

ОБЩЕСТВЕННОГО ПИЩЕВАЯ

664.641.12.016.8

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВЛАГОПЕРЕНОСА И ТЕРМОЭФФУЗИИ ВЛАГИ ПШЕНИЧНОГО КРАХМАЛА

Ю. П. ЛУЦИК, Б. И. ВЕРБИЦКИЙ

Киевский ордена Трудового Красного Знамени технологический институт
пищевой промышленности

Физико-химические и коллоидные свойства крахмала пшеничной муки изучены достаточно хорошо [1, 2]. Однако имеющиеся сведения были бы неполными без данных о коэффициентах эффузии и термоэффузии пшеничного крахмала.

Используя данные [3] по изотермам сорбции паров воды пшеничным крахмалом, мы по методике [4] определяли коэффициенты молекулярного переноса влаги, теоретические выражения которых получены [5].

Физико-химические особенности структуры крахмала определяют формы связи влаги с ним и механизм внутреннего влагопереноса [6, 7]. За счет сильно разветвленной системы микропор (обладания большой адсорбционной поверхностью) в крахмале содержится значительное количество влаги, адсорбированной его зернами и влаги гигроскопического состояния в микропорах межзернового пространства. Так, по данным [3], для пшеничного крахмала влагосодержание мономолекулярной U_m и полимолекулярной U_n адсорбции составляет соответственно при $T = 293$ К — 9,6% и 21,3%; при 323 К — 7,2 и 17,5%; при 353 К — 3,1 и 17,5%. Максимальное гигроскопическое влагосодержание $U_{m,2} = 46,4\%$ при $T = 293$ К, а при $T = 323$ и 353 К $U_{m,2} = 38\%$.

Для определения коэффициентов эффузионного влагопереноса необходимо знать эквивалентный радиус молекулярного течения пара $r_{эв}$ [5]:

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

где r_0 и r_{max} — минимальный и максимальный радиусы микропор, м;

$f(r)$ — дифференциальная функция распределения микропор по размерам, m^{-1} .

Исследованием микропоровой структуры пшеничного крахмала установлено, что r_0 и r_{max} соответственно равны $4 \cdot 10^{-10}$ и $160 \cdot 10^{-10}$ м, а эквивалентный радиус микропор $r_{эв} = 5,24 \cdot 10^{-10}$ м при $T = 293$ К. Максимальное значение дифференциальной функции распределения микропор по размерам, равное $138 \cdot 10^5 m^{-1}$, наблюдается при размере микропор радиусом $r = 9 \cdot 10^{-10}$ м, а затем монотонно убывает до $f(r) \cdot 8,33 \cdot 10^5 m^{-1}$ при $r = 129 \cdot 10^{-10}$ м и оста-

ется постоянным до $r = 160 \cdot 10^{-10}$ м. С возрастанием температуры T уменьшается $r_{\text{экв}}$: при $T = 323 \text{ К}$ $r_{\text{экв}} = 4,98 \cdot 10^{-10}$ м, а при $T = 353 \text{ К}$ $r_{\text{экв}} = 4,56 \cdot 10^{-10}$ м. Убывание $r_{\text{экв}}$ с ростом T объясняется, по-видимому, не только явлением набухания, но и возрастающей вероятностью денатурации крахмальных зерен.

В области адсорбционно связанной влаги внутренний влагоперенос в крахмале определяется эффузией парообразной влаги. Поскольку $r_{\text{экв}} < 10^{-7}$ м, а средняя длина свободного пробега молекул пара \bar{l} для давления насыщенных паров влаги, равного $P = 2,34 \cdot 10^3$ Па при $T = 293 \text{ К}$, составляет $\bar{l} = 5,113 \cdot 10^{-6}$ м, для $P = 1,23 \cdot 10^4$ Па при $T = 323 \text{ К}$ $\bar{l} = 1,069 \cdot 10^{-6}$ м, для $P = 4,73 \cdot 10^4$ Па при $T = 353 \text{ К}$ $\bar{l} = 3,042 \cdot 10^{-7}$ м, то перенос влаги обусловлен молекулярным течением пара по микропорам $r_{\text{экв}}$, характерных для крахмала при данных условиях. При этом молекулы проходят через микропоры независимо одна от другой, создавая «молекулярный пучок» [5].

Методом [4] получены коэффициенты эффузии a_3 и термической эффузии a_3' пара для пшеничного крахмала. На рис. 1 приведены кривые зависимости a_3 от влагосодержания U крахмала при постоянной T . Как видно из рис. 1, при $T = 293 \text{ К}$ для низкого влагосодержания крахмала значение a_3 ничтожно мало. С увеличением U крахмала характер изменения кривых зависимости $a_3(U)$ при 293 (кривая 1) и 323 К (кривая 2) одинаков. Резкий рост значений a_3 для этих T начинается от $U = U_m$ до $U = 10$ и 10,5% соответственно, при которых достигаются максимумы кривых. Особый характер изменения кривой $a_3(U)$, имеется при $T = 353 \text{ К}$ (кривая 3) в области $U = U_m = 3,1\%$. Объясняется это тем, что даже при наличии влаги мономолекулярной адсорбции, но для сравнительно высокой T значения a_3 крахмала принимают большую величину. Последняя незначительно изменяется в интервале $3,1 \leq U \leq 10,5\%$.

В изотермических условиях повышение $T = \text{const}$ приводит к возрастанию значений a_3 . Так, при $T = 323 \text{ К}$ a_3 на порядок выше, чем для $T = 293 \text{ К}$, а по абсолютной величине в два раза меньше, чем значения a_3 при $T = 353 \text{ К}$.

Максимум кривых $a_3(U)$ при 293 и 353 К занимают интервал влагосодержания $10,0 \leq U \leq 13,5\%$, который соответствует промежуточному U между влагой моно- и полимолекулярной адсорбции. Изменение изотермических условий в сторону повышения $T = \text{const}$ приводит к более четкому проявлению второго максимума на кривых $a_3(U)$, который наблюдается с приближением U к U_p . Здесь, на наш взгляд, существенную роль играет не только увеличение парциального давления пара, но и изменение эквивалентного размера микропор в сторону его уменьшения. Надо полагать, здесь определяющую роль играют свойства фракций крахмала — амилозы и амилопектина. Коллоидная природа этих фракций определяет их физико-химические свойства. Последние проявляются неодинаково при идентичных внешних условиях, например, воздействии температуры [7]. В связи с этим имеющиеся минимумы на кривых 2 и 3 (рис. 1) можно объяснить деструкцией зерен крахмала. При

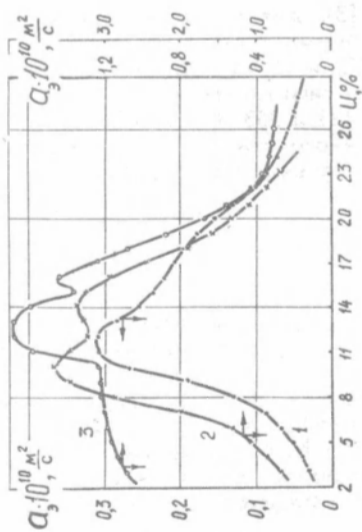


Рис. 1

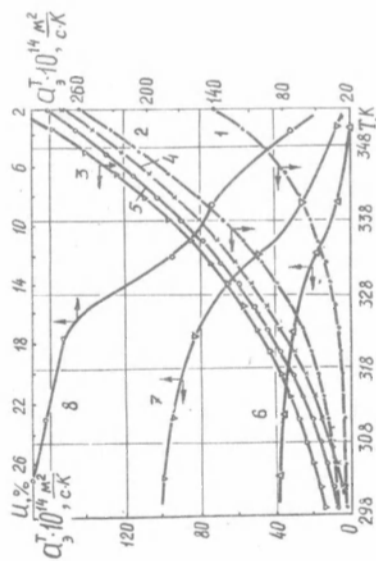


Рис. 2

этом для больших T с увеличением U происходит быстрое поглощение влаги амилозой, что приводит к незначительному уменьшению эффузионного переноса влаги в виде пара.

С достижением влагосодержания крахмала, превышающим U_n , механизм влагопереноса будет изменяться, что связано с капиллярной конденсацией пара. Поэтому значения a_3 резко убывают, что выражено кривыми $a_3(U)$ при 323 и 353 К.

На рис. 2 показаны результаты определения коэффициента термоэффузии a_3 крахмала в зависимости от T при постоянном значении U (кривые: 1 — 3,5; 2 — 8,5; 3 — 12,0; 4 — 17; 5 — 23 %) и в зависимости от U при постоянной T (6 — 302; 7 — 323; 8 — 353 К).

Из кривых 1—5 (рис. 2), выражающих зависимость $a_3(T)$, видно, что с увеличением T возрастают значения a_3 при определенной постоянной U . Исключением составляет кривая 1, выражающая эту зависимость для $U=3,5\%$ в интервале $298 \leq T \leq 323$, К, где $a_3 = \text{const}$ и принимает очень малую величину.

Характер изменения зависимости $a_3(U)_T$ (кривые 6—8) более сложный. Увеличение U для каждого изотермического процесса создает возможности роста значений a_3 . Особо это проявляется в диапазоне $U=U_n$, однако первостепенная роль здесь принадлежит T , повышение которой приводит к увеличению доли пара и его внутреннего переноса в крахмале.

Результаты определения влагопереносных коэффициентов представляют практический интерес. Полученные сведения можно использовать при разработке режимов тепловой обработки мучных изделий. В частности, при сушке макаронных изделий, для которых при U около 22% начинается твердообразование структуры.

ВЫВОДЫ

1. Возрастание температуры приводит к уменьшению эквивалентного радиуса микропор.
2. Максимальное значение коэффициента эффузии влаги в крахмале достигается при влагосодержании его, равном промежуточному значению влаги моно- и полимолекулярной адсорбции.
3. На зависимости коэффициентов эффузии и термоэффузии от влагосодержания при постоянной температуре последняя больше влияет, чем влагосодержание крахмала.
4. Полученные сведения можно использовать при разработке рациональных режимов процесса сушки макаронных изделий, для которых при влагосодержании около 22% начинается твердообразование структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург А. С., Громов М. А., Красовская Г. И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. Справочник. — М.: Пищ. пром-сть, 1980. — 288 с.
2. Гинзбург А. С., Савина И. М. Массовлагодобменные характеристики пищевых продуктов. Справочник. — М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1982. — 280 с.
3. Егоров Е. А., Щеголева А. И. Исследование гидрофильности пшеничного крахмала. — Изв. вузов СССР, Пищевая технология, 1973, № 5, с. 25.
4. Луцик Ю. П. Определение коэффициентов молекулярного влагопереноса макаронных изделий. — Изв. вузов СССР, Пищевая технология, 1978, № 4, с. 123.
5. Лыков А. В. Теория сушки. — М.: Энергия, 1968. — 477 с.
6. Плотницкий Б. Ф., Дущенко В. П. Рентгенографическое исследование локализации гигроскопической влаги в коллоидных капиллярно-пористых телах с эластической структурой. — В сб.: Физика твердого тела. Киев, КГПИ, 1972, с. 97.
7. Кульман А. Г. Коллоиды в хлебопечении. — М.: Пищепромиздат, 1953. — 247 с.