

ІМПЕДАНСНА ХАРАКТЕРИСТИКА КЕРАТИНОВИХ ВОЛОКОН

В. В. Гавриляк¹, к. с.-г. н., с. н. с., *О. С. Яремкевич²*, к. б. н., м. н. с.
havruta@ukr.net

¹Інститут біології тварин НААН

²Національний університет «Львівська політехніка»

В останні роки підвищився інтерес до використання природних біополімерів для створення нових біосумісних матеріалів, які знаходять своє широке застосування в медицині, а також у виробництві так званого «інтелектуального» текстилю. До таких полімерів відносять і кератини. Кератинові волокна характеризуються складною ієрархічною будовою, а їх хімічний склад, а також наявність різних форм і видів зв'язків визначають основні фізичні властивості — міцність, еластичність, гігроскопічність, теплопровідність. Відомо, що кератини також є природними біоелектретами, тобто здатні зберігати заряд і поляризацію. У зв'язку із цим певний інтерес представляє вивчення електричних властивостей кератинів.

Мета роботи полягала у дослідженні фізичних властивостей кератинових волокон за допомогою біоімпедансного аналізу в діапазоні частот від 1 Гц до 100 кГц. Для досліджень використали зразки волосся людини та вовняні волокна із середнім діаметром відповідно $d=67,3$ мкм і $d=28,4$ мкм. Хімічне оброблення моделювали за допомогою 10 % водного розчину тіогліколевої кислоти за температури 37 °C протягом 15 хв. Контрольні зразки за аналогічних умов витримували у дистильованій воді. Для імпедансної спектроскопії використали інтегральний модуль на основі мікросхеми АД 5933, який перетворює електричні сигнали у цифрові. Через волокна пропускали слабкий змінний струм різної частоти і вимірювали такі параметри як комплексний опір Z (Ом), фазовий кут φ (град.), активну G (мСм) та реактивну провідність B (мСм).

За допомогою електронно-мікроскопічних досліджень було підтверджено деструктивну дію розчину тіогліколевої кислоти на кутикулярний шар досліджуваних волокон, що морфологічно виражалось у частковому відшаруванні лусок, підйомі їх країв, надривах і частковому оголенні кортексу.

У результаті проведених досліджень встановлено залежність між комплексним опором і частотою електричного струму, яка в умовах наших досліджень відповідала α - і, частково, β -дисперсії, описаних Шваном. Характерно, що ця залежність зберігалася як для нативних, так і для хімічно оброблених волокон. Показано вірогідні різниці у комплексному опорі нативних та хімічно оброблених кератинових волокон у діапазоні від 1 до 40 кГц, тоді як при частоті струму понад 50 кГц вони практично нівелюються. Очевидно, що відмінності у імпедансі нативних і хімічно оброблених кератинових волокон пов'язані із зміною нативної структури протеїнів через розрив дисульфідних зв'язків у результаті часткового проникнення водного розчину тіогліколевої кислоти всередину волокна і сорбцією води у ендокутікулі.

Ще одним параметром біоімпедансного аналізу є фазовий кут φ , який характеризує співвідношення між активною і реактивною складовою імпедансу. Встановлено, що кут φ хімічно оброблених волокон, незалежно від частоти змінного струму, є нижчим порівняно з нативними волокнами, причому його найнижче значення зафіксовано при частоті 40 кГц (відповідно $-73,87^\circ$ та $-61,25^\circ$, $P \leq 0,01$ для волоса людини і $-61,3^\circ$ і $-57,2^\circ$, $P \leq 0,01$ для вовняного волокна).

Отримані результати свідчать про існування стабільної низькочастотної провідності кератинових волокон. Більше того, волокно, як неоднорідна гетерогенна система, при змінному струмі володіє активною і реактивною провідністю, яка домінує на низьких частотах. Проведені дослідження показали, що електрична провідність кератину істотно залежить від ступеня його гідратації, чому сприяє обробка волокон водним розчином тіогліколевої кислоти. Зафіксоване нами значне підвищення активної провідності у ділянці 1-15 кГц може бути пов'язане із перегрупуванням молекул води у аморфних ділянках кератину, причому ця складова провідності вірогідно вища при хімічних обробках.

Реактивна (ємнісна) провідність пов'язана із здатністю молекул води утворювати тонкий провідний шар навколо поліпептидних ланцюгів. Як показали результати наших досліджень максимальне значення реактивної складової як для волоса людини, так і вовняного волокна зафіксовано на частоті 20 кГц, причому для хімічно оброблених волокон вона вірогідно вища у порівнянні з контрольними. Такі результати пов'язані із впливом тіогліколевої кислоти на перерозподіл дисульфідних зв'язків у невпорядкованих внутрішньофібрилярних ділянках кератину, що призводить до зменшення відстані між сусідніми витками α -спіралі у кристаліті. Більше того, враховуючи складну будову кератинових волокон, а також наявність різних сайтів для сорбції води у кератинах, можна припускати існування у цих волокнах незалежних шляхів провідності.

Отже, біоімпедансні характеристики волоса людини і вовняного волокна мають подібний характер. При дослідженні біоімпедансних параметрів кератинових волокон найінформативнішим є низькочастотний спектр у діапазоні частот від 1 кГц до 40 кГц. Хімічна обробка волокон водним розчином тіогліколевої кислоти сприяє гідратації кератину, що призводить до зміни їх електричних характеристик у порівнянні з нативними волокнами.