

THE COEFFICIENTS OF WATER TRANSFER IN CARROT

B.I. Verbitsky, Yu.P. Lutsik, T.M. Levkivska
National University of Food Technologies

Key words:

Drying
Coefficients of diffusion
Thermodiffusion
Effusion and Thermoeffusion
Capillary conductivity
Thermogradient coefficient

ABSTRACT

The coefficients of capillary diffusion and thermodiffusion, relative coefficient of thermodiffusion, coefficient of capillary conductivity, the coefficients of effusion and thermoeffusion all depending on water contents have been determined for a carrot. The changes in mass characteristics are analyzed during the process of drying. The coefficients of effusion and thermoeffusion were calculated taking to the account the fact that thermodynamic forces of water transfer are the functions of water content and temperature, and from the sorption isotherms it is followed, that partial pressure of water vapor is the function of the same parameters. The coefficients of capillary diffusion and thermodiffusion, coefficient of capillary moisture flow for the defined values were calculated from the distribution of micropores by radii. It is shown that during the process of carrot drying internal moisture flow occurs mainly in the form of capillary moisture and only at the small values of water content in the form of vapor effusion one

Article history:

Received 23.09.2013
Received in revised form
3.12.2013
Accepted 10.12.2013

Corresponding author:

tmipt_xp@ukr.net

КОЕФІЦІЄНТИ ВОЛОГОПЕРЕНЕСЕННЯ МОРКВИ

Б.І. Вербицький, Ю.П. Луцик, Т.М. Левківська
Національний університет харчових технологій

В статті наведені визначені для моркви коефіцієнти капілярної дифузії і термодифузії, відносний коефіцієнт термодифузії, коефіцієнт капілярної провідності, коефіцієнти ефузії і термоефузії в залежності від вмісту вологи. Уточнений механізм процесу сушіння моркви.

Ключові слова: морква, сушіння, коефіцієнти дифузія, термодифузії, ефузії та термоефузії, капілярна вологопровідність, термоградієнтний коефіцієнт.

Вступ. Науково обґрунтований вибір способу і режимів сушіння овочів зокрема моркви не можливий без визначених коефіцієнтів волого перенесення. Коефіцієнти волого перенесення також необхідні для розрахунку сучасних сушильних установок, умов зберігання продуктів. Масообміні характеристики овочів в тому числі і моркви вивчені недостатньо, що і обумовлює актуальність проблеми.

© Б.І. Вербицький, Ю.П. Луцик, Т.М. Левківська, 2013

Мета досліджень. За експериментально отриманими ізотермами сорбції парів води морквою [1] за запропонованою нами методикою [2], були визначені деякі коефіцієнти молекулярного волого перенесення (коефіцієнти капілярної дифузії α_m і термодифузії α_m^T , відносний коефіцієнт термодифузії δ , коефіцієнт капілярної провідності k_ψ , коефіцієнти ефузії α_e і термоефузії α_e^T тощо).

Внутрішнє волого перенесення у моркві в області адсорбційної вологи, як і у інших овочах, що відносяться до колоїдних капілярно пористих матеріалів, здійснюється дякуючи ефузії вологи у вигляді пари. Перенесення вологи обумовлено молекулярною течією пари по мікро капілярах, характерних для моркви за даних умов. При цьому молекули пари рухаються у мікро капілярі незалежно одна від одної відтворюючи так званий молекулярний пучок.

Результати досліджень. Термодинамічні сили волого перенесення є функціями волого вмісту u і температури T . Парціальний тиск пари у мікрокапілярах, виходячи з ізотерми сорбції є функцією цих же величин, отже $p / \sqrt{T} = Z(u, T)$. Тоді коефіцієнти ефузії α_e і термічної ефузії α_e^T можна розрахувати за формулами

$$\alpha_e = \frac{1,064r_e}{\rho_0} \sqrt{\frac{\mu}{R}} \left(\frac{\partial Z}{\partial u} \right)_T \quad \text{і} \quad \alpha_e^T = \frac{1,064r_e}{\rho_0} \sqrt{\frac{\mu}{R}} \left(\frac{\partial Z}{\partial T} \right)_u, \quad (1)$$

де r_e — ефективний радіус мікропор, μ — молярна маса води, R — універсальна газова стала [3]. Отримані за (1) коефіцієнти ефузії α_e для моркви представлені на рис. 1.

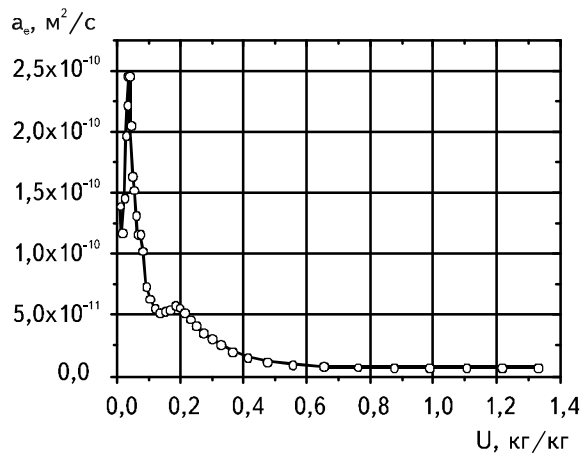


Рис. 1. Залежність коефіцієнта ефузії α_e моркви при температурі $T = 293K$ від волого вмісту

Як видно з рис. 1, при зростанні волого вмісту моркви до $u \approx u_m$ коефіцієнти ефузії α_e збільшуються і максимум кривої відповідає кількості вологи, що адсорбується в мономолекулярному шарі u_m . Другий значно менший максимум відповідає кількості вологи, що адсорбується в полі молекулярному шарі u_n . При зростанні волого вмісту u моркви до більших за u_n значень коефіцієнти ефузії α_e різко зменшуються. Отже в цій області волого вмістів ефузійне перенесення вологи втрачає свою переважну роль.

Отримані за (1) коефіцієнти термічної ефузії α_e^T для моркви представлені на рис. 2. Коефіцієнт термічної ефузії α_e^T при малих волого вмістах до $u \approx 0,2$ кг/кг практично дорівнює нулю для всіх досліджених температур, і далі зростає із збільшенням температури і волого вмісту.

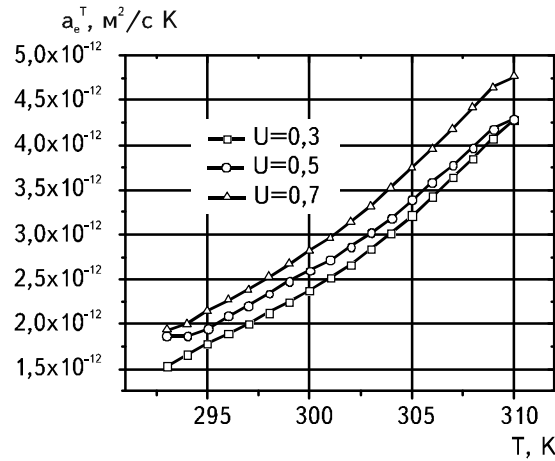


Рис. 2. Залежність коефіцієнта термічної ефузії a_e^T для волого вмістів 0,3 кг/кг, 0,5 кг/кг, 0,7 кг/кг від температури

Зміна температури спричиняє більший вплив на зміну a_e^T ніж зміна волого вмісту. Термічна ефузія незначна порівняно з ефузією пари (чисельні значення коефіцієнтів термічної ефузії a_e^T на два порядки менші за коефіцієнти ефузії a_e).

Знаючи розподіл мікропор $f(r)$ за радіусами r у матеріалі, коефіцієнт поверхневого натягу води σ і його залежність від температури ($\frac{d\sigma}{dT}$), коефіцієнт в'язкості води η за певної температури, густину абсолютно сухого зразка моркви $\rho_0 = 947,4 \text{ кг/м}^3$ [4,5], і вважаючи, що стінки капілярів повністю змочуються ($\cos\theta = 1$) за [3] за формулами

$$a_m = \frac{\sigma \cos \theta}{4\eta r^2 f(r)} \int_{r_0}^{r_{\max}} r^2 f(r) dr, \quad a_m^T = \frac{\rho \cos \theta d\sigma}{4\rho_0 \eta r dT} \int_{r_0}^{r_{\max}} r^2 f(r) dr, \quad k_\psi = \frac{\rho^2}{8\eta} \int_{r_0}^{r_{\max}} r^2 f(r) dr \quad (2)$$

знаходили коефіцієнти дифузії a_m , термодифузії a_m^T і коефіцієнти капілярної k_ψ провідності моркви для певних значень її волого вмісту. Відносний коефіцієнт термодифузії δ знаходили взявши відношення a_m^T до a_m .

Розраховані за (2) значення a_m , a_m^T та δ показані на рис. 3.

Як видно з рис. 3 при $T = 293\text{K}$ при низькому волого вмісті моркви (до $u \approx 0,2 \text{ кг/кг}$) дифузія вологи в мікро капілярах відбувається в основному за рахунок ефузії пари і коефіцієнти дифузії a_m досить малі і не перевищують значень $4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$. В області волого вмістів, які відповідають вологі полі молекулярної адсорбції і капілярній вологі, a_m зростає майже лінійно до значення $6,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ при $u \approx 0,6 \text{ кг/кг}$ і дуже різко (на два порядки) при наближенні до максимального гігроскопічного волого вмісту. Перенесення вологи у моркві за рахунок термодифузії незначне порівняно з дифузією (коефіцієнти дифузії a_m на 4–5 порядків більші за коефіцієнти термодифузії a_m^T для будь-яких значень волого вмісту). При наближенні до максимального гігроскопічного волого вмісту спостерігається зростання a_m^T . Всі ці зміни $a_m = f(u)$ і $a_m^T = f(u)$ та їх зростання можна пояснити тим, що при $u > u_n$ у моркві відбувається конденсація пари у капілярах значно більших радіусів, що призводить

до виникнення іншого механізму внутрішнього волого перенесення. Це підтверджується і порівнянням ходу кривих $a_e = f(u)$ (рис. 1) і $\delta = f(u)$ (рис. 3). Оскільки практичний інтерес з точки зору технології сушіння моркви, являють собою волого вмісти від максимального гігроскопічного до $U = 0,163$ кг/кг ($W = 14\%$ — кінцева вологість висушеної моркви) то легко бачити, що вирішальну роль при цьому відіграє капілярне перенесення вологи.

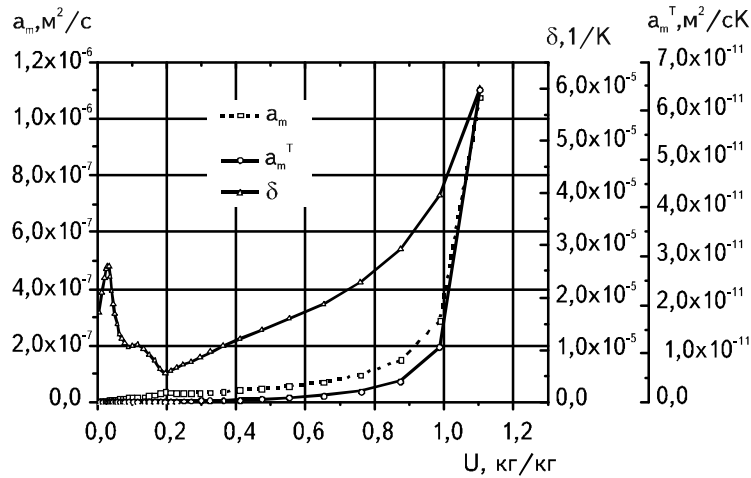


Рис. 3. Залежності коефіцієнти дифузії a_m , термодифузії a_m^T , та відносного коефіцієнта термодифузії δ для моркви при температурі $T = 293K$ від волого вмісту

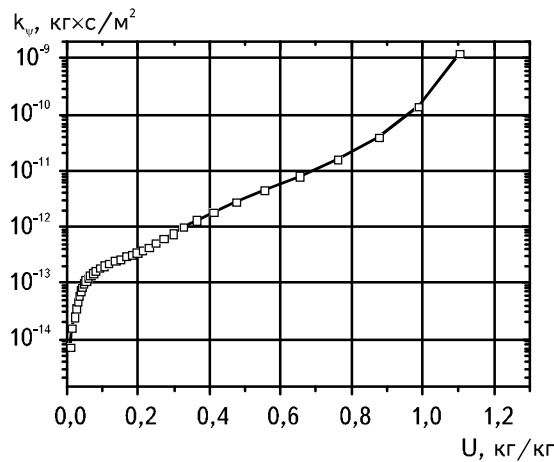


Рис. 4. Залежність коефіцієнта капілярної провідності k_{ψ} моркви при температурі $T = 293K$ від волого вмісту

Розраховані значення коефіцієнтів капілярної провідності k_{ψ} моркви для певних значень її волого вмісту показані на рис. 4. Коефіцієнт капілярної провідності k_{ψ} в досліджуваній області волого вмістів збільшується майже на 6 порядків, тому зручніше подати залежність $k_{\psi} = f(u)$ в логарифмічному масштабі. Легко бачити, що в області волого вмістів моно молекулярної адсорбції k_{ψ} , залишаючись за величиною досить малим, стрімко зростає. Тут вирішальну роль відіграє перенесення вологи ефузією у вигляді пари по мікро капілярах. При досягненні волого вмісту u_m

нахил кривої $k_{\psi} = f(u)$ стає меншим. Таке зростання k_{ψ} відбувається до $u \approx 0,6$ кг/кг (k_{ψ} в цій області волого вмістів є показниковою функцією u). Це можна пояснити тим, що при таких u пара починає конденсуватися на стінках капілярів і збільшується доля перенесення вологи в них за рахунок капілярної провідності. При волого вмістах $u > 0,6$ кг/кг капіляри майже повністю заповнені вологою і k_{ψ} дуже різко зростає до значення $6 \cdot 10^{-8} \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ при максимальному гігроскопічному волого вмісті.

Висновки. Визначені залежності коефіцієнтів капілярної дифузії α_m , термодифузії α_m^T і відносного коефіцієнту термодифузії d і коефіцієнта капілярної провідності k_{ψ} моркви від волого вмісту. Визначені для моркви залежності коефіцієнта ефузії α_e від волого вмісту і термодифузії α_e^T від волого вмісту і температури. Показано, що внутрішнє переміщення вологи у моркві при сушінні в основному відбувається у вигляді капілярної вологи і тільки при малих волого вмістах ($u < 0,2$ кг/кг) деякою мірою за рахунок ефузії пари.

ЛІТЕРАТУРА

1. Филоненко Г.К. Сушка пищевых растительных материалов / Г.К. Филоненко, М.А. Гришин, Л.М. Гольденберг — М.: Пищевая промышленность, 1971. — 439с.
2. Микропоровая структура макаронных изделий с нетрадиционным сырьем и влияние ее на внутреннее влагоперемещение / В.Г. Юрчак, Ю.П. Луцки, Б.И. Вербицкий та ін. // Пищевая технология. — 2003. — № 5. — С.68–70.
3. Лыков А.В. Тепломассообмен: справочник / А.В. Лыков. — М.: Энергия, 1972. — 560 с.
4. Kumar S. Physical and Thermal Properties of Carrots during Drying / S. Kumar, S. Arora // The Institution of Engineers (India), IEI journal, Agricultural ENGG. — 2009. — vol.90. — PP.37–41.
5. Lozano J. E. Shrinkage, Porosity and Bulk Density of Foodstuffs at Changing Moisture Contents / J. E. Lozano, E. Rotstein, M. J. Urbicain // Journal of food science. — 1983. — vol.48. — p.1497.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЛАГОПЕРЕНОСА МОРКОВИ

Б.І. Вербицкий, Ю.П. Луцки, Т.М. Левковская

Национальный университет пищевых технологий

В статье приведены определенные для моркови коэффициенты капиллярной диффузии и термодиффузии, относительный коэффициент термодиффузии, коэффициент капиллярной проводимости, коэффициенты эффузии и термоэффузии в зависимости от влагосодержания. Уточнен механизм процесса сушки моркови.

Ключевые слова: *морковь, сушка, коэффициенты диффузии и термодиффузии, эффузии и термоэффузии, капиллярная влагонепроводность, термоградиентный коэффициент.*