

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ КАПІЛЯРНОГО ПРОСОЧУВАННЯ МУКИ З НАСІННЯ БОБОВИХ КУЛЬТУР

Визначені методом капілярного просочування гідрофільні властивості муки з насіння бобових культур та досліджено механізм поглинання мукам води. Встановлено, що кінетика капілярного просочування різних видів муки обумовлена утворенням двох типів пор між частинками дисперсії муки та пов'язана з його гранулометричним складом.

Ключові слова: мука із солоду гороху, мука з люпину, гідрофільні властивості муки, дисперсність, кінетика просочування, набухання.

В Україні в останній час багато уваги приділяється виробництву харчових продуктів підвищеної біологічної цінності. При їх виготовленні застосовуються різні високобілкові добавки рослинного походження, зокрема, мука з солоду гороху, харчового люпину, соєва мука, що запропоновані в УДУХТ для виготовлення нових видів макаронних виробів (1).

Для обґрунтування оптимальних параметрів технологічних процесів замішування та пресування макаронного тіста з цими добавками корисно мати знання про їх гідрофільні властивості, які визначають за допомогою низки методів. Серед них перспективним та мало дослідженим є метод капілярного просочування, який застосовувався нами для вивчення властивостей дисперсій пшеничної муки та її сумішей з добавками і здійснювався шляхом просочування їх полярною (водою) та неполярною (деканом) рідинями.

Сутність явища капілярного просочування

полягає в утворенні крайового кута змочування Θ на межі розділу фаз, що приводить до підняття або опускання рідини в капілярах твердого тіла в залежності від сили взаємодії дисперсної фази та дисперсійного середовища. У випадку гідрофільних дисперсних матеріалів, до яких відноситься більша частина харчових речовин, при їх контакті з водою крайовий кут змочування близький до нуля, тобто відбувається повне змочування поверхні. Внаслідок цього вода в капілярах буде підніматися до рівня встановлення рівноваги між капілярними силами та земним тяжінням, що визначається радіусом капілярів та поверхневим натягом на межі розділу фаз.

Кінетика встановлення рівноваги або явища просочування описується складними нелінійними диференціальними рівняннями (2). За деякими припущеннями (розглядається початкова стадія процесу просочування, коли висота підняття рідини в капілярі значно менша рівноважного рівня, динамічний крайовий кут змочування близький до 0). Залежність висоти підняття рідини в капілярах x від часу τ описується рівнянням (3):

$$x = \sqrt{\frac{\sigma R \tau}{2\eta}}$$

де σ - поверхневий натяг, кДж/м²,

R - радіус капіляру, м,

η - густина дисперсійного середовища, Па·с.

На відміну від муки з люпину та муки із солоду гороху поглинання води пшеничною мукою припиняється за перші 10хв. процесу, а кількість поглиненої води незначна і складає $0,3\text{см}^3/\text{г}$ (рис.2.1). Таку поведінку пшеничної муки можна пояснити високою швидкістю її набухання, що відбувається паралельно з просочуванням. У цьому випадку швидке набухання матеріалу приводить до утворення гелеподібного шару на межі дисперсії з рідиною, що ускладнює осмотичне поглинання води в порах по всьому об'єму зразка. Чим сильніше набухає дисперсія, тим швидше утворюється водонепроникний шар, який перешкоджає подальшому просочуванню рідини. Ці міркування підтверджуються експериментами по дослідженню просочування муки гідрофобною рідиною (деканом), що наведені нижче.

Оскільки поверхнєве натягнення залишається однаковим для різних пор, двохступеневу кінетику

просочування муки з люпину та із солоду гороху водою (рис. 2,2 та 3) можна пояснити, згідно з рівнянням (1), існуванням у дисперсіях цих речовин двох типів пор різного розміру. Для підтвердження такого припущення методом лазерної гранулометрії на приладі "Mastersizer" та шляхом розсіювання на системі сит вивчали диференційні та інтегральні криві розподілу частинок дисперсій муки за розмірами (рис. 3). На диференційних кривих розподілення можна виділити 2 основних максимуми, що знаходяться в діапазонах 100-200мкм та 10-20мкм і відповідають найбільш ймовірним розмірам частинок в дисперсії. На диференційних кривих розподілення частинок (рис. 3) можна також відзначити незначну фракцію частинок з розміром 1-2мкм, що мабуть відносяться до пилу зруйнованого крохмалю та інших інгредієнтів, які присутні в муці.

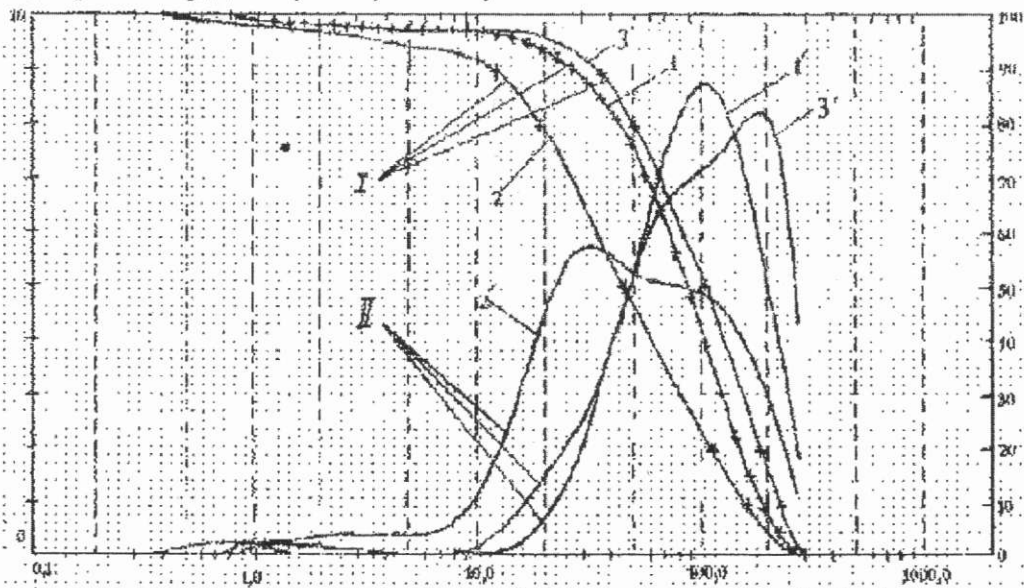


Рис. 3. Інтегральні (I) та диференційні (II) криві розподілу частинок муки за розмірами: 1, 1' – хлібопекарська мука; 2, 2' – мука із солоду гороху; 3, 3' – мука з люпину.

Розміри та форма частинок у дисперсії визначають розміри пор, що утворюються між цими частинками. Отже, на основі проведеного дисперсійного аналізу можна зробити висновок про існування двох типів пор різного розміру в дисперсіях досліджуваних зразків муки. За рівнянням (1), відношення розмірів пор повинно відповідати відношенню швидкостей просочування в степені $1/2$. В дійсності, розрахунки показують, що, наприклад, відношення розмірів пор для муки з люпину, яке відповідає відношенню розмірів частинок дисперсії, складає $200\text{мкм}/60\text{мкм}=3,3$ (рис 3, 4). Швидкості просочування для цієї муки в першому та другому періодах складають відповідно $V_1=4\cdot 10^{-2}\text{см}^3/\text{с}^{1/2}$ та $V_2=2,2\cdot 10^{-2}\text{см}^3/\text{с}^{1/2}$ (рис.2,3), а $V_1/V_2=1,84$, що відповідає відношенню розмірів пор 3,5. Для муки з солоду гороху спостерігається така ж відповідність.

Отже, двоступеневий процес поглинання води

дисперсіями муки пояснюється різною швидкістю просочування двох типів пор, що існують в муці. За перші 3-5хв. у крупних порах дисперсії поглинається приблизно 30%, а через 2-3 год. решта води в порах меншого розміру.

Дослідження процесів поглинання мукою неполярної рідини октану (рис. 4) виявили досить сильні гідрофобні взаємодії цієї речовини з поверхнею частинок муки. На початку процесу спостерігається інтенсивне поглинання октану, яке послаблюється на другій стадії. Швидкість поглинання октану на першій стадії більша, а на другій - значно менша, ніж для води. Кількість поглиненої дисперсіями муки з люпину та із солоду гороху рідини приблизно однакова на першій стадії процесу, а на другій октану поглинається значно менше, ніж води. Як і у випадку з поглинанням води мука з люпину поглинає більше октану, ніж мука із солоду гороху.

Як слідує з цього рівняння, при сталих значеннях поверхневого натягу та розміру капілярів швидкість просочування, що визначається як

$$v = \frac{x}{\sqrt{\tau}}, \text{ є також сталою величиною}$$

Будь-яка полідисперсна система, до яких відносяться харчові продукти, містить у собі низку капілярів з певним розподілом їх за розмірами. Тому експериментально при дослідженні явища просочування буде спостерігатися усереднена картина зміщення фронту рідини, що змочує дисперсію. Слід окремо зазначити, що у випадку таких лабільних структур, якими є дисперсії харчових речовин, аналіз явища просочування значно ускладнюється тим, що у цьому процесі радіус капілярів може суттєво змінюватися внаслідок набухання матеріалу. Таким чином, вивчення явища просочування дає можливість отримувати інформацію про розміри капілярів дисперсних систем та їх зміну при взаємодії з різними рідинами.

Дослідження по просочуванню муки проводили за методикою (4). Нижню частину приладу (U-подібна склянка, рис. 1) заповнювали рідиною так, щоб її меніск у вимірювальному горизонтальному капілярі знаходився на нульовій позначці, тобто щоб капіляр був повністю заповнений рідиною і знаходився на рівні рідини в робочому циліндрі. Потім верхній циліндр, заповнений дисперсією, приводили в контакт з рідиною. По мірі поглинання рідини дисперсією об'єм робочої рідини зменшується, що фіксується зміщенням меніску у вимірювальному капілярі.

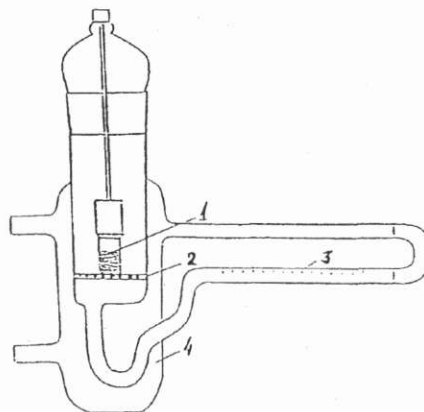


Рис. 1. Схема приладу для дослідження процесів замочування та просочування дисперсій:

1 – циліндр з дисперсією; 2 – скляна перегородка; 3 – вимірювальний капіляр; 4 – термостатична камера.

Результати капілярного просочування пшеничної муки, муки із солоду гороху та муки з люпину водою наведено на рис. 2. Видно, що криві капілярного підняття є складними. Процес поглинання води можна поділити на дві стадії: швидку та повільну. Спочатку рідина відносно швидко поглинається цими системами. Після 3–5хв. процесу швидкість просочування зменшується, а після 2–3 годин поглинання води мукою практично припиняється. Для кожного виду муки ці терміни, а також кількість води, яку поглинули капіляри, відрізняються.

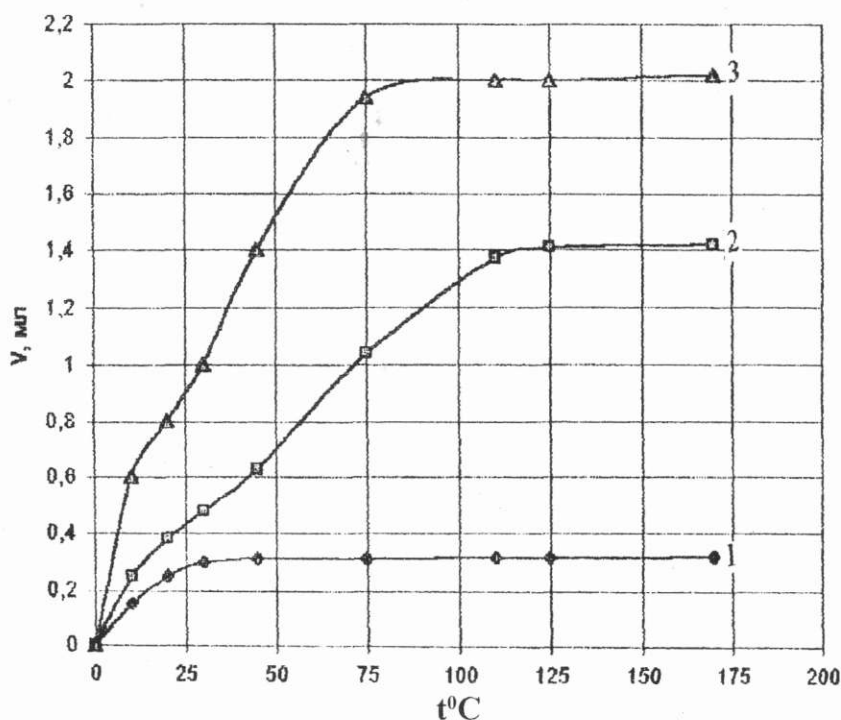


Рис. 2. Кінетичні криві просочування водою пшеничної муки (1), муки із солоду гороху (2), муки з люпину (3).

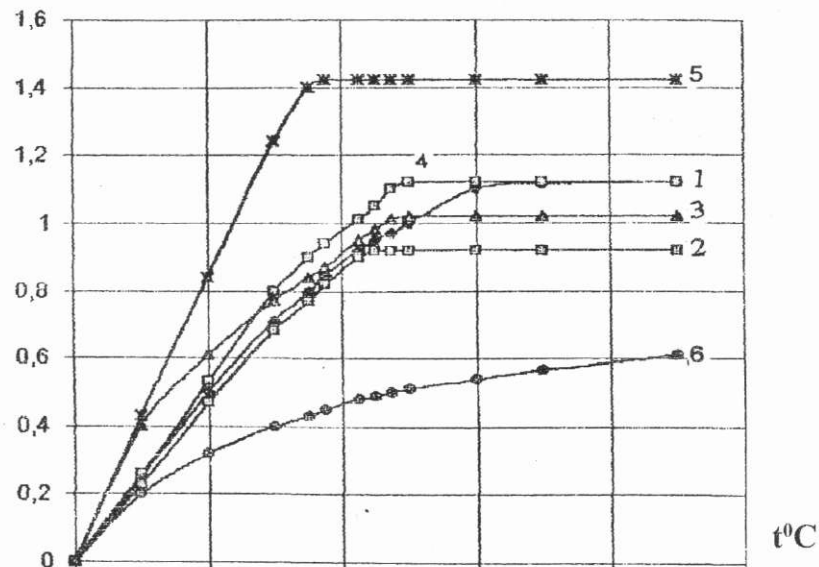


Рис. 5. Кінетичні криві просочування октаном дисперсій муки із солоду гороху (6) та пшеничної муки з добавками муки із солоду гороху, %: 0 (1), 2 (2), 4 (3), 6 (4), 10 (5).

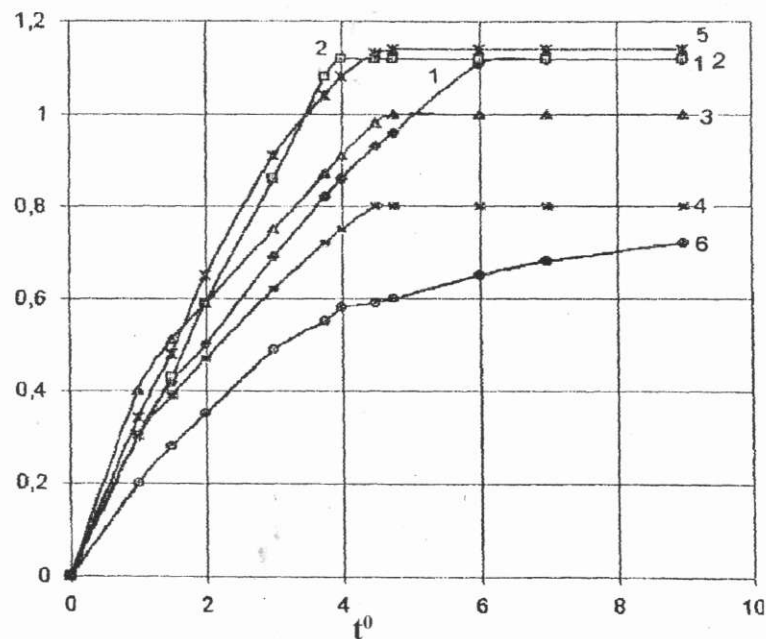


Рис. 6. Кінетичні криві просочування октаном дисперсій муки з люпину (6) та пшеничної муки з добавками муки з люпину, %: 0 (1), 2 (2), 4 (3), 6 (4), 10 (5).

Відмінна закономірність у кінетиці просочування октаном спостерігається при додаванні до пшеничної муки з люпину в кількості 2–6% (рис. 6). Швидкість просочування та об'єм поглинутої рідини дещо зменшуються при збільшенні вмісту муки з люпину до 4%. Тільки при додаванні 10% муки з люпину спостерігається збільшення об'єму поглинутої рідини та швидкості просочування. Тут також можна говорити про зміну пористої структури сумішей муки внаслідок змішування муки різної дисперсності.

Таким чином, дослідження процесів просочування водою та октаном муки з насіння бобових культур та його гранулометричного складу дозволили виявити два типи пор різного розміру, що утворилися між частинками дисперсії внаслідок помелу і впливають на закономірності

та терміни самочинного заповнення пор рідинами, що дуже важливо при розробленні технології замішування макаронного тіста. Треба також зазначити, що в дисперсіях муки, що вивчалися, існують пори значно менших розмірів, які заповнені адсорбованою при нормальних умовах водою (вологість вихідної муки складає 12–15%). Отримані результати добре узгоджуються з результатами проведених нами досліджень ізотермічного вакуумного видалення вологи з муки (6). Запропонована методика визначення пористості муки дозволяє зробити висновки про вплив різних харчових добавок на його пористу структуру і має значення для встановлення механізму дії цих добавок на процеси утворення тіста.

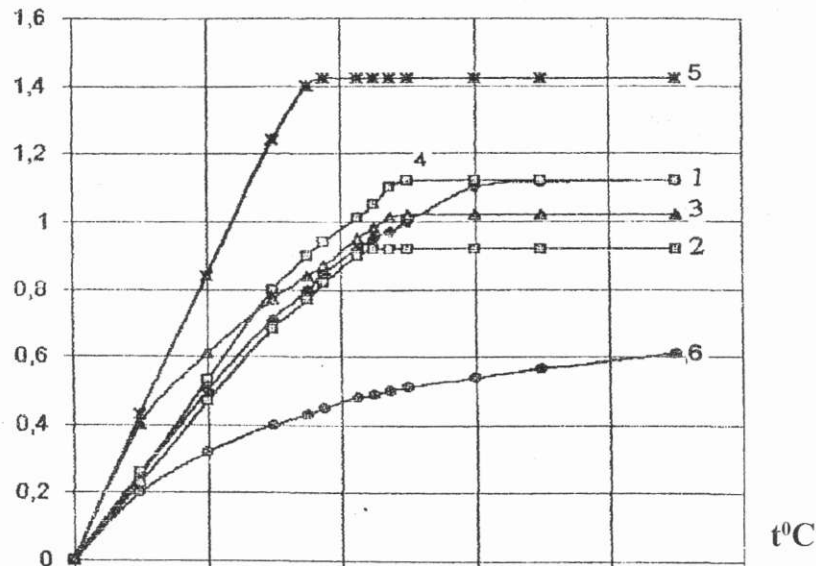


Рис. 5. Кінетичні криві просочування октаном дисперсій муки із солоду гороху (6) та пшеничної муки з добавками муки із солоду гороху, %: 0 (1), 2 (2), 4 (3), 6 (4), 10 (5).

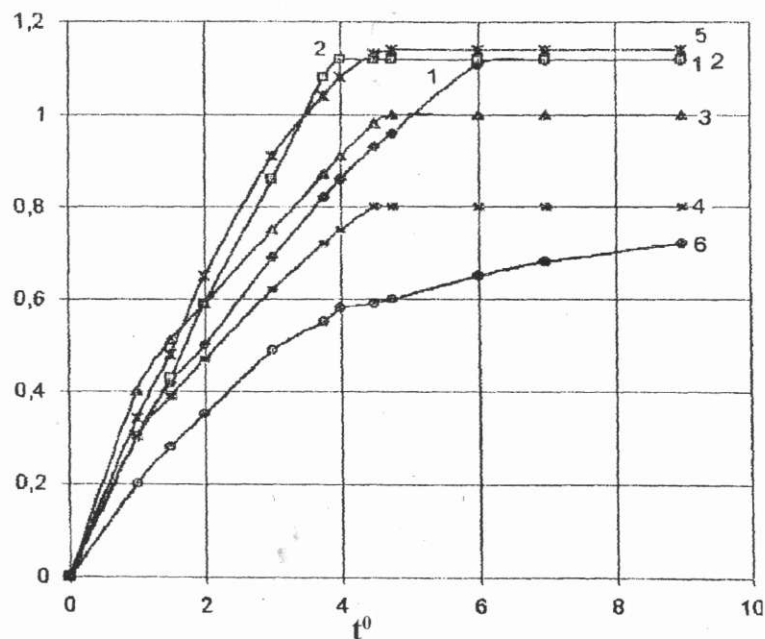


Рис. 6. Кінетичні криві просочування октаном дисперсій муки з люпину (6) та пшеничної муки з добавками муки з люпину, %: 0 (1), 2 (2), 4 (3), 6 (4), 10 (5).

Відмінна закономірність у кінетиці просочування октаном спостерігається при додаванні до пшеничної муки з люпину в кількості 2–6% (рис. 6). Швидкість просочування та об'єм поглинутої рідини дещо зменшуються при збільшенні вмісту муки з люпину до 4%. Тільки при додаванні 10% муки з люпину спостерігається збільшення об'єму поглинутої рідини та швидкості просочування. Тут також можна говорити про зміну пористої структури сумішей муки внаслідок змішування муки різної дисперсності.

Таким чином, дослідження процесів просочування водою та октаном муки з насіння бобових культур та його гранулометричного складу дозволили виявити два типи пор різного розміру, що утворилися між частинками дисперсії внаслідок помелу і впливають на закономірності

та терміни самочинного заповнення пор рідинами, що дуже важливо при розробленні технології замішування макаронного тіста. Треба також зазначити, що в дисперсіях муки, що вивчалися, існують пори значно менших розмірів, які заповнені адсорбованою при нормальних умовах водою (вологість вихідної муки складає 12–15%). Отримані результати добре узгоджуються з результатами проведених нами досліджень ізотермічного вакуумного видалення вологи з муки (6). Запропонована методика визначення пористості муки дозволяє зробити висновки про вплив різних харчових добавок на його пористу структуру і має значення для встановлення механізму дії цих добавок на процеси утворення тіста.