УДК 675.041; 675.024.7

РОСЛИННЕ ДУБЛЕННЯ. СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ТАНІДІВ ТА ЇХ ЗДАТНІСТЬ ДО ВЗАЄМОДІЇ З КОЛАГЕНОМ ДЕРМИ

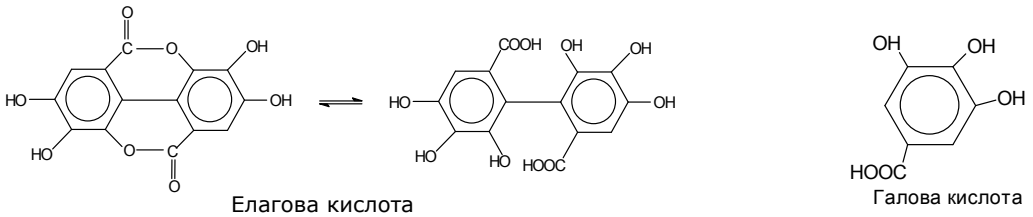
В.П. ПЛАВАН, А.С. КАТАШИНСЬКИЙ, А.Г. ДАНИЛКОВИЧ

Київський національний університет технологій та дизайну

У статті наведено результати досліджень особливостей хімічної й електронної будови конденсованих танідів мімози й гідролізованих танідів тари за допомогою напівемпіричного методу МО ЛКАО в наближенні РМ3 з використанням комп'ютерної системи МОРАС. Показано, що внаслідок спільного застосування конденсованих танідів і сполук алюмінію спостерігається підвищення гідротермічної стійкості видубленого колагену дерми завдяки синергетичному ефекту. Це підтверджується результатами розрахунків дипольних моментів дубителів

Для розробки нових і вдосконалювання існуючих технологій переробки шкур тварин у шкіру необхідно глибоке розуміння особливостей хімічної будови й структурних перетворень колагену дерми. Багаторівнева структура колагену, як білкової основи шкіряної сировини, спричиняє складність й трудомісткість технологічних процесів одержання шкіри. Незважаючи на те, що технології переробки шкіряної сировини відомі протягом багатьох років, розробка нових маловідхідних і екологічно спрямованих технологій залишається актуальною проблемою. Альтернативою для екологічно орієнтованих технологій дублення є комбіноване дублення з використанням рослинних дубителів [1].

У сучасній класифікації рослинних дубильних речовин ураховується характер зв'язків між окремими частинами в їхніх молекулах [2]. Відповідно до цієї класифікації всі рослинні дубильні речовини можна поділити на дві групи: **I**) пірогалолові або ті, що гідролізуються (таніди сумаха, діві-діві, міраболана, валонеї тощо.); **II**) пірокатехінові або ті, що конденсуються (таніди квебрахо, мімози, гамбіра тощо). Для танідів **I** групи характерна наявність в їх молекулах складних ефірних або глікозидних груп. Ці таніди легко гідролізуються під дією кислот, лугів і ферментів з утворенням глюкози, спиртів та кислот. Таніди **I** групи, в свою чергу, поділяються на галотаніни, продуктом гідролізу яких є галова кислота, та елаготаніни, в процесі гідролізу яких утворюється елагова кислота (рис. 1). Галотаніни являють собою складні ефіри фенолкарбонових кислот із цукром або багатоатомними спиртами [2].



Елагова кислота Галова кислота

Рис. 1. **Продукти гідролізу танідів**

Розчини дубильних речовин, які вміщують елаготаніни, зазвичай містять осади у вигляді малорозчинної елагової кислоти.

Таніди **II** групи характеризуються тим, що фенольні ядра, які входять до складу їх молекул, зв’язані через атоми вуглецю. Розміри молекул танідів, які конденсуються, на відміну від тих, які гідролізуються, під час нагрівання з розведеними кислотами та при дії деяких ферментів збільшуються.

Таніди **II** групи не піддаються гідролізу, проте здатні утворювати осад, який складається з агрегатів молекул поліфенолів – флобафенів.

Такі відмінності у будові танідів різних класів не можуть не позначатися на їх властивостях. Таніди, що гідролізуються, як правило, здатні підвищувати температуру зварювання колагену до 75-80 ^{o}C. Таніди, що конденсуються – до 80-85 ^{o}C. На відміну від танідів **I** групи, які відносно стійкі до дії світла, таніди **II** групи при дії світла помітно червоніють.

Розчини танідів різної природи проявляють різну антимікробну та антиоксидантну активність [3, 4]. Ці властивості танідів дозволяють використовувати їх як альтернативні засоби у лікуванні деяких хвороб. Наприклад, основні мономерні складові танідів за їх здатністю уповільнювати розвиток таких патогенних мікроорганізмів і бактерій як *Escherichia coli, Klebsiella pneumoniae, Staphylococcus aureus*, можна розташувати в такий ряд: катехіни > елаготаніни ≥ епікатехіни ≥ галотанніни. За своєю антиоксидантною активністю рослинні дубителі можливо розташувати в такий ряд: сумах > тара > каштан > міраболан > квебрахо > мімоза. Тобто, більшу вищу антиоксидантну активність таніди, що гідролізуються виявляють, ніж ті, що конденсуються.

Такі властивості танідів можуть використовуватись у виробництві шкір тривалої експлуатації чи зберігання, наприклад, ортопедичних або шкір, що призначені для реставрації об’єктів історичної спадщини.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єкт дослідження – хімічна та електронна будова танідів різних класів та її вплив на взаємодію з колагеном дерми під час комбінованого дублення, а також на властивості готових шкір.

За допомогою напівемпіричного методу МО ЛКАО в наближенні РМ3 з використанням комп'ютерної системи МОРАС досліджували геометричні параметри, особливості хімічної й електронної будови конденсованих танідів мімози й гідролізованих танідів тари з метою моделювання їхньої взаємодії з колагеном дерми під час комбінованого дублення. Як основний критерій для кількісної оцінки міцності зв'язку, у молекулах танідів та між частками танідів і колагеном було використано використали силові константи k_0 (A–B) – другі похідні повної енергії системи за довжиною валентного зв'язку r_0 (A-B) [5].

Постановка завдання

Мета дослідження – встановлення впливу природи рослинних дубителів на їх взаємодію з колагеном дерми для прогнозування та вибору оптимального варіанта комбінованого органічно-мінерального дублення для отримання шкір із заданими властивостями.

Результати та їх обговорення

За допомогою квантово-хімічних розрахунків визначено, що наявність рухливої спільної електронної хмари з π електронів, яка виникла в результаті sp^2-гібридизації атомів вуглецю ароматичних кілець танідів, є причиною їх високої здатності до поляризації під впливом зовнішніх полів. За даними [6], спільна π-електронна хмара зумовлює однакові відстані між атомами вуглецю в молекулі бензолу, які дорівнюють 1,397 Å. Відстані між атомами вуглецю в ароматичних кільцях танідів мімози, завдяки наявності кількох гідроксильних груп в кільці **B** або атома кисню в кільці **C**, збільшуються до 1,412 або 1,539–1,555 Å, відповідно.

Особливості електронної будови танідів визначалися на підставі розрахунку порядку π-зв'язків оскільки порядок σ-зв'язків С–С у всіх вуглецевих сполуках вважається рівним одиниці. При цьому враховували, що чим вище порядок π-зв'язку, тим вища його реакційна здатність [6].

Під впливом електронегативних атомів кисню карбоксильних груп танідів тари O^{15}, O^{16} і O^{26}, O^{27}, π-електронна щільність атомних орбіталей атомів C^{14} і C^{25} зміщується в простір між атомами C^{14}–O^{15}, C^{14}–O^{16} і C^{25}–O^{26}, C^{25}–O^{27} , що дає можливість атомам C^{14}, O^{15}, O^{16}, C^{25}, O^{26} і O^{27} утворювати міцні π-зв'язки. Внаслідок зсуву π-електронної щільності на карбоксильну групу, зв'язки C^3–C^{14} і C^{20}–C^{25} мають найменші значення порядку π-зв'язку в межах 0,03.

Незважаючи на наявність π-електронів на атомах C^1 і C^{18}, порядок π-зв'язку між цими атомами є досить низьким і складає 0,04. Чим вище порядок зв'язку, тим повніше перекриваються атомні орбіталі й тим міцніший зв'язок.

Виходячи із цього, низьке значення порядку зв'язку між атомами C^1 і C^{18} можна пояснити не ефективним перекриттям їх атомних орбіталей, що може бути наслідком повороту площин ароматичних кілець щодо зв'язку C^1–C^{18} в результаті взаємного впливу двох карбоксильних груп.

За даними розрахунків, кут між площинами складає близько 94°. Довжина зв'язку C^1–C^{18} складає 1,474 Å.

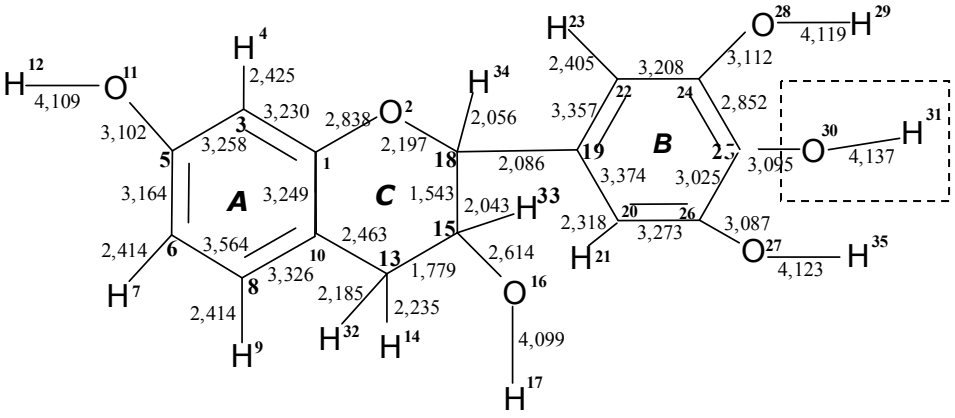


Рис. 2. **Структурна формула танідів мімози з розрахованими силовими константами**

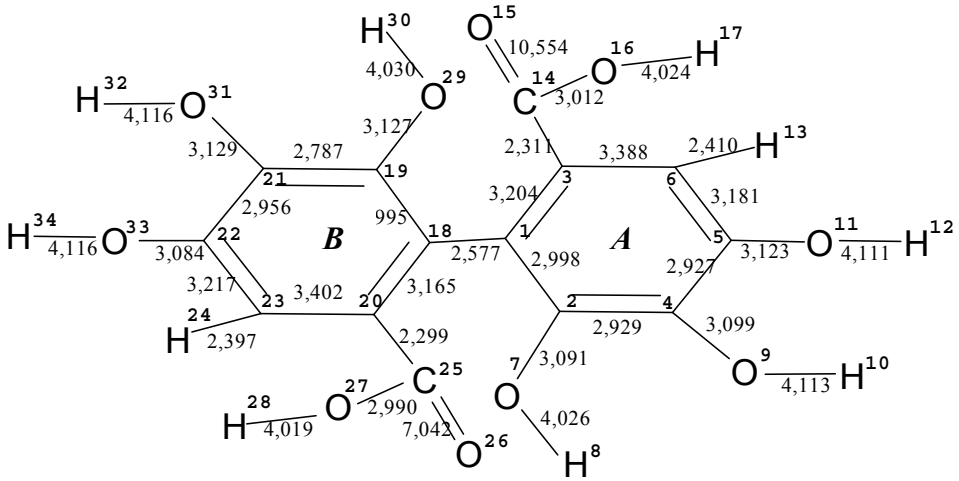


Рис. 3. **Структурна формула танідів тари з розрахованими силовими константами**

Найбільший порядок π-зв'язку в межах 0,7-0,8, а отже й найбільшу реакційну здатність мають зв'язки C^{14}–O^{15} і C^{25}–O^{26} карбоксильних груп танідів тари. Величини порядків π-зв'язків тісно корелюють з величинами силових констант зв'язків. На рис. 2 і 3 представлені структурні формули танідів мімози [7] і тари [8] з розрахованими силовими константами зв'язків.

З результатів розрахунку видно, що в танідах мімози силові константи зв'язків за участю водню мають найвищі значення в ОН-групах і перевершують силові константи зв'язків С–Н більш ніж на 60 %. У циклах, які не містять атомів кисню, силові константи зв'язків С–С характеризуються близькими значеннями й змінюються в межах 2,9–3,5 мдин/Å При цьому в молекулі бензолу k_0 (С–С) дорівнює 3,487 мдин/Å, а k_0 (С–Н) – 2,434 мдин/Å. Згідно з даними рис. 2, під впливом атома кисню, що входить до складу циклу, відбувається його дестабілізація. Це проявляється в зниженні силових констант зв'язків С–С до 1,5–2,8 мдин/Å, а зв'язків С–Н до 2,056–2,235 мдин/Å в молекулі танідів. Тобто, наявність в молекулі танідів атомів, які помітно відрізняються за електронегативністю, призводить до дестабілізації ароматичних кілець, що обумовлює нерівномірний розподіл електронної щільності між атомами і визначає їх високу активність в утворенні зав'язків різних типів.

У табл. 1 приведені дані, що характеризують розподіл електронної щільності й заряди на атомах мімози й тари. Показано, що на розподіл електронної щільності впливають не лише значення зарядів на атомах, але й положення атома в структурі молекули. Дані табл. 1 показують, що в танідах мімози значення негативних зарядів на атомах кисню в гідроксильних групах (O^{11}, O^{16}, O^{28}, O^{30}) вище, ніж заряд атома кисню, що розміщуються в циклі (O^2). Найбільшими значеннями характеризуються заряди на атомах водню в гідроксильних групах (H^{12}, H^{17}, H^{29}, H^{31}, H^{35}).

Таблиця 1. **Розподіл електронної щільності й заряди на атомах мімози й тари**

№ атома	Мімоза (рис. 2)				Тара (рис. 3)			
	Атом	q(A)	q_π(A)	Електронна щільність	Атом	q(A)	q_π(A)	Електронна щільність
1	C	0,1236	1,065	3,8764	C	-0,1060	1,043	4,1060
2	O	-0,1747	0,229	6,17747	C	0,0842	1,062	3,9158
3	C	-0,1736	1,027	4,1736	C	-0,0507	1,052	4,0507
4	H	0,1407	–	0,8593	C	-0,0111	1,055	4,0111
5	C	0,1244	1,056	3,8756	C	0,1077	1,058	3,8923
6	C	-0,2222	1,024	4,2222	C	-0,1199	1,030	4,1199
7	H	0,1134	–	0,8866	O	-0,2397	0,192	6,2397
8	C	-0,0288	1,032	4,0288	H	0,2274	–	0,7726
9	H	0,1029	–	0,8971	O	-0,2346	0,174	6,2346
10	C	-0,1876	1,041	4,1876	H	0,2249	–	0,7751
11	O	-0,2245	0,203	6,2245	O	-0,2144	0,216	6,2144
12	H	0,1975	–	0,8025	H	0,2150	–	0,7850
13	C	-0,0632	**0,016**	4,0632	H	0,1358	–	0,8642
14	H	0,0682	–	0,9318	C	0,4318	1,076	3,5682
15	C	0,0400	**0,112**	3,9600	O	-0,3929	0,964	6,3929
16	O	-0,2963	0,675	6,2963	O	-0,2830	0,298	6,2830
17	H	0,1861	–	0.8139	H	0,2263	–	0,7737
18	C	0,0889	**0,111**	3,9111	C	-0,1182	1,039	4,1182
19	C	-0,0536	1,045	4,0536	C	0,1292	1,058	3,8708
20	C	-0,1695	1,035	4,1695	C	-0,0566	1,052	4,0566
21	H	0,1230	–	0,8770	C	0,0536	1,057	3,9464
22	C	-0,1323	1,032	4,1323	C	0,0405	1,060	3,9595

23	H	0,1265	–	0,8735	C	-0,1572	1,031	4,1572
24	C	0,0992	1,059	3,9008	H	0,1222	–	0,8778
25	C	-0,0127	1,054	4,0127	C	0,4307	1,087	3,5693
26	C	0,0579	1,060	3,9421	O	-0,3713	0,992	6,3713
27	O	-0,2430	0,172	6,2430	O	-0,3103	0,263	6,3103
28	O	-0,2223	0,205	6,2223	H	0,2289	–	0,7711
29	H	0,2114	–	0,7886	O	-0,2004	0,226	6,2004
30	O	-0,2382	0,167	6,2382	H	0,2127	–	0,7873
31	H	0,2196	–	0,7804	O	-0,1895	0,206	6,1895
32	H	0,0619	–	0,9381	H	0,2077	–	0,7923
33	H	0,0856	–	0,9144	O	-0,2348	0,179	6,2348
34	H	0,0610	–	0,9390	H	0,2118	–	0,7882
35	H	0,2108	–	0,7892	–	–	–	–

Конденсовані таніди мімози відрізняються за електронною будовою кілець, що входять до складу мономерної частки. В кільцях **A** і **B** (рис. 2), які містять фенольні гідроксильні групи і не містять атомів кисню, силові константи зв'язків С–С характеризуються близькими значеннями й змінюються в межах 2,9–3,5 мдин/Å. Для зв'язків C^{13}–C^{15} і C^{15}–C^{18} в кільці **C** спостерігається зниження силових констант до 1,5–1,8 мдин/Å.

За даними табл. 1, вклад p_π-складової в утворення зв'язків C^{13} – C^{15} і C^{15} –C^{18} значно менший, ніж вклад p_σ-складової. Це підтверджується даними щодо величини π-зарядів атомів вуглецю, які входять до складу кільця **C**. Найменші значення π –зарядів мають атоми вуглецю C^{13}, C^{18}, C^{15}, відповідно. Таким чином, під впливом атома кисню, що входить до складу циклу **C**, відбувається його дестабілізація внаслідок зміщення π-електронної щільності у бік більш електронегативного атома кисню, а кільце **C** демонструє високу активність в утворенні вуглець-вуглецевих зв'язків. За даними [9], полімеризація конденсованих танідів відбувається внаслідок утворення вуглець-вуглецевих зв'язків за участю атома вуглецю кільця **C**, що перебуває в *пара*-положенні відносно атома кисню, та між атомами вуглецю кільця **A** сусіднього мономера. Довжина зв'язку C^{18}–C^{19}, який з'єднує ароматичні кільця **C** і **B** складає 1,512 Å, що більше відстані між ароматичними кільцями в танідах тари. Це робить молекулу танідів мімози лабільнішою у взаємодії з колагеном.

Для взаємодії з колагеном із просторових міркувань більш доступними ймовірно є гідроксильні групи кільця **B**. Враховуючі значення силових констант зв'язків О–Н і величину позитивного заряду на атомі водню, а також відстань між гідроксильними групами кільця **B** і киснем, який входить до складу кільця **C**, найбільшу активність при взаємодії з колагеном ймовірно буде проявляти гідроксильна група O^{30}–H^{31} (на рис. 2 показана пунктиром). Ця група від атома кисню O^2 розташована на більшій відстані (6,204 Å), ніж такі гідроксильні групи кільця **B** як O^{28}–H^{29} (5,428Å) або O^{27}–H^{35} (5,354 Å). Заряд на атомі водню H^{31} складає 0,2196, проти зарядів 0,2114 або 0,2108 для атомів водню H^{29} і H^{35} інших гідроксильних груп, відповідно.

Для танідів тари значних відмінностей у будові ароматичних кілець не спостерігається, підтвердженням чого є близькі значення зарядів на атомах вуглецю, що входять до складу циклів (табл. 1). Найбільші значення мають заряди на атомах вуглецю й кисню карбоксильних груп (C^{14}, O^{15}, O^{16}, C^{25}, O^{26}, O^{27}). Значної величини негативні заряди на атомах кисню і позитивні на атомах вуглецю карбоксильних груп (табл. 1) свідчать про поляризованість зв'язку і обумовлюють утворення електростатичних полів високої напруженості. Зв'язки С–О в карбоксильних групах танідів тари характеризуються й найбільшими силовими константами, які перевищують у 2,2-3,5 рази силові

константи зв'язків С–О в гідроксильній групі. Значення силових констант для зв'язків С–О в карбоксильних групах танідів тари для кілець **А** і **В** становлять 10,554 і 7,042 мдин/Å, відповідно (рис. 3). Тобто, зв'язок між карбоксильною групою і кільцем **А** танідів тари більш поляризований, ніж аналогічний зв'язок у кільці **В**, що обумовлює вищу реакційну здатність карбоксильної групи кільця **А**. Напевне, це також пояснюється взаємним впливом обох карбоксильних груп, які перебувають у *транс*-положенні одна до одної. Тобто, таніди тари, ймовірно здатні до утворення водневих і координаційних зв'язків не тільки за рахунок атомів периферійних гідроксильних груп, але й за участю атомів кисню карбоксильних груп, насамперед, кільця **А**.

Таким чином, нерівномірний розподіл електронної щільності між атомами буде сприяти поляризації молекули й створенню молекулярного електростатичного поля навколо молекули танідів. Це призведе спочатку до виникнення електростатичного притягання між молекулами танідів і функціональними групами колагену дерми, а потім і до утворення зв'язків різних типів.

Одним з важливих молекулярних параметрів, що може характеризувати здатність дубителя до взаємодії з колагеном, є дипольний момент молекули дубителя μ.

Цей параметр залежить від величини зарядів на атомах молекули й геометричної будови молекули, тобто відносного розташування атомів молекули в просторі.

У табл. 2 представлені значення μ молекул дубителів, які визначені в ході квантово-хімічних розрахунків.

З наведених даних видно, що μ комплексу *Al*-мімоза на порядок перевершує значення μ окремих дубителів. Це дозволяє пояснити той факт, що міцність водневих зв'язків між комплексом *Al*-мімоза й колагеном значно перевершує міцність водневих зв'язків між наведеними рослинними дубителями й колагеном. Внаслідок цього спостерігається вища гідротермічна стійкість колагену, обробленого танідами мімози й сполуками алюмінію, що підтверджено результатами експериментів [10].

Таблиця 2. **Дипольний момент рослинних дубителів**

Дубитель	Дипольний момент μ, Дб
Мімоза	2,973
Квебрахо	3,530
Міраболан	3,361
Тара	3,599
Комплекс *Al*-тара	5,729
Комплекс *Al*-мімоза	38,864

Як видно з даних табл. 2, дипольний момент комплексу *Al*-тара хоча й вищий ніж дипольний момент окремо тари майже на 60 %, але набагато нижчий ніж дипольний момент відповідного комплексу з мімозою. Ймовірно, завдяки спільному застосуванню конденсованих танідів мімози та сполук алюмінію має місце *синергетичний ефект*, підтвердженням чого є надзвичайне збільшення дипольного моменту. Таке явище спостерігається для танідів, що конденсуються, на відміну від танідів, які гідролізуються, завдяки наявності кисню в неароматичному циклі.

Висновки

У ході квантово-хімічних розрахунків визначено, що таніди мімози і тари мають відмінності в електронній і геометричній будові ароматичних кілець. За даними розрахунків, кут між площинами ароматичних кілець в танідах тари складає близько 94^{o}. Це спричинюється взаємним впливом двох карбоксильних груп в молекулі танідів тари, які перебувають у *транс*-положенні одна до одної.

Зв'язки С–О в карбоксильних групах танідів тари характеризуються силовими константами, які перевищують у 2,2-3,5 рази силові константи зв'язків між атомами вуглецю та гідроксильними групами. Це обумовлює здатність танідів тари не лише до утворення водневих зв'язків за рахунок атомів периферійних гідроксильних груп, але й координаційних зв'язків за участю атомів кисню карбоксильних груп.

Конденсовані таніди мімози відрізняються за електронною будовою кілець, що входять до складу мономерної частки. Кільце, що містить атом кисню, демонструє високу активність в утворенні вуглець-вуглецевих зв'язків внаслідок дестабілізації, що має місце в результаті зміщення π-електронної щільності у бік електронегативного атома кисню. Ї

Наявність різних функціональних груп в структурі танідів призводить до поляризації молекули й створення молекулярного електростатичного поля навколо молекул танідів. Це призводить спочатку до виникнення електростатичного притягання між молекулами танідів і функціональними групами колагену дерми, а потім і до утворення водневих зв'язків. Молекули танідів мімози ймовірно будуть лабільнішими у взаємодії з колагеном, внаслідок більшої довжини зв'язку між ароматичними кільцями.

Міцність водневих зв'язків між комплексом *Al*-мімоза й колагеном значно переважає міцність водневих зв'язків між окремими рослинними дубителями й колагеном, що підтверджено результатами розрахунків дипольних моментів дубителів.

Надзвичайне збільшення дипольного моменту є підтвердженням *синергетичного ефекту,* що має місце завдяки спільному застосуванню танідів **II** групи і сполук алюмінію. Таке явище спостерігається для конденсованих танідів, на відміну від танідів, які гідролізуються, завдяки наявності кисню в неароматичному циклі, що призводить до поляризація всієї молекули, в результаті чого частка танідів набуває негативного заряду і здатна взаємодіяти з позитивно зарядженими атомами металів.

Це забезпечує підвищення гідротермічної стійкості видубленого колагену дерми в процесі комбінованого дублення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Lischuk V., Plavan V., Danilkovich A. Transformation of the collagen structure during beam-house processes and combined tanning. *Proc. Estonian Acad. Sci. Eng*., 2006, 12 (3), 1–11.

2. Covington A.D. Modern tanning chemistry. *Chemical Society Reviews*, 1997, p. 111–126.

3. Comparative antimicrobial activity of tannin extracts from perennial plants on mastitis pathogens. B.R. Min, W.E. Pinchak, R. Markel, S. Walker, G. Tomita, R.C. Anderson. *Scientific Research and Essay*, 2008, Vol. 3 (2), p. 66–73.

4. Antiradical Efficiency of Different Vegetable Tannin Extracts. A. Zalacain, M. Carmona, C. Lorenzo, I. Blazquez, G.L. Alonzo. *Journal of American Leather Chemists Association*, 2002, Vol. 97 (2), p.137 –142.

5. Пиментел Г., Спратли Р. Как квантовая механика объясняет химическую связь. – М.: – Мир. 1973. – с. 88–191.

6. Краснов К.С. Молекулы и химическая связь. – М.: Высшая школа, – 1977, – 280 с.

7. Faber Kurt. Gerbmittel, Gerbung, Nachgerbung / Bibliotek des Leders: Bd. 3. – 2. Aufl. – Frankfurt am Main: Umshau-Verl., 1990. – 336 p.

8. Vitolo S., Seggiani M., D`Aquino and others. Tara-aluminium tanning as an Alternative to Traditional Chrome tanning: Development of a Pilot-Scale Process for High-Quality Bovine Upper Leather /*JALCA*, vol. 98, 2003, p.123–131.

9. A semi-empirical quantum mechanical modeling study on the interaction of collagen-like peptides with polyphenolic molecules: an attempt to gain insights into vegetable tanning/ Madhan B., Subramanian V., Raghava Rao J., Balachandran Unni Nair, Ramasami T.// *Journal of the American Leather Chemists Association*, vol. 98 (4), 2003, p.273–278.

10. THPS Pretreatment before tanning (Chrome or Non-Chrome). V. Plavan, V. Valeika, O. Kovtunenko, J. Shirvaityte// *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*, Vol. 93 (5), 2009, p.186–192.

Надійшла 12.02.2010

УДК 677.072.6

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РОЗПЛАВІВ СУМІШЕЙ ПОЛІПРОПІЛЕН/СПІВПОЛІАМІД/ВУГЛЕЦЕВІ НАНОТРУБКИ

Н.М. РЕЗАНОВА, І.А. МЕЛЬНИК, МВ. ЦЕБРЕНКО

Київский національний університет технологій та дизайну

М.Т. КАРТЕЛЬ, Ю.І. СЕМЕНЦОВ, Г.П. ПРИХОДЬКО

Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України

Досліджено вплив добавок вуглецевих нанотрубок на закономірності течії розплавів поліпропілен/співполіамід. Встановлено підвищення в'язкості та еластичності, зменшення величин поздовжньої деформації розплавів трикомпонентних композицій, що пояснюється зміною процесів структуроутворення під впливом нанорозмірної добавки. Показано, що нанонаповнені системи переробляються з використанням технологічних параметрів та обладнання, які застосовуються для вихідної суміші

Одним з найбільш перспективних та багатообіцяючих напрямів розвитку сучасної науки і техніки є розробка нанотехнологій, що пов'язані з одержанням та використанням об'єктів, розміри яких вимірюються нанометрами. У наш час в центрі уваги знаходяться вуглецеві нанотрубки (ВНТ), які мають дуже широкі галузі застосування та вже найближчим часом можуть увійти до числа найважливіших промислових продуктів. Вуглецеві нанотрубки, різноманітні за будовою та своїми властивостями, утворюють дуже широкий клас наноматеріалів. Відомі, наприклад, одно- дво- та багатошарові ВНТ з циліндричним розташуванням вуглецевих шарів, причому кожний безшовний шар, що утворився шляхом згортання графенових площин з атомами вуглецю у кутах з'єднаних шестикутників. У перетині вони можуть бути не лише круглими, але й овальними, сплощеними або поліедричними [1]. Вуглецеві нанотрубки характеризуються рекордними значеннями механічних і транспортних властивостей, при цьому їх питома густина не перевищує 2 г/см^3. Все це обумовлює широке використання одно- та двошарових ВНТ як наповнювачів для полімерів та створення нанокомпозитів. Введення ВНТ у полімерні композити забезпечує підвищення електропровідності, теплопровідності, теплостійкості, температури займання та склування; покращення механічних характеристик; зміну структури полімеру; підвищення ступеню кристалічності.