

**Б.І. ВЕРБИЦЬКИЙ,  
Ю.П. ЛУЦИК,  
Т.М. ЛЕВКІВСЬКА**

*Національний університет харчових технологій*

## МІКРОПОРОВА СТРУКТУРА МОРКВИ

В статті наведені визначені для моркви об'єм мікропор, інтегральні та диференціальні криві розподілу мікропор за радіусами, ефективний радіус пор, питома поверхня. Показано їх вплив на процес сушіння.

**Ключові слова:** морква, розподіл мікропор, питома поверхня, сушіння.

Науково обгрунтований вибір способу і режимів сушіння овочів зокрема моркви не можливі без вивчення їх мікропорової структури. Робіт присвячених цій тематиці вкрай мало.

Найбільш раціональним методом вивчення мікропорової структури продуктів як об'єктів сушки вважають адсорбційний метод, що базується на обробці ізотерм сорбції.

За експериментально отриманими ізотермами моркви [1] нами були визначені деякі її структурні та інші характеристики (об'єм мікропор, інтегральні та диференціальні криві розподілу мікропор за радіусами, ефективний радіус пор, питома поверхня тощо). Морква, як і інші овочі відноситься до обмежено набрякаючих колоїдних капілярно пористих матеріалів. Мікропори припускали циліндричними. Для розрахунку використовується десорбційна гілка ізотерми, яка відповідає повністю заповненню вологою порам з менісками рідини сферичної форми. При десорбції також є повне змочування стінок пор і  $\cos \theta = 1$ , що спрощує розрахунки. Для кожного значення відносного тиску  $p/p_0 = \varphi$  за рівнянням Томсона-Кельвіна знаходили радіуси мікропор.

Товщину адсорбційного шару не враховували. Об'єм мікропор заповнених вологою, знаходили, як добуток кількості адсорбованої води при даному  $p/p_0 = \varphi$  на молярний об'єм води. Будували інтегральну криву розподілу об'єму пор за радіусами, а взявши похідну від неї знаходили і диференціальний розподіл мікропор за радіусами (рис. 1).

З інтегральної кривої  $F(r)$  розподілу мікропор встановлено, що об'єм мікропор зростає починаючи від мінімального радіуса до  $r \approx 120 \cdot 10^{-10}$  м за параболічним законом, а при подальшому зростанні радіуса – лінійно.

Диференціальна крива  $f(r)$  для моркви не має яскраво виражених максимумів і характеризується поступовим спадом із збільшенням радіуса, що характерно для неоднорідно пористих структур. З диференціальної кривої  $f(r)$  розподілу мікропор за радіусами видно, що у сирій моркві переважну більшість складають мікропори з найменшими радіусами до  $10 \cdot 10^{-10}$  м.

Знаючи функцію розподілу мікропор за радіусами, можна знайти ефективний радіус мікропор за формулою

$$r_e = \frac{1}{r_{\max} - r_0} \int_{r_0}^{r_{\max}} r^2 f(r) dr. \quad (1)$$

© Б.І. Вербицький, Ю.П. Луцик, Т.М. Левківська, 2012

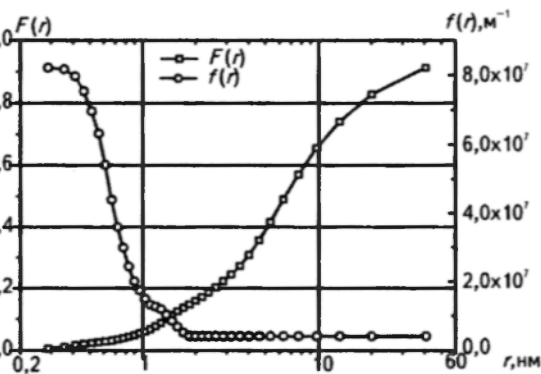


Рис. 1. Інтегральна  $F(r)$  та диференціальна  $f(r)$  криві розподілу мікропор за радіусами для моркви при температурі  $T = 293$  К

Розрахований за (1) ефективний радіус мікропор моркви  $r_e = 49,8 \cdot 10^{-10}$  м.

Кількість адсорбованої вологи у мономолекулярному  $u_m$  і полі молекулярному  $u_n$  шарах, а також вологи гігроскопічного стану  $u_s$  знаходили за десорбційною кривою ізотерми. Відомо, що для  $s$  – подібних ізотерм початкова криволінійна ділянка визначає вологу моно шару, прямолінійна ділянка вологу полі молекулярного шару, а верхня криволінійна ділянка характеризує капілярну вологу. Зазначену ізотерму будували також у координатах БЕГ [3] і вже з неї за відомою методикою більш точно знаходили вологу мономолекулярного шару  $u_m$ . Розраховані значення цих величин для моркви:  $u_m = 0,044$  кг/кг,  $u_n = 0,364$  кг/кг,  $u_s = 1,33$  кг/кг.

Сушка моркви відбувається до волого вмісту  $u = 0,163$  кг/кг ( $W = 14$  %). Таким чином в процесі сушіння видаляється вся капілярна волога і частина вологи шару полі молекулярної адсорбції.

Оцінка питомої поверхні мікропор моркви здійснена за формулою

$$S_{\text{пит}} = \frac{u_m N_A S_0}{\mu} \quad (2)$$

де  $N_A$  — число Авогадро;  $S_0$  — площа, яку займає молекула води у мономолекулярному шарі;  $\mu$  — молярна маса води. Розраховане за (2) значення питомої поверхні для моркви становить  $S_0 = 156,1$  м<sup>2</sup>/г.

**Висновки.** Встановлено розподіл мікропор моркви за радіусами, з оцінки якого випливає, що в процесі сушіння видаляється вся капілярна волога і частина вологи шару полі молекулярної адсорбції. Переважна більшість мікропор у моркві мають радіуси до  $10 \cdot 10^{-10}$  м. Ефективний радіус мікропор у моркві становить  $49,8 \cdot 10^{-10}$  м, а її питома поверхня —  $156,1$  м<sup>2</sup>/г.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Филоненко Г.К. Сушка пищевых растительных материалов / Филоненко Г.К., Гришин М.А., Гольденберг Л.М. — М.: Пищевая промышленность, 1971 — 439с.
2. Грег С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / С. Грег., С. Синг. — М.: «Мир», 1970. — 560с.

В статье приведены определенные для моркови объем пор, интегральные и дифференциальные кривые распределения микропор по радиусам, эффективный радиус пор, удельная поверхность. Показано их влияние на процесс сушки.

**Ключевые слова:** морковь, микропоры, распределение пор, удельная поверхность, сушка.

#### B.I. Verbitsky, YU. P.Lutsik, T.M. Levkivska *Microporous structure of carrot*

The volume of pores, integral and differential curves of micropores distribution by radii, effective radius, and value of specific surface are determined in the present paper for a carrot.

Adsorption method, based on sorption isotherms processing, were used to determine these structural characteristics. Desorption branch of isotherm which more accurately corresponds to the process of drying was used for the calculations. The pores were predicted to be completely filled by water and have a spherical shape.

It is stated, that the volume of micropores increases from the minimal radius by the parabolic law up to value  $\approx 120 \cdot 10^{-10}$  m, and then the dependence has linear form. Differential curve of micropores of carrot by radii doesn't have clearly expressed maxima and characterizes by a slow decrease of micropores volume with radius increase.

It is shown, the micropores with smallest radius  $10 \cdot 10^{-10}$  m are predominated in the fresh carrot, the value of effective radius is  $\approx 50 \cdot 10^{-10}$  m, the value of specific surface —  $156$  м<sup>2</sup>/г.

It is stated, that all capillary moisture and partially moisture of polymolecular adsorption has been took away during the process of drying to standard moisture content.

**Key words:** carrot, micropores, pores distribution, specific surface, drying.

Одержана редколлегією 1.03.2012 р.