

Išrūgų baltymų gelių reologinės ir tekstūros savybės

D. Leskauskaitė, A. Brantas

Kauno technologijos universiteto Maisto produktų technologijos katedra, Radvilėnų pl. 19, LT-44029, Kaunas; daiva.leskauskaite@ktu.lt

A. Miežlienė, G. Alenčikienė

KTU Maisto institutas, Taikos pr. 92, LT-51180, Kaunas; aldonam@lmai.lt

Tirtos išrūgų baltymų (IB) gelių reologinės ir tekstūros savybės bei gelių formavimosi dinamika. Geliai gaminti karštuoju būdu iš 9 % išrūgų baltymų izoliato tirpalo ir 1 mol/l CaCl_2 tirpalo ir šaltuoju būdu iš 9 % išrūgų baltymų tirpalo, pridedant CaCl_2 ir keičiant tirpalo pH nuo 5,5 iki 4,0. CaCl_2 koncentracija geliuose buvo keičiama nuo 0,02 iki 0,1 mol/l. Nustatyta IB gelių reologinių ir tekstūros savybių priklausomybė nuo gamybos būdo ir sudėties. Taikant karštąjį būdą, elastingiausias ir tvirčiausias gelis ($G^*=2529$ Pa), pasižymintis mažiausia sinereze (20 %) ir didžiausiu vandens surišimu (5,6 g/1 g baltymo), buvo gautas, kai 0,04 mol/l CaCl_2 buvo pridedama po IB denatūracijos.

Šaltuoju būdu pagamintų gelių daugelis tekstūros savybių turėjo didesnes skaitines reikšmes, lyginant su geliais, pagamintais karštuoju būdu. Tiriant pH įtaką IB gelių reologinėms ir tekstūros savybėms nustatyta, kad esant pH 5,0, t. y. arčiausiai IB izoelektrinio taško, geliai buvo tvirčiausios struktūros ($G^*=2041$ Pa), mažiausios sinerezės (27 %) ir didžiausio vandens sujungimo (6,57 g/1 g baltymo). Dauguma šių gelių savybių, nustatytų juslinės ir instrumentinės analizės metodais, turėjo panašias skaitines reikšmes.

Raktažodžiai: išrūgų baltymų geliai, gamybos būdas, gelių sudėtis, reologinės savybės, tekstūros savybės.

Įvadas

Išrūgų baltymai dažnai vartojami kaip mėsos arba kiaušinio baltymų pakaitalai įvairiuose konditerijos, mėsos gaminiuose, desertuose, valgomuosiuose leduose, kurių gamybai reikia gelius sudaryti gebančių baltymų.

Galimi keli išrūgų baltymų ir kitų globulinių baltymų gelio sudarymo būdai. Dažniausiai maisto produktuose išrūgų baltymų geliai susidaro baltymų tirpalus apdorojant aukšta temperatūra, kuriai esant baltymai denatūruojasi – tai karštasis gelių gamybos būdas (angl. *heat induced gelation*). Žinomas ir kitas būdas – kai baltymų tirpalas sudaro gelį, veikiamas aukštu hidrostatišku slėgiu (200–400 MPa) [1]. Abiems šiems gamybos būdams bendra tai, kad baltymų molekulių denatūracija ir po jos vykstanti agregacija vyksta vienu metu, todėl šie gelio gamybos metodai dažnai vadinami vieno etapo metodais.

A. Totosaus ir kt. pateikia išrūgų baltymų gelių gamybos metodus, kai geliai susiformuoja 2 etapais [2]. Iš pradžių baltymai aktyvuojami, sukeliant jų denatūraciją ir tirpių agregatų formavimąsi. Tam paprastai taikomas šildymas, ir šis etapas vadinamas pirminiu terminiu apdorėjimu. Antrajame etape

aktyvūs baltymai sąveikauja su rūgštimis ar druskomis, sudarydami gelį net kambario temperatūroje, todėl toks gelių gamybos būdas dar vadinamas šaltuoju (angl. *cold – set gelation*) [3–5].

Literatūroje galima rasti duomenų, kad pagrindiniai veiksniai, darantys įtaką išrūgų baltymų gelių susidarymui, yra šie: baltymų koncentracija, kaitinimo temperatūra, joninė jėga ir terpės pH. Gaminant gelius karštuoju būdu nustatyta, kad didėjant baltymų koncentracijai ir kaitinimo temperatūrai gelis formuojasi tvirtesnis ir per trumpesnį laiko tarpą [6]. Gaminant išrūgų baltymų gelius šaltuoju būdu, svarbi yra pirminio terminio apdorėjimo temperatūra – kai šiame etape temperatūra buvo aukštesnė, gelių susidarymo greitis antrame etape buvo mažesnis [7], be to geliai buvo tvirtesni lyginant su žemesnėje temperatūroje apdorotais geliais [8].

Z. Y. Ju ir A. Kilara ištyrė išrūgų baltymų koncentracijos įtaką gelio savybėms, gaminant juos šaltuoju būdu ir nustatė, kad minimali baltymo koncentracija, kuriai esant baltymai sudaro gelį, yra apie 2 % priklausomai nuo įdėtos druskos ar rūgšties kiekio. Kuo didesnė išrūgų baltymų koncentracija pirminio apdorėjimo metu, tuo stambesni agregatai

susidaro, taip pat yra didesnis ir agregacijos greitis. Kai baltymo koncentracija pirminio terminio apdoravimo metu buvo 9 %, gautas didžiausias susidariusių agregatų kiekis ir dydis, o tai lėmė ir didžiausią gelio tvirtumą [8].

Išrūgų baltymų gebėjimas sudaryti gelį didinant joninę jėgą aiškinamas tuo, kad pridėjus druskų, jos disocijuoja ir susidare jona blokuoja elektrostazines stūmos jėgas tarp baltymų molekulių. Išrūgų baltymų tirpalo joninė jėga didinama, pridėdant įvairių druskų: NaCl, CaCl₂, MgCl₂. Tačiau daugiausiai ištirti išrūgų baltymų geliai, pagaminti naudojant CaCl₂. Divalentiniai katjonai ne tik ekranuoja elektrostazines stūmos jėgas, bet ir sudaro sąlygas susidaryti kryžminiams ryšiams tarp molekulių, todėl šaltuoju būdu išrūgų baltymų gelius galima gauti iš mažesnės koncentracijos baltymų tirpalų nei gaminant gelius karštuoju būdu [9].

P. Hongsprabh ir S. Barbut teigia, kad esant didesnei joninei jėgai, baltymų gelis susidaro greičiau. Nustatyta, kad CaCl₂ koncentracijai padidėjus nuo 10 iki 120 mM, erdvinio tinklo susidarymo trukmė sutrumpėjo 3,5 karto. Tokių gelių mikrostruktūros tyrimai parodė, kad, esant nedidelei CaCl₂ koncentracijai, agregatai didėjo mažesniems agregatams jungiantis į didesnius, o esant didelei CaCl₂ koncentracijai – užsipildant erdvės tarpams tarp dalelių jau susidariusiame tinkle. Taigi, galima teigti, kad gaminant gelius šaltuoju būdu, didesnę gelių struktūros įvairovę galima pasiekti ne tiek dėl kovalentinių, kiek dėl elektrostatinėlių ryšių susidarymo [10]. Tiriant gelių tvirtumą, buvo nustatyta, kad didėjant CaCl₂ koncentracijai, gelių tvirtumas taip pat didėja, tačiau iki tam tikros ribos – tvirčiausi geliai buvo gauti, kai CaCl₂ koncentracija tirpale buvo 40 mmol/l. Taigi, gelio tvirtumas yra didžiausias, kai agregacijos trukmė ir agregatų dydis yra optimalūs [11]. Be to, geliai, gauti pridėjus druskos prieš denaturaciją, buvo 1,5–2 karto stipresni už tuos, kurie buvo gauti CaCl₂ įdėjus po denaturacijos [12].

Plačiai taikomas ir kitas šaltasis gelių gamybos būdas, t. y. išrūgų baltymų gelio gamyba keičiant pH. Tam naudojami įvairūs cheminiai reagentai, vienas iš jų – gliukono δ-laktonas (GDL). Tai gliukono rūgšties neutralus esteris, kuris vandens tirpaluose lengvai tirpsta ir hidrolizuojasi iki gliukono rūgšties, tuo būdu sukeldamas lėtą tirpalo rūgštėjimą, panašų į pieno rūgšties bakterijų sukeltą rūgimą. Tyrimai parodė, kad didžiausias gelių, pagamintų naudojant GDL, tvirtumas yra, kai pH pasiekia 4,7 [13]. Tai neprieštarauja ir kituose literatūros šaltiniuose pateikiamiems teiginiais, kad išrūgų baltymai tvirčiausią gelį suformuoja, kai pH arti izoelektrinio taško. pH poveikis tiek gelio susidarymo procesui, tiek ir gelio savybėms yra

aiškinamas tuo, kad pH turi įtakos tirpale veikiančioms elektrostatinėms jėgoms. Kai tirpalo pH yra toli nuo išrūgų baltymų izoelektrinio taško, taip pat kaip ir esant mažai joninei jėgai, išsivyniojusios baltymų molekulės negali susijungti tarpusavyje dėl elektrostatinėlių stūmos jėgų ir tik pridėjus druskų arba keičiant pH tos jėgos yra blokuojamos ir baltymai sudaro gelį [9]. Mikrostruktūros tyrimai parodė, kad pH turi įtakos ir dalelių formai. Nustatyta, jog gaminant gelį su GDL, susidariusių agregatų forma buvo netaisyklinga, gaminant su CaCl₂ – sferinė, o karštuoju būdu – elipsės formos [14].

Nors literatūroje aprašomi įvairūs išrūgų baltymų gelių gamybos būdai, vis dar trūksta duomenų apie skirtingais būdais pagamintų išrūgų baltymų gelių formavimosi dinamiką. Mums nepavyko rasti duomenų ir apie jusliniais metodais įvertintas šių gelių tekstūros savybes. Mūsų darbo tikslas buvo palyginti skirtingais būdais gautų išrūgų baltymų gelių reologines ir tekstūros savybes bei gelių formavimosi dinamiką.

Tyrimų objektai ir metodai

Šiame darbe tyrimų objektai – išrūgų baltymų geliai, pagaminti iš išrūgų baltymų izoliato DI 9224 (*Arla Food Ingredients*, Danija), kurio rodikliai: pH=6,0; baltymų kiekis – 93,5 %; laktozės kiekis – 0,2 %; riebalų kiekis – 0,2 %; pelenuų kiekis – 0,1 %; drėgmės kiekis – 6,0 %. Išrūgų baltymų gelius gaminome trimis būdais pagal literatūros šaltiniuose pateiktas metodikas [4, 8, 14].

Pirmuoju būdu (karštasis gamybos būdas) gelius gaminome iš 9 % išrūgų baltymų izoliato tirpalo, pridėdant 1 mol/l CaCl₂ tirpalo. Išrūgų baltymų tirpalą supylėme į sandariai užsidarančius 50 ml talpos indelius ir į juos supylėme tam tikrą kiekį CaCl₂ tirpalo, kad galutiniuose tirpaluose CaCl₂ koncentracija būtų 0,02–0,1 mol/l. Gautus mišinius išlaikėme 20 °C temperatūroje 3 h. pH koregavome iki 6,5, naudodami 3 mol/l HCl arba 0,1 mol/l NaOH. Po to indelius su tirpalu kaitinome 80 °C temperatūroje 30 min. Susidariusius gelius tuoj pat atšaldėme iki 5 °C temperatūros, išlaikėme 12 h ir po to nustatėme reologines ir tekstūros savybes.

Antruoju būdu (šaltasis gamybos būdas) gelius gaminome iš 9 % išrūgų baltymų izoliato ir 1 mol/l CaCl₂ tirpalų. Pradinį išrūgų baltymų tirpalą šildėme 80 °C temperatūroje 30 min, po to tuoj pat atšaldėme iki 5 °C ir išlaikėme 12 h. Išlaikytą išrūgų baltymų tirpalą maišėme su tam tikru CaCl₂ tirpalo kiekiu, kad galutinio tirpalo CaCl₂ koncentracija būtų 0,02–0,1 mol/l ir pylėme į sandariai užsidarančius 50 ml talpos indelius bei išlaikėme 45 °C temperatūroje 1 h. Susidariusius gelius tuoj pat atšaldėme iki 5 °C,

išlaikėme 12 h ir po to nustatėme reologines bei tekstūros savybes.

Trečiuoju būdu gelius gaminome iš 9 % išrūgų baltymų tirpalo ir gliukono δ -laktono (GDL). 9 % išrūgų baltymų tirpalą šildėme 80 °C temperatūroje 30 min, po to tuoj pat atšaldėme iki 5 °C ir išlaikėme 12 h. Išlaikytą išrūgų baltymų tirpalą maišėme su tam tikru kiekiu GDL miltelių, kad galutinė gliukono δ -laktono koncentracija tirpale būtų 0,3–1,7 % (kas atitinka pH 5,5–4,0) ir pylėme į sandariai užsidarančius 50 ml talpos indelius bei išlaikėme 45 °C temperatūroje 1 h. Susidariusius gelius tuoj pat atšaldėme iki 5 °C, išlaikėme 12 h ir nustatėme reologines ir tekstūros savybes.

Gelių reologinių savybių tyrimai

Gelių susidarymo dinamiką matavome osciliatoriniu režimu dirbančiu reometru (CSL 2–500K, TA Instruments Rheology Division). Šio prietaiso veikimo principas – tiriamasis mėginys veikiamas osciliatoriniu režimu vibruojančia deformacija ir fiksuojamas mėginyje susidaręs įtempimas, kuris išskaidomas į energijos išbarstymo modulio dedamąją (G'') ir energijos sukaupimo modulio dedamąją (G'). Elastingo modulio (G') charakterizuoja gelių elastingas savybes, o klampos modulio (G'') – klampias savybes. Fazių kampas [$\delta = \arctan(G''/G')$] apibūdina santykį tarp mėginio klampos ir elastingumo. Kai fazių kampas yra lygus 90°, medžiaga – idealus skystis, o kai 0° – medžiaga idealiai elastinga. Šiuos du modulius sieja bendra išraiška – kompleksinis modulis (G^*), kuris apskaičiuojamas pagal formulę [15]:

$$G^* = G' + iG'';$$

čia $i = -1$.

Tirdami karštuoju būdu pagamintus išrūgų baltymų gelius, tarp reometro plokštelių įpiltą baltymų tirpalą šildėme nuo 20 °C iki 80 °C temperatūros 2 °C/min greičiu, laikėme šioje temperatūroje 30 min, tada šaldėme 2 °C/min greičiu nuo 80 °C iki 5 °C temperatūros.

Tirdami išrūgų baltymų gelius, pagamintus šaltuoju būdu, naudojant CaCl_2 arba gliukono δ -laktoną, tyrėme tik paskutinį gelio susidarymo etapą, t. y. tarp reometro lėkštelių pylėme mėginį po pirminio terminio apdoravimo, pridėjus atitinkamą kiekį CaCl_2 tirpalo arba gliukono δ -laktono, išlaikėme pastovioje 45 °C temperatūroje 1 h.

Visais atvejais klampiai elastingas savybes matavome, esant pastoviam 1 Hz dažniui ir pastoviam 0,02 Pa įtempiui. Nustatėme modulius G^* , G' ir G'' reikšmes bei fiksuojome gelio susidarymo tašką. Matavome kas 0,5 minutės. Taip pat apskaičiavome G^* kitimo greitį pagal formulę:

$$G^* \text{ kitimo greitis} = \frac{G_{i+1}^* - G_i^*}{t},$$

čia: i – matavimo numeris; t – laikas tarp gretimų matavimų, min.

Sinerezės nustatymas

Sinerezei nustatyti atplovėme cilindro formos gelių gabaliukus (30 mm skersmens ir 20 mm aukščio) ir dėjome ant filtro popieriaus. Mėginius su filtro popieriumi laikėme termostate 2 h 20 °C temperatūroje. Po to filtro popierių svėrėme ir apskaičiavome svorio skirtumą tarp sauso ir šlapio filtro popieriaus. Išsiskyrusio vandens kiekį (sinerezę) apskaičiavome pagal formulę:

$$\text{Sinerezė} = \frac{(A - B) \cdot 100}{B},$$

čia: A – gelio mėginio prieš uždedant ant filtro masė, g; B – gelio mėginio masė nuėmus nuo filtro, g.

Vandens sujungimo pajėgumo nustatymas

Gelių vandens sujungimo pajėgumą nustatėme filtravimo–centrifugavimo metodu [16]. Gelio gabaliukus (cilindro formos, 2,5 g masės) dėjome į specialias prieš tyrimą pasvertas centrifugavimo kiuvetes su įtaisytu filtru. Gelius centrifugavome 10 min 1000 min^{-1} greičiu 25 °C temperatūroje. Į centrifugavimo kiuvetės dugną subėgusį vandenį nupylėme, o centrifugavimo kiuvetę su geliu pasvėrėme. Gelių vandens sujungimo pajėgumą apskaičiavome pagal formulę:

$$\text{VSP} = \frac{(A - B)}{C},$$

čia: A – vandens kiekis mėginyje, g; B – išsiskyręs centrifugavimo metu vandens kiekis, g; C – baltymų kiekis mėginyje, g.

Gelių tekstūros juslinis įvertinimas

Išrūgų baltymų gelių tekstūros juslines savybes nustatėme aprašomosios analizės metodu, sudarant juslinių savybių profilį¹. Juslinį įvertinimą atliko 6 KTU Maisto instituto juslinės analizės vertintojai. Jų amžius 35–50 metai. Vertintojai atrinkti ir apmokyti dirbti pagal LST ISO 8586-1. Vertintojai dalyvavo dviejuose apmokymuose. Pirmojo metu sudarytas žodynas – parinktos ir aptartos sąvokos gelių juslinėms savybėms apibūdinti, o antrojo – parinkta ir aptarta savybių intensyvumo vertinimo skalė. Taikyta intervalinė 15 cm ilgio skalė. Mėginių tekstūra vertinta vizualiai, spaudžiant plastmasiniu

¹ ISO 13299:2003. Sensory analysis – Methodology – General guidance for establishing a sensory profile.

šaukšteliu ir pirštuose bei delnuose esančiais lytėjimo receptoriais.

Mokymai vyko ir mėginiai vertinti laboratorijoje, esant kontroliuojamoms aplinkos (temperatūros, santykinio drėgno, apšvietimo) sąlygoms. Rankoms nusivalyti ir receptoriams atgaivinti tarp skirtingų mėginių vertinimų vertintojai vartojo 30–35 °C temperatūros vandenį ir naudojo servetėles. Siekiant užtikrinti pastovią mėginių temperatūrą, jie pateikti plastikiniuose 50 ml indeliuose, įdėtuose į atšaldytas Petri lėkšteles.

Vertinimo rezultatai analizuoti SPSS programa. Duomenys analizuoti atliekant dvifaktoriinę dispersinę analizę. Nepriklausomi kintamieji buvo koncentracija, gamybos būdas ir vertintojai, o priklausomi – juslinės savybės. Duomenys palyginti, taikant Dunkano kriterijų, ir nustatyti reikšmingi skirtumai, kai $p < 0,05$.

Išrūgų baltymų gelių juslinės savybės apibūdintos 1 lentelėje.

1 lentelė. Išrūgų baltymų gelių juslinių savybių apibūdinimas

Juslinė savybė	Apibūdinimas
Drėgmė gelio paviršiuje	Skysčio kiekis gelio paviršiuje
Gelio spalva	Visos gelio masės spalvos tolygumo, intensyvumo, sodrumo apibūdinimas
<i>Savybės, vertinamos vizualiai, gelio struktūrą ardant plastmasiniu šaukšteliu</i>	
Elastingumas (tamprumas)	Gelio gebėjimas grįžti į pirmykštę formą, nustojus veikti deformuojančiai jėgai (spausti šaukšteliu)
Suspaudžiamumas	Suspaudimo laipsnis, iki kurio gelis suspaudžiamas, prieš jį praduriant šaukšteliu
Stangrumas (tvirtumas)	Gelio pasipriešinimas deformacijai, šaukšteliu prasiskverbiant iki indelio dugno
Rišlumas	Gelio pasipriešinimas atplyšimui (subyrėjimui), atskiriant šaukšteliu jo dalį nuo likusios masės
Lipnumas šaukštelyje	Įvertinimas gelio pasislinkimas (iškritimas) po 15 s, kai šaukštelis su geliu paverčiamas 45° kampu
Gelio likutis šaukštelyje	Įvertinamas likęs šaukštelyje gelio kiekis po to, kai gelis iškrenta iš šaukštelio
Sinerezė indelyje	Skysčio kiekis, išsiskiriantis indelyje po 15 s, pasėmus šaukštelį gelio
Formos išlaikymas	Laipsnis, kuriuo gelis su šaukšteliu įdėtas į lėkštelę, išlaiko savo formą
Paviršiaus lygumas (glotnumas)	Šaukšteliu įdėto į lėkštelę gelio paviršiuje esančių dalelių formos ir dydžio vizualus pajautimas. Glotnus paviršius – nėra kruopėtumo (cukraus pudra), kruopėtas – primenantis manų kruopos
Formos išlaikymas po 15 s	Laipsnis, kuriuo gelis su šaukšteliu įdėtas į lėkštelę, išlaiko savo formą po 15 s
Trupumas, trapumas	Mažų dalelių kiekis indelyje, paėmus iš jo šaukštelį gelio
<i>Savybės, vertinamos pirštais ir delnais</i>	
Paviršiaus lygumas (glotnumas)	Gelio paviršiuje esančių dalelių formos ir dydžio pajautimas pirštų receptoriais, kai gelis padedamas tarp nykščio, smaližiaus ir didžiojo pirštų. Glotnus paviršius – nėra kruopėtumo, kruopėtas – jaučiamos kruopelės
Elastingumas (tamprumas)	Gelio gebėjimas grįžti į pirmykštę formą, nustojus veikti deformuojančiai jėgai (spausti pirštais)
Suspaudžiamumas	Suspaudimo laipsnis, iki kurio gelis suspaudžiamas, prieš jį suardant pirštais
Tvirtumas (stangrumas, pasipriešinimas spaudimui)	Jėga, reikalinga mėginiui suspausti tarp smaližiaus ir nykščio (iki suardymo)
Masės vienalytiškumas (lygumas, glotnumas)	Gelio masėje esančių dalelių formos ir dydžio pajautimas, nustatomas, gelį suspaudžiant tarp nykščio, smaližiaus ir didžiojo pirštų jiems statmena kryptimi (spaudimo metu ir jau suardžius struktūrą). Glotnus – nėra kruopėtumo, kruopėtas – jaučiasi kruopelės
Lipnumas ant pirštų	Gelio likučiai ant pirštų, po to, kai įvertinamas jo vienalytiškumas. Lipnumas vertinamas, patrinant gelio likučius tarp pirštų ir atsargiai atitraukiant pirštus vieną nuo kito
Sinerezė rankoje	Skysčio kiekis, išsiskiriantis nuo gelio kraštų rankoje, šaukštelį gelio įdėjus į delną ir išlaikius 10 s

Rezultatai ir jų aptarimas

IB gelių, pagamintų naudojant CaCl₂, reologinių savybių tyrimai

Šios darbo dalies tikslas – nustatyti kaip IB gelių reologinės savybės priklauso nuo CaCl₂

koncentracijos ir nuo CaCl₂ įdėjimo būdo. Tam išrūgų baltymų koncentracija tirpale laikyta pastovi (9 %), o CaCl₂ keičiama nuo 0,02 iki 0,1 mol/l žingsniu 0,02. Geliai gaminti dviem būdais:

karštuuju, CaCl_2 įdedant prieš denatūraciją, ir šaltuoju – po denatūracijos.

2 lentelėje pateiktos gelių, pagamintų naudojant CaCl_2 , reologinės savybės, nustatytos

instrumentiniais metodais ir išreikštos sinereze, pajėgumu sujungti vandenį, kompleksiniu modulių, elastingumo modulių ir gelio susidarymo tašku.

2 lentelė. Gelių reologinių savybių priklausomybė nuo CaCl_2 koncentracijos ir nuo CaCl_2 įdėjimo būdo

Gelių reologinės savybės	Geliai, pagaminti įdedant CaCl_2 prieš denatūraciją, kai CaCl_2 koncentracija, mol/l					Geliai, pagaminti įdedant CaCl_2 po denatūracijos, kai CaCl_2 koncentracija, mol/l				
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
Sinerezė, proc.	41,0	38,9	47,0	49,0	51,0	25,0	20,0	27,0	30,1	34,2
Vandens sujungimo pajėgumas, g $\text{H}_2\text{O}/1$ g baltymo	3,64	3,8	3,36	3,24	3,17	5,43	5,61	5,34	5,20	5,08
Gelio susidarymo taškas, s	1535	1522	1551	1540	1566	1365	1372	1381	1370	1397
Kompleksinis modulis G^* , Pa	1866	2307	2192	1880	1715	2015	2518	2320	2320	1800
Elastingumo modulis G' , Pa	1852	2255	2080	1848	1710	2003	2505	2245	2018	1760

Analizuojant 2 lentelėje pateiktus rezultatus matome, kad IB gelių sinerezė priklausė nuo CaCl_2 koncentracijos. Gaminant gelius tiek karštuuju būdu, tiek šaltuoju, mažiausia sinerezė nustatyta, kai CaCl_2 koncentracija buvo 0,04 mol/l, toliau didėjant druskos koncentracijai iki 0,1 mol/l, sinerezė nuosaikiai didėjo. Lyginant skirtingus gamybos būdus, geliai, pagaminti įdedant CaCl_2 po denatūracijos, pasižymėjo akivaizdžiai mažesne sinereze – visame CaCl_2 koncentracijų intervale ji buvo apie 20 % mažesnė nei gelių, pagamintų CaCl_2 įdedant prieš denatūraciją.

Tokiomis pat sąlygomis pamatavę vandens sujungimo pajėgumą nustatėme, kad jis mažai priklauso nuo CaCl_2 koncentracijos. Tačiau skirtingi gamybos būdai vandens sujungimo pajėgumą veikė gana smarkiai – gelių, pagamintų CaCl_2 įdedant po denatūracijos, visame koncentracijų intervale vienas gramas baltymų sugebėjo sujungti vidutiniškai net dviem gramais daugiau vandens nei gelių, pagamintų, įdedant CaCl_2 prieš denatūraciją.

Kita 2 lentelėje pateikta charakteristika – gelio susidarymo trukmė, t. y. laikas, kai matuojant mėginio klampiai elastingų savybių pokyčius gelio formavimosi metu nustatoma, kada mėginys tampa klampiai elastingas, t. y. kai $\delta = 45^\circ$. Nustatėme, kad CaCl_2 kiekis gelio susidarymo trukmei didelės įtakos neturėjo gaminant gelius abiem būdais, tačiau gaminant šaltuoju būdu, gelio susidarymo trukmė buvo apie 3 min mažesnė nei gaminant karštuuju būdu visame kalcio chlorido koncentracijų intervale.

IB gelių tvirtumas išreikštas kompleksiniu modulių – G^* , o elastingumas – elastingumo modulių – G' galutiniame gelio formavimosi taške.

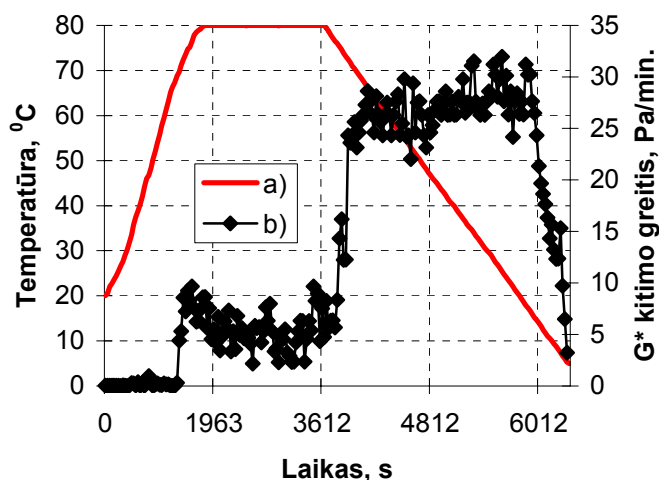
Nustatyta, kad gelio tvirtumas, išreikštas G^* , priklausė nuo CaCl_2 koncentracijos, ir didžiausios jo vertės užfiksuotos, kai CaCl_2 koncentracija buvo 0,04 mol/l, o toliau didinant koncentraciją tolygiai mažėjo. Ši tendencija galiojo tiek CaCl_2 įdedant prieš denatūraciją, tiek ir įdedant po jos. Analogiška tendencija pastebėta ir lyginant elastingumo modulio vertes – elastingiausi IB geliai tie, kuriuose CaCl_2 koncentracija yra 0,04 mol/l.

Gelių struktūros susidarymas tirtas mažųjų deformacijų metodu, matuojant kompleksinio modulio G^* pokyčius erdvinės struktūros formavimosi metu. 1 paveiksle parodytas G^* kitimo greitis gaminant IB gelius karštuuju būdu, kai CaCl_2 koncentracija 0,04 mol/l. Esant kitoms CaCl_2 koncentracijoms, gauti panašūs rezultatai. G^* kitimo greičio grafike pastebėti du šuoliai. Pirmasis staigus G^* kitimo greičio padidėjimas nuo 2–5 iki 10–15 Pa/min užfiksuotas, kai pirmajame gelio gamybos etape (šildymas nuo 20 iki 80 °C) temperatūra pasiekė 66 °C. Išlaikymo 80 °C temperatūroje etape G^* kitimo greitis išliko pastovus. Antrasis staigus G^* kitimo greičio padidėjimas nuo 10–15 iki 60–70 Pa/min pastebėtas šaldymo etapo pradžioje. Manome, kad pirmasis šuolis atspindi IB denatūracijos pradžią, o antrasis rodo erdvinės struktūros formavimąsi.

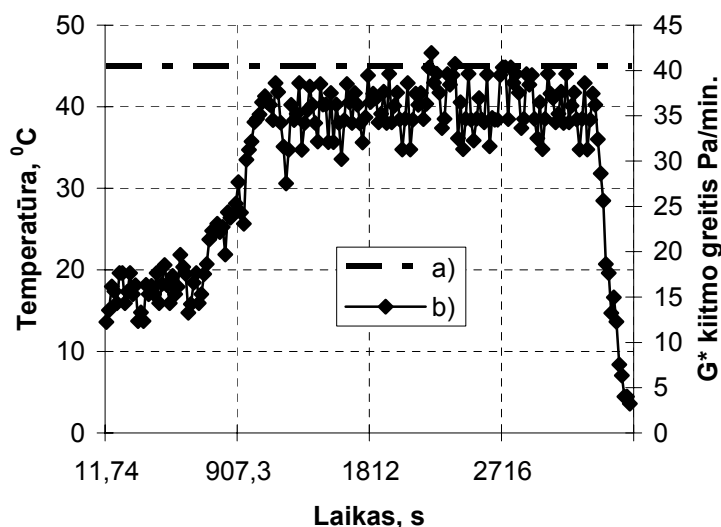
Gaminant šaltuoju būdu, išrūgų baltymų tirpalas su įdėtu CaCl_2 laikytas 45 °C temperatūroje 1 h. Fiksuojamas G^* kitimo greitis pavaizduotas 2 paveiksle. Prieš įdedant kalcio chloridą, išrūgų baltymų tirpalas 30 min šildytas 80 °C temperatūroje, siekiant sukelti baltymų perėjimą iš natyvinės būklės į denatūruotą. Iš 2 paveiksle pateikiamų duomenų

galima spręsti, kad pradinis lėtas G^* reikšmių augimas (G^* kitimo greitis yra lygus apie 15 Pa/min) buvo susijęs su baltymų agregacijos procesais, dalyvaujant CaCl_2 , o nuo 20-osios minutės prasidėjo

gelio formavimasis, lydymas gana spartaus G^* kitimo greičio. Jis viso proceso metu apytiksliai lygus 35 Pa/min.



1 pav. IB gelių G^* kitimo greitis gelio susidarymo metu, kai CaCl_2 įdedamas prieš denatūraciją ir jo koncentracija gelyje yra 0,04 mol/l: a) temperatūra, °C, b) G^* kitimo greitis, Pa/min



2 pav. IB gelių G^* kitimo greitis gelio susidarymo metu, kai CaCl_2 įdedamas po denatūracijos ir jo koncentracija gelyje yra 0,04 mol/l: a) temperatūra, °C, b) G^* kitimo greitis, Pa/min

IB gelių, pagamintų naudojant CaCl_2 , tekstūros savybių tyrimai

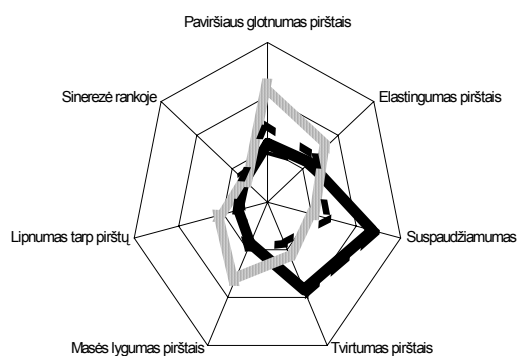
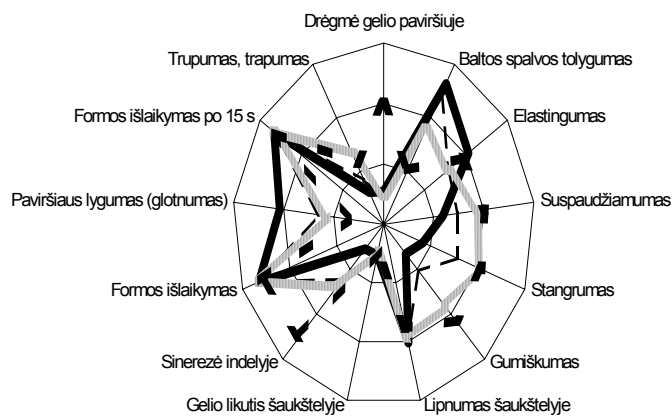
Siekdami nustatyti kaip CaCl_2 koncentracija ir gelių gamybos būdas veikia išrūgų baltymų gelių tekstūros savybes, atlikome juslinę aprašomąją analizę, kurios rezultatai pavaizduoti 3 paveiksle.

3-A ir 3-B paveiksluose lyginti tarpusavyje geliai, pagaminti įdedant CaCl_2 prieš denatūraciją.

Geliui, kuriame CaCl_2 koncentracija 0,08 mol/l, paviršiuje nustatytas didžiausias paviršiuje išsiskyrusios drėgmės kiekis ir šis skirtumas yra reikšmingas ($p < 0,0001$). Kiti geliai pagal šį rodiklį tarpusavyje nesiskyrė. Vertinant mėginių spalvos tolygumą, matyti, kad geliai, kuriuose CaCl_2 koncentracija 0,02 ir 0,04 mol/l, tarpusavyje nesiskyrė ir jų spalva vertinta kaip tolygiausia. Tuo

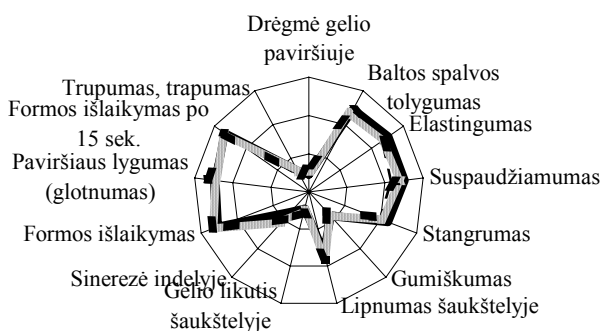
tarpu gelis, kuriame CaCl_2 koncentracija 0,08 mol/l, spalvos baltumu ir tolygumu labiausiai skyrėsi nuo visų likusių. Mėginių elastingumas, lipnumas šaukštelyje, gelio likutis šaukštelyje bei formos išlaikymas po 15 s visame CaCl_2 koncentracijų

intervale buvo gana panašūs ir tarpusavyje nesiskyrė ($p > 0,05$). Suspaudžiamumas, esant mažesnei CaCl_2 koncentracijai, buvo mažesnis, nei didesnį CaCl_2 kiekį turinčių gelių.

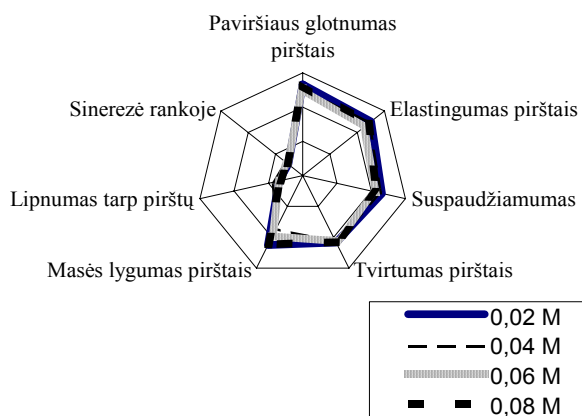


A

B



D



C

3 pav. IB gelių tekstūros savybių priklausomybė nuo CaCl_2 koncentracijos ir gelių gamybos būdo: A – gelių gamintų įdedant CaCl_2 prieš denatūraciją, tekstūros savybės vertintos šaukšteliu; B – tų pačių gelių tekstūros

savybės vertintos pirštais ir delnais; C – gelių, gamintų įdedant CaCl_2 po denatūracijos, tekstūros savybės vertintos šaukšteliu; D – tų pačių gelių tekstūros savybės vertintos pirštais ir delnais

Gelio, kuriame CaCl_2 koncentracija 0,02 mol/l, stangrumas ir gumiškumas mažiausi, o didėjant koncentracijai stangrumo ir gumiškumo reikšmės augo. Vertinant sinerezę indelyje, tarp mėginių nustatytas reikšmingas skirtumas. Didžiausią CaCl_2 kiekį turinčiame mėginyje sinerezė vyko aktyviausiai, ir išsiskyrė didžiausias skysčio kiekis (tai atitiko ir išsiskyrusios gelio paviršiuje drėgmės kiekį). Silpniausiai sinerezė vyko gelyje, kuriame kalcio chlorido koncentracija buvo 0,04 mol/l. Likusių gelių sinerezė užėmė tarpinę padėtį. Glotniausias paviršius, vertintas šaukšteliu ir pirštais, buvo mėginio, kuriame CaCl_2 koncentracija 0,04 mol/l. Vertinant mėginių tvirtumą, matyti, kad jie pasiskirstė į dvi grupes: mažesni kalcio chlorido kiekį turintys geliai (0,02 ir 0,04 mol/l) susispaudė mažiau, o likusieji labiau ($p < 0,0001$). Lyginant lipnumą, akivaizdžiai išsiskyrė mėginys su 0,02 mol/l kalcio chlorido koncentracija, jo lipnumas prie pirštų didžiausias lyginant su kitais mėginiais (nors ir nebuvo vertinamas kaip labai lipnus). Kaip matyti iš pateiktų duomenų, pagal daugelį savybių išsiskyrė gelis, kuriame CaCl_2 koncentracija 0,04 mol/l. Šis gelis tvirčiausias, mažiausiai susispaudžiantis, glotniausias, pasižymėjo mažiausia sinereze ir vandens išsiskyrimu paviršiuje.

Gelių paviršiaus glotnumas, elastingumas, lipnumas, suspaudžiamumas ir sinerezė vertinti spaudžiant mėginį šaukšteliu ir pirštais. Lipnumo ir elastingumo abiejų būdų vertinimo rezultatai sutapo, kitų savybių reikšmės skyrėsi.

Kai kurias jusliškai nustatytas tekstūros savybes (tvirtumą, sinerezę indelyje ar elastingumą) galima sieti su instrumentiniais metodais nustatytais reologinėmis savybėmis. Duomenų palyginimas parodė, kad juslinės analizės metu gauti duomenys vertinant IB gelius su CaCl_2 , pastarąjį įdedant po denatūracijos, sutapo su instrumentinės analizės metodais užfiksuotomis tendencijomis. Tiek juslinės, tiek instrumentinės analizės duomenys parodė, kad tvirčiausias ir elastingiausias buvo gelis, kuriame CaCl_2 koncentracija buvo 0,04 mol/l, o didžiausia sinerezė buvo gelyje su 0,08 mol/l CaCl_2 koncentracija. Tokiu būdu, juslinės analizės duomenys patvirtino reologinių savybių tyrimo duomenis, kurie teigia, jog tvirčiausią ir mažiausia sinereze pasižymintį gelį galima gauti, kai CaCl_2 koncentracija tirpale yra 0,04 mol/l.

3-C ir 3-D paveiksluose lyginamos gelių, pagamintų CaCl_2 įdedant po denatūracijos, tekstūros savybės. Analizuojant gautus rezultatus matyti, kad iš visų mėginių išsiskyrė nedidelis skysčio kiekis.

Gelio su 0,04 mol/l CaCl_2 koncentracija išsiskyrusios drėgmės kiekis paviršiuje didžiausias, ir šis skirtumas yra reikšmingas ($p = 0,003$) lyginant jį su mėginiu, kuriame CaCl_2 koncentracija 0,02 mol/l. Tačiau, sinerezė indelyje intensyviausiai vyko gelyje su CaCl_2 koncentracija 0,06 mol/l. Šis mėginys buvo antroje vietoje pagal drėgmės gelio paviršiuje kiekį. Visų gelių spalva tolygi. Daugelis tekstūros savybių, vertintų ardančią mėginio struktūrą šaukšteliu (suspaudžiamumas, gumiškumas, lipnumas šaukštelyje ir kt.) buvo gana panašios ir tarpusavyje mažai skyrėsi ($p > 0,05$). Lyginant konkrečias savybių reikšmes, galima teigti, kad optimaliomis savybėmis pasižymėjo gelis, kuriame CaCl_2 koncentracija 0,04 mol/l. Tuo tarpu atskirų mėginių elastingumas, stangrumas, formos išlaikymas bei paviršiaus glotnumas, kaip ir daugelis vertintų pirštais tekstūros savybių, reikšmingai skyrėsi. Elastingumas ir formos išlaikymas didžiausias buvo gelio su mažiausia CaCl_2 koncentracija ir didėjo, didėjant jo koncentracijai. Gelis su 0,04 mol/l CaCl_2 koncentracija pasižymėjo didžiausiu paviršiaus glotnumu ir tvirtumu.

Lyginant savybes, nustatomas pirštais ir šaukšteliu, pastebėta, kad skirtingai nei IB gelių, pagamintu karštuoju būdu, šių gelių minėtųjų savybių reikšmės panašios ir skyrėsi tik suspaudžiamumas. Spaudžiant pirštais, labiausiai susispaudė mėginys, kuriame CaCl_2 koncentracija 0,04 mol/l, o spaudžiant šaukšteliu – mėginys, kuriame CaCl_2 koncentracija 0,02 mol/l.

Lyginant juslinės ir instrumentinės analizės duomenis, pastebėta, kad vertinant tiek jusliškai, tiek instrumentiniu būdu gelių tvirtumą, tvirčiausias buvo gelis su 0,04 mol/l CaCl_2 koncentracija. Sinerezės ir elastingumo duomenys nesutapo – vertinant jusliškai, elastingiausias buvo gelis, su 0,02 mol/l CaCl_2 koncentracija, o tiriant reometru, – gelis, kuriame CaCl_2 koncentracija 0,04 mol/l. Tiriant jusliškai, didžiausia sinerezė buvo gelyje su 0,06 mol/l CaCl_2 koncentracija, o tiriant instrumentiniu būdu – gelyje, kuriame CaCl_2 koncentracija 0,08 mol/l. Kita vertus, nors šių savybių intensyvumų skaitinės reikšmės ir nesutapo, bendrosios tendencijos buvo panašios: didėjant CaCl_2 koncentracijai virš 0,04 mol/l, elastingumas mažėjo, o sinerezė didėjo.

Lyginant skirtingais gamybos būdais gautus, bet vienodą CaCl_2 koncentraciją turinčius gelius, pastebėta, kad šaltuoju būdu pagamintų gelių tekstūros savybių skaitinės reikšmės didesnės. Geliai, pagaminti šaltuoju būdu, buvo tolygesnės

spalvos, didesnio paviršiaus lygumo ir glotnumo, tvirtesni bei beveik dvigubai elastingesni ir stangresni visame koncentracijų intervale. Karštuoju būdu pagaminti geliai pasižymėjo didesniu lipnumu, sinereze, vandens išsiskyrimu paviršiuje bei trapumu taip pat visame koncentracijų intervale. Kai kurios savybės (formos išlaikymas, gumiškumas, suspaudžiamumas) savo skaitinėmis reikšmėmis buvo panašios ir nepriklausė nuo gelių gamybos būdo. Taigi, juslinė IB gelių, pagamintų, naudojant CaCl_2 , analizė patvirtino duomenis gautus, tiriant jų reologines savybes. Nustatyta, kad šaltasis gamybos būdas leidžia gauti gelius, pasižyminčius didesniu tvirtumu, vandens sujungimu bei mažesne sinereze, o

optimalios IB gelių savybės gaunamos, kai CaCl_2 koncentracija yra 0,04 mol/l, gaminant tiek vienu, tiek kitu būdu.

IB gelių, pagamintų mažinant pH, reologinių savybių tyrimai

Šios darbo dalies tikslas buvo nustatyti, kaip IB gelių reologinės savybės priklauso nuo pH. Tikslui pasiekti išrūgų baltymų koncentracija tirpale laikyta pastovi (9 %), o pH keitėme nuo 5,5 iki 4,0 žingsniu 0,5, į denatūruotų baltymų tirpalą pridedant gliukono δ -laktono.

Gelių, pagamintų mažinant pH, reologinės savybės priklausomai nuo pH pateiktos 3 lentelėje.

3 lentelė. Gelių, pagamintų šaltuoju būdu, reologinių savybių priklausomybė nuo pH

Gelių reologinės savybės	pH			
	4,0	4,5	5,0	5,5
Sinerezė, proc.	37,0	31,0	27,0	34,3
Vandens sujungimo pajėgumas, g H ₂ O/1 g baltymo	5,2	5,31	6,67	5,34
Gelio susidarymo taškas, s	1096	1098	1098	1096
Kompleksinis modulis G*, Pa	1766	2092	2207	2190
Elastingumo modulis G', Pa	1752	1980	2155	2148

Sinerezės duomenys parodė, kad mažiausiu savaiminiu vandens išsiskyrimu pasižymėjo geliai, kurių pH artimas β-laktoglobulino izoelektriniam taškui, o tolstant nuo pH 5,0, vandens išsiskyrimas didėjo. Tokiomis pat sąlygomis pamatavę vandens sujungimo pajėgumą, nustatėme, kad jis menkai priklausė nuo pH, nes visame pH intervale gautos panašios reikšmės. Tiesa, kaip ir sinerezės atveju, taip ir čia išsiskyrė gelis, kurio pH 5,0, – jo vandens sujungimo pajėgumas didžiausias.

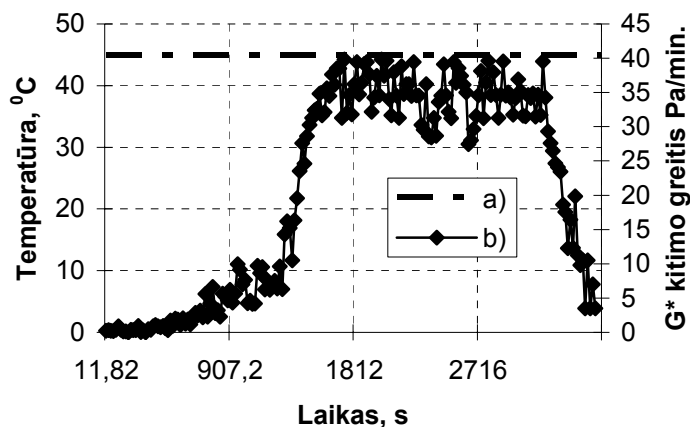
3 lentelėje pateikiami duomenys apie gelio susidarymo trukmę. Galima pastebėti, kad visame pH intervale geliai susidarė praktiškai vienu metu. Tai galima paaiškinti tuo, jog į išrūgų baltymų tirpalą dėti skirtingi gliukono δ-laktono kiekiai, kas leido pasiekti norimą pH ir tuo pačiu sudaryti gelį vienu metu.

Analogiškai geliams, pagamintiems su CaCl₂, šiame darbo etape IB gelių tvirtumas buvo išreikštas kompleksiniu moduliu – G*, o elastingumas – elastingumo moduliu – G' gelio formavimosi galutiniame taške. Nustatėme, kad išrūgų baltymų gelių tvirtumas pH intervale, artimame išrūgų baltymų izoelektriniam taškui, priklausė nuo pH.

Didžiausias tvirtumas buvo gelio, turinčio pH 5,0. Taigi, tvirčiausi ir stangriausi geliai gauti, kai pH artimas pagrindinio išrūgų baltymo – β-laktoglobulino izoelektriniam taškui (5,2). Tolstant nuo šio taško tiek į šarminę, tiek į rūgštinę puses gelių tvirtumas nuosaikiai mažėjo.

Gelių, pagamintų keičiant tirpalo pH, struktūros susidarymas tirtas mažųjų deformacijų metodu. Gelio tvirtumo pokyčiai matuoti, mėginį išlaikant 45 °C temperatūroje 1 h.

4 paveiksle pateikti IB gelių kompleksinio modulio dinamikos tyrimo rezultatai. Proceso pradžioje G* kitimo greitis buvo gana mažas, tačiau nuo šildymo pradžios praėjus 20 minučių, jo kitimo gradientas įgijo didesnes reikšmes ir išliko gana tolygus (skaitinės reikšmės lygios apie 35 Pa/min) visą gelio formavimosi procesą. Lyginant galutines jau susidariusių gelių G* vertes, galima pastebėti, kad esant pH 5,0, susidarė tvirčiausias gelis, o tolstant nuo šio pH į šarminę ir rūgštinę puses, gelis silpnėjo. Tai galima paaiškinti tuo, kad izoelektriniame taške silpniausiai veikia elektrostatinės stūmos jėgos ir geliai būna tvirčiausi.



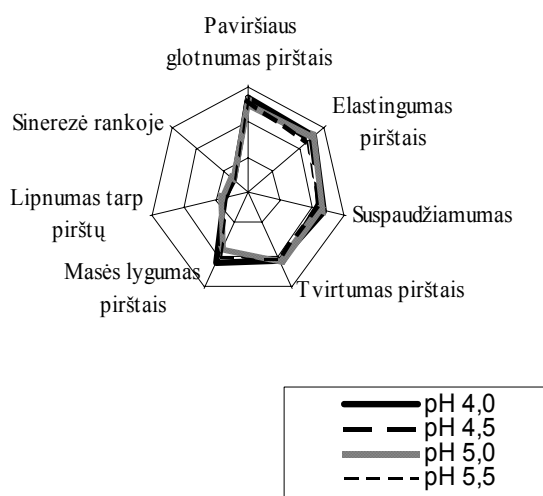
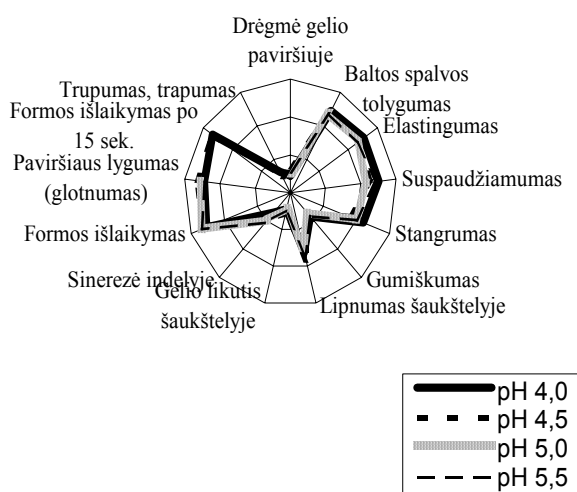
4 pav. G* kitimo greitis IB gelių susidarymo metu, kai gelio pH 5,0: a) temperatūra, °C, b) G* kitimo greitis, Pa/min

IB gelių, pagamintų mažinant pH, tekstūros savybių tyrimai

Siekiant nustatyti pH įtaką IB gelių tekstūros savybėms, atlikome gelių, pagamintų keičiant tirpalo pH, tekstūros juslinę analizę. Gauti duomenys pateikti 5 paveiksle.

Didžiausias išsiskyrusios drėgmės kiekis nustatytas gelyje, kurio pH siekė 4,5, ir šis skirtumas yra reikšmingas ($p=0,003$) lyginant su kitais geliais. Visų gelių spalva buvo įvertinta kaip tolygi ir nei vienas mėginys pagal šią savybę neišsiskyrė. Mėginių suspaudžiamumas, gumiškumas, lipnumas šaukštelyje, gelio likutis šaukštelyje, formos

išlaikymas bei trapumas savo skaitinėmis reikšmėmis buvo gana panašūs ir tarpusavyje skyrėsi labai nedaug ($p>0,05$). Gelio, kurio pH buvo 4,0, elastingumas reikšmingai ($p<0,03$) skyrėsi nuo gelių, kurių pH buvo 5,0 ir 5,5. Geliai, kurių pH buvo žemiau izoelektrinio taško – 4,5 ir 4,0, buvo stangresni už gelius, kurių pH didesnis. Ypač dideliu stangrumu pasižymėjo gelis, kurio pH buvo 4,0. Vertinant tekstūrą pirštais, visi mėginiai buvo glotnūs, gerai susispaudė, buvo pakankamai tvirtos, stabilios struktūros, ir tarp šių savybių nenustatytas reikšmingas skirtumas.



A

B

5 pav. IB gelių tekstūros savybių priklausomybė nuo pH: A – tekstūros savybės vertintos šaukšteliu; B – tų pačių gelių tekstūros savybės vertintos pirštais ir delnais

Lyginant tarpusavyje savybes, vertintas pirštais ir šaukšteliu, galima pastebėti, kad rezultatai išsiskyrė – spaudžiant gelius pirštais nebuvo nustatyti reikšmingi skirtumai tarp skirtingą pH turinčių gelių, tuo tarpu, spaudžiant šaukšteliu, kai kurios savybės (paviršiaus glotnumas ir suspaudžiamumas) tarp skirtingą pH turinčių IB gelių labiau skyrėsi.

Apibendrinus šios serijos gelių tyrimų rezultatus, galima teigti, kad mėginių tekstūra buvo gana panaši. Pagal daugelį vertintų savybių tarp visų mėginių nenustatytas reikšmingas skirtumas. Jeigu pagal atskiras savybes (sinerezę, elastingumą, stangrumą, masės lygumą) tarp kai kurių mėginių nustatytas reikšmingas skirtumas, savo skaitinėmis reikšmėmis jis yra gerokai mažesnis, nei vertinant gelius, pagamintus naudojant CaCl_2 .

Lyginant juslinės analizės rezultatus su instrumentinių tyrimų duomenimis, galima pastebėti, kad ir vienu, ir kitu metodu gauti duomenys parodė tas pačias tendencijas. Abiem atvejais skirtumai tarp mėginių tekstūros savybių buvo nedideli. Taigi,

galima daryti išvadą, kad pH intervale, artimame išrūgų baltymų pagrindinio baltymo β -laktoglobulino izoelektriniam taškui (4,0–5,5), geliai pasižymi labai panašiomis tekstūros savybėmis: yra gana lygūs, stangrūs, panašaus tvirtumo, sinerezės ir vandens sujungimo pajėgumo.

Apibendrinant gautus rezultatus, galima pastebėti, kad lyginant šaltuoju būdu (pridedant CaCl_2 ir keičiant tirpalo pH) pagamintus gelius, dauguma gelių savybių, nustatytų juslinės ir instrumentinės analizės metodais, turėjo panašias skaitines reikšmes. Akivaizdus skirtumas nustatytas tik nustatant vandens sujungimo pajėgumą ir masės lygumą: geliai, pagaminti keičiant tirpalo pH, gebėjo sujungti vidutiniškai vienu gramu vandens daugiau ir buvo lygesnės masės visame matavimo intervale lyginant su geliais, pagamintais pridedant CaCl_2 . Taigi, galima daryti išvadą, kad, gaminant IB gelius šaltuoju būdu, panašių savybių gelius galima gauti tiek pridedant CaCl_2 , tiek keičiant tirpalo pH.

Išvados

1. Nustatyta, kad išrūgų baltymų gelių reologinės ir tekstūros savybės priklauso nuo jų gamybos būdo ir sudėties. Šaltuoju būdu pagamintų gelių dauguma tekstūros savybių turėjo didesnes skaitines reikšmes lyginant su geliais, pagamintais karštuoju būdu.
2. IB gelių, pagamintų pridedant CaCl_2 , reologinės ir tekstūros savybės priklauso nuo CaCl_2 kiekio tirpale ir jo idėjimo į tirpalą laiko. Elastingiausias ir tvirčiausias gelis ($G^*=2529$ Pa), pasižymintis mažiausia sinereze (20 %) ir didžiausiu vandens sujungimu (5,6 g/1 g baltymo), gautas, pridedant CaCl_2 po IB denatūracijos, ir jo koncentracija buvo 0,04 mol/l.
3. Nustatyta IB gelių reologinių ir tekstūros savybių priklausomybė nuo gelio pH. Esant pH 5,0, t. y. arčiausiai IB izoelektriniam taškui, geliai pasižymėjo tvirčiausia struktūra ($G^*=2041$ Pa), mažiausia sinereze (27 %) ir didžiausiu vandens sujungimu (6,57 g/1 g baltymo).

Literatūra

1. **Van Camp J., Messens W., Clement J., Huyghebaert A.** Influence of pH and calcium chloride on the high-pressure induced aggregation of whey protein concentrate // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1997. Vol. 45. P. 1060–1607.
2. **Totosaus A., Montejano J. G., Salazar J. A., Guerrero I.** A review of physical and chemical protein-gel induction // *International Journal of Food Science and Technology*. 2002. Vol. 37. P. 589–601.
3. **Alting A. C., Hamer R. J., de Kruif C. G., de Jongh H. H., Simons J. F. K.** Physical and chemical interactions in pH-induced aggregation and gelation of whey proteins // *Food Colloids, Biopolymers and Materials*. Ed. E. Dickinson, T. van Vliet. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2003. P. 49–57.
4. **Brayant C. M., McClements D. J.** Influence of NaCl and CaCl_2 on cold-set gels of heat-denatured whey proteins // *Journal of Food Science*. 2000. Vol. 65, No. 5. P. 801–804.
5. **Alting A. C., de Jongh H. H. J., Visschers R. W., Simons J. F. A.** Physical and chemical interactions in cold gelation of food proteins // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003. Vol. 51. P. 4682–4689.
6. **Oakenfull D., Pearce J., Burley R. W.** Protein gelation // *Food Proteins and their Applications*. Ed. S. Damodaran, A. Paraf. Marcel Dekker Inc., New York, 1997. P. 111–142.
7. **Verheul M., Roefs S. P. F. M.** Structure of particulate whey protein gels: effect of NaCl concentration, pH, heating temperature, and protein composition // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1998. Vol. 46, No. 12. P. 4909–4916.
8. **Ju Z. Y., Kilara A.** Effects of preheating on properties of aggregates and of cold-set gels of whey protein isolate // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1998. Vol. 46. P. 3604–3608.
9. **Brayant C. M., McClements D. J.** Influence of NaCl and CaCl_2 on cold-set gels of heat-denatured whey protein // *Journal of Food Science*. 2000. Vol. 65, No. 5. P. 801–804.
10. **Barbut S., Foegeding E. A.** Ca^{2+} -induced gelation of pre-heated whey protein isolate // *Journal of Food Science*. 1993. Vol. 58, No. 4. P. 867–871.
11. **Ju Z. Y., Kilara A.** Textural properties of cold -set gels induced from heat-denatured whey protein isolates // *Journal of Food Science*. 1998. Vol. 63. P. 288–292.
12. **Hongsprabhas P., Barbut S.** Structure-forming processes in Ca^{2+} -induced whey protein isolate cold gelation // *International Dairy Journal*. 1997. Vol. 7. P. 827–834.
13. **Alting A. C., Hamer R. J., de Kruif C. G., Visschers R. W.** Formation of disulfide bonds in acid-induced gels of preheated whey protein isolate // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2000. Vol. 48. P. 501–505.
14. **Ju Z. Y., Kilara A.** Properties of gels induced by heat, protease, calcium salt, and acidulant from calcium ion-aggregated whey protein isolate // *Journal of Dairy Science*. 1998. Vol. 81. P. 1236–1243.
15. **Stading M.** Gel structure and rheology in theory and practice. A literature review. SIK report. Goterborgs universitet, Sweden, 1991. P. 41–45.
16. **Kocher P. N., Foegeding E. A.** Microcentrifuge – based method of measuring water –holding of protein gels // *Journal of Food Science*. 1993. Vol. 58, No. 5. P. 1040–1045.

Pateikta spaudai 2006-03

D. Leskauskaitė, A. Brantas, A. Mieželiene,
G. Alenčikienė

RHEOLOGICAL MECHANICAL AND TEXTURAL ATTRIBUTES OF WHEY PROTEINS GELS

Summary

The rheological mechanical and textural attributes and gels formation dynamic of whey proteins (WP) gels were studied. Two different gels preparation methods were used. For heat induced gelation, 9 % of WP stock solution and 1 M CaCl_2 solution were used. For cold-set gelation 9 % WP stock solution with addition of CaCl_2 were used and pH of the solution was adjusted from 5.5 to 4.0. Concentration of CaCl_2 in the gels varied from 0.02 to 0.1 M. The dependency of the rheological, mechanical and textural attributes on the gels composition was evaluated. The most level of the elasticity and hardness ($G^*=2529$ Pa), lowest level of syneresis (20 %) and highest water binding (5.6 g/1 g protein) was for the heat induced gel prepared with addition 0.04 M CaCl_2 after WP denaturation.

Most of the cold set gels textural attributes were more intensive compared with the heat induced gels. The effect of pH on whey protein gels rheological mechanical and textural properties was determined. At a pH 5.0 (near WP isoelectric point), the structure of the gels was characterized as that of the highest toughness ($G^*=2041$ Pa), the weakest syneresis (27 %) and the highest ability to bind water (6.57 g/1 g protein). It was established that the results of the sensory evaluation were found to be in agreement with the majority of results obtained by using instrumental techniques.

Keywords: whey protein gels, method of preparation, gels composition, rheological mechanical properties, textural attributes.

Д. Ляскаускайте, А. Брантас, А. Межялене,
Г. Аленчикене

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕКСТУРНЫЕ СВОЙСТВА ГЕЛЕЙ ИЗ СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ

Резюме

Цель исследований – определить реологические и сенсорные свойства текстуры гелей, выработанных из

сывороточных белков (СБ), а также установить динамику формирования гелей. Гели вырабатывали горячим способом из 9%-ного раствора изолята сывороточных белков и 1 М раствора CaCl_2 , и холодным – из 9%-ного раствора изолята сывороточных белков с добавлением CaCl_2 от 0,02 до 0,1 М и изменением pH раствора от 5,5 до 4,0.

Установлена зависимость реологических и текстурных свойств гелей от способа приготовления и состава гелей. При горячем способе выработки гель, полученный с добавлением после денатурации СБ 0,04 М CaCl_2 , оказался наиболее эластичным и прочным ($G^*=2529$ Pa), обладал наименьшим синерезисом (20 %) и наиболее выраженными водосвязывающими свойствами (5,6 г/1 г белка). При исследовании влияния pH на реологические и текстурные свойства гелей установлено, что при pH 5,0, т. е. наиболее приближенном к изоэлектрической точке СБ, гели отличались наиболее прочной структурой ($G^*=2041$ Pa), наименьшим синерезисом (27 %) и наибольшими водосвязывающими свойствами. Численные значения многих свойств этих гелей, установленные методами сенсорного и инструментального анализа, были близкими.