

3. РЕЛАКСАЦІЯ МОЛЕКУЛ ВОДИ У ГІДРАТОВАНИХ ЗЕРНОВИХ СТРУКТУРУЮЧИХ КОМПОНЕНТАХ ПІД ЧАС РОЗМОРОЖУВАННЯ

С.В. Іванов, Г.Є. Поліщук

Національний університет харчових технологій

В.І. Зарко

Інститут хімії поверхні ім. О. Чуйка

Макромолекули біополімерів, що утримують у чарунках утворених просторових структур кластери і домени води, протидіють зростанню кристалів льоду під час заморожування і зберігання харчових продуктів, зокрема моро-

зива. Крохмаль як основний полісахарид зернопродуктів структурує харчові системи після фазового переходу під час клейстеризації, тому доцільним є вивчення стану води у гідратованому борошні різних видів до та після теплового оброблення.

Досліджували пшеничне і вівсяне борошно як таке, що містить максимальну та мінімальну кількість крохмалю. Борошно попередньо гідратували при 40 і 85 °С — за температурних режимів оброблення сумішю морозива під час їх приготування ($T_{пр}$) та пастеризації ($T_{п}$). ТСД-спектри вимірювали на приладі СКБ (РФ) у діапазоні температур 90...270 К за напруження поляризації 200 В і швидкості нагрівання 3 °/хв. Розрахунки розподілу кластерів (< 1 нм) и доменів (1...100 нм) зв'язаної води за розмірами проводили із застосуванням методу ТСД-кріопорометрії. Релаксаційні процеси, що проходять у крохмалі, досліджено на прикладі крохмалю кукурудзяного як найближчого за вмістом амілози (~ 28 %) для обраних зразків борошна. ТСД-спектри проаналізовані у низькотемпературній (LT-low temperature) та у високотемпературній (HT-high temperature) областях.

Для гідратованого пшеничного борошна у разі $T_{п} > T_{кл}$ спостерігалися зсуви піків дипольної релаксації у бік більших температур у LT області (100 < T < 170 К) та в сторону менших температур у HT області (170 < T < 260 К). Ефекти у HT області ТСД-спектрів пояснюються зниженням енергії активації (E_a) дипольної релаксації тих фрагментів макромолекул, що пластифікуються водою, а також додатковою кластеризацією води при їх розгортанні. Ефекти у LT області відбуваються за рахунок збільшення кількості енергетично міцних Н-зв'язків на одну молекулу води, що призводить до підвищення енергетичних бар'єрів та обмеження рухливості молекул води і полярних груп макромолекул полісахаридів. В HT області для водної дисперсії суспензії вівсяного борошна, гідратованого при 40 °С, характерні два релаксаційні максимуми, а при 85 °С — один.

В LT області релаксаційний пік при 104 К спостерігався тільки для контрольного зразка крохмалю та пшеничного борошна при $T_{п} < T_{кл}$, а третій-п'ятий піки спостерігалися як нижче, так і вище $T_{кл}$ для всіх досліджуваних зразків. Клейстеризація незначно впливала на релаксаційний пік в HT області при $T_{max} = 191...195$ К. Характеристики інших піків залежали від температури підготовки та виду борошна, оскільки саме на них у більшій мірі, ніж піки в LT області, впливала релаксація дипольних груп макромолекул.

ТСД-піки дипольної релаксації клейстеризованого крохмалю співвідносяться за температурами максимумів з піками для водних дисперсій вівсяного та пшеничного борошна, що пояснює зміну поведінки цих систем в процесі фазового переходу за рахунок перебудови супрамолекулярних структур крохмалю. За допомогою методу ТСД-кріопорометрії розраховано функції розподілу ($f_V(R)$) кластерів та доменів води за розмірами відповідно до їх об'єму. Інтегруванням $f_V(R)$ функцій доведено, що кількість невеликих за розмірами кластерів води, які знаходяться у мікропорах макромолекул ($R < 1$ нм), знижується в процесі клейстеризації для вівсяного борошна більше, ніж у 10 разів, а для пшеничного борошна приблизно у 6 разів. Значно зменшується і кількість вузьких мезопор ($R < 3$ нм). Основними стають широкі мезопори (10 < R < 25 нм) у сітках лінійних та розгалужених макромолекул та макропори ($R > 25$ нм) через набухання мікрочасточок та розгортання макромолекул крохмалю в процесі фазового переходу під час клейстеризації. У такий спосіб бу-

ло доведено більшу технологічну ефективність пшеничного борошна як стабілізатора структури морозива та необхідність додаткового застосування структуруючих компонентів іншої природи.