

Folyékony és félfolyékony (viszkózus – plasztikus) élelmiszerek reológiai vizsgálata

NEDELKOVITS JÁNOS és VARGA JÁNOS

Budapesti Műszaki Egyetem Élelmiszerkémia Tanszék*

Érkezett: 1969. február 2.

A folyékony és félfolyékony élelmiszerek, ill. élelmiszeripari nyersanyagok közül elsősorban a tej, a különböző gyümölcslevek, valamint sűrítmények (sűrített tej, paradicsomsűrítmény, szörpök stb.), tejszín, csokoládémassza, zsiradékok, méz említhetők meg. Reológiai sajátásaik alapján leggyakrabban a pszeudoplasztikus, vagy az általánosított *Bingham* testek csoportjába sorolhatók be. Az ideális newtoni folyadékként viselkedő anyagok ritkák, híg cukor- és sóoldatok mellett csak a méz az, amely – érdekes módon – newtoni folyadéknak tekinthető.

Első példaként a tejet említjük meg, amelynek viszkozitásával igen behatóan foglalkoztak. A mérések az anyag jellegének megfelelően elsősorban kapilláris viszkoziméterekkel, ritkábban esőgolyós és rotációs viszkoziméterekkel történhet. E vizsgálatok alapján megállapítható, hogy bár a tej összetétele – az egyes komponensek aránya – befolyásolja a viszkozitást, nincsen szoros összefüggés a reológiai sajátosságok és a kémiai összetétel között. Ezt szemlélteti az 1. táblázat [Spöttl és Gneist (1)].

1. táblázat

Korreláció az egyes tejösszetevők mennyisége és a viszkozitás között

Szárazanyag	Zsírintes szárazanyag	Fehérje	Zsír	Fehérje és zsír
0,65 ± 0,12	0,66 ± 0,08	0,42 ± 0,17	0,24 ± 0,18	0,43 ± 0,16

Érdekes módon a zsirtartalom és a viszkozitás közötti korreláció egészen gyenge. Egyes kutatók a viszkozitásnak a nyírési sebességtől függő kismértékű csökkenését tapasztalták. Ez valószínűleg arra vezethető vissza, hogy nagy nyíróerőknél a tejszírgolyócskák deformálódnak és a folyás hatására orientálódnak.

Elsősorban tejipari berendezések (szivattyúk, pasztörök, csővezetékek stb.) méretezése szempontjából jelentős a tej viszkozitásának változása a hőmérséklet függvényében.

A tej viszkozitása a hőmérséklet csökkenésével növekszik. A viszkozitás-hőmérséklet függésére Cox (2.) az alábbi tapasztalati összefüggést állította fel:

$$\eta_t - \eta_{20} = b_1(t - 20) + b_2(t - 20)^2 + b_3(t - 20)^3$$

ahol: η_{20} = a viszkozitás 20 C°-on

η_t = a viszkozitás t hőmérsékleten

b_1, b_2 és b_3 = állandók

* Az V. Élelmiszervegyész Ankéton (1969. január 10-én) elhangzott előadás.

Az állandók kísérleti adatok alapján állapíthatók meg. Értékükre több szerző közül adatokat.

A tej sűrítése során a viszkozitás jelentősen változik. *Torsell, Sandberg és Thureson* (3.) szerint a sűrített tej szárazanyagtartalma és a viszkozitása között az alábbi összefüggés állítható fel:

$$Sz = \frac{a \log (T/b) - \log \cdot \log \cdot (v + 0,8) - c}{d \log (T/b) - f}$$

ahol: Sz = a sűrített tej szárazanyagtartalma

T = az abszolút hőmérséklet

v = a kinematikus viszkozitás

a, b, c, d és f = állandók

Cukrozott sűrített tejek vizsgálatánál *Reiner, Scott-Blair és Hawley* (4) tixotróp jelenségeket is tapasztalt.

A tejszín reológiai sajátságait főleg az emulzió töménysége és a diszperzitás foka határozza meg. A viszkozitás különösen nagyobb zsírtartalmú tejszínnek nem követi *Newton* törvényét. Töményebb emulzióknál fellép a határfeszültség és a szerkezeti viszkozitás jelensége (pl. plasztikus tejszín).

A gyümölcslevek lényegében a tejhez hasonlóan viselkednek reológiai szempontból. A reológiai sajátságok és a kémiai összetétel, ill. minőség között itt sem találhatók szorosabb összefüggések. Ugyanakkor azonban egyes technológiai folyamatok ellenőrzése és irányítása során a reológiai vizsgálatok szerephez jutnak. Példaként a gyümölcslevek enzimes derítését hozzuk fel. A folyamatot viszkozimetriás mérésekkel ellenőrzik. A lé viszkozitása már a bekeverés után csökkenni kezd és a pektin lebomlásának előrehaladásával a csökkenés arányosan fokozódik, míg a teljes lebontás után a lé viszkozitása egy kis értéken megállapodik (5.). Ugyanilyen módszert használnak az enzimek sűrítmenyek hatóképességének kifejezésére is, megadva a viszkozitásérték csökkenésének arányát a teljes lebomlás után mért viszkozitáshoz. Ezt a számot lebontási számnak nevezik. Jó enzimek sűrítmenyeknél a lebontási szám 92 és 98 között szokott lenni. A lebontási szám alatt az eredeti pektinoldat és a lebontott pektinoldat specifikus viszkozitásának viszonyszámát értjük az alábbi összefüggés szerint (6):

$$\text{Lebontási szám} = 100 - \frac{\eta_{spec} \cdot \text{lebontás után}}{\eta_{spec} \cdot \text{eredeti}} \cdot 100$$

ahol: $\eta_{spec} = \eta_{rel} - 1$.

A sűrítmenyek közül példaként a paradicsomsűrítmenyt választottuk ki egyrészt ipari jelentősége miatt, másrészt a miatt, hogy reológiai sajátságaival behatóan foglalkoztak. A vizsgálatok közül a legértékesebbek azok, amelyeket rotációs viszkoziméterekkel végeztek, tekintve, hogy ezek adják a legtöbb reológiai információt. Igen elterjedtek a különböző empirikus elven működő készülékek, amelyek kisebb értékűek és elsősorban összehasonlító vizsgálatoknál használhatók fel.

Összegezve: a reológiai sajátságokról az állapítható meg, hogy azok egyrészt a paradicsomsűrítmeny kémiai összetételétől, másrészt a sűrítmeny kolloid szerkezetétől függenek. Megállapították, hogy a centrifugálással elválasztható szérum viszkozitásából is bizonyos következtetéseket lehet levonni a sűrítmeny reológiai sajátságaira, azonban a meghatározó szerepet a kolloid szerkezet játssza. A vízoldható pektinek mellett a viszkozitás alakulásában a nem oldódó sejtfalrészek (főleg nem kristályos cellulóz) játszanak fontos szerepet. Ez újból rávilágít arra, hogy a paradicsomfajta, annak sejtfelépítése jelentősen befolyásolhatja a készülő sűrítmeny reológiai viselkedését.

A szeretlen komponensek és egyéb elektrolitok (pl. szerves savak) a vizsgálatok szerint viszkozitáscsökkentő hatásúak. Eltávolításuk sokkal viszkozusabb, egyes esetekben gélserű anyagot eredményez. [Whittenberger, Nutting (7, 8)]

Végül megemlítjük, hogy a kolloid részecskék diszperzitásfoka is befolyásolja a reológiai tulajdonságokat.

A reológiai adatoknak fontos szerepe van itt is a különböző berendezések, elsősorban besűrítők és hőcserélők méretezésénél is.

A továbbiakban a viszkózus-plasztikus reológiai viselkedésű csokoládémasszát említjük meg.

A csokoládégyártáson belül a reológiai vizsgálatoknak fontos szerep jut többek között:

- a) a technológiai folyamatok ellenőrzésénél, automatizálásánál,
- b) a készülékek méretezésénél és végül
- c) a minőségellenőrzésnél.

A csokoládémasszák reológiai viselkedését hosszú idő óta tanulmányozó kutató munkában tanszékünk is bekapcsolódott. (9., 10.)

Eddigi munkánk során megvizsgáltuk a két fontos alapanyag, a kakaóvaj és a kakaómassza reológiai viselkedését, továbbá a csokoládé és tejszokoládé viszkozitásának alakulását különböző tényezők hatására.

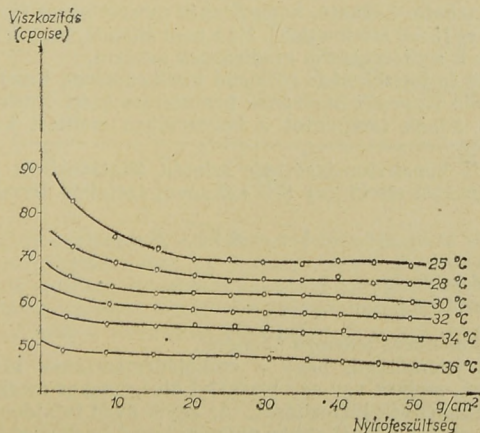
A kakaóvaj 38 °C feletti hőmérsékleten newtoni folyadékként viselkedik. A viszkozitás-hőmérséklet összefüggésre 38–80 °C hőmérséklet intervallumban Rappoport (11.) adott empirikus összefüggést:

$$\lg \eta = 2,2 - 0,0145 \cdot t$$

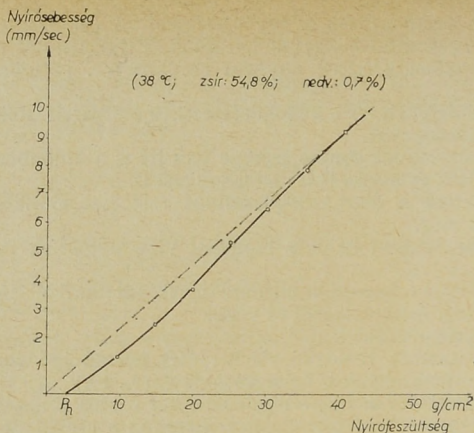
ahol η = viszkozitás

t = haméhőlet (°C)

A kakaóvaj 38 °C alatti hőmérsékleten a kristályosodás megindulása következtében egyre inkább elveszti newtoni folyadék jellegét. A viszkozitás-nyírófeszültség összefüggés adott hőmérsékleten egyetlen adattal nem jellemezhető. A nyírófeszültség növelésével a viszkozitás értéke csökken és a konzisztencia görbe általánosított newtoni-folyadék konzisztenciagörbéjéhez hasonlít. (1. ábra.)



1. ábra



2. ábra

A kakaómassza konzisztenciagörbéjének vizsgálata azt mutatta, hogy a kakaóvajban diszpergált szilárd fázis megváltoztatta a reológiai jelleget és a nyírősebesség – nyírőfeszültség összefüggése az általánosított Bingham-modellhez hasonló (2. ábra). Az ábrán látható szembetűnő eltérés, hogy a görbe nem az origóból indul, hanem határfeszültséggel (τ_h), azaz ahhoz, hogy a kakaómasszában a nyírás meginduljon, véges értékű nyírőfeszültségre, határfeszültségre van szüksége. Ilyenkor a kakaóvajnál megismert matematikai leírás módosul és

$$\dot{\epsilon} = \frac{\tau - \tau_h}{\eta_{pl}}$$

alakban fogalmazható. Látható, hogy pozitív nyírősebesség ($\dot{\epsilon} > 0$) akkor következik be, ha $\tau > \tau_h$ [$\dot{\epsilon} < 0$ értelmetlen]. Itt $\dot{\epsilon}$ nem állandó, hanem függvénye τ -nek. Ezért helyesebb is nyírősebességi gradiensnek nevezni.

A csokoládé és tejcsokoládé reológiai viselkedésének ismertetése és e viselkedést befolyásoló tényezők hatásának bemutatása azért érdekes, mert e tényezők együttesen adnak támpontot a bevezetőben említett kérdések tisztázásához.

A csokoládé konzisztenciagörbéje szintén általánosított Bingham-jellegű. Szélsőséges értékektől eltekintve (kis kakaóvaj tartalmú termékek) a görbét a

$$\sqrt{\tau} = A \sqrt{\dot{\epsilon}} + B$$

összefüggés írja le,

ahol: τ = nyírőfeszültség

$\dot{\epsilon}$ = nyírősebesség

A és B csokoládékra jellemző állandók.

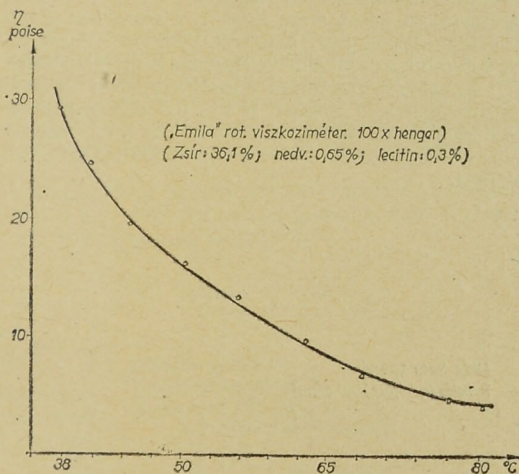
Különleges jelentőségű, hogy a csokoládémasszának két olyan reológiai tulajdonsága van, melyek egy-egy vizsgálat elvégzésekor megkövetelik a szigorúan azonos körülmények biztosítását. Az egyik ilyen tulajdonsága a *tixotropia*. Ez a jelenség a csokoládéknál abban nyilvánul meg, hogy állandó nyírőfeszültség alkalmazása esetén a többször ismételt nyírás után kapott viszkozitás értékek

időben csökkennek. Hosszabb ideig történő állás után ismét az eredeti értékek közel álló viszkozitás alakul ki. Ez a jelenség a magára hagyott csokoládé állás közben kialakuló valamilyen „szerkezetére” vezethető vissza, mely az ismételt nyírással roncsolódik, majd újra helyreáll.

A másik tulajdonság a *reopexia* jelensége, mely viszonylag sok szilárd részt tartalmazó csokoládéknál figyelhető meg. Tejcokoládék esetében e jelenség fokozottabban jelentkezik. Abban nyilvánul meg, hogy ismételt, nagy sebességű deformáció esetén, a látszólagos viszkozitás növekszik, erre a feldolgozásnál célszerű figyelni.

A csokoládé reológiai viselkedését befolyásoló tényezők közül a hőmérséklet, kakaóvaj mennyiség, aprítottság, nedvességtartalom, emulgeáló szer, konszolás ideje és módja befolyását érdemes röviden tárgyalnunk.

A csokoládé viszkozitásának hőmérséklet-függése a diszperziós közeg, a kakaóvaj viszkozitás változásával kapcsolatos. A kakaóvajra érvényes exponenciális összefüggés jellegét a diszpergált fázis mennyisége és minősége torzítja. Természetesen a fenti módon a hőmérséklet-függés csak 38 °C feletti értékeken írható le. E hőmérséklet alatt a kakaóvaj kristályosodásának megindulása további módosulást eredményez. Jellegzetes hőmérséklet-viszkozitás összefüggés görbáját a 3. ábra mutatja be.



3. ábra

A kakaóvaj mennyiségének növelése a csokoládémassza viszkozitását csökkenti. A viszkozitáscsökkenésre az jellemző, hogy kisebb kakaóvajtartalmú csokoládémasszák esetében ugyanazon kakaóvaj mennyiség nagyobb viszkozitáscsökkenést eredményez, mint a nagyobb vajtartalmúaknál. Harbard (12.) közlése kifejleszt ad meg a plasztikus viszkozitás és a kakaóvaj-hányad közötti összefüggésre.

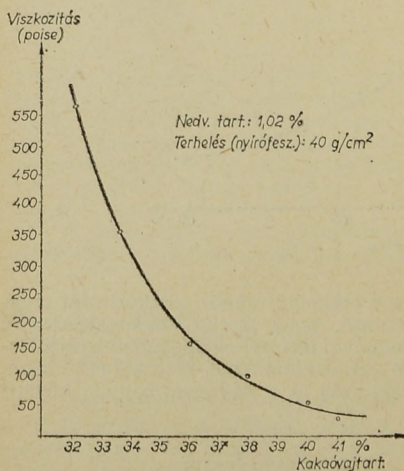
$$\frac{\eta_p}{\eta_0} = \left(1 - \frac{C}{v}\right)^{-k}; \quad \eta_p = \frac{\eta_0}{\left(1 - \frac{C}{v}\right)^k}$$

ahol: η_p = a csokoládé plasztikus viszkozitása
 η_o = a kakaóvaj (diszperziós fázis) viszkozitása
 C = a szilárd (diszpergált) fázis mennyisége
 v = a szilárd részecskék közötti hézag-térfogat
 k = a csokoládéféleségre jellemző állandó.

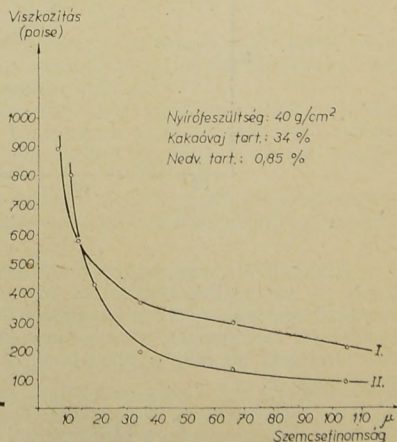
A viszkozitását, függését a kakaóvajtartalomtól a 4. ábrán láthatjuk.

Általában elmondható, hogy a diszperzításfok növekedése emeli a viszkozitást. Csokoládéknál ez a hatás nem egészen egyértelmű, mivel 100μ körüli szemcsefinomságú kakaómasszát tartalmazó csokoládé hengszékű finomításakor a szemcsékből még jelentős mennyiségű kakaóvaj szabadul ki, mely ellentétes hatást vált ki, mint a diszperzításfok növekedése. Jól megfigyelhető ez a hatás, ha finom ($10 - 15 \mu$ -os) szemcsenagyságú kakaómasszával és a szokványos finomságú őrlt cukorral készült csokoládé hengszékűben finomítunk. Azonos kakaóvajtartalom és nedvességtartalom esetén a kezdeti viszkozitás értékek nagyok és a cukorszemcsék finomodásával egy bizonyos határig tovább nő a viszkozitás. Abban az esetben, ha a kakaómassza durvább szemcséjű ($80 - 100 \mu$), az aprítási fok növekedésével a viszkozitás növekedése kisebb mérvű, majd a további növekedés ($15 - 20 \mu$ alatti aprítottság) esetében erőteljesebb. Az 5. ábrán e kétféle hatás szembetűnő módon jelentkezik.

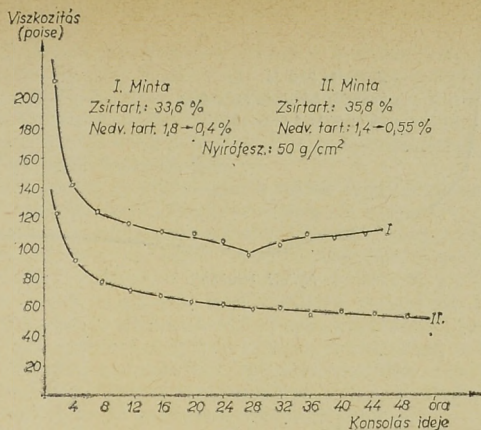
A nedvességtartalom növekedése ilyen rendszerekben általában szintén a viszkozitásnövelő tényezők egyike. A hatást azonban befolyásolja a csokoládé-konsolás módja, valamint a csokoládé zsirtartalma. Megfigyelések azt mutatták, hogy 35% alatti kakaóvajtartalomnál konsolás közben a nedvességtartalom csökkenésével a viszkozitás is csökken és kb. 0,5–0,6% nedvességtartalomnál minimumon áthaladva enyhe növekedést mutat. 35%-nál nagyobb zsirtartalom esetén a viszkozitáscsökkenés egyenletes, s határértékhez tart. Az elmondottakat a 6. ábra szemlélteti.



4. ábra



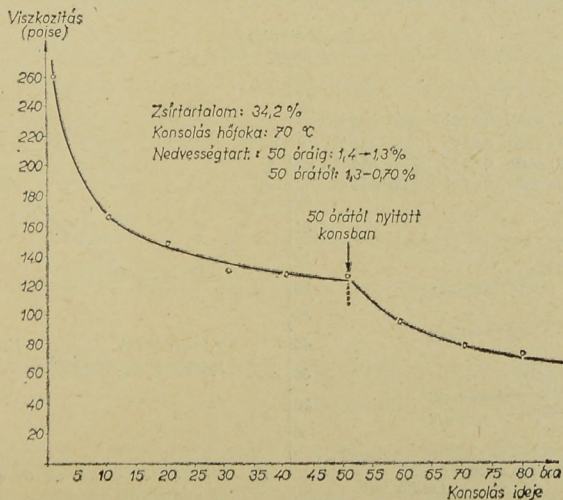
5. ábra



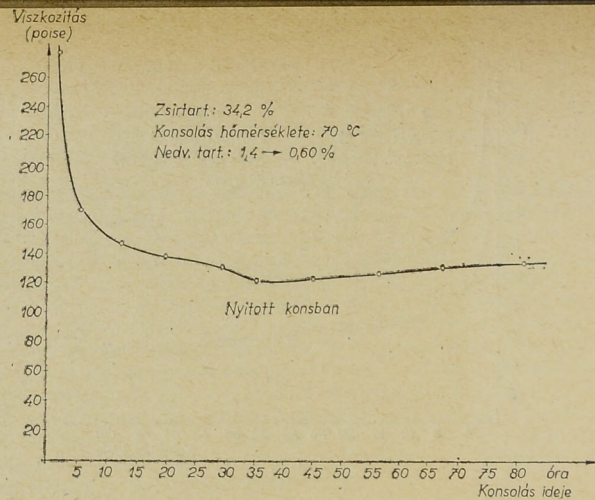
6. ábra

Az előkonsolt (állandó nedvességtartalom mellett konsolt), majd hagyományos módon tovább finomított csokoládéknál a kis zsírtartalom esetén nedvességtartalom csökkenése közben minimum nem jelentkezik. Az eltérő viselkedés oka valószínűleg a víz, a zsírban emulzió sajátos kialakulására vezethető vissza. Viszont megfigyelhető, hogy az így konsolt csokoládék viszkozitása kisebb, mint az azonos kakaóvaj és nedvességtartalmú, de hagyományos módon konsolt csokoládéké.

Konkrét példaként Heiss és Bartusch (13) rotációs viszkoziméterrel végzett vizsgálatait említjük. Levegőztetés nélküli konszolás során a viszkozitás a 7. ábrán látható módon változott.



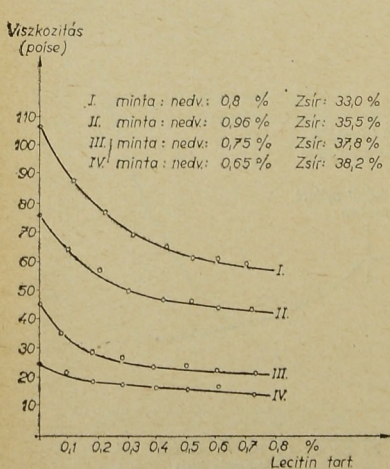
7. ábra



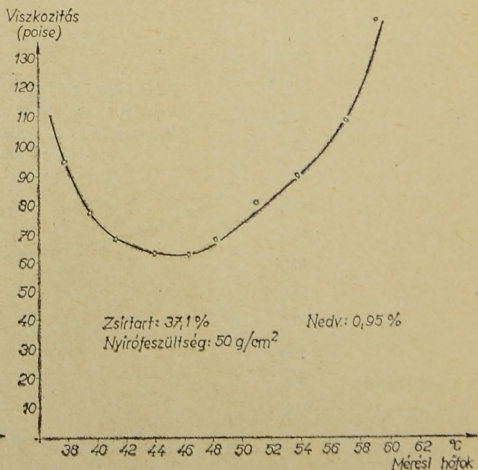
8. ábra

Nyitott konsban tovább finomítva a csokoládémasszát, a nedvességtartalom csökkenésével párhuzamosan a viszkózitás csökkenése is észlelhető (100–120 poise-ról a viszkózitás végül 70 poise-ra csökkent). Abban az esetben, ha előkonsolás nélkül ugyanazt a csokoládémasszát nyitott konsban finomítják, a viszkózitás változása a 8. ábrán látható módon megy végbe. A konsolás végén a viszkózitásérték 150 poise lesz, lényegesen több mint az előző esetben.

Közismert, hogy a csokoládégyártás során a massa viszkózitásának csökkentésére kakaóvajon kívül emulgeálószer (lecitint) is használhatunk. Hatását a 9. ábra szemlélteti. Látható, hogy közel azonos nedvességtartalmú csokoládéknál



9. ábra



10. ábra

a kisebb kakaóvaj-tartalmú csokoládék esetében a lecitin viszkozitáscsökkentő hatása a legnagyobb. Megfigyelhető továbbá az is, hogy a legkisebb kakaóvaj-tartalmú mintánál 0,4–0,5%-os mennyiséget meghaladó lecitin adagolás már csak jelentéktelen viszkozitáscsökkenést okoz. Nagy kakaóvajtartalmú minták esetében ez a határérték 0,1–0,2% lecitin. A vázolt eredmények támpontot adnak a gazdaságos lecitin felhasználáshoz.

A tejsokoládék reológiai viselkedése a hőfok függvényében számottevően eltér a közönséges csokoládéktól. Megfigyeléseink azt mutatták, hogy 40–45 °C feletti hőmérsékleten a viszkozitáscsökkenés lelassul, majd növekedni kezd és 50–60 °C-on a kezdeti, 38 °C-on mért, viszkozitásiértéket meghaladja, sok esetben kétszeresét is eléri. Jellegetes hőmérséklet-viszkozitás görbét a 10. ábrán mutatunk be. 70 °C-nál magasabb hőmérsékletre melegített tejsokoládénál visszahűtés után maradandó viszkozitásnövekedés következett be.

Ezek a jelenségek egyelőre még nem teljesen tisztázottak, a kapott eredmények viszont technológiai szempontból figyelemreméltóak. Konsolás közben a kritikus hőmérséklethatár fölé menni célszerűtlen, mind az energiaigény (keverési teljesítmény szükséglet), mind a minőség szempontjából.

Tapasztalataink szerint a tejsokoládé konzisztenciagörbéjének matematikai leírása az alábbi egyenlettel végezhető el:

$$\frac{3}{\sqrt{\tau^2}} = A \frac{3}{\sqrt{\dot{\epsilon}^2 + B}}$$

E rövid áttekintés természetesen nem törekedett és nem törekedhetett teljességre, azonban remélhetően elegendő ahhoz, hogy a reológiai vizsgálatok gyakorlati jelentőségére, néhány alkalmazási területen is egyes módszertani kérdésekkel kapcsolatban rávilágítson.

I R O D A L O M:

- (1) Spöttel, N. és Gneist, K.: *Milchw. Forsch.* 21, 214, 1942.
- (2) Lásztity R.: Élelmiszerek fizikai kémiajának néhány kérdése. Szakmérnöki jegyzet. Budapest 1962.
- (3) Torsell, H., Sandberg, U. és Thureson, L. E.: *Proc. 12th. Intern. Daissy Congr. Stockholm* 2, 246, 1949.
- (4) Reiner, M., Scott-Blair, G. W. és Hawley, H. B.: *J. Soc. Chem. Ind.* 68, 327, 1949.
- (5) Matz, S. A.: *Food texture*. Westport, 1962.
- (6) Telegdy Kováts L. és Holló J.: *Élelmészeti Iparok II.* Budapest, 1952.
- (7) Whittenberger, R. T. és Nutting, G. C.: *Food Techn.* 11, 19, 1957.
- (8) Whittenberger, R. T. és Nutting, G. C.: *Food Techn.* 12, 420, 1958.
- (9) Lásztity R. és Varga J.: *ÉVIKE* 11, 205, 1965.
- (10) Varga J.: *ÉVIKE.* 12, 258, 1966.
- (11) Rappoport, A. L. és Szosznovszkij, L. B.: *Édesipari technológia I.* (magyar nyelvű) Moszkva, 1961.
- (12) Harbard, E. H.: *Chem. and Ind.* 491, 1956.
- (13) Heiss, R. és Bartusch, W.: *Intern. Fachschr. Schok. Ind.* 12, 302, 359, 1957.

РЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ ЖИДКИХ И ПОЛУЖИДКИХ

Я. Неделсович и Я. Варга

Авторы коротко знакомяют некоторые реологические свойства молока, фруктового сока и томатного сгустка, а также методы подходящих для определения реологических показателей. Подробно занимаются реологическими свойствами шоколадной массы и факторами оказывающие влияние на эти свойства.

RHEOLOGISCHE PRÜFUNG VON FLÜSSIGEN UND HALBFLÜSSIGEN (VISOSEN-PLASTISCHEN) LEBENSMITTELN

J. Nedelkovits und J. Varga

Die Verfasser geben eine kurze Übersicht über einzelne rheologische Eigenschaften von Milch, Fruchtsaft und Tomatenkonzentrat, sowie über die für die Bestimmung der rheologischen Kennzeichen geeigneten Methoden. Weiterhin befassen sie sich ausführlicher mit den rheologischen Eigenschaften der Schokoladenmasse und den dieselben beeinflussenden Faktoren.

RHEOLOGICAL INVESTIGATION OF LIQUID AND SEMI-LIQUID (VISCOUS-PLASTIC) FOODS

J. Nedelkovits and J. Varga

A short survey is given by the authors of some rheological properties of milk, fruit juices and tomato purées, and also of the methods suitable for the determination of the rheological characteristics. The rheological properties of the chocolate mass and the factors affecting them are discussed in detail.

A SZERKESZTŐBIZOTTSÁGHOZ A KÖVETKEZŐ DOLGOZATOK ÉRKEZTEK:

Katona Ferenc, Garai Tibor és Dévay József: A potenciometriás és coulombmetriás módszer alkalmazása tej és más élelmiszerek kloridtartalmának meghatározására. (1969. márc. 2.).

Vajda Ödön: Az élelmiszerek érzékszervi bírálatának elméleti és gyakorlati kérdései. (1969. márc. 9.).

Gasztonyi Kálmán: Hazai lisztek precukortartalmának felmérése. (1969. márc. 18.).

Hegedűs Mihály: [Élelmiszerfehérjék] biológiai értékének meghatározása. (1969. ápr. 18.).

Gál Ilona, Vajda Ödön és Békés Imre: A kannabidiólsav néhány tulajdonságának vizsgálata élelmiszertartósítás szempontjából. (1969. ápr. 20.).