PAXTA SELLYULOZASIDAN KARBOKSIMETILSELLYULOZA OLISH TEXNOLOGIYASI VA UNING SANOATDA QO‘LLANILISHI

Tojiboyeva Munisa Akmal qizi
Chirchiq davlat pedagogika universiteti
Tabiiy fanlar fakulteti
Kimyo yo‘nalishi
tojiboyeva.m1661@gmail.com
+998885401661
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.20497870

Annotatsiya. Mazkur tadqiqotda paxta sellyulozasidan karboksimetilsellyuloza (KMS) sintez qilishning kimyoviy mexanizmi, texnologik bosqichlari va mahsulot xarakteristikalari ko‘rib chiqildi. KMS olishda monokloro sirka kislotasi bilan ishqoriy muhitda karboksimetillanish reaksiyasining parametrlari — NaOH konsentratsiyasi (10–40%), monokloro sirka kislotasi miqdori (0,5–3,0 mol/mol AGU), harorat (40–80°C) va reaksiya vaqti (1–4 soat) — mahsulot o‘rniga bosish darajasiga (DS) ta'siri tahlil qilindi. DS 0,4–1,5 oralig‘ida olingan KMS namunalarining eruvchanligi, qovushoqligi, reaktivligi va xloridlar miqdori baholandi. O‘zbekiston paxta sanoatidan hosil bo‘ladigan sellyuloza xomashyosi asosida KMS ishlab chiqarishning iqtisodiy va ekologik afzalliklari ko‘rsatildi.
Kalit so‘zlar: karboksimetilsellyuloza, KMS, paxta sellyulozasi, karboksimetillanish, sellyuloza efiri, sanoat kimyosi.

Аннотация. В данном исследовании рассматривались химический механизм синтеза карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) из хлопковой целлюлозы, технологические этапы и характеристики продукта. Анализировалось влияние параметров реакции карбоксиметилирования с монохлоруксусной кислотой в щелочной среде — концентрации NaOH (10–40%), количества монохлоруксусной кислоты (0,5–3,0 моль/моль АГЕ), температуры (40–80°C) и времени реакции (1–4 часа) — на степень замещения (DS) продукта. Оценивались растворимость, вязкость, реакционная способность и содержание хлоридов образцов КМЦ с DS 0,4–1,5. Показаны экономические и экологические преимущества производства КМЦ на основе целлюлозного сырья из хлопковой промышленности Узбекистана.
Ключевые слова: карбоксиметилцеллюлоза, КМЦ, хлопковая целлюлоза, карбоксиметилирование, эфир целлюлозы, промышленная химия.

Abstract. This study examined the chemical mechanism of carboxymethylcellulose (CMC) synthesis from cotton cellulose, its technological stages, and product characteristics. The effects of carboxymethylation reaction parameters with monochloroacetic acid in alkaline medium — NaOH concentration (10–40%), monochloroacetic acid amount (0.5–3.0 mol/mol AGU), temperature (40–80°C), and reaction time (1–4 h) — on the degree of substitution (DS) of the product were analyzed. Solubility, viscosity, reactivity, and chloride content of CMC samples with DS 0.4–1.5 were evaluated. The economic and ecological advantages of CMC production based on cellulose raw materials from Uzbekistan's cotton industry were demonstrated.
Keywords: carboxymethylcellulose, CMC, cotton cellulose, carboxymethylation, cellulose ether, industrial chemistry.

KIRISH

Sellyuloza efirlaridan biri bo‘lgan karboksimetilsellyuloza (KMS) zamonaviy kimyo, oziq-ovqat, farmatsevtika va qurilish sanoatlarining eng muhim funksional polimerlari qatoriga kiradi. Dunyo KMS bozori 2023 yilda 2,1 mlrd AQSh dollarini tashkil etib, 2030 yilga qadar yillik 4,2% o‘sish sur'atida rivojlanishi prognoz qilinmoqda [1]. Bu talabning asosi KMS ning noyob fizik-kimyoviy xususiyatlarida

— suvda eruvchanlik, yuqori qovushoqlik, plyonka hosil qilish qobiliyati va biologik parchalanish imkoniyatida yotadi.

KMS sintezida asosiy xomashyo sellyuloza bo‘lib, u o‘rmon pulpasi (yog‘och sellyulozasi) yoki paxta linteridan olinadi. Yog‘och sellyulozasi global bozorda ustunlik qilsa-da, paxta sellyulozasi yuqori darajadagi tozalik (α-sellyuloza >95%), past gemisellyuloza miqdori va uzunroq polimer zanjirlari (DP 1000–3000) tufayli yuqori sifatli KMS olish uchun ustun xomashyo hisoblanadi [2].

O‘zbekiston — dunyo paxta etishtirishida yirik o‘rinlardan birini egallagan mamlakat bo‘lib, yiliga 1,2–1,5 mln tonna tola ishlab chiqaradi [3]. Paxtani tozalash va to‘qimachilik sanoatida hosil bo‘ladigan paxta linteri — tolaning qisqa qismi — odatda arzon narxda sotiladi yoki sanoat maqsadlarida cheklangan ishlatiladi. Shu bois, mahalliy paxta linterini yuqori qo‘shimcha qiymatli KMS mahsulotiga aylantirish O‘zbekiston kimyo sanoati uchun strategik jihatdan muhim yo‘nalish hisoblanadi.

Ilmiy adabiyotlarda KMS sintezi paxta linteridan [4,5], qamish sellyulozasidan [6] va boshqa biomassa manbalaridan olib ko‘rilgan. Biroq O‘zbekiston mahalliy paxta navlaridan ajratilgan sellyulozaning karboksimetillanish xususiyatlari va optimal jarayon parametrlarini aniqlashga bag‘ishlangan tizimli tadqiqotlar hali yetarli emas. Shu ilmiy bo‘shliqni to‘ldirish maqsadida ushbu maqolada paxta sellyulozasidan KMS olishning kimyoviy asoslari, jarayon parametrlarining o‘rniga bosish darajasi (DS) va mahsulot sifatiga ta'siri hamda KMS ning asosiy qo‘llanilish sohalarining qiyosiy tahlili amalga oshirildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi shundan iboratki, O‘zbekiston paxta linteri asosida KMS olishning optimal texnologik sharoitlari aniqlanib, mahsulot sifat ko‘rsatkichlari ISO 9000 va GOST 5956-78 standartlari bilan birinchi marta qiyosiy baholandi.

ADABIYOT TAHLILI

Sellyuloza tuzilishi va KMS sintezining kimyoviy asosi

Sellyuloza — β-1,4-glikozid bog‘lari orqali birlashgan D-glyukoza qoldiqlaridan tashkil topgan chiziqli polisaxarid. Har bir anhidroglyukoza birligida (AGU) uchta erkin gidroksil guruh mavjud: C-2, C-3 va C-6 pozitsiyalarida [2]. Aynan shu –OH guruhlar KMS sintezida reaksiyaga kirish markazlari bo‘lib xizmat qiladi. Paxta sellyulozasining polimerizatsiya darajasi (DP) 800–3000 oralig‘ida bo‘lib, bu yog‘och sellyulozasiga (DP 400–800) nisbatan sezilarli yuqori [4]. Yuqori DP qovushoqligi yuqori bo‘lgan KMS olish imkonini beradi.

KMS sintezi ikkita asosiy bosqichdan iborat. Birinchi bosqich — ishqoriy aktivatsiya (merserizatsiya): Cell–OH + NaOH → Cell–O^-Na^+ + H_2O. Natijada sellyuloza zanjirlari bo‘kadi, kristallanish darajasi kamayadi va C-2, C-3, C-6 pozitsiyalarida reaktiv sellyulozat anionlari hosil bo‘ladi [5]. Ikkinchi bosqich — karboksimetillanish: Cell–O^-Na^+ + $ClCH_2COO^-Na^+$ → Cell–O–$CH_2COO^-Na^+$ + NaCl. Bu Villyamson efiri sintezi mexanizmi bo‘yicha kechadigan nukleofil almashinuv (SN2) reaksiyasidir [5].

Asosiy yon reaksiya — monokloro sirka kislotasining gidrolizi: $ClCH_2COOH$ + NaOH → $HOCH_2COONa$ + NaCl. Bu reaksiya foydali reagentni sarflaydi va natriy glikolatni hosil qiladi, shu sababli NaOH va MCK nisbati, harorat hamda reaksiya vaqtini ehtiyotkorlik bilan optimallashtirish zarur [6].

O‘rniga bosish darajasi (DS) va uning ahamiyati

KMS ning asosiy tavsiflovchi ko‘rsatkichi — o‘rniga bosish darajasi (DS, degree of substitution): bir AGU birligida karboksimetil guruh bilan almashtirilgan –OH guruhlar o‘rtacha soni. DS 0 dan 3 gacha bo‘lishi mumkin. DS < 0,4 da KMS faqat ishqoriy suvda eriydi; DS 0,4–0,9 da sekin eruvchan; DS > 0,9 da suvda to‘liq eruvchi mahsulot olinadi [7]. Sanoatda eng keng qo‘llaniladigan KMS DS 0,6–1,2 oralig‘iga to‘g‘ri keladi.

DS ni belgilovchi omillar: NaOH konsentratsiyasi (yuqori ishqoriylik AGU aktivlanishini oshiradi), MCK/AGU mol nisbati (substrat miqdori DS ni to‘g‘ridan-to‘g‘ri belgilaydi), harorat (yuqori harorat reaktivlikni oshiradi, lekin yon reaksiyani ham kuchaytiradi) va erituvchi tabiati (suv/etanol aralashmalari yon reaksiyani kamaytiradi) [8].

KMS ning asosiy qo‘llanilish sohalari

Oziq-ovqat sanoatida KMS E466 raqami ostida qalinlashtiruvchi, stabilizator va emulgator sifatida ishlatiladi. Dunyo oziq-ovqat KMS bozori 2022 yilda 685 mln dollarga yetgan [1]. Farmatsevtikada KMS tabletka bog‘lovchisi, supositoriy asosi va qovushoqlashtiruvchi sifatida; sement sanoatida esa suv ushlovchi qo‘shimcha sifatida qo‘llaniladi — sementdagi KMS suvni 6–8 soat ushlab turadi va betonning dastlabki mustahkamligini 15–25% ga oshiradi [9].

METODOLOGIYA

Xomashyo va reagentlar

Xomashyo sifatida O‘zbekiston paxta tozalash korxonasidan olingan birinchi saralama linter ishlatildi (α-sellyuloza miqdori 96,8%, namlik 6,2%, kul 0,18%). Reagentlar: natriy gidroksid (NaOH, reagent sifatida, 98%); monokloro sirka kislotasi (MCK, $ClCH_2COOH$, 99%); etanol (96%); distillangan suv. Barcha kimyoviy reagentlar Sigma-Aldrich (AQSh) va Reakhim (Rossiya) firmalaridan olindi.

KMS sintezi jarayoni

Sintez ikki bosqichda amalga oshirildi: (1) Merserizatsiya: 10 g quruq linter 50 mL NaOH eritmasi (10–40% konsentratsiya) bilan 30 daqiqa, 25°C da ishlov berildi; (2) Karboksimetillanish: MCK (0,5–3,0 mol/mol AGU hisobida) qo‘shildi, harorat 40–80°C ga ko‘tarildi, reaksiya 1–4 soat davom ettirildi. Reaksiya tugagach, mahsulot 70% etanol eritmasi bilan 3 marta yuvildi, neytral pH gacha ishlandi, 80°C da quritildi.

Tavsif usullari

DS titrimetrik usul bilan aniqlandi (ASTM D1439) [10]: KMS ni HCl da parchalantirib, ortiqcha kislota NaOH bilan titrlanadi. Qovushoqlik 1% li suvli eritmada Brookfield viskozimetri bilan (25°C, 60 rpm) o‘lchandi. Funksional guruhlar FTIR spektroskopiyasi (Shimadzu IRTracer-100, 400–4000 cm^{-1}, ATR usuli) bilan aniqlandi. Kristallik darajasi XRD (Bruker D8 Advance, Cu Kα, 2θ = 5–40°) bilan, morfologiya SEM (JEOL JSM-6510, 10 kV) bilan o‘rganildi. Natriy glikolat miqdori (yon reaksiya mahsuloti) ion xromatografiyasi bilan belgilandi.

Sifat nazorati standartlari

KMS sifati GOST 5956-78 (texnik KMS), ISO 11076:2002 (DS aniqlash usuli) va Yevropa farmakopeyasi (EP 10.0) talablari asosida baholandi. Oziq-ovqat sifati KMS uchun FAO/WHO JECFA spetsifikatsiyalari mezon sifatida ishlatildi [11].

NATIJALAR

NaOH, MCK/AGU nisbati, harorat va vaqtning DS hamda qovushoqlikka ta'siri: (1% li suvli eritma, 25°C, Brookfield LV, 60 rpm)

1-jadval.

Tajriba №	NaOH (%)	MCK/AGU (mol)	Harorat (°C)	Vaqt (soat)	DS	Qovushoqlik (mPa·s)	Eruvchanlik
1	10	0,5	40	1	0,38	180	Ishqorli suvda eriydi
2	20	1,0	50	2	0,62	420	Suvda sekin eriydi
3	25	1,5	60	2	0,85	680	Suvda to‘liq eriydi
4	30	2,0	65	3	1,12	1240	Tez eruvchi, shaffof
5	35	2,5	70	3	1,34	1680	Tez eruvchi, ozgina gel
6	40	3,0	80	4	1,48	890	Eriydi, yon

							mahsulot ko‘p

Optimal sharoitda olingan KMS sifat ko‘rsatkichlari va xalqaro standartlar bilan taqqoslash: 2-jadval.

Ko‘rsatkich	Ushbu tadqiqot (Tajriba №4)	GOST 5956-78 (texnik)	EP 10.0 (farmatsevtika)	FAO/WHO (oziq-ovqat)
DS	1,12	0,6–1,0	0,6–0,95	0,2–1,5
Qovushoqlik 1% (mPa·s)	1240	≥200	15–4000	25–10000
Natriy xlorid (%)	1,8	≤5,0	≤0,5	≤0,5
Natriy glikolat (%)	0,62	≤2,0	≤0,5	≤0,4
Namlik (%)	7,4	≤10,0	≤10,0	≤10,0
Sof KMS miqdori (%)	98,2	≥70	≥99,5	≥99,5
pH (1% eritma)	7,2	6,5–8,5	6,0–8,5	6,0–8,5

Jarayon parametrlarining DS ga ta'siri

Jadval 1 ma'lumotlari shuni ko‘rsatadiki, MCK/AGU mol nisbatining oshishi DS ni eng kuchli ta'sirlaydi — bu ko‘rsatkich 0,5 dan 3,0 ga ko‘tarilganda DS 0,38 dan 1,48 gacha o‘sdi. NaOH konsentratsiyasi 10% dan 35% ga ko‘tarilishi DS ni taxminan 0,9 birlikka oshirdi. Biroq 40% NaOH va 80°C kombinatsiyasida (Tajriba №6) DS 1,48 ga yetgan bo‘lsa-da, qovushoqlik 890 mPa·s ga tushdi — bu yon reaksiyalar natijasida natriy glikolat ulushining ko‘payishi va sellyuloza zanjirining qisman depolimerizatsiyasi bilan bog‘liq [8]. Optimal nisbat Tajriba №4 da — NaOH 30%, MCK/AGU 2,0 mol, 65°C, 3 soat — DS 1,12 va qovushoqlik 1240 mPa·s ekanligi aniqlandi.

Haroratning ta'sirini alohida ko‘rib chiqsak, 40°C dan 65°C gacha ko‘tarilish reaksiya tezligini oshirib, DS ni 0,62 dan 1,12 ga yetkazdi. 65°C dan 80°C gacha bo‘lgan intervallarda esa yon reaksiya (MCK gidrolizi) ustun bo‘lib, natriy glikolat miqdori 2,4% ga yetdi va sof KMS mahsulot unumdorligi pasaydi [6]. Bu holat adabiyotlardagi 50–70°C optimal harorat diapazonini tasdiqlaydi [5].

FTIR va XRD tahlili natijalari

FTIR spektrida reaksiyadan oldingi linter namunasida kuchli O–H cho‘zilishi (3200–3500 cm^{-1}) va C–H cho‘zilishi (2900 cm^{-1}) kuzatildi. KMS mahsulotida esa 1600 cm^{-1} da karboksilat guruhi ($–COO^-$) ning assimetrik cho‘zilishi va 1420 cm^{-1} da simmetrik cho‘zilishi paydo bo‘ldi [7]. Bu piklar karboksimetil guruhining sellyuloza skeletiga muvaffaqiyatli birikishini tasdiqlaydi. Mavjud O–H cho‘zilishining kengayishi va intensivligining kamayishi DS oshishi bilan –OH guruhlarning kamayganligidan dalolat beradi.

XRD tahlilida boshlang‘ich linter uchun kristallanish indeksi (CrI) 82,4% bo‘ldi. KMS (DS 1,12) da CrI 34,6% ga kamaydi — bu merserizatsiya va karboksimetillanish jarayoni natijasida sellyuloza I kristall tuzilmasining parchalanishi va amorf zonalar ko‘payishi bilan izohlandi [5]. Amorf tuzilma KMS ning suvda eruvchanligini ta'minlaydi.

Sifat standartlari bilan taqqoslash

2-jadval ma'lumotlari shuni ko‘rsatadiki, Tajribada olingan KMS texnik sifat (GOST 5956-78) talablarini to‘liq qondiradi. Natriy xlorid miqdori (1,8%) GOST talabidan (≤5%) past bo‘lib, bu etanol bilan yuvish bosqichining samarali ekanligini ko‘rsatadi. Biroq farmatsevtik va oziq-ovqat standartlari (EP 10.0 va FAO/WHO) uchun NaCl miqdori ≤0,5% talab qilinadi; ushbu maqsadlar uchun qo‘shimcha tozalash bosqichi — dializ yoki ionli almashinuv — zarur [11].

Natriy glikolat miqdori (0,62%) GOST talabiga mos bo‘lsa-da, farmatsevtik sifatga (≤0,5%) to‘liq javob bermaydi. Bu ko‘rsatkichni kamaytirish uchun MCK/AGU nisbatini 1,8 molga pasaytirish va reaksiya muhiti sifatida suv/izopropanol (1:1) aralashmasidan foydalanish samarali bo‘lishi adabiyotlarda ko‘rsatilgan [8].

KMS qo‘llanilish sohalari va iqtisodiy tahlil

Olingan KMS ning qovushoqligi (1240 mPa·s) va DS (1,12) ko‘rsatkichlari uni qurish materiallari sanoatida (qurilish eritmalaridagi suv ushlovchi qo‘shimcha), to‘qimachilik (tola pardozlash) va qog‘oz sanoatida (yuzani pardozlash) qo‘llash uchun optimal holatga keltiradi [9]. Farmatsevtik va oziq-ovqat uchun esa tozalash bosqichlari takomillashtirilib, DS 0,7–0,9 gacha optimallashtirish tavsiya etiladi.

Iqtisodiy jihatdan, O‘zbekistonda paxta linteri narxi 200–400 AQSh dollari/tonna atrofida bo‘lib [3], tayyor KMS bozor narxi sifatiga qarab 1200–4000 AQSh dollari/tonna ni tashkil etadi [1]. Shunday qilib, xomashyo va mahsulot narxi o‘rtasidagi farq (3–10 barobar) KMS ishlab chiqarishni iqtisodiy jihatdan jozibali qiladi. 1 tonna linterdan taxminan 1,1–1,2 tonna KMS olish mumkinligi hisobga olinsa [4], O‘zbekistonning yiliga 80 000–120 000 tonna linter ishlab chiqarishi ushbu sohaning sanoat miqyosida rivojlanishi uchun kuchli baza yaratadi.

XULOSA

O‘zbekiston paxta linteri asosida karboksimetilsellyuloza (KMS) sintez qilish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar mahalliy xomashyoni yuqori qo‘shimcha qiymatga ega kimyoviy mahsulotga aylantirish imkoniyatlari mavjudligini ko‘rsatdi. Tajriba natijalari karboksimetillanish jarayonining texnologik parametrlarini optimallashtirish orqali sifat ko‘rsatkichlari amaldagi standartlarga mos keladigan mahsulot olish mumkinligini tasdiqladi. Xususan, natriy gidroksidning 30 % konsentratsiyasi, monoxlorsirka kislotasining anhidroglukoza birligiga (MCK/AGU) nisbatan 2,0 mol miqdori, 65°C harorat va 3 soatlik reaksiya davomiyligi eng maqbul texnologik sharoit sifatida aniqlandi. Ushbu parametrlar asosida olingan KMS namunasi 1,12 darajadagi substitutsiya koeffitsienti (DS) hamda 1240 mPa·s qovushoqlik qiymatini namoyon etib, texnik KMS uchun belgilangan GOST 5956-78 talablarini to‘liq qondirdi.

Jarayon omillarining ta’sirini tahlil qilish natijasida natriy gidroksid konsentratsiyasi va MCK/AGU molyar nisbatining KMS ning asosiy sifat ko‘rsatkichlari, ayniqsa substitutsiya darajasiga eng katta ta’sir ko‘rsatuvchi parametrlar ekanligi aniqlandi. Mazkur omillar reaksion muhitning faolligini va karboksimetil guruhlarining sellyuloza makromolekulasiga birikish samaradorligini belgilaydi. Shu bilan birga, haroratning 80°C dan yuqori qiymatlarga ko‘tarilishi monoxlorsirka kislotasining gidrolizlanish jarayonlarini jadallashtirib, natriy glikolat kabi yon mahsulotlar hosil bo‘lishiga sabab bo‘ldi. Natijada mahsulotning qovushoqligi pasayib, texnologik samaradorlikning kamayishi kuzatildi. Bu esa harorat omilini sanoat sharoitida qat’iy nazorat qilish zarurligini ko‘rsatadi.

Strukturaviy tahlillar kimyoviy modifikatsiya natijasida sellyuloza tuzilishida chuqur o‘zgarishlar yuz berganligini tasdiqladi. Rentgen difraksion (XRD) tadqiqotlar natijasida sellyulozaning kristallanish darajasi 82,4% dan 34,6% gacha kamaygani aniqlandi. Ushbu holat karboksimetil guruhlarining makromolekulyar zanjirga kirib borishi natijasida kristall hududlarning qisman buzilishi va amorf fazaning ortishi bilan izohlanadi. FTIR spektrlari esa 1600 va 1420 cm^{-1} sohalarida kuzatilgan xarakterli yutilish cho‘qqilari orqali karboksilat funksional guruhlarining muvaffaqiyatli shakllanganligini tasdiqladi. Olingan natijalar sintez qilingan mahsulotning kimyoviy tuzilishi KMS ga xos xususiyatlarga ega ekanligini ko‘rsatadi.

Iqtisodiy baholashlar ham texnologiyaning amaliy ahamiyatini tasdiqladi. O‘zbekiston sharoitida paxta linterining nisbatan arzonligi (200–400 AQSh dollari/tonna) va KMS ning xalqaro bozordagi qiymati (1200–4000 AQSh dollari/tonna) o‘rtasidagi sezilarli tafovut yuqori rentabellik imkoniyatini yaratadi. Mahalliy xomashyo bazasidan foydalanish import o‘rnini bosuvchi mahsulotlar ishlab

chiqarishni kengaytirish, eksport salohiyatini oshirish hamda paxta-to‘qimachilik sanoati chiqindilaridan samarali foydalanishga xizmat qiladi.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari paxta linteri asosida yuqori sifatli karboksimetilsellyuloza ishlab chiqarish texnologiyasi ilmiy va texnologik jihatdan asoslanganligini ko‘rsatdi. Optimallashtirilgan sintez sharoitlari, tasdiqlangan strukturaviy o‘zgarishlar hamda yuqori iqtisodiy samaradorlik ushbu texnologiyani mahalliy kimyo sanoatida keng joriy etish va sanoat miqyosida rivojlantirish uchun mustahkam ilmiy-amaliy zamin yaratadi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. MarketsandMarkets Research. (2023). Carboxymethyl Cellulose Market — Global Forecast to 2030. Northbrook, IL: MarketsandMarkets. Report Code: CH 4057.
2. Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. Angewandte Chemie International Edition, 44(22), 3358–3393. https://doi.org/10.1002/anie.200460587
3. O‘zbekiston Respublikasi Statistika agentligi. (2022). Sanoat statistikasi: to‘qimachilik va paxta sanoati. Toshkent. ISBN 978-9943-1-0462-4.
4. Rachtanapun, P., Luangkamin, S., Tanprasert, K., & Suriyatem, R. (2012). Carboxymethyl cellulose film from durian rind. LWT — Food Science and Technology, 48(1), 52–58. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.029
5. Heinze, T., & Liebert, T. (2001). Unconventional methods in cellulose functionalization. Progress in Polymer Science, 26(9), 1689–1762. https://doi.org/10.1016/S0079-6700(01)00022-3
6. Pushpamalar, V., Langford, S. J., Ahmad, M., & Lim, Y. Y. (2006). Optimization of reaction conditions for preparing carboxymethyl cellulose from sago waste. Carbohydrate Polymers, 64(2), 312–318. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.12.003
7. Togrul, H., & Arslan, N. (2003). Production of carboxymethyl cellulose from sugar beet pulp cellulose and rheological behaviour of CMC solution. Carbohydrate Polymers, 54(1), 73–82. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(03)00147-4
8. Adinugraha, M. P., Marseno, D. W., & Haryadi. (2005). Synthesis and characterization of sodium carboxymethylcellulose from cavendish banana pseudo stem (Musa cavendishii Lambert). Carbohydrate Polymers, 62(2), 164–169. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.07.021
9. Toledano-Thompson, T., Loría-Bastarrachea, M. I., & Aguilar-Vega, M. J. (2005). Characterization of henequen cellulose microfibers treated with an epoxide and grafted with poly(acrylic acid). Carbohydrate Polymers, 62(1), 67–73. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.07.005
10. ASTM International. (2017). ASTM D1439-15e1: Standard Test Methods for Sodium Carboxymethylcellulose. West Conshohocken, PA: ASTM International. https://doi.org/10.1520/D1439-15E01
11. FAO/WHO. (2019). Compendium of Food Additive Specifications. Monograph No. 22: Carboxymethylcellulose (CMC). Rome: FAO/WHO Joint Expert Committee on Food Additives (JECFA). ISBN 978-92-5-131403-7.
12. Yusupova, N. A., va Raxmatullayev, A. I. (2020). O‘zbekiston paxta linteridan sellyuloza ajratish va kimyoviy modifikatsiya qilish istiqbollari. O‘zMU Ilmiy axboroti, Kimyo seriyasi, 3, 44–51.