

TRANSPORT LAKTÁTU DO ED KONCENTRÁTU PŘI ODSOLOVÁNÍ KYSELÉ SYROVÁTKY

Ing. Jiří Ečer, Ondřej Sluka

MemBrain s.r.o., Pod Vinicí 87, 471 27 Stráž pod Ralskem
jiri.ecer@membrain.cz

Transport of lactate into the ED concentrate in desalination of acid whey

Abstrakt

Kyselá syrovátka je vedlejším produktem při výrobě tvarohu nebo kaseinu. Syrovátka obecně je důležitou surovinou pro další zpracování v potravinářském nebo farmaceutickém průmyslu (Boer de, 2014). Kyselá syrovátka se nejprve zahušťuje pomocí nanofiltrace (Schäfer, Fane, & Waite, 2005) a dále se pro snížení obsahu především anorganických solí demineralizuje pomocí elektrodialýzy (Noble & Stern, 1995). Při demineralizaci ale dochází také k transportu solí organických kyselin (Dufton, Mikhaylin, Gaalou & Bazinet, 2018) (Chen, Eschbach, Weeks, Gras & Kentish, 2016) do koncentrátu, ze kterého pak mohou být tyto soli (především laktáty) získávány.

Elektrodialyzační testy s kyselou syrovátkou zahuštěnou pomocí nanofiltrace byly prováděny při teplotách 10 °C, 15 °C, 25 °C a 35 °C. Kyselá syrovátka zahuštěná nanofiltrací obsahovala zhruba 1,6 % laktátů. Množství převedených laktátů do koncentrátu během elektrodialýzy přesahovalo 90% hranici. Nejlepších výsledků transportu laktátů bylo dosaženo při teplotě 25 °C. Dále bylo zjištěno, že při 60% odsolení původní suroviny bylo převedeno 90 % laktátů z jejich celkového možného převodu při hlubokém odsolení suroviny, a to pouze za tři čtvrtiny času.

Klíčová slova: elektrodialýza, koncentrát, kyselá syrovátka, laktát

Abstract

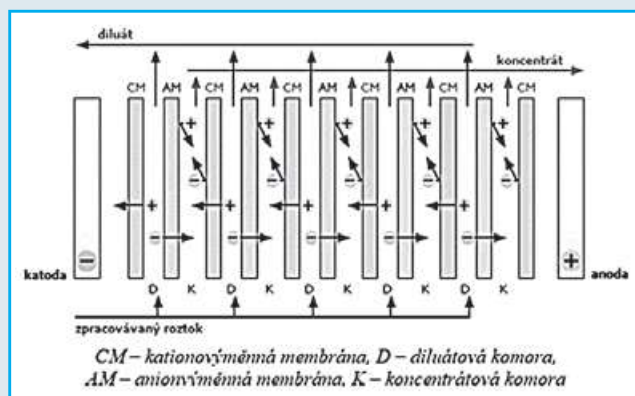
Acid whey is a byproduct in the production of curd or casein. Whey, in general, is an important raw material for further processing in the food or pharmaceutical industry (Boer de, 2014). Acid whey is first concentrated by nanofiltration (Schäfer, Fane, & Waite, 2005) and further is demineralized by electrodialysis to reduce mainly inorganic salts (Noble & Stern, 1995). However, the organic acid salts (Dufton, Mikhaylin, Gaalou & Bazinet, 2018) (Chen, Eschbach, Weeks, Gras & Kentish, 2016) are also transported to the concentrate during demineralization, from which these salts (especially lactates) can be obtained.

Electrodialysis tests were carried out with acid whey concentrated by nanofiltration. Tests were conducted at temperatures of 10°C, 15°C, 25°C and 35°C. Nanofiltrated acid whey contained about 1.6% lactate. The amount of lactate transferred to the concentrate during the electrodialysis exceeded the 90% threshold. The best lactate transport results were obtained at 25°C. Furthermore, it was found that at 60% desalting of the original raw material, 90% of the lactates were converted of their total possible transfer during deep desalination of raw material, and only for three-quarters of the time.

Key words: electrodialysis, concentrate, acid whey, lactate

Úvod

Elektrodialýza patří mezi elektromembránové procesy, při kterých dochází k separaci kladně a záporně nabitých iontů ve stejnosměrném elektrickém poli pomocí iontovýměnných membrán. Kationvýměnná membrána obsahuje sulfonovou skupinu $-\text{SO}_3^-$, anionvýměnná membrána kvartérní amoniovou skupinu $-\text{NH}_2\text{R}^+$ (Sata, 2004) (Bleha, Novák, & Černín, 2014). Princip elektrodialýzy spočívá v působení stejnosměrného elektrického pole na disociované složky solí ve vodném roztoku (Mulder, 1996). Kationty, které se pohybují směrem ke katodě, procházejí kationvýměnnými membránami a jsou zadržovány membránami anionvýměnnými. Naopak anionty, které se pohybují směrem k anodě, procházejí anionvýměnnými membránami a jsou zadržovány membránami kationvýměnnými. Vhodným uspořádáním kationvýměnných a anionvýměnných membrán dochází k přesunu iontů z původního roztoku (diluátu) do koncentrátového roztoku (viz Obr. 1). Elektrodialýza probíhá výhradně v režimu s podélným tokem, tzv. cross-flow.



Obr. 1 Princip elektrodialýzy – zpracováno podle (Bouzek, Paidar, Novák, & Černín, 2012)

Materiál a metodika

Testy byly prováděny na poloprovozní elektrodialyzační jednotce P1 EDR-Y s modulem EDR-Y/50-0,8 (výrobce MemBrain s.r.o.) složeným z 51 ks standardních PES

Tab. 1 Základní parametry surovin

Test č.	$\kappa_{25^\circ\text{C}}$ [mS.cm ⁻¹]	pH	TS [%]	Ash [%]	Ash [% ODB]	TA [°SH]	RS [%]	ρ [g.ml ⁻¹]
1-5	8,17	4,27	16,46	1,26	7,63	66,2	17,4	1,0695
6-11	8,12	4,29	18,33	1,49	8,13	79,9	20,3	1,0828

Tab. 2 Chemické složení surovin – kationty a laktosa

Test č.	Na ⁺ [mg.l ⁻¹]	K ⁺ [mg.l ⁻¹]	Mg ²⁺ [mg.l ⁻¹]	Ca ²⁺ [mg.l ⁻¹]	P _{celk.} [mg.l ⁻¹]	S [mg.l ⁻¹]	Laktosa [g.kg ⁻¹]
1-5	421	1674	348	3240	2154	239	124
6-11	470	1840	414	4340	2505	255	144

Tab. 3 Chemické složení surovin – anionty

Test č.	Cl ⁻ [mg.l ⁻¹]	SO ₄ ²⁻ [mg.l ⁻¹]	PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	Laktát [mg.l ⁻¹]	Citrát [mg.l ⁻¹]
1-5	1171	726	5098	<30,0	<50,0	16069	<500
6-11	897	410	6124	<30,0	<50,0	16593	7970

kationvýměnných a 50 ks PES anionvýměnných membrán RALEX® svými parametry odpovídajících technickým listům (MEGA a.s.). Složení svazku bylo CM – AM – CM. Celková plocha membrán byla 4,04 m², plocha membránových párů 2,0 m². Mezi membránami byly vloženy PE rozdělovače o tloušťce 0,8 mm, tloušťka elektrodových rozdělovačů byla 1 mm.

Pro testy byla použita kyselá syrovátka zahuštěná pomocí nanofiltrace. Základní parametry surovin jsou uvedeny v Tab. 1 a chemické složení v Tab. 2 a Tab. 3.

Testy č. 1 až č. 5

V první sérii probíhaly testy při teplotách 10 °C, 15 °C, 25 °C a 35 °C. Nejprve byl proveden jeden test při teplotě 15 °C a polaritě napětí pozitiv se vsádkou 30 kg syrovátky. Počáteční množství koncentráту (pitné vody) bylo 7 kg, množství elektrodového roztoku 5 kg. Průtok diluátu a koncentráту byl 700 l.h⁻¹ (lineární rychlost 4,86 cm.s⁻¹), průtok elektrodového roztoku 500 l.h⁻¹ (lineární rychlost 69,44 cm.s⁻¹). Aby nemohlo dojít k vysrážení fosfátů v koncentrátových komorách byla vodivost koncentráту udržována na hodnotě 15 mS.cm⁻¹ přidávkem pitné vody. Celkové napětí bylo 50 V, tj. 1 V.pár⁻¹. Každých 15 minut byly zaznamenávány hodnoty celkového napětí, napětí na svazku, elektrického proudu, vodivosti, pH a teploty všech médií. Druhý test po propláchnutí jednotky pitnou vodou probíhal při stejné velikosti vsádky a stejné polaritě ale při teplotě 25 °C. Po chemickém čištění elektrodialyzační jednotky proběhly další dva testy při teplotě 35 °C se vsádkami 30 kg (polarita pozitiv) a 60 kg (polarita negativ). Poslední test v této sérii probíhal opět po chemickém čištění při teplotě 10 °C se vsádkou 30 kg kyselá syrovátky a při polaritě pozitiv. V průběhu každého testu byly odebrány vzorek původní suroviny, čtyři vzorky koncentráту, dále vzorky finálního diluátu a koncentráту.

Testy č. 6 až č. 12

Druhá série testů probíhala při teplotě 25 ± 2 °C. Bylo provedeno celkem šest testů. Dva testy s navázkou suroviny 30 kg byly ukončeny při dosažení cca 90% odsolení, dva testy s navázkou 40 kg při cca 70% odsolení a dva testy s navázkou 50 kg při cca 50% odsolení. Počáteční množství koncentráту (pitné vody) bylo ve všech případech 7 kg, množství elektrodového roztoku (NaNO₃ o koncentraci 10 g.l⁻¹) 5 kg. Ostatní podmínky testů byly stejné jako v první sérii. Po skončení každého testu byly opět zjištěny finální hmotnosti diluátu, koncentráту, elektrodového roztoku a přidané vody. Pro analytické rozbory byly odebrány vzorky původní suroviny, finálního diluátu a koncentráту. Po každém testu byla elektrodialyzační jednotka propláchnuta pitnou vodou a byla změněna polarita napětí. Po třetím a šestém testu z této série bylo provedeno chemické čištění jednotky.

Během testů byla měřena:

- Vodivost, pH a teplota pomocí WTW Multi 3420
- Kyselost titrací 0,25M-NaOH [°SH]
- Refraktometrická sušina digitálním přístrojem HANNA Wine Refractometer HI 96811
- Hustota digitálním hustoměrem Mettler-Toledo Densito 30PX

V laboratoři MemBrain s.r.o. byly dále měřeny následující parametry:

- Sušina na sušicích váhách VWR MB 160 při 102 °C
- Popel vázkově spalováním v peci při 525 °C
- Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, P_{celk.}, S na iCAP 7000s (optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem ICP-OES)
- Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻ na Dionex™ ICS-5000+ DC (iontová chromatografie)
- Laktosa polarimetricky
- Soli organických kyselin pomocí kapilární izotachografie AGROFOR

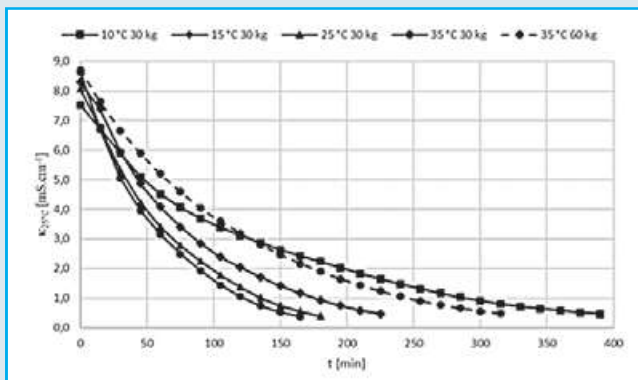
Výsledky a diskuze

Problematikou odstranění organických kyselin z naturální kyselá syrovátky se zabývali např. (Dufton, Mikhaylin, Gaalou & Bazinet, 2018) a (Chen, Eschbach, Weeks, Gras & Kentish, 2016). Výše uvedené testy ale byly uskutečněny s kyselou syrovátkou zahuštěnou pomocí nanofiltrace, nicméně závěry týkající se transportu (odstranění) laktátu ze suroviny jsou srovnatelné.

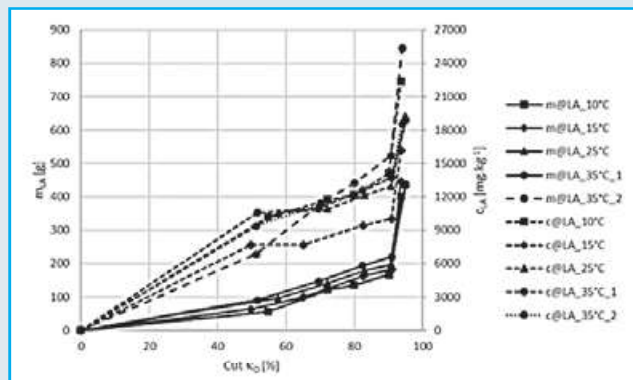
Testy č. 1 až č. 5

Průběh elektrodialýzy (závislost vodivosti diluátu v čase) při odsolení pod 1 % popela v sušině pro jednotlivé testy je znázorněn na Obr. 2.

Základní parametry a chemické složení všech odsolených diluátů jsou uvedeny v tabulkách 4, 5 a 6.



Obr. 2 Průběh elektrodialýzy nanofiltrované kyselé syrovátky



Obr. 3 Množství a koncentrace laktátu v koncentrátu

Stejně analýzy byly prováděny i u odebraných vzorků koncentrátu, ale především byl sledován obsah laktátu. Obsah jednotlivých aniontů ve finálních koncentrátech je uveden v Tab. 7.

Převedené množství laktátu do koncentrátu a změny jeho koncentrace v závislosti na snížení relativní vodivosti diluátu ($Cut \kappa_D$ – rovnice 1) jsou znázorněny na Obr. 3.

$$Cut \kappa_D = \left(1 - \frac{\kappa_D}{\kappa_F}\right) \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

kde $Cut \kappa_D$ je snížení relativní vodivosti diluátu, κ_D vodivost diluátu a κ_F vodivost nástřiku.

Významný nárůst množství převedeného laktátu do koncentrátu i jeho koncentrace ve vzorku koncentrátu po ukončení pokusu je dán způsobem odběru vzorků. Vzorky koncentrátu byly odebírány z přeteklého roztoku do sběrné nádoby nikoliv z celého objemu koncentrátu. Poslední vzorek byl ale odebrán z celého objemu.

Průměrná počáteční koncentrace laktátu v surovině byla 15,0 g.kg⁻¹. Nejvyšší koncentrace laktátu v koncentrátu byla dosažena při teplotě 10 °C, a to 22,4 g.kg⁻¹ při $Cut \kappa_D = 93,7 \%$, nejnižší pak při teplotě 15 °C (16,2 g.kg⁻¹ při stejném $Cut \kappa_D$). Jako nejvýhodnější se jeví teplota 25 °C, při které byla dosažena koncentrace laktátu v koncentrátu 19,3 g.kg⁻¹ při $Cut \kappa_D = 94,9 \%$. Dosažení vyšší koncentrace laktátu v koncentrátu při teplotě 10 °C je způsobeno nižší spotřebou vody na ředění koncentrátu, což souvisí s teplotní kompenzací vodivostní sondy (ta je nastavena pro roztok NaCl nikoliv pro směs solí v koncentrátu) – Obr. 2. Teplota 35 °C je méně výhodná z mikrobiologického hlediska. Na Obr. 4 je znázorněna závislost intenzity transportu anorganických solí a laktátu na teplotě.

Testy č. 6 až č. 11

Na základě předchozích testů se jako nejvýhodnější jeví teplota 25 °C, proto testy v druhé sérii byly prováděny s kyselou syrovátkou zahuštěnou

Tab. 4 Základní parametry diluátů

Test č.	$\kappa_{25^\circ C}$ [mS.cm ⁻¹]	pH	TS [%]	Ash [%]	Ash [% ODB]	TA [°SH]	RS [°Bx]	ρ [g.ml ⁻¹]
10 °C 30 kg	0,52	5,3	14,94	0,12	0,82	10	15,3	1,0564
15 °C 30 kg	0,52	4,56	14,61	0,09	0,62	7,3	14,8	1,0544
25 °C 30 kg	0,41	4,75	14,73	0,12	0,79	7,8	14,8	1,0543
35 °C 30 kg	0,4	4,89	14,59	0,13	0,9	8	14,9	1,0549
35 °C 60 kg	0,49	4,7	13,96	0,14	1,02	7,4	15,2	1,0561

Tab. 5 Chemické složení diluátů – kationty a laktosa

Test č.	Na ⁺ [mg.l ⁻¹]	K ⁺ [mg.l ⁻¹]	Mg ²⁺ [mg.l ⁻¹]	Ca ²⁺ [mg.l ⁻¹]	P _{celk.} [mg.l ⁻¹]	S [mg.l ⁻¹]	Laktosa [g.kg ⁻¹]
10 °C 30 kg	6,65	4,69	29,7	157	281	128	135,7
15 °C 30 kg	1,75	2,7	25,1	121	248	122	135
25 °C 30 kg	3,06	6,4	30	115	248	121	132,2
35 °C 30 kg	1,75	1,12	33,9	140	260	121	134,4
35 °C 60 kg	2,69	6,57	41,9	158	255	110	134,2

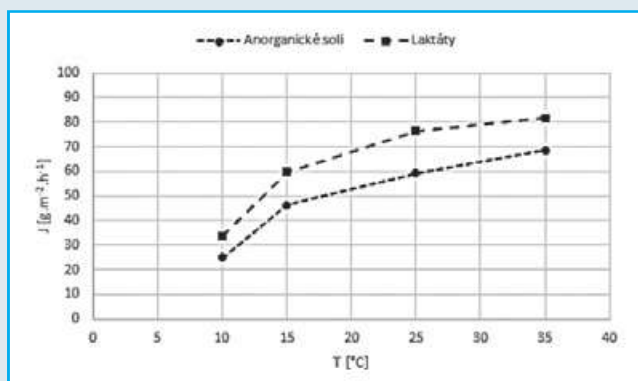
Tab. 6 Chemické složení diluátů – anionty

Test č.	Cl ⁻ [mg.l ⁻¹]	SO ₄ ²⁻ [mg.l ⁻¹]	PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	Laktát [mg.l ⁻¹]	Citrát [mg.l ⁻¹]
10 °C 30 kg	<10,0	<30,0	99	<10,0	<10,0	847	<100,0
15 °C 30 kg	<10,0	<30,0	67	<10,0	<10,0	474	<20,0
25 °C 30 kg	10	<30,0	99	<30,0	<10,0	352	<20,0
35 °C 30 kg	10	<30,0	162	<30,0	<10,0	535	<20,0
35 °C 60 kg	10	<30,0	99	<10,0	<10,0	575	<200,0

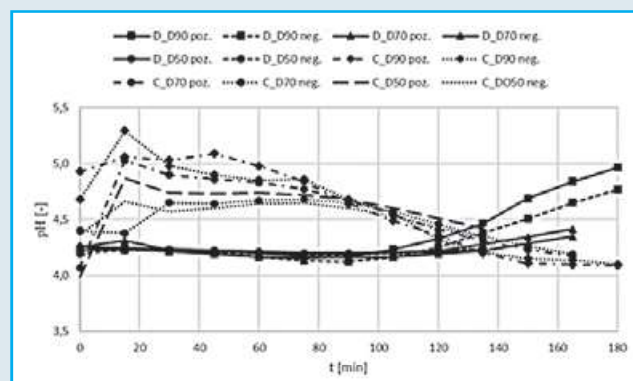
Tab. 7 Chemické složení koncentrátů – anionty

Test č.	Cl ⁻ [mg.l ⁻¹]	SO ₄ ²⁻ [mg.l ⁻¹]	PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	Laktát [mg.l ⁻¹]	Citrát [mg.l ⁻¹]
10 °C 30 kg	1409	488	6981	<30,0	<50,0	22892	<500,0
15 °C 30 kg	1445	1294	5557	<30,0	<50,0	16424	<500,0
25 °C 30 kg	1417	721	6368	<30,0	<100,0	19641	<500,0
35 °C 30 kg	1396	445	5873	<30,0	<50,0	19234	<500,0
35 °C 60 kg	1535	488	6190	<30,0	<50,0	18828	<500,0

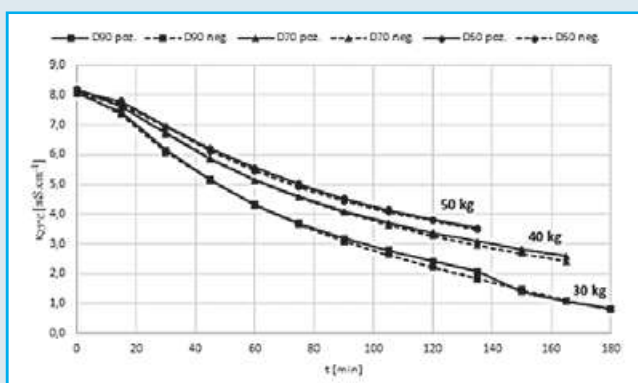
pomocí nanofiltrace při této teplotě a do různých stupňů odsolení.



Obr. 4 Závislost intenzity transportu anorganických solí a laktátu na teplotě



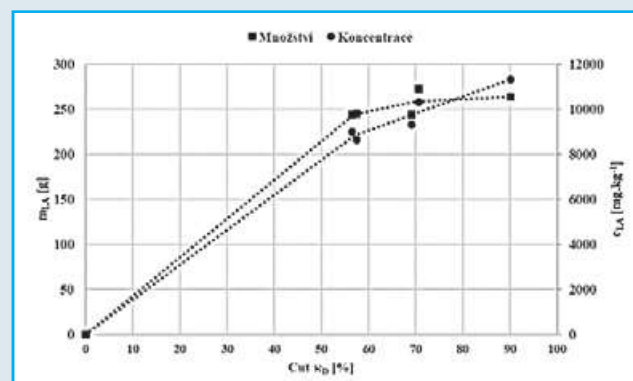
Obr. 6 Změny pH diluátu a koncentrátu během ED



Obr. 5 Průběh elektrodialýzy nanofiltrované kyselý syrovátky

Průběh elektrodialýzy (závislost vodivosti diluátu v čase) pro jednotlivé testy je znázorněn na Obr. 5.

Na Obr. 6 je znázorněn průběh hodnot pH diluátu a koncentrátu během elektrodialýzy. Průběh pH koncentrátu na počátku testů je ovlivněn především reverzací



Obr. 7 Množství a koncentrace laktátu v koncentrátu

polarity napětí. V průběhu testů pH diluátu stoupá a pH koncentrátu klesá. To je způsobeno transportem organických kyselin (především kyseliny mléčné) z diluátu do koncentrátu.

Základní parametry a chemické složení všech odsolených diluátů jsou uvedeny v tabulkách Tab. 8, Tab. 9 a Tab. 10.

Tab. 8 Základní parametry diluátů

Test č.	$K_{25^{\circ}\text{C}}$ [mS·cm ⁻¹]	pH	TS [%]	Ash [%]	Ash [% ODB]	TA [°SH]	RS [°Bx]	ρ [g·ml ⁻¹]
D90 poz.	0,8	4,96	16,39	0,15	0,94	9	17,5	1,0661
D90 neg.	0,8	4,76	16,59	0,14	0,87	11,7	18,1	1,0669
D70 poz.	2,52	4,4	16,71	0,43	2,58	24,3	18,2	1,0687
D70 neg.	2,39	4,38	17,04	0,39	2,26	25,1	18,5	1,0698
D50 poz.	3,5	4,24	17,08	0,64	3,74	42,5	18,7	1,0718
D50 neg.	3,45	4,2	17,11	0,63	3,67	40,5	18,9	1,0714

Tab. 9 Chemické složení diluátů – kationty a laktosa

Test č.	Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	K ⁺ [mg·l ⁻¹]	Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	P _{celk.} [mg·l ⁻¹]	S [mg·l ⁻¹]	Laktosa [g·kg ⁻¹]
D90 poz.	5,9	1,7	77	296	342	129	151,7
D90 neg.	3	2,3	73	295	349	129	156,2
D70 poz.	16,4	23,3	216	1460	762	131	153,4
D70 neg.	18,8	26,8	199	1340	731	131	153,4
D50 poz.	65,1	118	281	2340	1190	137	149,3
D50 neg.	62,2	118	281	2290	1190	138	149,9

Stejně analýzy byly prováděny i u odebraných vzorků koncentrátu, ale především byl sledován obsah laktátu. Obsah jednotlivých aniontů ve finálních koncentrátech je uveden v Tab. 11.

Převedené množství laktátu do koncentrátu a změny jeho koncentrace v závislosti na snížení relativní vodivosti diluátu ($Cut \kappa_D$ – rovnice 1) jsou znázorněny na Obr. 7.

V prvním testu (odsolení D90 při polarizaci pozitiv) byla neúměrně vysoká spotřeba vody na ředění koncentrátu, přestože membrány v elektrodialyzační jednotce byly předem kondicionovány odsolením menšího množství suroviny. Výsledky tohoto prvního testu nejsou proto dále uvažovány.

Průměrná počáteční koncentrace laktátu v surovině byla 15,3 g·kg⁻¹. Nejvyšší koncentrace laktátu v koncentrátu bylo dosaženo při hlubokém odsolení $Cut \kappa_D = 90 \%$, a to 11,3 g·l⁻¹. Z grafu na Obr. 9. je zřejmé, že 90 % laktátu bylo převedeno do odsolení $Cut \kappa_D = 60 \%$, přičemž bylo na toto odsolení potřeba jen 75 % času.

Porovnání testů

Přehled výkonových parametrů, spotřeb elektrické energie, vody a kyseliny dusičné během provedených testů je uveden v Tab. 12.

Závěr

Při zpracování přírodní kyselé syrovátky se do koncentráту převede pouze 41,44 % laktátů, zatímco při zpracování kyselé syrovátky zahuštěné pomocí nanofiltrace je tento převod vyšší než 90 %. Nejvyššího % převedených laktátů z nanofiltrované syrovátky bylo dosaženo při teplotě 25 °C, přičemž při 60 % odsolení bylo převedeno 90 % laktátů z celkového množství obsaženého v původní surovině, a to v čase o čtvrtinu kratším, než kdyby se provádělo hluboké odsolení ($Cut \kappa_D > 90 \%$).

Symbody a zkratky

- A_F spotřeba elektrické energie na kg nástřiku [Wh.kg_F⁻¹]
- AM(H) anionvýmenná membrána (pro použití v potravinářském průmyslu)
- Ash obsah popele [%], [% ODB]
- C koncentrát, koncentrátová komora
- C_F měrná kapacita ED vztažená k nástřiku [kg_F.m⁻².h⁻¹]
- c_{LA} koncentrace laktátu [mg.l⁻¹] [mg.kg⁻¹]
- CM(H) kationvýmenná membrána (pro použití v potravinářském průmyslu)
- Cut κ_D snížení relativní vodivosti diluátu [%]
- Δm_{Ash} změna obsahu popele v diluátu [%]
- Δm_{LA_D} změna obsahu laktátu v diluátu [%]
- Δm_{LA_C} nárůst obsahu laktátu v koncentrátu [%] (100 % odpovídá nejvyššímu odsolení)
- D diluát
- D50, D70, D90 komerčně požadované stupně odsolení syrovátky (4,0 %, 2,5 %, 1,0 % popele v sušině)
- E elektrodový roztok, komora elektrodového roztoku
- ED elektrodialýza
- EDR elektrodialyzační modul s možností reverzace napětí
- F nástřik
- J intenzita transportu solí [g.m⁻².h⁻¹]
- κ , $\kappa_{25^\circ C}$, κ_F , κ_D vodivost, vodivost při 25 °C, vodivost nástřiku a diluátu [mS.cm⁻¹]
- LA laktát
- m_C množství koncentrátu na kg nástřiku [kg.kg_F⁻¹]

Tab. 10 Chemické složení diluátů – anionty

Test č.	Cl ⁻ [mg.l ⁻¹]	SO ₄ ²⁻ [mg.l ⁻¹]	PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	Laktát [mg.l ⁻¹]	Citrát [mg.l ⁻¹]
D90 poz.	<5,0	<60,0	198	<15,0	<20,0	1355	<50,0
D90 neg.	<5,0	<60,0	198	<15,0	<20,0	1476	<50,0
D70 poz.	<5,0	<60,0	767	<15,0	<20,0	1517	1070
D70 neg.	<5,0	<60,0	831	<15,0	<20,0	1436	865
D50 poz.	14	<60,0	1906	<15,0	<20,0	2528	10430
D50 neg.	14	<60,0	2033	<15,0	<20,0	2835	10633

Tab. 11 Chemické složení koncentrátů – anionty

Test č.	Cl ⁻ [mg.l ⁻¹]	SO ₄ ²⁻ [mg.l ⁻¹]	PO ₄ ³⁻ [mg.l ⁻¹]	NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	NO ₂ ⁻ [mg.l ⁻¹]	Laktát [mg.l ⁻¹]	Citrát [mg.l ⁻¹]
D90 poz.	1274	1400	6051	<60,0	<100,0	7401	14087
D90 neg.	1215	806	7159	<60,0	<100,0	11499	17948
D70 poz.	1451	721	6684	<60,0	<100,0	9450	13478
D70 neg.	1392	721	6842	<60,0	<100,0	10475	13274
D50 poz.	1628	721	6209	<60,0	<100,0	9108	10023
D50 neg.	1451	806	6051	<60,0	<100,0	8767	9617

Tab. 12 Výkonové parametry a spotřeby energií

Test	č. 1 až č. 5				č. 6 až č. 11		
T [°C]	10	15	25	35	25		
κ_D [mS.cm ⁻¹]	0,46				3,48	2,41	0,8
Cut κ_D [%]	94,36				57	69,9	90,1
J [g.m ⁻² .h ⁻¹]	24,98	46,44	59,29	68,57	97,09	80,54	69,36
C _F [kg.m ⁻² .h ⁻¹]	2,32	4	5,22	5,72	10,7	7,27	5,01
A _F [Wh.kg _F ⁻¹]	9,07	8,77	8,4	8,44	5,47	7,1	9,56
m _w [kg.kg _F ⁻¹]	0,53	0,76	0,64	0,66	0,49	0,57	0,6
m _C [kg.kg _F ⁻¹]	0,36	0,87	0,74	0,77	0,56	0,66	0,73
Δm_{Ash} [%]	91,12	91,58	91,35	91,74	61,56	74,06	92,38
Δm_{LA_D} [%]	95,4	97,39	98	96,84	83,85	92	92,96
Δm_{LA_C} [%]	100				92,63	98,04	100

- m_{LA} hmotnost laktátu [g]
- m_w spotřeba vody na kg nástřiku [kg.kg_F⁻¹]
- neg. polarita negativ
- ODB v sušině (On Dry Basis)
- PE polyetylén
- PES polyester
- poz. polarita pozitiv
- RS refraktometrická sušina [°Bx]
- ρ hustota [g.ml⁻¹]
- TA títrační kyselost [°SH]
- TS obsah sušiny (Total Solids) [g.kg⁻¹]

Poděkování

Tato práce vznikla v rámci projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/17_107/0012377 “Dairy Ingredients” za podpory Ministerstva práce a obchodu prostřednictvím Agentury pro podnikání a inovace. Projekt je spolufinancován Evropskou unií.

Literatura

- Bleha, M., Novák, L., & Černín, A. (2014). Ionově selektivní materiály a membrány. V L. Novák (Editor), *Elektromembránové procesy* (stránky 101-119). Praha: VŠCHT Praha.
- Boer de, R. (2014). *From Milk By-Products to Milk Ingredients*. Chichester: Wiley Blackwell.
- Bouzek, K., Paidar, M., Novák, L., & Černín, A. (2012). Elektromembránové procesy. V Z. Palatý (Editor), *Membránové procesy* (str. 158). Praha: VŠCHT Praha.
- Dufton, G., Mikhaylin, S., Gaalou, S., & Bazinet, L. (2018). How electro-dialysis configuration influences acid whey deacidification and membrane scaling. *Journal of Dairy Science*, 101(9), stránky 7833-7850.
- Chen, G., Eschbach, F., Weeks, M., Gras, S., & Kentish, S. (2016). Removal of lactic acid from acid whey using electrodialysis. *Separation and Purification Technology* (158), stránky 230-237.
- MEGA a.s. (nedatováno). *Membranes*. Získáno 12. 12 2018, z <https://www.mega.cz/membranes/#what-we-do>
- Mulder, M. (1996). *Basic Principles of Membrane Technology 2nd ed.* Kluwer Academic Publishers.
- Noble, R. D., & Stern, S. A. (1995). *Membrane Separations Technology, Principles and Applications*. Elsevier Science B.V.
- Sata, T. (2004). *Ion Exchange Membranes : Preparation, Characterization, Modification and Application*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- Scháfer, A. I., Fane, A., & Waite, T. D. (2005). *Nanofiltration. Principles and Applications*. Oxford: Elsevier Advanced Technology.

Korespondující autor: Ing. Jiří Ečer

MemBrain s.r.o., Pod Vinicí 87,

471 27 Stráž pod Ralskem

e-mail: jiri.ecer@membrain.cz

Přijato do tisku: 17. 7. 2019

Lektorováno: 27. 7. 2019

RŮST LAKTOBACILŮ A BIFIDOBACTERIÍ NA MÉDIU S PŘÍDAVKEM MIKROSKOPICKÝCH ŘAS

**Gabriela Krausová¹, Kateřina Karpíšková²,
Jana Smolová¹, Simona Lucáková³, Tomáš Brányik²**

¹ Výzkumný ústav mlékařenský s.r.o., Oddělení Mikrobiologie a Technologie, Ke Dvoru 12a, 160 00, Praha 6

² Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Ústav Biotechnologie, Technická 5, 160 00, Praha 6

³ Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i., Rozvojová 1/135, 165 02 Praha 6

Growth of lactobacilli and bifidobacteria on the medium containing microalgae

Abstrakt

Řasy a sinice mají v současné době velký potenciál, a to zejména pro potravinářství, kde jsou používány jako potravinářské aditivum. Díky svým nutričním hodnotám a zdraví prospěšným účinkům se využívají k výrobě

doplňků stravy z mikrořas zejména rod *Chlorella* a z řad sinic rod *Spirulina*. Mikrořasy představují bohatý zdroj nutričně cenných látek, mezi které patří proteiny, vitaminy, pigmenty, antioxidanty, nenasycené mastné kyseliny a v neposlední řadě oligo- a poly-sacharidy, které mohou sloužit jako energetický zdroj pro střevní bakterie a tím působit prebioticky. Cílem práce bylo testování prebiotického účinku biomasy *Spiruliny* na bakterie z rodů *Lactobacillus* (5 kmenů) a *Bifidobacterium* (3 kmeny). Experiment byl proveden jak s biomasou komerčně dostupné *Spiruliny* zakoupené v tržní síti, tak s biomasou laboratorně vykultivované sinice. Pozitivní prebiotický efekt byl v případě laboratorně vykultivované *Spiruliny* pozorován u dvou kmenů laktobacilů, a to u *Lbc. animalis* CCDM 382 a *Lbc. acidophilus* CCDM 151. U ostatních testovaných kmenů nebyl prebiotický efekt nijak významný, ale zároveň nedošlo ani k inhibici růstu. V případě komerčně dostupné *Spiruliny* byl pozorován pozitivní prebiotický efekt u všech testovaných kmenů (8), přičemž nárůst bakterií se zvyšoval se zvyšujícím se přídatkem biomasy. Na základě získaných výsledků je možné konstatovat, že *Spirulina* může působit prebioticky, a to zvyšováním počtu probiotických bakterií, přičemž tato schopnost je kmenově a substrátově specifická. Bylo prokázáno, že existují rozdíly v prebiotickém působení mezi laboratorně vykultivovanou a komerčně dostupnou *Spirulinou*. Lze předpokládat, že úlohu bude hrát forma a způsob zpracování biomasy, zdroj a původ *Spiruliny*, rozdíly mohou být zapříčiněny také odlišnými podmínkami kultivace a následným zpracováním, zejména ve stupni dezintegrace buněk.

Klíčová slova: *Spirulina*, *Arthrospira platensis*, prebiotika, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*

Abstract

Algae and cyanobacteria are nowadays of great potential, especially for the food industry, where they are used as a food additive. Thanks to their nutritional value and beneficial effects on health, the genus *Chlorella* (microalgae) and the genus *Spirulina* (cyanobacteria) are commonly used as food supplements. Microalgae and cyanobacteria represent a rich source of nutritionally valuable substances, including proteins, vitamins, pigments, antioxidants, unsaturated fatty acids and, last but not least, oligo- and poly-saccharides, which can serve as an energy source for gut bacteria and thus serve as prebiotics. The aim of the study was to test the prebiotic effect of *Spirulina* biomass on bacteria from the genera *Lactobacillus* (5 strains) and *Bifidobacterium* (3 strains). The experiment was performed with both the commercially available *Spirulina* biomass and the laboratory-cultivated *Spirulina* biomass. A positive prebiotic effect of laboratory-cultivated *Spirulina* was observed in two lactobacilli strains, in *Lbc. animalis* CCDM 382 and *Lbc. acidophilus* CCDM 151. In the rest of the strains tested, the prebiotic effect was not significant but there