.т.н., професор Білонога Ю.Л.