УДК 664.87

RESEARCH OF MOISTURE CONTENT IN FORMED POTATO CHIPS

A. Kovtun, V. Kovbasa, K. Soloschenko, V. Soloschenko
National University of Food Technologies
O. Baldyniuk
Association "Ukrkondprom"

Key words:
Chips
Potato cereals
Bran
Pumpkin seed cake
Humidity

Article history:
Received 19.09.2019
Received in revised form 01.10.2019
Accepted 16.10.2019

Corresponding author:
V. Kovbasa
E-mail:
hlib@i.ua

ABSTRACT

The paper presents the study of the moisture content in formed potato chips by the method of dynamic thermogravimetry, since it allows to make simultaneously measurements of the temperature of the test samples (T), measurements of their mass (TG), rate of change of mass (DTG), enthalpy changes (DTA).

Thermogravimetry (TG) is a method of thermal analysis in which mass change depending on temperature is recorded. The TG curve gives information about the thermal stability and composition of the sample in the initial state, formed at intermediate stages of the process, and the composition of the residue, if it is presented. This method will be effective only if the sample releases volatiles as a result of various physical and chemical processes.

The method of differential thermal analysis is based on a comparison of the properties of the sample of the test substance and thermally inert substance, taken as a standard. The recording parameter is the difference in their temperatures, measured when the sample is heated or cooled at a constant speed, which can be represented as a function of the sample or reference temperature. Changes in the sample temperature are caused by physical transitions or chemical reactions associated with enthalpy changes. They include: phase transitions, melting, restructuring of the crystalline structure, boiling, sublimation and evaporation, reactions of dehydration, dissociation and decomposition, oxidation and reduction, destruction of the crystal lattice, etc. These transformations are accompanied by heat absorption or release. In general, phase transitions, dehydration, reduction, and some decomposition reactions are accompanied by endothermic effects, and crystallization, oxidation, and certain decomposition processes are accompanied by exothermic effects.

Formed potato chips were developed using potato cereals, rye, barley and pumpkin seeds. The dough-like mass was formed and baked-dried at a temperature of 135—140°C during 3.5—4.5 minutes. Moisture study were performed immediately after production.

DOI: 10.24263/2225-2924-2019-25-5-28

ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ ВОЛОГИ У ФОРМОВАНИХ КАРТОПЛЯНИХ ЧИПСАХ

А. В. Ковтун, В. М. Ковбаса, К. В. Солошенко, В. Ю. Солошенко
Національний університет харчових технологій
О. В. Балдинюк
Асоціація «Укркондпром»

У статті досліджено вмісту вологи у формованих картопляних чипсах методом динамічної термогравіметрії, оскільки вона дає змогу робити водночас виміри температури випробуваних зразків (Т), виміри їх маси (ТГ), швидкості зміни маси (ДТГ), зміни ентальпії (ДТА).

Термогравіметрія (ТГ) — метод термічного аналізу, при якому реєструється зміна маси залежно від температури. ТГ-крива дає інформацію про термостабільність і склад зразка в початковому стані, що утворюються на проміжних стадіях перебігу процесу. Цей метод буде ефективним лише за умови, що зразок виділяє леткі речовини в результаті різних фізичних і хімічних процесів.

Метод диференціального термічного аналізу заснований на порівнянні властивостей зразка досліджуваної речовини і термічно інертної речовини, прийнятої за еталон. Реєструючим параметром служить різниця їхніх температур, вимірювана при нагріванні чи охолодженні зразка з постійною швидкістю, що може бути представлена у вигляді функції температури зразка чи еталона. Зміна температури зразка викликається фізичними переходами чи хімічними реакціями пов'язаними зі змінами ентальпії. До них відносяться: фазові переходи, плавлення, перебудова кристалічної структури, кипіння, сублімація і випаровування, реакції дегідратації, дисоціації і розкладання, окислювання і відновлення, руйнування кристалічних ґрат тощо. Ці перетворення супроводжуються поглинанням чи виділенням тепла. У загальному випадку фазові переходи, дегідратація, відновлення і деякі реакції розкладання супроводжуються ендотермічними ефектами, а кристалізація, окислювання й окремі процеси розкладання — екзотермічними ефектами.

Формовані картопляні чипси розробляли з використанням картопляної крупки, висівок жита, ячменя та жмиху гарбузового насіння. Тістоподібну масу формували та випікали–висушували при температурі 135—140°С, протягом 3,5-4,5 хв. Дослідження вологи проводили відразу після виробництва.

Ключові слова: *чипси, картопляна крупка, висівки, жмих гарбузового насіння, вологість.*

Постановка проблеми. Основним завданням під час зберігання формованих картопляних чипсів є збереження їх якості протягом усього періоду. Одним із показників, що впливає на термін зберігання готових чипсів, є відносна вологість повітря, а також масова частка вологи. Відомо, що при

взаємодії формованих картопляних чипсів з повітрям відбуваються процеси, внаслідок яких змінюються їх показники якості, насамперед органолептичні (смак, запах), підвищується кислотність, а також збільшується пероксидне число, що призводить до утворення вторинних продуктів розпаду жирів. Тому важливим завданням є дослідження вмісту вільної та зв'язаної вологи в самих чипсах, оскільки їх співвідношення суттєво впливає на термін зберігання формованих картопляних чипсів [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що формовані картопляні чипси обсмажуються в фритюрній олії і мають термін зберігання до трьох місяців при відносній вологості повітря 75%. Формовані картопляні чипси, окрім фритюрного жиру містять також крохмаль, тому при надмірному їх споживанні виникає ризик шлунково-кишкових, серцево-судинних захворювань, тощо. Нині науковці інтенсивно працюють над можливістю зниження кількості жиру, крохмалю, але при цьому прагнуть продовжити термін зберігання формованих картопляних чипсів. Отож дослідні зразки формованих картопляних чіпсів випікали–висушували за запропонованою технологією без фритюрної олії. Відповідно до розробленої рецептури частину картопляної крупки замінено на висівки та жмих. Співвідношення картопляної крупки до висівок жита, ячменю, жмиху гарбузового насіння обрано як (4:1), оскільки таке дозування забезпечує задовільні органолептичні, структурно-механічні та фізико-хімічні показники готових виробів [1].

Метою дослідження є дослідження вмісту вільної та зв'язаної вологи термогравіметричним методом у готових формованих картопляних чіпсах та її впливу на термін зберігання готових формованих картопляних чіпсів.

Матеріали і методи. Експерементальні дослідження проводили на приладі дереватограф Q-1500 D. Принципова схема дериватографа системи Paulik-Paulik-Erdey Q-1500 D зображена на рис. 1.

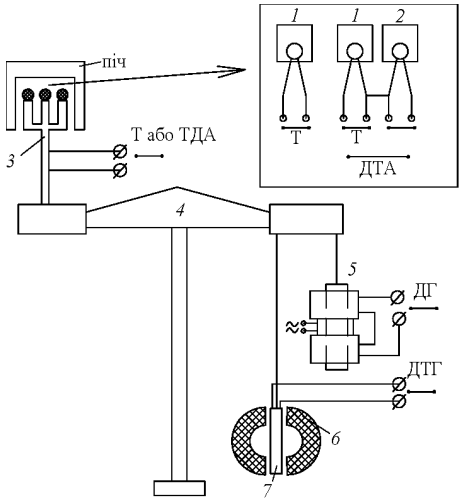

Рис.1. Принципова схема дериватографа Q-1500 D:
1 — тигель зі зразком; 2 — тигель з еталоном; 3 — керамічна трубка; 4 — термоваги; 5 — диференціальний трансформатор; 6 — магніт; 7 — котушка

Прилад оснащений аналітичними термовагами (4) на одному коромислі, до яких прикріплений керамічний утримувач (3) для зразків і еталона. На утримувачі розміщені три термопари. На дві термопари поміщали тиглі із зразками (1), а на третю — тигель з еталонною речовиною (2). Прилад може працювати в двох режимах: режим проведення простої термометрії і режим проведення диференціальної термометрії. У першому випадку використовується одна проста термопара, на якій розміщений тигель зі зразком. У другому — диференціальна термопара, що складається з двох простих термопар, підключених однойменними полюсами один до одного. На одній з них розміщується тигель зі зразком, на іншій — з еталонною речовиною. Вибір одного з режимів зйомки здійснюється за допомогою перемикача, розташованого на передній панелі приладу.

На іншому коромислі ваг розміщені два пристрої, за допомогою яких вимірюють втрату ваги і швидкість втрати ваги зразка. Принцип роботи цих пристроїв заснований на явищі магнітної індукції.

Для вимірювання втрати ваги використовують диференційний трансформатор (5), який характеризується високою чутливістю і точністю вимірювання. Він перетворює рух плеча ваг в електричний сигнал, який фіксується реєструючим пристроєм.

Крива ДТГ виходить за допомогою пристосування, що складається з постійного магніту (6) та індукційної котушки (7). Під час зміни маси зразка в котушці виникає індукційний струм, величина якого пропорційна швидкості зміни маси.

Сигнали від термопар, диференціального трансформатора та індукційної котушки подаються через підсилювач на ДТГ. Таким чином на моніторі комп'ютера одночасно відображаються криві простого (Т) і диференціального термічного (ДТА) аналізів, крива втрати маси (ТГ) і крива швидкості втрати маси (ДТГ) [3; 4].

Результати і обговорення. Під час проведення досліджень було обрано чотири зразки формованих картопляних чіпсів:

№ 1 — формовані картопляні чипси (контроль);

№ 2 — формовані картопляні чипси з висівками жита;

№ 3 — формовані картопляні чипси з висівками ячміня;

№ 4 — формовані картопляні чипси зі жмихом гарбузового насіння.

Готові зразки досліджували за термогравіметричним і диференціально-термічним аналізом. Були отримані температурні залежності ТГ, ДТГ та ДТА для досліджуваних зразків (рис. 2—5).

При нагріванні зразка формованих картопляних чипсів контроль (зразок № 1) відбувається втрата маси на $\Delta m = 8{,}5\%$, яка супроводжується ендотермічними піками на залежності DTA при $t_1 = 114°C$ та $t_2 = 150°C$. Саме в цих температурних діапазонах починає інтенсивно випаровуватися волога, оскільки сировина містить в собі до 80% крохмалю, який за своєю природою має кристалічну структуру і може легко віддавати вологу.

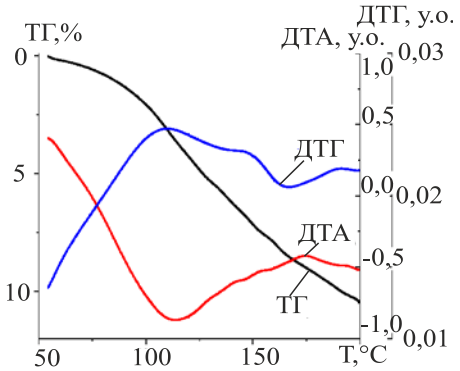

Рис. 2. Температурні залежності втрати маси ТГ, диференціально-термічного аналізу ДТА та похідної від втрати маси ДТГ для зразка № 1

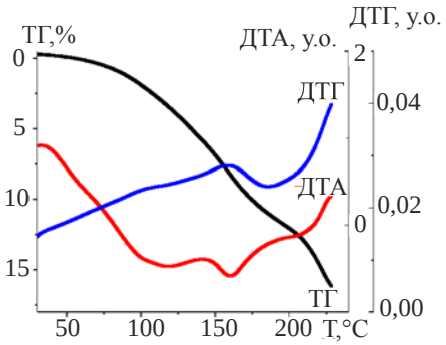

Рис. 3. Температурні залежності втрати маси ТГ, диференціально-термічного аналізу ДТА та похідної від втрати маси ДТГ для зразка № 2

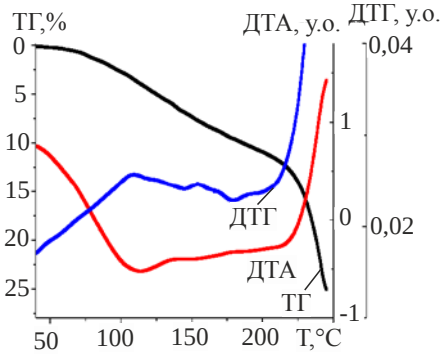

Рис. 4. Температурні залежності втрати маси ТГ, диференціально-термічного аналізу ДТА та похідної від втрати маси ДТГ для зразка № 3

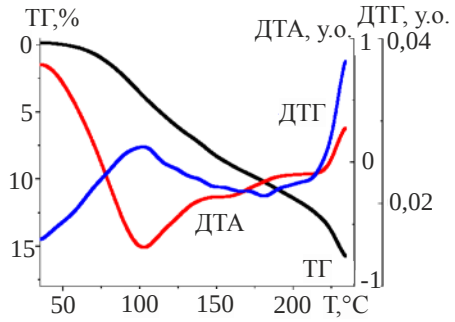

Рис. 5. Температурні залежності втрати маси ТГ, диференціально-термічного аналізу ДТА та похідної від втрати маси ДТГ для зразка № 4

При зростанні температури до $t_3 = 170°C$ в зразку починає відбуватися термоокислювальна деструкція, під час якої продукт згорає та розпадається на молекулярні частинки різної природи (рис. 5). При нагріванні зразка формованих картопляних чипсів з висівками жита (зразок № 2) відбувається втрата маси на $\Delta m = 11{,}5\%$, яка супроводжується виділенням тепла й утворенням піків на залежності DTA при $t_1 = 119°C$ та $t_2 = 160°C$. Якщо порівняти з контрольним зразком № 1, у зразку № 2 втрачається на 35% більше вологи. Очевидно це пов'язано з більшими розмірами фракцій висівок жита порівняно з картопляною крупкою, а також з їх здатністю утворювати грубіші макропори, крізь які легше випаровуватиметься вода під час термічного оброблення. При зростанні температури до $t_3 = 186°C$, як і в попередньому зразку, починає відбуватися термоокислювальна деструкція (рис. 3). При нагріванні формованих картопляних чіпсів з висівками ячменю (зразок № 3) відбувається втрата маси на $\Delta m = 9{,}6\%$, DTA при $t_1 = 113°C$ та

t_2 = 159°C. Якщо порівняти з контрольним зразком № 1, втрата маси у зразку № 3 більша на 13%. Це пояснюється тим, що в структурі ячмінних висівок міститься менша кількість борошнистих частинок, а більше харчових волокон, які здатні добре віддавати вологу. На відміну від контрольного зразка № 1 термоокислювальна деструкція в зразку № 3 відбувається при вищій температурі t_3 = 179°C (рис. 4).

У формованих картопляних чипсах зі жмихом гарбузового насіння (зразок № 4) під час нагрівання відбувається втрата маси на Δm = 10,3% на залежності DTA при t_1 = 103°C та t_2 = 152°C. Порівняно з контрольним зразком № 1 втрата вологи в зразку № 4 більша на 21%. Імовірно, це пояснюється різницею хімічного складу сировини, адже в жмисі гарбузового насіння міститься більше харчових волокон, переважна кількість яких є нерозчинна, а також до 21% білків, які збалансовані за амінокислотним складом. У контрольному зразку переважає частково клейстеризований крохмаль. Отже, за рахунок переважної кількості харчових волокон, які мають грубіші капілярні стінки зернових частинок, води в зразку № 4 буде випаровуватися більше, ніж у зразку № 1. При зростанні температури до t_3 = 182°C чипси зазнають термоокислювальної деструкції (рис. 5).

У табл. 1 представлено зведені відомості щодо вмісту вологи досліджуваних зразків.

Таблиця 1. **Вміст вологи в готових зразках формованих картопляних чіпсів**

№	1	2	3	4
m, %	8,5	11,0	9,6	10,3

З отриманих відносних втрат маси для досліджуваних зразків (табл. 1) видно, що вміст вологи в досліджуваних зразках різний. Найбільша кількість вологи (11,0%) зафіксована в зразках формованих картопляних чипсів з висівками жита. Очевидно, це пов'язано з тим, що в житі міститься значна частина водорозчинних харчових волокон, крохмалю та білка, які здатні за певних умов утримувати вологу.

Як уже зазначалось, втрата маси зразками супроводжується появою ендотермічних піків на температурних залежностях ДТА (рис. 2—5). Ендотермічні піки пов'язані з фазовими переходами I роду — випаровуванням. Тобто в досліджуваних зразках формованих картопляних чіпсів при нагріванні відбувається випаровування вологи в температурному діапазоні від 110—160°C. Підвищення температури випаровування (порівняно з температурою кипіння води) можна пов'язати з тим, що більша частина води в досліджуваних зразках знаходиться у зв'язаному стані (в гідратній оболонці) [2; 3].

Якщо припустити, що втрата маси в досліджуваних зразках формованих картопляних чипсів пов'язана з випаровуванням вологи, яка знаходиться в різних станах, то можна розділити залежність ДТГ на піки за допомогою розподілу Гауса (рис. 6).

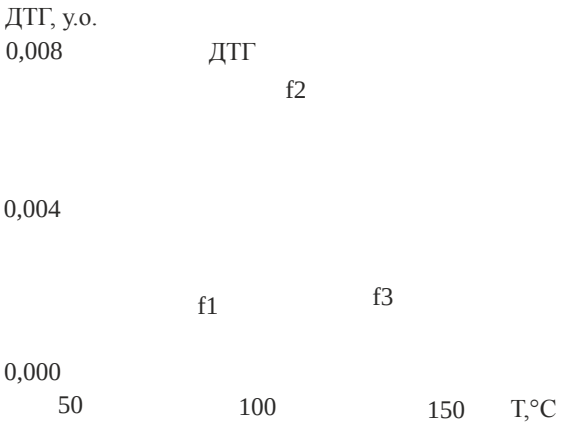

Рис. 6. Апроксимація залежності ДТГ для зразка № 2 (формовані картопляні чипси з висівками жита) за допомогою розподілу Гауса трьома піками

Залежність ДТГ оптимально можна описати трьома піками з максимумами при температурах $t_1 = 80°C$, $t_2 = 110°C$ та $t_3 = 150°C$ (рис. 6).

Перший пік (f_1) пов'язаний з випаровуванням вологи фізико-механічного зв'язку — капілярної і стикової, яка не видаляється при такому факторі поділу, оскільки знаходиться у грубих макропорах, другий (f_2) та третій (f_3) піки пов'язані з випаровуванням вологи фізико-хімічного зв'язку — вологи полімолекулярних і мономолекулярних гідратних шарів. Вода в гідратній оболонці пов'язана з біомолекулами водневими зв'язками, які при нагріванні розриваються [3].

У табл. 2, 3 представлений загальний та масово відсотковий розподіл вологи в досліджуваних зразках формованих картопляних чіпсів. Більше зв'язаної вологи в зразках № 2 та № 4, потім у № 1 та № 3. Найбільше вільної вологи у зразку № 4, тому саме він буде втрачати її найбільше при зберіганні.

Таблиця 2. **Вміст вільної (1) та зв'язаної вологи (2) в досліджуваних зразках від усієї вологи**

№ зразка	1 %	2 %	m %
№ 1	9	91	8,5
№ 2	9	91	11,0
№ 3	19	81	9,6
№ 4	18	82	10,3

Для розрахунку вмісту вологи від усієї маси зразка врахуємо дані табл. 1.

Методи розрахунку кінетичних параметрів процесу дегідратації, таких як енергія активації (E) та передекспоненційний фактор (k_0), описані в [5; 6]. При дослідженні зразків температура змінювалась за лінійним законом. Кінетичне рівняння процесу десорбції записане як:

$$d\Theta/dt = -k\Theta^n; \qquad k = (-d\Theta/dt)/\Theta^n. \qquad (1)$$

На основі отриманих значень вільної та зв'язаної вологи знаходимо енергію активації для дослідних зразків.

Таблиця 3. **Масово відсотковий вміст вільної (1) та зв'язаної вологи (2) в досліджуваних зразках від загальної маси зразка**

№ зразка	1 %	2 %
№ 1	0,8	7,7
№ 2	1,0	10,0
№ 3	1,8	7,8
№ 4	1,9	8,4

Таблиця 4. **Енергія активації (E) та передекспоненційний фактор (k_0) для досліджуваних зразків**

№ зразка	1	2	3	4
k_0	36	25	38	40
$E, \frac{кДж}{моль}$	129	95	136	137

З отриманих даних табл. 4 видно, що енергія активації, а також предекспоненційний фактор найнижчий у зразку № 2 (формованих картопляних чипсів з висівками жита) порівно з іншими зразками. Тож можна стверджувати, що енергія зв'язку адсорбційно зв'язаної вологи залежить від початкового хімічного складу та структури сировини. Також розраховано енергію активації, вона найвища у зразку № 4 (формовані картопляні чипси зі жмихом гарбузового насіння). Очевидно, це пов'язано з хімічним складом сировини, а також з ускладненим процесом вивільнення молекул капілярно зв'язаної вологи.

Висновки

З проведених термогравіметричого та диференціально-термічного досліджень встановлено, що в зразках формованих картопляних чіпсів з висівками жита, ячменю та жмиху гарбузового насіння міститься переважна кількість вологи у зв'язаному стані. Встановлено, що у формованих картопляних чіпсах із жмихом гарбузового насіння (зразок № 4) міститься найбільша кількість капілярно зв'язаної вологи, яка дасть змогу збільшити термін зберігання чіпсів, а у формованих картопляних чіпсах з висівками жита (зразок № 2) переважає вміст вільної вологи, тому саме цей зразок втрачатиме найбільшу кількість вологи в період зберігання.

Отже, проведені дослідження дають чітку можливість спрогнозувати, які зразки формованих картопляних чіпсів матимуть найдовший термін зберігання і при цьому втрачатимуть найменшу кількість вологи. Розраховано значення енергії активації молекул води для всіх зразків, переважна кількість молекул води знаходиться в гідратній оболонці (зв'язаному стані).

Література

1. Сирохман І. В. Завгородня М. В. Товарознавство харчових продуктів функціонального призначення: навч. посіб. К.: Центр учбової літератури, 2009. 544 с.

2. Influence of Water on the Structure and Dielectric Properties of the Microcrystalline and Nano-Kovalov etal. Nanoscale Research Letters (2017) 12:468 DOI 10.1186/s11671-017-2231-5

3. Pichkur V., Lazarenko M., Alekseev O., Kovbasa V., Lazarenko M. (2015). Thermogravimetric research of the extruded and native types of starch. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(6 (73)). С. 52—56.

4. Півоваров О. А. Дериватографічні дослідження тіста приготовленого з використанням плазмохімічно активованих водних розчинів. *Харчова наука і технологія.* 2011. № 3 (16). С. 69—72.

5. Остриков А. Н., Чайкин А. Н., Кунецова И. В. Определение форм связи влаги в перце методом дифференциального термического анали за. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология.* 2005. № 1. С. 94—95.

6. Дослідження процесу плавлення сирної пасти за допомогою дериватографа Q-1000 / Ф. В. Перцева, П. В. Гурський, А. Л. Фощан, Л. О. Чуйко. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства та торгівлі*: збірник наукових праць ХДУХТ. 2005. Вип. 2. С. 35—41.