

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТІСТА З ПРОДУКТАМИ ПЕРЕРОБКИ ХАРЧОВОГО ЛЮПИНУ

**Л.АРСЕНЬЄВА, Н.БОНДАР,
М.АНТОНЮК, О.ОЛЕКСІЙЧУК**
Національний університет
харчових технологій

У роботах [1,2,3] авторами обґрунтована доцільність і перспективність використання у хлібопекарському виробництві продуктів переробки бобових культур (сої, гороху, харчового люпину) з метою підвищення біологічної та харчової цінності хлібобулочних виробів. Проведено ряд досліджень [3,4,5] з визначення хімічного складу вихідного насіння бобових та їх солодів, всебічно вивчено ферментні комплекси цих продуктів. Відмічено [3,6], що білий харчовий люпин є конкурентоспроможною і перспективною високобілковою сировиною в хлібопекарській промисловості, оскільки має ряд переваг перед соєвим борошном, яке вважається традиційним білковим збагачувачем харчових продуктів.

З метою розробки раціональної технології виготовлення хлібобулочних виробів з продуктами переробки харчового люпину, передусім необхідно дослідити їх вплив на структурно-механічні властивості тіста з метою прогнозування якості готових виробів, їх органолептичних і споживчих властивостей (об'ємного виходу, структури м'якучки, пористості, формостійкості).

Відповідно до теоретичних положень, тісто є складною, гетерогенною колоїдною дисперсною системою, в якій одночасно поєднуються такі властивості, як: пружність, пластичність, міцність, в'язкість, здатність до релаксації напруг і пружня післядія. Структура тіста визначається співвідношенням і властивостями основних високомолекулярних сполук: крохмалю, білків, клітковини, пентозанів, які гідратуються в присутності води й утворюють основу колоїдної системи, а також вмістом низькомолекулярних сполук, таких як: цукри, амінокислоти, жири, які пластифікують цю систему.

Продукти переробки харчового люпину в своєму складі містять білкові речовини, цукри, жир, пектин, клітковину, пентозани, протеолітичні та амілолітичні ферменти [3,4], які мають відігравати певну роль у формуванні структурно-механічних властивостей тіста.

У роботі використовували такі продукти переробки люпину (ППЛ): борошно з цілозмеленого насіння (БЛ) згідно з ТУ У 15.6-14234523-014-2004 та борошно з солоду насіння (СЛ) (ТУ У 15.9-02070938-053-2005). Вивчення пружно-еластичних властивостей тіста з ППЛ здійснювали шляхом

Таблиця 1. Показники валориграм пшеничного тіста з БЛ

Показники	Контроль (без добавок)	З внесенням БЛ, % до маси борошна				
		5	10	15	20	25
Тривалість утворення тіста, хв.	2,0	3,5	5,0	5,0	6,0	6,0
Стійкість тіста, хв.	6,5	4,0	2,0	1,5	1,0	0,0
Еластичність, од. приладу	100	100	90	90	80	80
Розрідження, од. приладу	60	65	80	100	130	140

Таблиця 2. Вплив ППЛ на пружно-еластичні властивості пшеничного тіста

Показники	Контроль (без добавок)	З внесенням 10 % до маси борошна	
		БЛ	СЛ
ВПЗ, %	58,9	60,5	61,4
Час утворення тіста, хв.	2,5	4,5	4,0
Стійкість тіста, хв.	2,5	1,0	1,5
Еластичність, од. приладу	110	85	100
Розрідження, од. приладу	110	130	150

Таблиця 3. Вплив ППЛ на в'язкість модельних систем (при швидкості зсуву $D = 0,27 \text{ c}^{-1}$)

Показники	Контроль (без добавок)	З внесенням 10 % до маси борошна	
		БЛ	СЛ
Ефективна в'язкість, Па · с:			
- після замішування	4,45	5,62	5,86
- через 2 год. ферментації	3,37	4,69	4,7
Коефіцієнт розрідження, %	24,3	16,6	24,9

дослідження вмісту та властивостей клейковини а також за допомогою валориграфа ОА-203, в'язко-пластичних - за допомогою віскозиметра "Релі тест-2" і за розпливанням кульки тіста. Визначали також зміни питомого об'єму тіста в процесі 30-хвилинного та його газотримуючу здатність.

Вплив ППЛ на пружно-еластичні властивості тіста. Пружно-еластичні властивості тіста визначали на валориграфі та характеризували такими показниками, як тривалість утворення тіста, його стійкість до механічної обробки, пружність і розрідження.

Для визначення закономірностей впливу ППЛ на структурно-механічні властивості тіста під час його замішування на валориграфі вносили різну кількість досліджуваних продуктів (на прикладі борошна з цілозмеленого насіння люпину). Тісто готували без добавок (контроль) і з внесенням 5, 10, 15, 20 і 25 % БЛ. При замішуванні воду добавляли в кількості, яка необхідна для отримання тіста з консистенцією, рівною 500 од. приладу. Тісто в місильній камері валориграфа замішували впродовж 15 хв. У дослідах використовували пшеничне борошно I сорту з середніми хлібопекарськими властивостями.

Як свідчать результати досліджень (рис. 1), водопоглинальна здатність тіста з БЛ зростає зі збільшенням дозування борошна на 0,6...4,9 %, порівняно з контролем, що можна пояснити більш високою, порівняно з пшеничним борошном, водопоглинальною здатністю люпинових продуктів. Результати обробки валориграм (табл. 1) показали, що зі збільшенням дозування БЛ подовжується тривалість утворення тіста на 1,5...4 хв. і зменшується його стійкість на 3,5...6 хв. порівняно з контролем. Еластичність тіста при цьому зменшується на 10...20 %, а розрідження зростає на 12,5...75,0 %.

Зміна цих показників для тіста з різною кількістю внесеного люпинового борошна є наслідком часткового розчинення набухлого крохмалю та необмеженого набухання частини білкових речовин, а також гідролітичного розщеплення активними амілазами та протеазами люпинових продуктів біополімерів пшеничного борошна в процесі замішування тіста.

Для порівняльної оцінки впливу різних ППЛ на пружно-еластичні властивості тіста проводили аналогічні дослідження на валориграфі. При цьому використовували БЛ і СЛ, які вносили в кількості 10 % до маси пшеничного борошна. Як видно з таблиці 2, тісто з СЛ при замішуванні поглинає на 1,5 % більше води порівняно з тістом, що містить БЛ, відмічається також більша його еластичність. Тривалість утворення тіста для зразків з люпиновими продуктами подовжується на 1,5...2,0 хв., порівняно з контролем, стійкість тіста - зменшується. Розрідження тіста з ППЛ зростає і для зразка з СЛ є на 20 одиниць більшою, ніж для тіста з борошном люпину БЛ.

Таким чином, за рахунок вищої водопоглинальної здатності тіста з БЛ і СЛ можна прогнозувати збільшення виходу тіста за рахунок підвищення його вологості без погіршення органолептичних і фізико-хімічних показників.

В'язко-пластичні властивості тіста з ППЛ. Для колоїдної системи, якою є тісто, характерні поряд з пружно-еластичними в'язко-пластичні властивості. Відомо, що в'язкість тіста є комплексним показником, який залежить від хлібопекарських властивостей борошна, вологості напівфабрикатів, їх кислотності, інтенсивності біохімічних процесів тіста. Під час бродіння тіста в ньому накопичується залишкова деформація, тобто незворотня деформація в'язкої течії, яка обумовлює

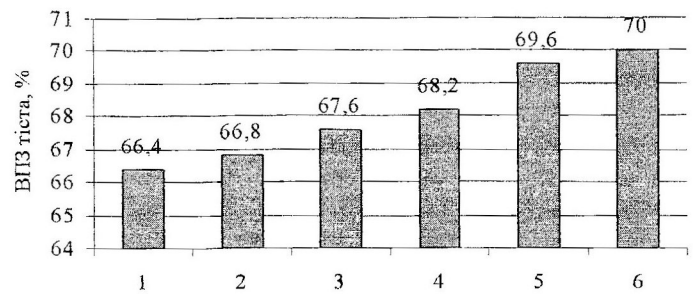


Рис. 1. Водопоглинальна здатність тіста, %: 1 - контроль (без добавок); 2 - 6 - з додаванням борошна люпину в кількості, %, до маси борошна: 2 - 5 %; 3 - 10 %; 4 - 15 %; 5 - 20 %; 6 - 25 %

зміщення шарів тіста відносно один до одного внаслідок руйнації структурної сітки [7].

Проводили досліди з визначення в'язко-пластичних властивостей модельних систем на ротаційному віскозиметрі "Реотест-2" при дванадцяти швидкостях зсуву ротора. Готували такі варіанти модельних водно-борошняних систем вологістю 70 %: 1 - контроль (без добавок); 2 і 3 - із заміною 10 % пшеничного борошна; 2 - борошном з цілозмеленого насіння люпину; 3 - борошном із солоду насіння люпину. За результатами експерименту встановлювали залежність ефективної в'язкості η від напруги зсуву τ_r і будували криві течії $\eta = f(\tau_r)$ (рис. 2).

Аналіз результатів експерименту свідчить, що внесення 10 % БЛ і СЛ підвищує ефективну в'язкість системи відразу після замісу на 26,3 та 31,7 % відповідно. Це свідчить про зміцнення структури тіста з досліджуваними продуктами. Зростає і напруга зсуву, необхідна для її руйнування.

Мінімальна в'язкість модельних систем з БЛ і СЛ, тобто в'язкість практично зруйнованої структури, досягається при більш високій напрузі зсуву. Так, ефективна в'язкість системи з 10 % СЛ величиною 2 Па·с фіксувалась при напрузі зсуву 500 Па, а така ж в'язкість контрольного зразка - при 200 Па.

В'язкість модельної суміші з борошном із солоду люпину після замішування була вищою порівняно з в'язкістю системи, в яку вносили борошно з цілозмеленого насіння, очевидно внаслідок утворення складних комплексів між дезагрегованими низькомолекулярними білковими речовинами солоду та крохмалем пшеничного борошна [8].

Однак через 2 год. ферментації модельної суміші зразок з СЛ розріджується більшою мірою, ніж суміш з БЛ, що свідчить про нестійкість цих комплексів у разі зростання механічних зусиль. Аналіз результатів експерименту показує, що кінцева ефективна в'язкість системи з 10 % ППЛ залишається вищою, порівняно з контролем, на 39,2 % для системи з БЛ і на 21,7 % - для системи з СЛ. Більш істотне зниження ефективної в'язкості тіста з СЛ за період ферментації обумовлено вищою активністю ферментного комплексу солоду, в результаті дії якого відбувається необмежена пептизація білкових речовин тіста й руйнування клейковинного каркасу.

У процесі ферментації в'язкість модельних сумішей з люпиновими продуктами зменшується більшою мірою, ніж в контрольному зразку. Міні-

мальна ефективна в'язкість практично зруйнованої системи як для контрольного зразка, так і для суміші з ППЛ була 0,4 Па · с.

Зниження в'язкості водно-борошняних систем під час ферментації пов'язано з колоїдними, біохімічними та мікробіологічними процесами. Для оцінки їх інтенсивності визначали коефіцієнт розрідження системи за формулою:

$$K = (1 - \eta_k / \eta_n) \cdot 100,$$

де K - коефіцієнт розрідження, %;

η_k - в'язкість системи, що дозріла, Па · с;

η_n - в'язкість системи після замішування, Па · с.

Експериментальні дані (табл. 3) свідчать, що модельні системи з досліджуваними продуктами мають більшу в'язкість як після замішування, так і після дозрівання порівняно з контролем, що свідчить про підвищення міцності колоїдної системи внаслідок збільшення в'язкості її рідкої фази.

Коефіцієнт розрідження водно-борошняних сумішей з БЛ в 1,47 рази менше, порівняно з контролем, а для суміші з СЛ на 50 % перевищує зразок з борошном люпину, що пов'язано з високою протеолітичною активністю солоду люпину.

Відомо, що в'язкість тіста визначає його газоутримуючу здатність і формостійкість. Непрямим доказом змін в'язкості, що відбуваються в тісті з ППЛ, може бути розпливання кульки тіста, яке зумовлено зміщенням шарів тіста внаслідок зменшення внутрішнього тертя системи, тобто в'язкостю. У дослідях готували тісто вологістю 43 %, досліджувані продукти вносили в кількості 5, 10 та 15 % до маси борошна. Тісто дозрівало впродовж 3 год. за температури 30 °С. Розпливання кульки тіста масою 50 г визначали через кожні 30 хв. бродіння і виражали у відсотках до початкового значення.

Як свідчать результати експерименту (рис. 3), внесення ППЛ призводить до зменшення показника розпливання тіста за 3 год: з БЛ на 1,3...10,8 %, а з

СЛ на 5,1...14,0 %. Зменшення розпливання тим помітніше, чим більше внесено продуктів з люпину.

Ефект зменшення розпливання тіста більший в разі внесення в нього СЛ за рахунок утворення в тісті надвисокомолекулярних сполук між білковими молекулами солоду й пшеничним крохмалем, які здатні підвищувати в'язкість системи.

Вивчали також зміни питомого об'єму тіста з досліджуваними продуктами впродовж 3 год. бродіння порівняно з об'ємом тіста без добавок. Для цього готували тісто без добавок і з внесенням БЛ і СЛ в кількості 5, 10 та 15 % до маси борошна. 50 г тіста опускали в мірний циліндр на 250 см³, ущільнювали та витримували в термостаті за температури 30 °С. Проведений експеримент показав (рис. 4), що внесення в тісто як БЛ, так і СЛ призводить до зменшення питомого об'єму тіста і в тим більшій мірі, чим більше внесено продукту.

Так, при внесенні 5 % БЛ до загальної маси борошна питомий об'єм тіста зменшився на 5,8 % порівняно з контрольним, а при внесенні 5 % СЛ - на 2,6 %. Питомий об'єм тіста з 10 % БЛ і СЛ зменшився на 17,5 і 14,7 %, а з 15 % ППЛ - на 32,3 та 26,7 % відповідно.

Погіршення газоутримуючої здатності тіста з ППЛ пов'язано, очевидно, з тим, що з підвищенням дозування досліджуваних продуктів у тісто замість частини пшеничного борошна, в такому тісті зменшується відсоток білків, які беруть участь у створенні клейковинного каркасу тіста, а також знижується еластичність наявного каркасу. **Внаслідок цього стінки пор легко руйнуються надлишковим тиском газоподібних продуктів, відбувається з'єднання дрібних пор, утворення крупної пористості, розвиток об'єму тіста при цьому уповільнюється.**

Дослідження властивостей клейковини тіста з ППЛ. Структура та фізичні властивості пшеничного тіста залежать в першу чергу від вмісту клейковини, її пружності, розтяжності, здатності зв'язувати воду та зміни цих властивостей у процесі бродіння тіста. На ці показники впливають

Таблиця 4. Вплив ППЛ на властивості клейковини

Зразки	Маса сирієї клейковини, %	Маса сухої клейковини, %	Гідратаційна здатність, %	Опір стисненню, од. приладу ІДК	Розтяжність, см
Клейковина, відмита через 20 хв. після замісу тіста					
Контроль (без добавок)	27,8	9,0	210,0	81,2	12
З унесенням 10 % до маси борошна:					
- незавареного БЛ	26,0	8,92	189	67,2	11
- завареного БЛ	26,6	8,95	183	66,5	10
- незавареного СЛ	25,3	8,84	202	72,7	12
- завареного СЛ	26,0	8,90	196	70,3	11
Клейковина, відмита через 2 год. ферментації тіста					
Контроль (без добавок)	29,2	8,84	225,0	96,5	14
З унесенням 10 % до маси борошна:					
- незавареного БЛ	27,2	8,71	214,2	82,9	12
- завареного БЛ	27,8	8,75	229,5	92,5	13
- незавареного СЛ	26,3	8,56	221,3	89,4	13
- завареного СЛ	27,2	8,60	232,4	95,9	14

гура виробів, параметри технологічного процесу (температура, кислотність), а також дозові добавок, внесених у тісто.

Дослідженнями [9] встановлено, що білки борошна з цілозмельеного насіння та борошна з солоду люпину представлені переважно водо- та солерозчиною фракціями (близько 90 % від загальної кількості білкових речовин), які, як відомо, не беруть участі у створенні клейковинного каркасу тіста. Крім того, в досліджуваних продуктах в активному стані містяться протеолітичні ферменти [5], під дією яких в тісті з цими продуктами відбувається інтенсивний протеоліз білкових речовин, що призводить до послаблення і руйнування білково-клейковинного каркасу тіста.

Вивчали вплив ППЛ на вміст клейковини в тісті, її пружність, розтяжність, гідратаційну здатність і досліджували зміну цих показників через 2 год. ферментації тіста. Вибір тривалості автолізу зумовлений тим, що контакт біополімерів тіста з ферментним комплексом досліджуваних продуктів при опарному способі тістоприготування триває близько 2 год. У досліджах готували бездріжджове тісто вологістю 43 % з пшеничного борошна I сорту без добавок і з внесенням 10 % БЛ і СЛ. Клейковину відмивали після 20 хв. відлежування і через 2 год. ферментації тіста. В досліджах використовували пшеничне борошно I сорту з середніми хлібопекарськими властивостями.

Вплив досліджуваних продуктів на кількісні та якісні показники клейковини вивчали для двох випадків. У першому випадку БЛ і СЛ під час замішування тіста вносили в сухому стані, в другому - перед замішуванням тіста борошно чи солод заварювали всією кількістю води, що йде на заміс тіста, і після охолодження до 30 °С подавали на замішування тіста. Стадія заварювання люпинових продуктів сприяє зниженню активності протеїназ добавок, що, вочевидь, позитивно відображається на стані білково-протеїназного комплексу тіста. Результати досліджень наведені у табл. 4.

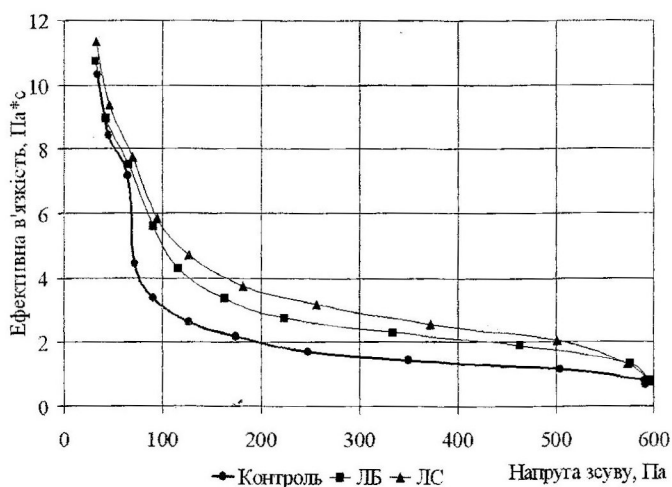
Аналіз результатів досліджень свідчить, що ППЛ знижують кількість сирової клейковини, що відмивається з тіста відразу після замішування та в кінці автолізу. Зменшення кількості сирової клейковини помітніше в разі внесення в тісто борошна з солоду насіння. Так, з тіста, в яке вносили 10 % БЛ відмилось сирової клейковини менше на 1,8 %, порівняно з контролем, а з такою ж кількістю СЛ - на 2,5 % на початку та в кінці автолізу - на 2,0 % і на 2,9 % відповідно.

Це можна пояснити неспроможністю білкових речовин ППЛ створювати клейковинний каркас тіста, а також зменшенням гідратаційної здатності клейковини в присутності ППЛ, які мають вищу водопоглинальну здатність, ніж пшеничне борошно. Клейковина, відмита з тіста з досліджуваними продуктами, була більш пружною, мала меншу розтяжність як після замішування, так і в кінці автолізу. Слід відмітити, що СЛ меншою мірою укріплює клейковину ніж БЛ, очевидно, внаслідок більш активного ферментного комплексу.

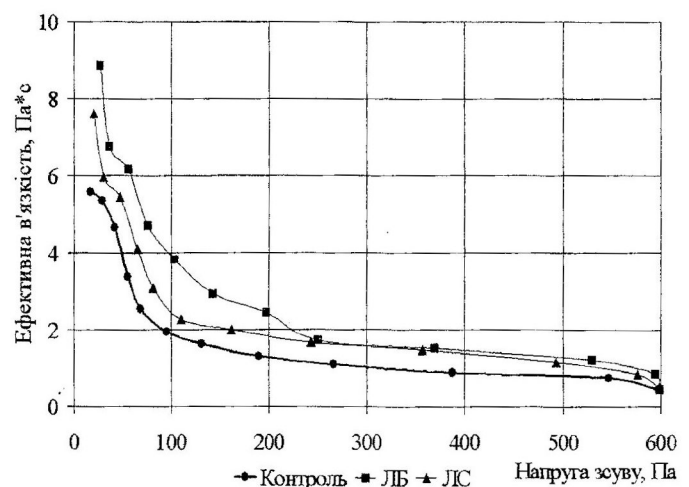
Заварювання продуктів з люпину перед замішуванням тіста дає змогу збільшити вміст сирової клейковини (порівняно з незавареними продуктами) та покращити її якість. Так, при відмиванні клейковини зі зразків тіста з завареними продуктами вихід сирової клейковини порівняно з контролем зменшився лише на 1,2 і 1,8 % на початку та на 1,3 і 2,0 % наприкінці автолізу для зразка з БЛ і СЛ відповідно.

Незначне зменшення гідратаційної здатності клейковини з завареними продуктами на початку, порівняно з незавареними, можна пояснити нестачею води для набування клейковинних білків при замішуванні тіста.

Через 2 год. автолізу відбувається перерозподіл води в тісті, внаслідок чого гідратаційна здатність клейковини для зразків із завареними продуктами збільшується, порівняно зі значенням цього показника для клейковини тіста з незавареними ППЛ, на 7,1 і 5,0 % відповідно для зразків з БЛ і СЛ. За показниками пружності й розтяжності клейковина, відмита через 2 год. автолізу, наближається до контрольного зразка.



а



б

Рис. 2. Залежність ефективної в'язкості модельних сумішей від напруги зсуву: а - після замісу; б - через 2 год. ферментації

Висновки.

1. Досліджувані продукти з люпину підвищують водопоглинальну здатність тіста, сприяють зниженню його стійкості та більшому розрідженню під кінець замішування на фаринографі, що можна пояснити активізацією ферментативного гідролізу біополімерів пшеничного борошна ферментами ППЛ.

2. Білкові речовини ППЛ, особливо дезагреговані низькомолекулярні білкові молекули солоду, здатні утворювати надвисокомолекулярні сполуки з крохмалем пшеничного борошна, що сприяє підвищенню в'язкості тіста і зменшенню його розпливання.

3. Питомий об'єм тіста зі збільшенням дозування люпинових продуктів зменшується, порівняно з цим показником для тіста без добавок. Причому зниження показника газотримання тіста відчутніше в разі внесення в нього борошна з цілого насіння.

4. Наявність продуктів з люпину в тісті зменшує відсоток клейковини в ньому як після замішування, так і через 2 год. автолізу тіста. При цьому підвищується пружність клейковини, знижується її еластичність, що зумовлено дегідратуючою дією внесених продуктів. Заварювання ППЛ перед внесенням їх у тісто дає змогу поліпшити кількісні та якісні показники клейковини, очевидно, внаслідок зменшення активності ферментного комплексу люпинових продуктів.

5. Під час розроблення раціональної технології хлібобулочних виробів з досліджуваними продуктами доцільно передбачити: підвищення вологості тіста на 1-2 %, обов'язкове заварювання борошна й солоду люпину, максимальне скорочення тривалості контакту люпинових продуктів з біополімерами пшеничного тіста (наприклад, опарний спосіб тістоприготування з внесенням ППЛ у тісто), використання поверхнево-активних речовин, ферментних препаратів в оптимальних кількостях для забезпечення гарного питомого об'єму та високих споживчих властивостей готових виробів.

Використана література.

1. Арсеньєва Л.Ю., Бондар Н.П., Головченко О.В. Використання насіння люпину для виробництва високобілкових харчових продуктів // Вісник Дон ДУЕТ. - 2003. - № 1 (17). - С. 79-83.
 2. Перспективи та безпечність використання насіння білого люпину для виробництва харчових продуктів / Г.О. Богданов, О.В. Головченко, Л.Ю. Арсеньєва, Н.П. Бондар // Вісник аграрної науки. - 2004. - № 11. - С. 57-60.
 3. Оцінка харчової цінності та безпечності використання борошна з насіння бобових /

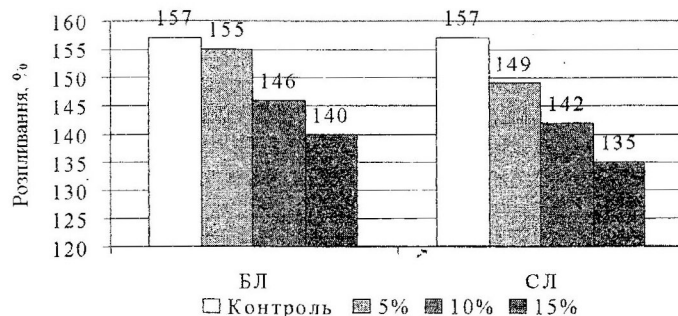


Рис. 3. Вплив ППЛ на розпливання тіста

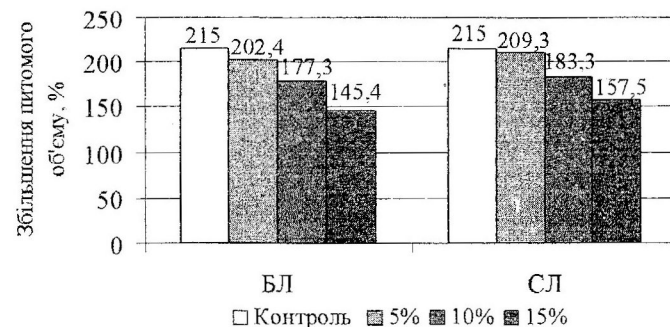


Рис. 4. Газотримуюча здатність тіста з ППЛ через 3 год. бродіння

Л.Ю. Арсеньєва, Н.П. Бондар, В.Ф. Доценко, О.В. Головченко // *Хранение и переработка зерна*. - 2004. - № 5 (59). - С. 48-50.

4. Дослідження зміни хімічного складу насіння бобових під час пророщування та екструзування / Арсеньєва Л.Ю., Бондар Н.П., Усатюк С.І., Доценко В.Ф. // *Хранение и переработка зерна*. 2007. № 11 (101). С. 49-52.

5. Ферментативна активність та хлібопекарські властивості борошна з насіння бобових культур та їх солодів / Л.Ю. Арсеньєва, О.В. Борисенко, В.М. Махинько, Н.П. Бондар, О.Л. Карнаушенко // *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства*. - 2003, випуск 22. - С. 189-195.

6. Арсеньєва Л.Ю., Бондар Н.П., Усатюк С.І. Комплексоутворювальна здатність хліба з продуктами переробки люпину // *Хранение и переработка зерна*. - 2005. - № 6 (72). - С. 56-58.

7. Елецкий И.К. О теории производства хлебных изделий. - М.: Хлебопекарная и кондитерская промышленность. - 1990. - С. 34-36.

8. Пищевая химия / А.П. Нечаев, С.Е. Траубенберг, А.А. Кочеткова и др. // Под ред. А.П. Нечаева. - СПб.: ГИОРД, 2003. - 640 с.

9. Склад і перетравлюваність білкових речовин продуктів перероблення бобових / Л.Ю. Арсеньєва, О.В. Борисенко, Н.П. Бондар, В.М. Махинько, Б.І. Хіврич, В.Ф. Доценко // *Наукові праці національного університету харчових технологій*. - 2004. - № 15. - С. 51-54.