

and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky. Address: Ostrowski str., 16, Kryvyi Rih, Ukraine, 50005. Tel.: 0980717294; e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

**Цвіркун Людмила Олександрівна**, канд. пед. наук, асист., кафедра загальноінженерних дисциплін і обладнання, Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. Адреса: вул. Островського, 16, м. Кривий Ріг, Україна, 50005. Тел.: 0980717294; e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

**Цвіркун Людмила Александровна**, канд. пед. наук, ассист., кафедра общинженерных дисциплин и оборудования, Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского. Адрес: ул. Островского, 16, г. Кривой Рог, Украина, 50005. Тел.: 0980717294; e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

**Kravchenko Tamara**, PhD in Ped. Scinces, Associate Professor, Department of Vocational Education and Technology on Profiles, Uman State University named after Pavel Tychna. Address: Sadova str., 2, Uman, Ukraine, 50005. Tel.: (04744) 5-21-91; e-mail: udputpf@meta.ua.

**Кравченко Тамара Василівна**, канд. пед. наук, доц., кафедра професійної освіти та технологій за профілями, Уманський державний педагогічний університет ім. Павла Тичини. Адреса: вул. Садова, 2, м. Умань, Україна, 20300. Тел.: (04744) 5-21-91; e-mail: udputpf@meta.ua.

**Кравченко Тамара Васильевна**, канд. пед. наук, доц., кафедра профессионального образования и технологий по профилям, Уманский государственный университет им. Павла Тычины. Адрес: ул. Садовая, 2, г. Умань, Украина, 20300. Тел.: (04744) 5-21-91; e-mail: udputpf@meta.ua.

DOI: 10.5281/zenodo.3592841

УДК 577.114.4:577.152.34:635.67

## **ГІДРОЛІЗАТИ АРАБІНОКСИЛАНУ КУКУРУДЗИ ЯК ЧИННИК ВПЛИВУ НА АКТИВНІСТЬ ПАПАЇНУ**

**Н.К. Черно, С.О. Озоліна, Т.В. Битка**

*Досліджено умови розщеплення арабіноксилану зародків кукурудзи ендоксиланазою. Установлено, що продукти обмеженого гідролізу арабіноксилану, як і сам полісахарид, взаємодіючи з папаїном, здатні підвищувати його протеолітичну активність. Ефективність цього процесу залежить від молекулярно-масового розподілу вуглеводів зразка. Позитивний вплив мають вуглеводи, молекулярна маса яких знаходиться в межах від 3 кДа до 50 кДа.*

---

© Черно Н. К., Озоліна С. О., Битка Т. В., 2019

**Ключові слова:** арабіноксилан, ендоксилаза, гідроліз, молекулярна маса, папаїн, активність.

## ГИДРОЛИЗАТЫ АРАБИНОКСИЛАНА КУКУРУЗЫ КАК ФАКТОР ВЛИЯНИЯ НА АКТИВНОСТЬ ПАПАИНА

**Н.К. Черно, С.А. Озолина, Т.В. Бытка**

*Изучены условия расщепления арабиноксилана зародышевой кукурузы эндоксилазой. Установлено, что продукты ограниченного гидролиза арабиноксилана, как и сам полисахарид, при взаимодействии с папаином способны повышать его протеолитическую активность. Эффективность этого процесса зависит от молекулярно-массового распределения углеводов образца. Положительное влияние оказывают углеводы, молекулярная масса которых находится в пределах от 3 кДа до 50 кДа.*

**Ключевые слова:** арабиноксилан, эндоксилаза, гидролиз, молекулярная масса, папаин, активность.

## HYDROLYSES OF ARABINOXYLANE CORN AS A FACTOR OF INFLUENCE ON PAPAINE ACTIVITY

**N. Chernov, S. Ozolina, T. Bytka**

*The biological activity of non-starch polysaccharides of cereals and, in particular arabinoxylans, has been discussed in many literary sources. It is multivector and is believed to be determined by a set of factors such as the composition of the polysaccharide, its molecular weight, the degree of branching, the geometry of the molecule. However, information on the effects of arabinoxylans on certain biologically active substances is lacking.*

*The aim of this study was to investigate the conditions of enzymatic hydrolysis of arabinoxylan by maize embryos by endoxylase and the effect of cleavage products on papain activity.*

*The conditions of enzymatic hydrolysis that allow to obtain fermentolysate with the maximum content of fraction of carbohydrates within 15–30 kDa. For the hydrolysis of arabinoxylan maize embryos used endoxylase activity. The mass ratio of enzyme: substrate (E:S) varied from 1:25 to 1:100, the duration of the process from 1 to 4 hours, at a constant pH value of 5.5, the hydromodule was equal to 100. The highest content of the mentioned fraction of carbohydrates was obtained by observing the ratio E:S 1:50 and the duration of the hydrolysis process 1–2 hours. The influence of factors such as temperature and pH of the reaction medium on the course of the process of fermentolysis of arabinoxylan. It is determined that it is advisable to carry out limited enzymatic hydrolysis at a temperature of 40 °C and the pH value of the reaction medium is 6.5. It is shown that when the hydrolysates are combined with papain, its proteolytic activity increases. The relationship between enzyme activity and the content of fragments*

*with a molecular weight of 15–30 kDa is obvious. Other carbohydrates with molecular weights ranging from 3 to 50 kDa have a less pronounced effect on proteolytic activity.*

**Keywords:** *arabinoxylan, endoxylanase, hydrolysis, molecular weight, papain, activity.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Полісахариди є об'єктом дослідження вчених-хіміків протягом багатьох років. Проте тривалий час їх інтерес до високомолекулярних вуглеводів обмежувався тими з них, яким людство приділяло увагу з точки зору їх безпосереднього практичного використання, – крохмалем і целюлозою. Поступово до сфери інтересів виробників харчової продукції потрапили і багато різних за своєю природою полісахаридів, які згідно з напрямом їх застосування були об'єднані в групу гідроколоїдів. Лише останнім часом науковці звернули увагу на біологічну активність полісахаридів. Дослідження в цьому напрямі тривають у багатьох країнах, але інформація в цій галузі є вельми обмеженою, особливо щодо модифікації полісахаридів із метою впливу на їх біологічну активність у заданому напрямі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Поширеним методом спрямованої зміни фізичних і фізико-хімічних властивостей полісахаридів є їх хімічна модифікація. Зазвичай під цим терміном мають на увазі введення до складу біополімерів певних функціональних груп, які впливають на їх розчинність, в'язкість, здатність до гелеутворення тощо. Проте змінити ці властивості можна і шляхом контрольованої деполімеризації полісахаридів. У зв'язку із зазначеним вище нагальним є питання взаємозв'язку між біологічною активністю вуглеводів і їх молекулярною масою.

Бета-глюкан дріжджів, який використовують під час лікування онкозахворювань, не розчиняється у фізіологічних середовищах організму людини. Показано, що за умови його обмеженого гідролізу можна отримати водорозчинний продукт, молекулярна маса якого не перевищує 30 кДа і який за своїм впливом на організм людини перевершує ефект від використання вихідного нерозчинного бета-глюкану. Такий результат можна було б пояснити трансформацією полісахариду у водорозчинну форму, оскільки відоме значення цього чинника для ефективності дії біологічно активних речовин. Проте спроба підвищити розчинність бета-глюкану синтезом певних похідних супроводжувалася зниженням його біологічної активності [1]. Можна припустити, що введення нових функціональних груп до молекули бета-глюкану порушує його специфічну надмолекулярну структуру у вигляді «потрійної спіралі».

Унаслідок деполімеризації бета-глюкану грибів, якому притаманна подібна надмолекулярна будова, за допомогою ферменту із ендоглюканазною активністю було отримано фракцію вуглеводів з молекулярною масою 15–25 кДа. Виявлено, що вони зберігають надмолекулярну структуру, притаманну нативному полісахариду [2]. Цей чинник може, зокрема, відігравати провідну роль і під час утворення супрамолекулярних структур за участю полісахаридів.

На думку деяких дослідників [3], залежність між структурою й активністю бета-глюканів може ґрунтуватися на комбінації чинників, у тому числі молекулярної маси, ступеня розгалуженості й третинної структури вуглеводів. Безперечним є факт впливу некрохмальних полісахаридів на активність ферментів. Показано, що іммобілізація травних ферментів на полісахаридній матриці, що являє собою комплекс целюлози й геміцелюлоз, сприяє підвищенню термостабільності та рН стабільності ферментів, приводить до розширення термооптимумів їх дії [4]. Виявлено аналогічний вплив арабіногалактану на рослинний фермент бромелайн [5]. Установлено позитивний вплив карбоксиметилцелюлози, натрій-карбоксиметилхітозану, метилцелюлози на каталітичну активність і стабільність  $\beta$ -D-глюкурнозидази [6].

Інші дослідники [7] стверджують про можливість використання гідроксиметилкрохмалю, гідроксипропілкрохмалю, гідроксибутил-крохмалю для активування ряду ферментів, зокрема  $\beta$ -галактозидази,  $\beta$ -гексозамінідази, а також їх комбінації.

Біологічна активність некрохмальних полісахаридів зернових культур є предметом дослідження багатьох учених. Так, за результатами дослідів, які проводили в умовах *in vivo* й *in vitro*, з'ясовано, що арабіноксилани мають важливе значення для здоров'я людини, оскільки здатні модулювати як уроджений, так і адаптивний імунітет [8]. Деякі вчені припускають, що це залежить від їх складу, молекулярної маси, ступеня розгалуження. Важливою є також геометрія молекули [9]. Відомо, що арабіноксилани зернових знижують рівень сироваткового холестеролу, впливають на рівень цукру в крові, виявляють антиоксидантну активність, зменшуються постпрандіальну глікемічну відповідь, підвищують імунітет, знижують ризик коронарної серцевої недостатності [10]. Дослідження показали, що вияв окремих із зазначених активностей арабіноксиланів залежить від їхніх специфічних молекулярних характеристик, які змінюються шляхом модифікації, зокрема ферментативної. Наприклад, арабіноксилани пшеничних висівок, молекулярна маса яких унаслідок модифікації становила 66 кДа, мають потенційні пребіотичні властивості *in vitro* [11], а модифікованим арабіноксиланам рисових

висівок із молекулярною масою 30–50 кДа притаманні імуномодельючі властивості *in vitro* й *in vivo* [12].

Досліджено три фракції арабіноксилану пшеничних висівок з молекулярними масами 354, 278 та 66 кДа, які використовували як пребіотичні добавки [13]. Отримані дані щодо зміни мікрофлори та продукування коротколанцюгових жирних та молочної кислот дозволяють зробити висновок, що селективність арабіноксилану відносно груп біфідобактерій і лактобацил зростала зі зменшенням молекулярної маси. Отже, молекулярна маса полісахариду впливає на ступінь його ферментації у товстій кишці.

У ході проведених нами досліджень доведена здатність арабіноксилану зародків кукурудзи утворювати комплекс із рослинним ферментом папаїном [14]. Як наслідок, спостерігалось підвищення протеолітичної активності ферменту, підвищувалися його рН-стабільність і термостабільність, розширювалися рН-оптимум і термооптимум. Інша інформація щодо впливу арабіноксиланів зернових культур на активність окремих біологічно активних сполук у літературних джерелах відсутня.

**Метою статті** було дослідження умов ферментативного гідролізу арабіноксилану кукурудзи та впливу продуктів його розщеплення на активність папаїну.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На першому етапі було визначено умови ферментативного гідролізу, що дають можливість отримати ферментолізат із максимальним умістом фракції вуглеводів у межах 15–30 кДа. На другому етапі досліджено вплив молекулярно-масового розподілу продуктів гідролізу на протеолітичну активність папаїну.

Арабіноксилан вилучали з макухи зародків кукурудзи – побічного продукту виробництва кукурудзяної олії за методикою роботи [15]. Для гідролізу арабіноксилану використовували фермент з ендоксилазнаю активністю. Масове відношення фермент:субстрат (E:S) варіювали в межах від 1:25 до 1:100, тривалість процесу – від 1 год до 4 год за сталого значення величини рН 5,5, гідромодуль дорівнював 100 (табл. 1). Молекулярно-масовий розподіл гідролізатів досліджували з використанням гель-хроматографії на сефадексах G-100 і G-50.

Як видно з наведених у табл. 1 результатів, зі збільшенням кількості ферменту в розчині й тривалості гідролізу спостерігалось закономірне зменшення масової частки високомолекулярних вуглеводів (молекулярна маса понад 30 кДа) із відповідним зростанням вмісту фрагментів арабіноксилану, відносна молекулярна маса яких не перевищувала 15 кДа. Якщо в разі використання мінімальної кількості ферменту (E:S дорівнювала 1:100) протягом усіх

4 год гідролізу у складі вуглеводів ферментолізату домінувала високомолекулярна фракція, то за умови чотириразового збільшення концентрації ферменту (E:S дорівнювала 1:25) результат став протилежним: переважала фракція з молекулярною масою до 15 кДа.

Таблиця 1

**Молекулярно-масовий розподіл продуктів ферментолізу арабіноксилану кукурудзи, масова частка в сухій речовині, %**

Масове відношення E:S	Тривалість гідролізу, год	Молекулярна маса, кДа		
		> 30	15–30	< 15
1:100	1	78,3	10,1	11,6
1:100	2	71,7	11,6	17,3
1:100	3	65,0	12,6	22,4
1:100	4	60,9	13,3	26,8
1:50	1	49,6	18,1	32,3
1:50	2	46,6	17,2	36,2
1:50	3	39,7	14,6	45,7
1:50	4	36,5	9,1	54,4
1:25	1	45,7	13,0	41,3
1:25	2	42,0	11,6	46,4
1:25	3	37,8	10,2	51,0
1:25	4	33,9	7,0	59,1

Утворення таких вуглеводів відбувається внаслідок розщеплення фракцій із більшою молекулярною масою, проте в умовах експерименту не отриманий зразок гідролізату, у складі якого переважала б проміжна фракція вуглеводів із відносною молекулярною масою в межах 15–30 кДа.

Найбільший вміст зазначеної фракції вуглеводів отримано за співвідношення E:S як 1:50 і тривалості гідролізу 1–2 год.

На наступному етапі дослідження було вивчено вплив таких чинників, як температура та значення рН реакційного середовища, на перебіг ферментолізу арабіноксилану (табл. 2).

Згідно з даними табл. 2 підвищення температури інтенсифікує руйнацію макромолекул арабіноксилану до фрагментів із молекулярною масою, меншою за 15 кДа. Це відбувається внаслідок розщеплення вуглеводів із молекулярною масою понад 30 кДа. Процес дещо активується зі зміною величини рН середовища, але загалом цей параметр впливає на швидкість гідролізу переважно при 60 °С. Слід зазначити, що масова частка фракції вуглеводів із молекулярною масою від 15 кДа до 30 кДа в усіх розглянутих випадках є невеликою.

Таблиця 2

**Молекулярно-масовий розподіл продуктів ферментолізу арабіноксилану, масова частка в сухій речовині, %**

рН середовища	Температура, °С	Молекулярна маса, кДа		
		> 30	15...30	< 15
4,5	40	43,4	14,1	42,5
5,5	40	49,6	18,1	32,3
6,5	40	52,5	17,4	30,1
4,5	60	37,9	11,6	50,5
5,5	60	40,5	9,1	50,4
6,5	60	48,3	8,8	43,9

З огляду на отримані результати вважаємо за доцільне проведення обмеженого ферментативного гідролізу за температури 40 °С. Це дозволяє зменшити масову частку у складі гідролізату фракції з відносною молекулярною масою, меншою за 15 кДа. Ураховуючи перспективи подальшого використання ферментолізату для створення фізіологічно-функціональних інгредієнтів, доцільно проводити гідроліз при значенні рН 6,5 у дистильованій воді, не використовуючи буферних систем.

На наступному етапі розчин арабіноксилану та його гідролізатів змішували з розчином папаїну, витримували 20 хв за кімнатної температури і визначали активність ферменту порівняно з активністю інтактного папаїну [16].

Оцінюючі вплив молекулярно-масового розподілу продуктів обмеженого гідролізу арабіноксилану на активність ферменту, ми намагалися детальніше враховувати внесок окремих фракцій.

Як видно з результатів, наведених у табл. 3, сумарний вміст продуктів розщеплення арабіноксилану з молекулярною масою, меншою за 30 кДа, з подовженням тривалості інкубації зростає, але прямої кореляції з активністю ферменту не спостерігається. Гідролізат, отриманий через 4 год дії ендоксиланаз на арабіноксилан, має найбільший вміст вуглеводів із молекулярною масою, меншою за 30 кДа, але під час його взаємодії з папаїном активність останнього помітно знижується порівняно з усіма зразками, включно з арабіноксиланом, що характеризується найменшою масовою часткою фракції зі згаданою молекулярною масою.

Виходячи з міркувань про значення особливостей надмолекулярної структури полісахаридів під час формування супрамолекулярних комплексів з іншими сполуками, було доцільно окремо враховувати масову частку вуглеводів із відносною молекулярною масою до 3 кДа, які є олігомерами, відповідно їх участь у формуванні супрамолекулярних комплексів є малоюмовірною.

Таблиця 3

**Вплив арабіноксилану та продуктів його обмеженого гідролізу  
на активність папаїну**

Тривалість гідролізу, год	Молекулярно-масовий розподіл вуглеводів за фракціями, %					Активність папаїну, % від активності вільного папаїну
	> 50 кДа	30–50 кДа	15–30 кДа	3–15 кДа	< 3 кДа	
0	41,3	22,9	14,6	21,2	–	119,7
1	35,1	14,5	18,1	30,1	2,2	125,1
2	31,7	14,9	17,2	31,8	4,4	128,0
3	26,1	13,6	14,6	35,9	9,8	127,2
4	23,4	13,1	6,1	40,7	16,7	112,3

Згідно з отриманими результатами взаємозв'язок між активністю ферменту і вмістом у зразку вуглеводів із молекулярною масою 15 – 30 кДа є очевидним. Проте, прямої кореляції між ними не спостерігається. Окрім того, масова частка згаданих вуглеводів у складі дослідних зразків є невеликою, тому доцільно враховувати вплив на активність папаїну фракцій вуглеводів із граничними молекулярними масами: 3–15 кДа і 30–50 кДа. До того ж спостерігається кореляція між вмістом у складі зразків фракцій вуглеводів із молекулярними масами в межах від 3 кДа до 30 кДа, який становить 35,8, 48,2, 49,0, 50,5, 46,8 %, та від 3 кД до 50 кДа, який дорівнює 58,7, 62,7, 64,9, 64,1, 59,9 % для арабіноксилану, а також його гідролізатів, отриманих унаслідок інкубації з ендоксилазною протягом 1–4 год відповідно.

Таким чином, за результатами дослідження впливу арабіноксилану та продуктів його обмеженого гідролізу на папаїн можна зробити висновок, що позитивно впливають на активність ферменту вуглеводи з доволі широким спектром молекулярних мас від 3 кДа до 50 кДа. Аналізуючи результати щодо активуючої дії арабіноксилану та його гідролізатів на папаїн, слід зазначити, що вміст олігомерних вуглеводів негативно впливає на цей процес. Отримані нами результати узгоджуються з думками інших дослідників, які вважають, що біологічна активність ксиланів зернових культур, імовірно, визначається сукупністю таких чинників, як молекулярна маса, ступінь розгалуженості й надмолекулярна структура полісахариду. У ході проведених нами досліджень ступінь розгалуженості полісахариду під дією ендоксилази не змінювався, оскільки вона, як відомо, вибірково



розщеплює зв'язки між ланками  $\beta$ -D-ксилопіраноз, які не мають бічних відгалужень. Імовірний негативний вплив низькомолекулярних вуглеводів на активацію папаїну може бути зумовлений тим, що вони заважають його взаємодії з вуглеводами, що мають певну надмолекулярну структуру, яка їм не притаманна.

**Висновки.** Визначено раціональні умови гідролізу арабіноксилану зародків кукурудзи ендоксиланазою, за яких вміст фракції вуглеводів із молекулярною масою 15–30 кДа є найбільшим: відношення E:S як 1:50, температура 40 °C, рН 6,5, тривалість інкубації 1–2 год.

Показано, що продукти обмеженого гідролізу арабіноксилану, як і сам полісахарид, взаємодіючи з папаїном, здатні підвищувати його протеолітичну активність порівняно з вільним ферментом. Ефективність такого процесу залежить від молекулярно-масового розподілу вуглеводів зразка. Позитивний вплив мають вуглеводи, молекулярна маса яких знаходиться в межах від 3 кДа до 50 кДа.

#### Список джерел інформації / References

1. Chen, Jiezhong (2007), "Medicinal importance of fungal  $\beta$ -( $\rightarrow$ 3), ( $\rightarrow$ 6)-glucans", *Mycological research*, No. 2, pp. 635-652.

2. Черно Н. К. Особливості будови геміцеллоз з деяких видів регіональної сировини та продуктів їхнього ферментативного гідролізу / Н. К. Черно, С. О. Озоліна, О. В. Нікітіна // Харчова наука і технологія. – 2018. – № 12. – С. 13–20.

Cherno, N., Ozolina, S., Nikitina, O. (2018), "Features of structure of hemicelluloses from some types of regional raw materials and products of their enzymatic hydrolysis" ["Osoblyvosti budovy hemitseliuloz z deiakykh vydiv rehionalnoi syrovyny ta produktiv yikhnoho fermentatyvnoho hidrolizu"], *Food Science and Technology*, No. 12, pp.13-20.

3. Zhang, S., Li, W., Smith, C., Musa, H. (2015), "Cereal-derived arabinoxylans as biological response modifiers: extraction, molecular features, and immune-stimulating properties", *Food Science and Nutrition*, No. 55, pp. 1033-1050.

4. Черно Н. К. Біокоректори процесів травлення : монографія / Н. К. Черно, Г. В. Крусір, О. В. Коваленко. – Одеса : Астропринт, 2010. – 240 с.

Cherno, N., Cruiser, G., Kovalenko, O. (2010), *Digestors of digestive processes [Biokorektory protsesiv travlennia]*, Astroprint, Odessa, 240 p.

5. Черно Н. К. Отримання білок-полісахаридного комплексу та його характеристика / Н. К. Черно, Л. С. Гураль, О. В. Ломака // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. – 2012. – № 2. – С. 305–315.

Cherno, N., Gural, L., Lomaka, O. (2012), "Obtaining protein-polysaccharide complex and its characteristics" ["Otrymannia bilok-polisakharydnoho kompleksu ta yoho kharakterystyka"], *Progressive techniques and technologies of food production in the restaurant industry and trade*, No. 2, pp. 305-315.

6. Smeets, N., Nuyens, F., Van Campenhout, L., Delezie, E., Niewold, T.A. (2018), "Interactions between the concentration of non-starch polysaccharides in wheat and the addition of an enzyme mixture in a broiler digestibility and performance trial", *Poultry Science*, No. 6, pp. 2064-2070.

7. Shijie, Li, et al. (2016), "Molecular modification of polysaccharides and resulting bioactivities", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, No. 15, pp. 237-250.

8. Zhang, Z., Smith, C., Li, W. (2014), "Extraction and modification technology of arabinoxylans from cereal by-products: A critical review", *Food Research International*, No. 65, pp. 423-436.

9. Saulnier, L., Robert, P., Grintchenko, M., Jamme, F., Bouchet, B., Guillon, F. (2009), "Wheat endosperm cell walls: Spatial heterogeneity of polysaccharide structure and composition using micro-scale enzymatic fingerprinting and FT-IR microspectroscopy", *J. Cereal Sc.*, No. 65, pp. 312-317.

10. Buksa, K., Praznik, W., Loeppert, R., Nowotna, A. (2016), "Characterization of water and alkali extractable arabinoxylan from wheat and rye under standardized conditions", *Journal of Food Science and Technology*, No. 53, pp. 1389-1398.

11. Hughes, et al. (2007), "Ap1/PGRMC1 binds and regulates cytochrome P450 enzymes", *Cell Metab*, No. 5, pp. 143-152.

12. Ghoneum, M., Matsuura, M. (2004), "Augmentation of macrophage phagocytosis by modified arabinoxylan rice bran (MGN-3/biobran)", *Int. J. Immunopathol Pharmacol*, No. 17, pp. 283-292.

13. Hughes, S.A., Shewry, P.R., Li, L., Gibson, G.R., Sanz, M.L., Rastall, R.A. (2007), "In vitro fermentation by human fecal microflora of wheat arabinoxylans", *J. Agric. Food Chem*, No. 30, pp. 4589-4595.

14. Chernov, N., Ozolina, S., Bytka, T. (2018), "Obtaining and characteristics of papain-maize arabinoxylan complex", *Food science and technology*, No. 12, pp. 25-32.

15. Saulnier, L., et al. (1995), "Cell wall polysaccharide interactions in maize bran", *Carbohydrate Polymers*, No. 4, pp. 279-287.

16. Chow, B., Peticolas, M.A. (1948), "Rapid method for the determination of proteolytic activities of enzyme preparations", *General Physiology*, No. 1, pp. 17-24.

**Черно Наталія Кирилівна**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри харчової хімії та експертизи, Одеська національна академія харчових технологій. Адреса: вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039. Тел.: (073)480-76-03; e-mail: cherno.onaft@gmail.com.

**Черно Наталья Кирилловна**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри харчової хімії та експертизи, Одеська національна академія харчових технологій. Адрес: вул. Канатная, 112, г. Одесса, Украина, 65039. Тел.: (073)480-76-03; e-mail: cherno.onaft@gmail.com.

**Cherno Natalia**, Dr. of Tech. Sciences, Prof., Head of Department of Food Chemistry and Expertise, Odessa National Academy of Food Technologies. Address: Kanatna str., 112, Odessa, Ukraine, 65039. Tel.: (073)480-76-03; e-mail: cherno.onaft@gmail.com.

**Озолина Софія Олександрівна**, канд. хім. наук, доц., кафедра харчової хімії та експертизи, Одеська національна академія харчових технологій. Адреса: вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039. Тел.: 0950528952; e-mail: os.sof.al@gmail.com.

**Озолина Софія Александровна**, канд. хим. наук, доц., кафедра пищевой химии и экспертизы, Одесская национальная академия пищевых технологий. Адрес: ул. Канатная, 112, г. Одесса, Украина, 65039. Тел.: 0950528952; e-mail: os.sof.al@gmail.com.

**Ozolina Sofia**, PhD in Chemical Science, Assoc. Prof. Department of Food Chemistry and Expertise, Odessa National Academy of Food Technologies. Address: Kanatna str., 112, Odessa, Ukraine, 65039. Tel.: 0950528952; e-mail: os.sof.al@gmail.com.

**Битка Тетяна Вікторівна**, асп., кафедра харчової хімії та експертизи, Одеська національна академія харчових технологій. Адреса: вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039. Тел.: 0965887718; e-mail: bytka.tatiana@gmail.com.

**Бытка Татьяна Викторовна**, асп., кафедра пищевой химии и экспертизы, Одесская национальная академия пищевых технологий. Адрес: ул. Канатная, 112, г. Одесса, Украина, 65039. Тел.: 0965887718; e-mail: bytka.tatiana@gmail.com.

**Bytka Tatiana**, Postgraduate student, Department of Food Chemistry and Expertise, Odessa National Academy of Food Technologies. Address: Kanatna str., 112, Odessa, Ukraine, 65039. Tel.: 0965887718; e-mail: bytka.tatiana@gmail.com.

DOI: 10.5281/zenodo.3592843

УДК 643.336547.128

## АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ОПОРІВ СТЕПЕНЕВИХ РІДИН

**Е.В. Білецький, О.В. Петренко**

*Проаналізовано природу гідравлічних опорів течії ступеневі рідини в трубі та каналі за умов звуження, розширення, повороту. Запропоновано вирази для визначення коефіцієнтів місцевих опорів у вигляді єдиних формул у широкому діапазоні зміни числа Рейнольдса в потоці.*

**Ключові слова:** рідина, ньютонівська, ступенева, течія, гідравліка, місцеві опори, тертя, число Рейнольдса.