

- SJAUNJA, L. O., PHILIPSSON, J., LUNDSTRÖM, K., SWENSSON, CH. (1984): Studies on milk analysis of individual cow milk samples. IV. Factors affecting milk analyses in a routine system by automated apparatuses. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 34, s. 286-299.
- SOYEURT, H., DARDENNE, P., DEHARENG, F., LOGNAY, G., VESELKO, D., MARLIER, M., BERTOZZI, C., MAYERES, P., GENGLER N. (2006 a): Estimating fatty acid content in cow milk using mid-infrared spectroscopy. *Journal of Dairy Science*, 89, 9, , 3690-3695.
- SOYEURT, H., DARDENNE, P., GILLON, A., CROQUET, C., VANDERICK, S., MAYERES, P., BERTOZZI, C., GENGLER N. (2006 b): Variation in fatty acid contents of milk and milk fat within and across breeds. *Journal of Dairy Science*, 89, 12, s. 4858-4865.
- SOYEURT, H., DEHARENG, F., GENGLER, N., MCPARLAND, S., WALL, E., BERRY, D. P., COFFEY, M., DARDENNE P. (2011): Mid-infrared prediction of bovine milk fatty acids across multiple breeds, production systems, and countries. *Journal of Dairy Science*, 94, s. 1657-1667.
- SOYEURT, H., BASTIN, C., COLINET, F. G., ARNOULD, V. M-R., BERRY, D. P., WALL, E., DEHARENG, F., NGUYEN, H. N., DARDENNE, P., SCHEFERS, J., VANDENPLAS, J., WEIGEL, K., COFFEY, M., THÉRON, L., DETILLEUX, J., REDING, E., GENGLER, N., MCPARLAND, S. (2012): Mid-infrared prediction of lactoferrin content in bovine milk: potential indicator of mastitis. *Animal*, 6, 11, s. 1830-1838.
- THIEME, D. A., DETTMER, R., SCHMEICHEL, A. (1983 a): Zur physiologischen Säurezahl-Norm für Herdenmischmilch. *Monatshfte für Veterinärmedizin*, 38, 1, s. 13-16.
- THIEME, D. A., GRUNWALD, A., KRON, A., SANDER, W., SCHMEICHEL, A. (1983 b): Normalabweichungen der Säurezahl von Herdenmischmilch und deren Ursachen. *Monatshfte für Veterinärmedizin*, 38, 1, s. 16-24.
- THOMAS, W. LA. (2008): Use of Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy to determine the health-promoting index (HPI) of cow's milk. Doctoral Thesis, Iowa State University, s. 88.
- TIPLADY, K. M., LOPDELL, T. J., LITTLEJOHN, M. D., GARRICK, D. J. (2020): The evolving role of Fourier-transform midinfrared spectroscopy in genetic improvement of dairy cattle. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11:39, s. 1-13.
- TRÁVNÍČEK, J., KROUPOVÁ, V., ROHLÍK, V., TESÁŘÍK, L. (1991): Titrační kyselost mléka z hlediska metabolického profilu dojníc. *Živočišná Výroba / Czech Journal of Animal Science*, 36, 4, s. 321-327.
- VALENBERG VAN, H. J. F. (1990): Standardization and control of instruments for analysis of milk. International Dairy Federation Congress, Montreal, s. 1316-1321.
- VANLIERDE, A., VANROBAYS, M. L., GENGLER, N., DARDENNE, P., FROIDMONT, E., SOYEURT, H., MCPARLAND, S., LEWIS, E., DEIGHTON, M. H., MATHOT, M., DEHARENG, F. (2016): Milk mid-infrared spectra enable prediction of lactation-stagedependent methane emissions of dairy cattle within routine population-scale milk recording schemes. *Animal Production Science*, 56, s. 258-264.
- VINES, D. T., JENNY, B. F., WRIGHT, R. E., GRIMES, L. W. (1986): Variation in milk fat, protein and somatic cell count from four dairy herd improvement laboratories. *Journal of Dairy Science*, 69, s. 2219-2223.
- VOORT VAN DE, F. R., KERMASHA, S., SMITH, J. P., MILLS, B. L., NG-KWAI-HANG, K. F. (1987): A study of the stability of record of performance milk samples for infrared milk analysis. *Journal of Dairy Science*, 70, s. 1515-1523.
- VOSMAN, J. J., DE JONG, G., EDING, H., KNIJN, H. (2015): Genetic evaluation for ketosis in the Netherlands based on FTIR measurements. *Interbull Bulletin*, 49: Orlando, Florida, s. 1-5.
- ZAALBERG, R. M., BUITENHUIS, A. J., SUNDEKILDE, U. K., POULSEN, N. A., BOVENHUIS, H. (2018): Genetic analysis of otic acid predicted with Fourier transform infrared milk spectra. *Journal of Dairy Science*, 103, s. 3334-3348.

**Korespondující autor:** Dr. Ing. Oto Hanuš,  
Výzkumný ústav mlékárenský s.r.o., Ke Dvoru 12a,  
160 00 Praha 6, e-mail: hanus.oto@seznam.cz

*Přijato to tisku:* 26. 2. 2021  
*Lektorováno:* 23. 3. 2021

## VLASTNOSTI HYDROGELŮ Z KYSELÉ SYROVÁTKY A KARBOXYMETHYLCELULÓZY S RŮZNÝMI SÍTOVACÍMI ČINIDLY

**Jitka Peroutková, Markéta Borková, Alexandra Šalaková,  
Jan Drbohlav**

Výzkumný ústav mlékárenský s.r.o.

**The properties of hydrogels from acid whey and  
carboxymethylcellulose with various crosslinkers**

### Abstrakt

Cílem práce je vývoj hydrogelů pro zemědělské aplikace na bázi biodegradovatelných složek s využitím odpadních látek, jako je kyselá syrovátka. Testován byl vliv různých síto vad na vlastnosti hydrogelu vyrobeného z kyselé syrovátky a karboxymethylcelulózy. Použita byla následující síto vací činidla a jejich kombinace – kyselina citrónová a jako možný zdroj dusíku a fosforu močovina a dihydrogenfosforečnan draselný. Jako nejperspektivnější se jevila kombinace hydrogelu s 3 % kyseliny citrónové a 2 % močoviny. Tento xerogel, tj. vysušený hydrogel, absorboval ve 2. až 5. cyklu bobtnání největší množství vody a to 718 %, 647 %, 649 % a 578 % (vztaženo k hmotnosti xerogelu na začátku daného cyklu). Z důvodu případné ekonomické úspory byla vyzkoušena výroba hydrogelu z technické karboxymethylcelulózy a močoviny, xerogel z těchto surovin však měl velmi malou absorpční schopnost. Byl také sledován vliv způsobu bobtnání na schopnost xerogelů absorbovat vodu.

**Klíčová slova:** hydrogel, kyselá syrovátka, karboxymethylcelulóza, kyselina citrónová, absorpce

### Abstract

The aim of this work is the development of hydrogels for agricultural applications based on biodegradable components using waste materials such as acid whey. The effect of various crosslinkers on the properties of a hydrogel made from acid whey and carboxymethylcellulose was tested. The following crosslinking agents and their combinations were used - citric acid and urea and potassium dihydrogen phosphate as possible sources of nitrogen and phosphorus. The most promising hydrogel was composed of 3% citric acid and 2% urea. Dried hydrogel, i.e. xerogel, absorbed the largest amount of water in the 2nd to 5th swelling cycle, namely 718%, 647%, 649% and 578% (based on the weight of the xerogel at the beginning of the cycle). The production of hydrogel from technical carboxymethylcellulose and urea was tested due to possible economic savings. However, the xerogel produced from these raw materials had a very low absorption

capacity. The effect of the swelling method on the ability of xerogels to absorb water was also observed.

**Key words:** hydrogel, acid whey, carboxymethylcellulose, citric acid, absorption

## Úvod

Využívání vody rostlinami může zefektivnit použití agrohydrogelů do pěstebního substrátu. Agrohydrogely jsou vysoce absorpční látky, mající za cíl zvýšit retenci vody v půdním prostředí, tj. absorbovat přebytek vody a vláhu postupně uvolňovat podle potřeby do půdy a to opakovaně. Použití hydrogelů tak snižuje náklady na zavlažování, může zamezovat erozi půdy, příznivě ovlivňuje pórovitost půdy, provzdušnění pomáhá vývoji kořenového systému a zvýšení životaschopnosti rostlin (Abobatta, 2018). Vhodnou alternativou syntetických hydrogelů jsou přírodní hydrogely obsahující biologicky odbouratelné látky rostlinného původu na bázi celulózy např. karboxymethylcelulóza. Pro vytvoření stabilní struktury hydrogelů jsou přidávána síťovací činidla, např. aldehydy, deriváty močoviny a karboxylové kyseliny, které vytvoří trojrozměrnou síť polymerů, ve které je voda zadržována. Jako materiál pro výrobu biodegradovatelných hydrogelů, je možné využít vedlejší produkt mlékařského průmyslu, syrovátku (Ozel a kol., 2017; Ganju a Gogate, 2017). Kyselá syrovátka z výroby tvarohů a čerstvých sýrů, která je problematickým odpadem, se pro takové využití nabízí. Umožňuje jednak získat ekologický hydrogel a také využít minerální látky a další složky kyselé syrovátky jako živiny pro rostliny, které se mohou uvolňovat z polymerního systému (Abobatta, 2019). Zejména syrovátkové bílkoviny, obsažené v syrovátce, příznivě ovlivňují gelotvorné vlastnosti a hydratační schopnosti vzniklého gelu (Ozel a kol., 2017). Naopak vysoká koncentrace laktózy působí negativně (Bordeneuve-Juchereau a kol., 2005), v případě kyselé syrovátky je však množství laktózy již částečně přeměněno bakteriemi mléčného kysání na kyselinu mléčnou.

Tato práce navazuje na provedené experimenty (Sedlářik a kol., 2020), při kterých byla vytipována základní receptura hydrogelu (dále jen REF) z 92 % kyselé tekuté syrovátky, 3 % karboxymethylcelulózy 5 % kyseliny citronové jako síťovacího činidla. Síťování kyselinou citrónovou probíhá v důsledku esterifikace, při které vznikají anhydridy kyseliny citrónové, které následně reagují s hydroxylovými skupinami derivátů celulózy a vytváří tak trojrozměrnou síť polymeru (Demetri a kol., 2008).

Naším cílem bylo prověřit možnost využití dalších síťovacích činidel a vyzkoušet vhodné poměry koncentrací. Dalším cílem bylo stanovit absorpční schopnosti jednotlivých variant v průběhu bobtnání a popsat absorpční

schopnosti hydrogelů při opakovaných cyklech bobtnání a vysušení. Testována byla také možnost výroby hydrogelu z technické karboxymethylcelulózy a močoviny z důvodu případné ekonomické úspory výroby.

## Materiál a metodika

### Materiál:

- kyselá syrovátka z výroby tvarohu, složení je uvedeno v tabulce č. 1
- karboxymethylcelulóza (dále jen CMC)
  - karboxymethylcelulóza (Blanose TM cellulose gum purified sodium carboxymethylcellulose, Ashland)
  - technická karboxymethylcelulóza (Lepidlo na tapety, APEKO)
- kyselina citrónová bezvodá p.a. (dále jen CA), (Penta)
- močovina
  - močovina p.a. (Penta s.r.o.)
  - technická močovina (Močovina – Agro)
- dihydrogenfosforečnan draselný p.a. (Lach:ner)
- destilovaná voda

### Stanovení základních složek kyselé syrovátky:

Použité metody pro stanovení složení syrovátky většinou vychází z normovaných postupů. Stanovení bylo provedeno ve dvou paralelních analýzách.

- sušina dle ČSN ISO 6731 (2012) gravimetricky při 102 °C (sušárna DRY-Line; VWR)
- dusíkaté látky
  - celkový dusík (TN) dle ČSN EN ISO 8968-1 (2014)
  - nebílkovinný dusík (NPN) dle ČSN EN ISO 8968-4 (2016) metodou podle Kjehldahla (přístroj Kjeltec 2300, Foss, Dánsko)
  - čistá bílkovina získána výpočtem z množství celkového dusíku a nebílkovinného dusíku dle vzorce (TN-NPN) x 6,38
- laktóza podle modifikované metody Rovio a kol. (2007) na kapilární elektroforéze s UV detekcí (G7100, Agilent Technologies, USA)
- popel dle ČSN 57 0530 (1974) gravimetricky v muflové peci (předsušení vzorku 2 hod při 90 °C, spalování 4 hod při 550 °C)
- stanovení kyseliny mléčné dle interního SOP č. 23 kapilární izotachoforézou za použití Izotachoforetického analyzátoru EA 102 (Villa Labeco, Slovensko)
- pH (pH metru HACH s kombinovanou elektrodou)

### Výroba hydrogelu:

Pomocí magnetické míchačky (IKA RCT basic) byla smíchána syrovátka s karboxymethylcelulózou. Rozpouštění a gelace probíhala za stálého míchání při laboratorní teplotě po dobu 5 hod do úplného rozpouštění

**Tab. č. 1** Složení použité syrovátky

	sušina %	celkový dusík %	nebílkovinný dusík %	čistá bílkovina %	laktóza %	popel %	kyselina mléčná mg/100 ml	pH
syrovátka	6,02	0,131	0,046	0,54	4,33	0,67	760	4,45

Tab. č. 2 Podíl jednotlivých složek ve vyrobeném hydrogelu

Označení vzorku	kyselá syrovátka %	CMC %	technická CMC %	CA %	močovina %	technická močovina %	dihydrogenfosforečnan draselný %
REF	92	3	-	5	-	-	-
MT	90	-	3	5	-	2	-
M	90	3	-	5	2	-	-
M1	92	3	-	3	2	-	-
M2	90	3	-	4	3	-	-
MF	90	3	-	5	1	-	1
F	90	3	-	5	-	-	2

Pozn.: CMC – karboxymethylcelulóza, CA – kyselina citrónová

karboxymethylcelulózy. Do připraveného gelu byla přidána síťovací činidla (kyselina citrónová, močovina a dihydrogenfosforečnan draselný) v koncentracích uvedených v tabulce č. 2. Celkem bylo připraveno 7 vzorků. Takto připravené gely byly uloženy při teplotě 7 °C po dobu 24 h a poté byly nadózovány po 100 g ± 0,1 g na plastové misky v přibližně 10 mm souvislé vrstvě a vysušeny na xerogely při 60 °C do konstantního úbytku hmotnosti (Sedlařík a kol., 2020).

### Stanovení množství absorbované vody xerogelem (bobtnání xerogelu):

Sledování absorpce probíhalo v 5 opakujících se cyklech bobtnání po dobu 24 h při laboratorní teplotě. Sušení po každém cyklu bobtnání probíhalo při 60 °C do konstantního úbytku hmotnosti. Stanovení bylo provedeno gravimetricky. Po vysušení hydrogelu na xerogel, byl tento vzorek zvážěn (XD). Následně byl xerogel zalit destilovanou vodou (přibližně 90 g) tak, aby byl úplně ponořen a byl zajištěn přebytek vody po celou dobu bobtnání. V časových intervalech 1, 2, 3 a 24 hodin byla voda slita, vzorek gelu byl opatrně osušen a zvážěn (XW).

$$\text{Absorpční schopnost} = \frac{XW_i - XD_{i-1}}{XD_{i-1}} \times 100 (\%)$$

XW – hmotnost hydrogelu  
XD – hmotnost xerogelu  
i – pořadí cyklu bobtnání

### Stanovení CMC a CA ve výluhu xerogelu kapilární izotachoforézou (metoda byla vyvinuta pro tyto účely):

přístroj: elektroforetický analyzátor EA 102, Willa Labeco, Slovensko

- spojené kapiláry 90 x 0,8 mm (předseparační) a 90 x 0,3 mm (analytická)
- hnací proud: předseparační kapilára 150 mA, analytická kapilára 40 mA, při detekci snížen na 20 mA
- detekce vodivosti
- vedoucí elektrolyt: 5 mM HCl + 11 mM 6-aminokapronová kyselina
- koncový elektrolyt: 10 mM kapronová kyselina

## Výsledky a diskuse

Výsledky jsou shrnuty v tabulce č. 3 a v grafu č. 1. Nejnižší absorpce vody byla zjištěna pro všechny vzorky

v prvním cyklu bobtnání, což je způsobeno tím, že dochází k významnému poklesu hmotnosti xerogelu rozpouštěním jeho složek do vody, v které probíhá bobtnání (tato voda je dále označena jako výluh).

Z tabulky č. 3 je patrné, že se absorpce vody v čase 1, 2, 3 a 24 hod máčení xerogelu zvyšovala a největší

byla po 24 hod, což platí pro 3. až 5. cyklus bobtnání. V 1. a 2. cyklu bobtnání byla situace odlišná. Zejména v 1. cyklu byla zjištěna po 3 hod vyšší absorpce vody xerogelem než po 24 hod bobtnání, a to téměř pro všechny gely. To je způsobeno významným úbytkem hmotnosti gelu z důvodu jeho velké rozpustnosti ve vodě, což se pravděpodobně nejvíc projeví po 24 hod bobtnání. Ve 2. cyklu se tato situace opakovala ovšem u menšího počtu gelů. Pravděpodobně je to způsobeno nižší rozpustností gelů než v 1. cyklu bobtnání. Ve 3. až 5. cyklu již nebyl úbytek hmotnosti xerogelů po bobtnání tak významný, proto byla nejvyšší bobtnavost zjištěna pro tyto cykly vždy po 24 hod. Je zřejmé, že nejdůležitější pro posouzení bobtnavosti gelů je jejich schopnost bobtnat po 24 hod namáčení. Proto je detail množství absorbované vody xerogely po 24 hod pro všech pět cyklů znázorněn v grafu č. 1.

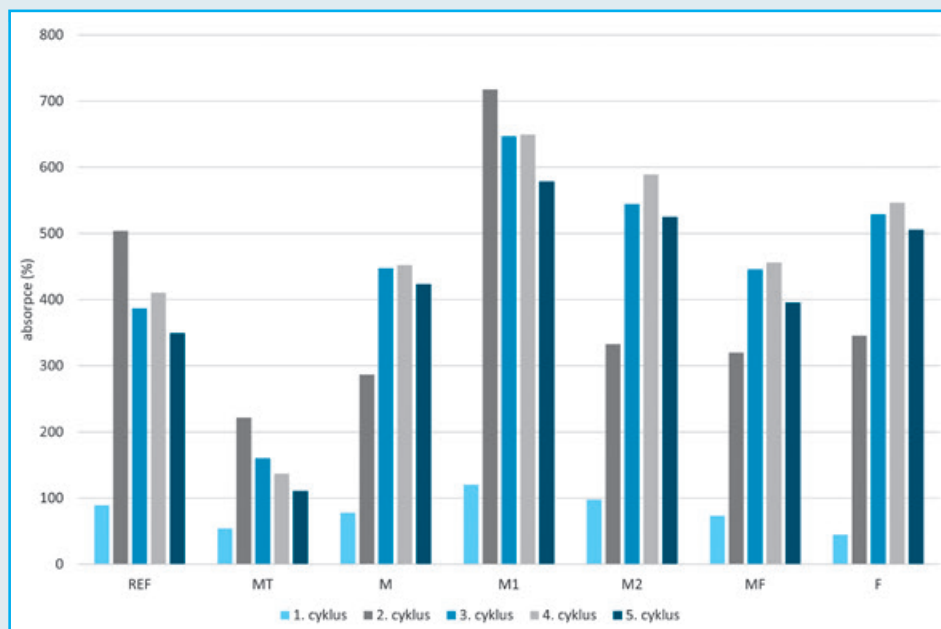
Všechny vzorky měly po 24 hodinách namáčení ve 3. až 5. cyklu vyšší bobtnavost než vzorek REF s jedinou výjimkou, a tou je vzorek MT. Průměrná absorpce vody ve 3. až 5. cyklu byla 382 % pro REF, 136 % pro MT, 432 % pro MF, 441 % pro M, 527 % pro F, 553 % pro M2 a 625 % pro M1. Nejvyšší absorpce vody byla zjištěna u vzorku M1, kde je na rozdíl od původní receptury jako síťovadlo použito 3 g CA a 2 g močoviny místo původních 5 g CA. Jednoznačně nejhorší výsledek absorpce vody byl stanoven pro vzorek MT vyrobený z technické CMC a močoviny. Tento xerogel se také v průběhu prvního cyklu bobtnání nejvíc rozpouštěl ve vodě a došlo k poklesu jeho hmotnosti o již zmiňovaných 88,4 %. Z obou výše popsaných důvodů se jedná o nejméně vhodný vzorek xerogelu a je patrné, jak velký význam má použití vhodných surovin pro výrobu samotného gelu. Výroba xerogelu z technických surovin a s nižšími náklady není proto považována za perspektivní. Důraz na porovnání bobtnavosti gelů podle 3. až 5. cyklu byl zvolen z toho důvodu, že v prvním cyklu byla bobtnavost velmi nízká (způsobeno ztrátou hmotnosti gelu jeho rozpouštěním, což lze velmi špatně porovnat) a u druhého cyklu byla sice zjištěna bobtnavost již větší, ale pořád zde byl patrný pro některé xerogely významný vliv rozpouštění vzorku.

Pokles hmotnosti xerogelu v gramech po jednotlivých cyklech bobtnání a po výrobě je uveden v grafu č. 2. Výsledky popisující pokles hmotnosti xerogelu v procentech v jednotlivých cyklech bobtnání vztahené

Tab. č. 3 Absorbovaná voda v jednotlivých cyklech bobtnání (v %)

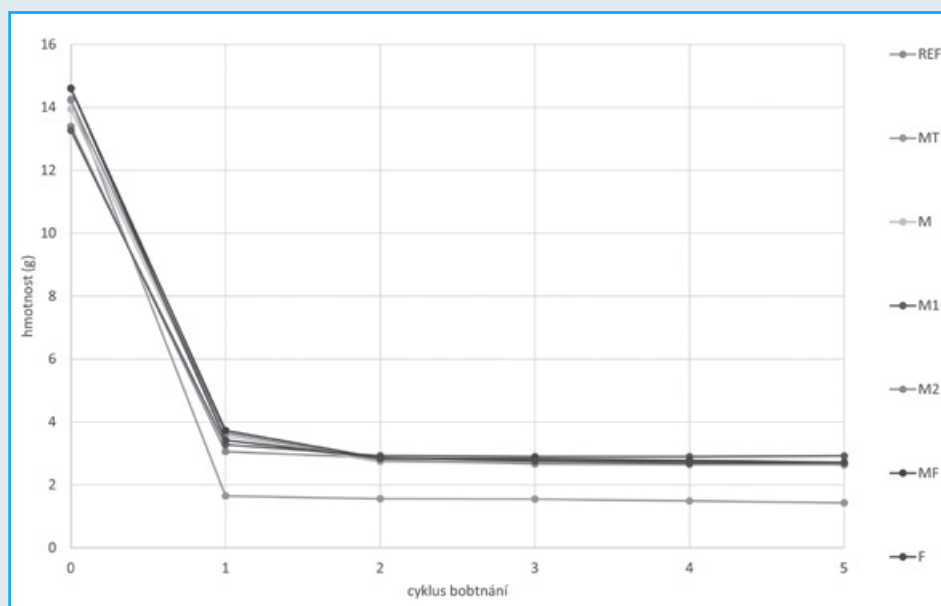
cyklus	1.				2.				3.				4.				5.				3.–5.*
	1	2	3	24	1	2	3	24	1	2	3	24	1	2	3	24	1	2	3	24	24
REF	65	90	99	89	298	361	392	504	303	338	352	387	253	296	318	410	221	258	281	349	382
MT	60	28	37	54	227	228	230	222	164	168	164	160	139	133	128	137	114	114	116	111	136
M	63	82	102	78	239	290	322	287	271	308	316	447	253	300	320	452	253	295	334	423	441
M1	83	135	153	120	332	446	518	718	335	417	448	647	395	473	518	649	362	439	485	578	625
M2	62	89	114	98	242	286	312	333	293	338	361	544	296	359	407	589	286	348	386	525	553
MF	60	86	97	73	251	298	320	320	324	362	362	446	316	348	368	456	300	342	369	396	432
F	61	99	98	45	279	323	370	345	333	376	416	529	375	416	442	546	334	399	429	505	527

Pozn.: \* průměrná absorpce vody ve 3. až 5. cyklu bobtnání po 24 h



Graf č. 1 Množství absorbované vody xerogely po 24 hod bobtnání v jednotlivých cyklech

k hmotnosti xerogelu po výrobě jsou znázorněny v grafu č. 3. Z obou grafů je patrný významný pokles hmotnosti xerogelů po jejich prvním bobtnání a to o 74,3 až 77,2 % pro xerogely s různými typy síťovadel. Jedinou výjimkou



Graf č. 2 Pokles hmotnosti xerogelů v jednotlivých cyklech bobtnání

je vzorek s nejvyšším úbytkem hmotnosti a to 88,4 %, který byl připraven z technické CMC a močoviny. Absorpční schopnost gelu z tohoto typu surovin je velmi nízká. Pokles hmotnosti xerogelů byl zjištěn i v dalších cyklech. Po 2. cyklu bobtnání došlo ještě k významnému poklesu hmotnosti xerogelů v porovnání s jejich hmotností po 1. cyklu a to o 5,5 až 23,6 % podle typu xerogelu. Pro 3., 4. a 5. cyklus bobtnání byl již pokles hmotnosti gelů oproti jejich hmotnosti v předcházejícím cyklu významně nižší (3. cyklus: 0,6 až 4,3 %; 4. cyklus: 0 až 3,9 % a 5. cyklus: 0 až 4,4 %).

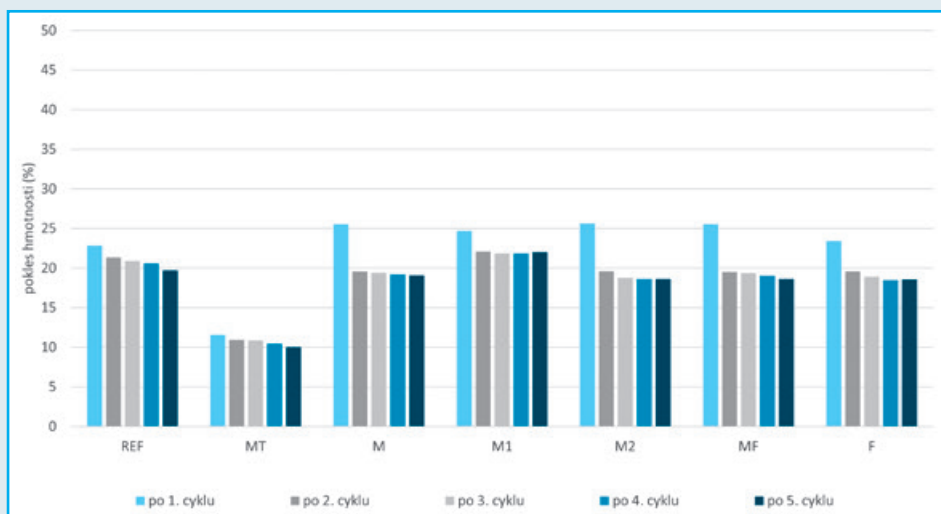
Z výše popsaných výsledků je zřejmé, že došlo k významnému poklesu hmotnosti xerogelu, a to zejména při 1. cyklu bobtnání, proto bylo třeba zjistit, jaké množství CA a CMC se uvolňuje v tomto cyklu do výluhu. Byly proto připraveny tři vzorky xerogelů, označeny REF/1, REF/2 a REF/3, s totožným zastoupením surovin jako u vzorku REF (tab. č. 2). Xerogely byly v 1. cyklu bobtnány v přebytku vody (přibližně 90 g) bez její výměny po dobu 24 hodin. V druhém cyklu probíhalo bobtnání v přebytku vody po dobu 24 h s tím, že voda byla po 1, 2 a 3 hodinách vyměněna (přibližně 4 x 90 g). V grafu č. 4 je porovnávána hmotnost těchto tří xerogelů, po výrobě a po 1. a 2. cyklu bobtnání, se vzorkem REF z úvodního pokusu, který byl máčen v prvním i druhém cyklu po dobu 24 h s výměnou vody po 1, 2 a 3 hodinách.

Z tohoto srovnání je patrné, že v případě kontinuálního bobtnání bez výměny vody je vyluhování látek z hydrogelu zpomaleno, proto je hmotnost vysušených gelů REF/1 až REF/3 přibližně dvojnásobná (44,1 až 45,1 % z hmotnosti xerogelů po výrobě) v porovnání se vzorkem REF (22,8 % z hmotnosti xerogelu po výrobě). V druhém cyklu bobtnání, který probíhal srovnatelně u všech 4 vzorků, došlo k sjednocení hmotnosti xerogelů, u vzorků REF/1 až REF/3 klesla hmotnost xerogelů na 22,1 až 22,9 %, u vzorku REF na 21,3 % z hmotnosti xerogelu po výrobě. Z daných zjištění je zřejmé, že metodika bobtnání je důležitá pro porovnání vlastností gelů v jednotlivých pokusech.

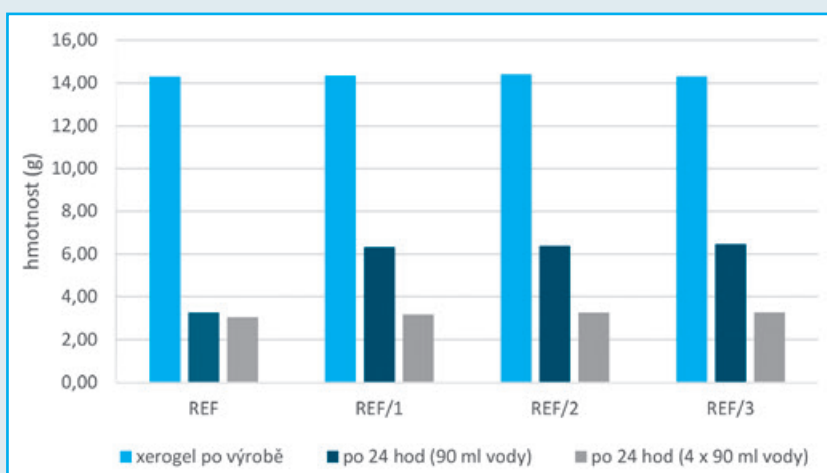
Měřeno bylo pH výluhu po 1. cyklu, tj. po 24 hodinách bobtnání vzorků REF/1, REF/2 a REF/3. Zjištěné hodnoty pH byly 2,89; 2,89 a 2,88. Stanovená koncentrace CA ve výluhu po 1. bobtnání byla vysoká a to 4,5 g/100 ml, což koresponduje se zjištěným pH vzorků. Bilančním výpočtem bylo zjištěno, že během bobtnání v 1. cyklu se uvolnilo 64 % z celkového obsahu CA v hydrogelu. Tyto výsledky potvrzují, že má význam pokoušet se o snížení množství kyseliny citrónové jako sítoavdla, což by mohlo snížit její obsah ve výluhu a zvýšit pH. Koncentrace CMC ve výluhu byla stanovena <0,1 g/100 ml, z těchto hodnot je zřejmé, že CMC se během bobtnání hydrogelu nerozpouští.

## Závěr

Velmi perspektivní se jevil hydrogel, resp. xerogel, kde jako sítoavdlo bylo použito 3 % kyseliny citrónové a 2 % močoviny. Tento xerogel měl nejvyšší schopnost vázat vodu, což je vlastnost, která může být důležitým přínosem v jeho aplikaci k ochraně půdy. Ostatní xerogely vyrobené s použitím různých sítoavdel (kyselina citrónová, močovina nebo dihydrogofosforečnan draselný) a jejich kombinací měly srovnatelnou nebo vyšší schopnost absorpce vody v porovnání se vzorkem REF (kyselá syrovátka, 3 % karboxymethylcelulóza, 5 % kyselina citrónová). Výjimkou byl xerogel vyrobený z technické CMC a močoviny, u kterého se po prvním cyklu bobtnání projevila jeho zvýšená rozpustnost ve vodě. Tento xerogel měl také ve všech cyklech bobtnání nižší schopnost vázat vodu. Během cyklů vysušování a bobtnání



**Graf č. 3** Pokles hmotnosti xerogelu v % k hmotnosti xerogelu po výrobě v jednotlivých cyklech bobtnání



**Graf č. 4** Vysušený xerogel po výrobě a po 1. a 2. cyklu bobtnání, zohledněn různý způsob bobtnání gelu

dochází ke ztrátě sušiny xerogelu nejen vymýváním složek syrovátky, ale také sítoavdla CA, a to zejména v 1. cyklu bobtnání. Je proto vhodné se dále zaměřit na množství kyseliny citrónové z důvodu optimalizace vlastností výluhu. V průběhu experimentu bylo ověřeno, že způsob bobtnání ovlivňuje nejen rozpustnost xerogelu a vlastnosti výluhu, ale také schopnost vázat vodu.

Tato práce mohla být uskutečněna díky finanční podpoře Národní agentury pro zemědělský výzkum (MZe ČR) při řešení projektu č. QK 1910392 „Ekologicky šetrné materiály pro intenzifikaci rostlinné výroby s půdoochrannými vlastnostmi na bázi obnovitelných zdrojů“.

## Seznam literatury:

- ABOBATTA W. (2018): Impact of hydrogel polymer in agriculture sector. *Adv Agr Environ Sci*, 1, (2), s. 59-64.
- ABOBATTA W. (2019): Hydrogel Polymer: A new tool for improving agriculture production. *Academ J Polym Sci*, 3, (2), s. 37-41.
- BORDENAVE-JUCHEREAU S., ALMEIDA B., PIOT J. M., SANNIER F. (2005): Effect of protein concentration, pH, lactose content and pasteurization on thermal gelation of acid caprine whey protein concentrates. *J Dairy Res*, 72, s. 34-38.

- ČSN ISO 6731 (2012): Mléko, smetana a zahuštěné neslazené mléko – stanovení obsahu celkové sušiny (Referenční metoda). ÚNMZ, Praha.
- ČSN EN ISO 8968-1 (2014): Mléko a mléčné výrobky - Stanovení obsahu dusíku - Část 1: Metoda podle Kjeldahla a výpočet hrubého proteinu. ÚNMZ, Praha.
- ČSN EN ISO 8968-4 (2016): Mléko a mléčné výrobky - Stanovení obsahu dusíku - Část 4: Stanovení obsahu dusíku a nebílkovinného dusíku a výpočet čisté bílkoviny (Referenční metoda). ÚNMZ, Praha.
- ČSN EN ISO 17997-1 (2006): Mléko - Stanovení obsahu kaseinového dusíku - Část 1: Nepřímá metoda (Referenční metoda). ČNI, Praha.
- ČSN 57 0530 (1974): Metody zkoušení mléka a tekutých mléčných výrobků. ÚNM, Praha.
- DEMITRI CH., DEL SOLE R., SCALERA F., SANNINO A., VASAPOLLO G., MAFFEZZOLI A., AMBROSIO L., NICOLAIS L. (2008): Novel superabsorbent cellulose-based hydrogels crosslinked with citric acid. *Journal of Applied Polymer Science*, 110, s. 2453–2460.
- GANJU S., GOGATE P. R. (2017): A review on approaches for efficient recovery of whey proteins from dairy industry effluents. *Journal of Food Engineering*, 215, s. 84–96.
- OZEL B., CIKRIKCI S., AYDIN O., OZTOP M.H. (2017): Polysaccharide blended whey protein isolate-(WPI) hydrogels: A physicochemical and controlled release study. *Food Hydrocolloids*, 71, s. 35–46.
- ROVIO S., YLI-KAUHALUOMA J., SIRÉN H. (2007): Determination of neutral carbohydrates by CZE with direct UV detection. *Electrophoresis*, 28 (17), s. 3129–3135.
- SEDLAŘÍK V., DRBOHLAV J., ČECHMÁNKOVÁ J. (2020): Průběžná zpráva 2020 QK1910392 „Ekologicky šetrné materiály pro intenzifikaci rostlinné výroby s půdoochrannými vlastnostmi na bázi obnovitelných zdrojů“

#### Korespondující autor:

Ing. Jitka Peroutková  
Výzkumný ústav mlékárenský s.r.o.  
Ke Dvoru 12a, 160 00 Praha 6  
e-mail: peroutkova@milcom-as.cz

Přijato do tisku: 14. 5. 2021

Lektorováno: 31. 5. 2021

## “CO JE ZAJÍMAVÉHO VE VĚDECKÉ LITERATUŘE”

Mléko a mléčné výrobky jsou neustále centrem pozornosti výzkumu. Výběr z vědecké literatury pro toto číslo zahrnuje následující publikace:

### Vliv vysoko a nízkofrekvenčního ultrazvuku na tvorbu těkavých složek v mléce a mléčných výrobcích - review

Anh Thi Hong Bui et al. (2020): Effects of high and low frequency ultrasound on the production of volatile compounds in milk and milk products – a review. *Journal of Dairy Research*, 87 (4), s. 501–512.

Přehled pojednává o možných mechanismech aplikovaného ultrazvuku a jejich příslušných chemických a fyzikálních účincích na mléčné složky ve vztahu k produkci těkavých sloučenin. Ultrazvuk nabízí v mlékárenství potenciální výhody oproti konvenčním procesům tepelného zpracování. Fyzikální účinky zvyšují pozitivní změnu fyzikálně-chemických vlastností mléčných bílkovin a tuků. Chemické účinky šířené generováním volných radikálů však způsobují oxidačně-redoxní reakce, které produkují nežádoucí těkavé sloučeniny, jako jsou aldehydy, ketony, kyseliny, estery, alkoholy a síra, a tím vytvářejí nežádoucí pachutě. Rozsah produkovaných těkavých sloučenin závisí na podmínkách ultrazvukového zpracování, jako je doba působení ultrazvuku, teplota a frekvence. Nízkofrekvenční ultrazvuk omezuje tvorbu volných radikálů a vede k volným těkavým sloučeninám, zatímco vysoká ultrazvuková frekvence indukují vyšší úroveň tvorby volných radikálů. Kromě toho změny složení mléčných bílkovin a tuků v mléčných systémech ovlivňují produkci těkavých sloučenin. Tyto faktory by mohly být kontrolovány a optimalizovány tak, aby se snížila produkce nežádoucích těkavých látek, eliminovaly se nežádoucí příchutě a podpořilo se použití ultrazvukové technologie v mlékárenství.

*Kontaktní adresa:* Jayani Chandrapala, School of Sciences, RMIT University, Melbourne, VIC 3083, Australia.

E-mail: Jayani.Chandrapala@rmit.edu.au

### Trendy v kyselé syrovátce a zdravotní benefity

Rocha-Mendoza, D. et al. (2021): Acid whey trends and health benefits. *Review. Journal of Dairy Science*, 104 (2), s. 1262–1275.

V posledních letech se zvýšila produkce kyselé syrovátky, a to díky rostoucí poptávce po řeckém jogurtu a čerstvých sýrech. Kyselá syrovátka je vedlejším produktem, pro který se dlouho hledalo udržitelné využití. Velké produkované objemy kyselé syrovátky vedly k intenzivnějšímu výzkumu možností, jak ji valorizovat. V mlékárenských závodech se syrovátka ošetřuje ultrafiltrací nebo se používá do biodigesterů, aby se snížily dopravní náklady nebo vyrobila energie. Autoři zkoumali další praktická využití a výhody tohoto produktu. Tento přehled seznamuje s průmyslovými trendy, aplikacemi a použitím, ale také s potenciálními zdravotními benefity její konzumace a do detailu rozebírá její proximální složení. Mezi dalšími způsoby použití je výchozí surovina pro výrobu fermentovaných nápojů, růstové médium pro kultivaci bakterií mléčného kvašení namísto komerčních médií nebo jako substrát pro izolaci laktózy a minerálních látek. Nakonec popisuje potenciální zdravotní benefity hlavních složek kyselé syrovátky, jako jsou bioaktivní fosfolipidy a organické kyseliny, jako kyselina mléčná. Kyselá syrovátka má slibné možnosti využití vztahující se k potenciálním zdravotním benefitům, jež sahají od antibakteriálních účinků přes kognitivní vývoj nejmenších dětí po zdraví střev.