

Badanie stężenia kwasu mlekowego, otrzymanego w procesie fermentacji mlekowej laktozy, zawartej w serwatce poprodukcyjnej przy udziale *Lactobacillus*

Sławomir MAŚLANKA*, Agnieszka KOS, Maria BAŃCZYK, Izabela CZOPEK, Łukasz ADAM – Centrum Badawczo–Rozwojowe GLOKOR Sp. z o.o., Gliwice, Jolanta DORSZEWSKA – Centrum Badawczo–Rozwojowe GLOKOR Sp. z o.o., Gliwice, Pracownia Neurobiologii Katedry Neurologii Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu, Katarzyna STARCZEWSKA – Centrum Badawczo–Rozwojowe GLOKOR Sp. z o.o., Gliwice

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2015, 69, 4, 241–251

Wstęp

Serwatka jako odpad produkcyjny z przemysłu mleczarskiego jest złożoną mieszaniną wielu wartościowych składników: białek, laktozy, tłuszczów, związków wapnia i fosforu, kwasów organicznych oraz witamin. Jednocześnie stanowi surowiec nietrwały, gdyż szybko psuje się z powodu obecnej mikroflory. Ze względu na swoje specyficzne właściwości, serwatka może być doskonałym medium do rozwoju bakterii w warunkach laboratoryjnych. W zależności od metod technologicznych produkcji wyrobów serowo-mleczarskich, zakłady mleczarskie wytwarzają trzy typy serwatki: podpuszczkową (tzw. słodką), kwasową (tzw. kwaśną) oraz mieszaną. Serwatka podpuszczkowa otrzymywana jest przy produkcji serów dojrzewających (sery żółte), zaś kwasową otrzymuje się przy wytwarzaniu twarogów (serów białych). Serwatki te różnią się składem chemicznym oraz właściwościami fizyko-chemicznymi. Serwatka kwasowa (pH 3,8–4,6) charakteryzuje się wyższym udziałem kwasu mlekowego (do 0,7%) oraz niższą zawartością białek niż serwatka podpuszczkowa (pH 5,2–6,7) [1, 2]. Roczna produkcja serwatki w Polsce wynosi od ok. 2 do 3 mln m³. Szacuje się, że z całkowitej objętości mleka wykorzystywanego do produkcji serów i twarogów, ok. 65–90% odpadu opuszcza proces technologiczny jako serwatka [3]. Jednym z biotechnologicznych kierunków przetwarzania serwatki jest otrzymywanie kwasu mlekowego w procesie fermentacji mlekowej. Wysoka zawartość laktozy (do 6%) w serwatce daje ekonomiczne podstawy do wydzielania jej z tego produktu. Laktoza wykorzystywana jest w procesie fermentacji mlekowej, w której ulega przemianie do kwasu mlekowego przy udziale bakterii kwasu mlekowego (z ang. *Lactic Acid Bacteria*, LAB) [4, 5]. Produkcja kwasu mlekowego w procesie fermentacji mlekowej z udziałem LAB ma tę zaletę, w porównaniu z syntezą chemiczną, że przy odpowiednim doborze szczepu bakterii otrzymuje się określony izomer kwasu mlekowego [6].

Bakterie kwasu mlekowego (charakterystyka LAB)

Bakterie kwasu mlekowego (LAB) stanowią bardzo rozbudowaną grupę mikroorganizmów, których wspólną cechą jest zdolność do fermentacji mlekowej. Do tej grupy bakterii zalicza się Gram-dodatnie ziarniaki: *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Oenococcus* i *Pediococcus* oraz Gram-dodatnie, nieprzetwarzające laseczki z rodzaju *Lactobacillus* i *Carnobacterium*. Mikroorganizmy te różnią się wymaganiami odżywczymi, rodzajem produkowanych metabolitów, odczynem podłoża hodowlanego i temperaturą hodowli. Wśród nich występują gatunki termofilne

(wzrost w temp. 37–45°C) oraz mezofilne (wzrost w temp.: 20–28°C). Większość z nich należy do względnych beztlenowców, choć można spotkać także gatunki bezwzględnie beztlenowe. Spośród LAB używanych jako kultury startowe w przetwórstwie mleczarskim, tylko bakterie *Lactobacillus* (*L. helveticus*, *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus*) preferują środowisko o pH 5,5–5,8. Podczas wzrostu i fermentacji, pH podłoża obniża się na skutek akumulacji kwasów organicznych, w tym kwasu mlekowego [7 ÷ 10].

Biotechnologiczna produkcja kwasu mlekowego

Nowoczesne podejście do zagadnienia biotechnologicznej produkcji kwasu mlekowego zakłada zastosowanie produktów odpadowych generowanych przez różne gałęzie przemysłu, głównie spożywczego, jak również produktów rolnych. Wśród surowców odnawialnych stosowanych do produkcji kwasu mlekowego można wyróżnić:

- surowce skrobiowe: ziemniaki, pszenicę, kukurydzę, kassawę, ryż, sorgo, żyto, owies, jęczmień
- przemysłowe produkty odpadowe: melasę i serwatkę
- surowce celulozowe: słomę ryżową, pszeniczną i kukurydzianą oraz włókna lucerny, drewno odpadowe, makulaturę [11 ÷ 13].

Jak wspomniano, mikroorganizmy zdolne do produkcji kwasu mlekowego to przede wszystkim LAB i dominują one wśród producentów kwasu mlekowego, wykorzystywanych na skalę przemysłową. Należy jednak nadmienić, iż mikroorganizmy te posiadają wysokie wymagania pokarmowe, wynikające z braku zdolności syntezy przez bakterie mlekowe witamin z grupy B oraz aminokwasów. Wymagają one wzbogacania pożywki produkcyjnej organicznymi, łatwo przyswajalnymi źródłami azotu, witaminami oraz mikroelementami [11 ÷ 15]. Wydajność produkcji kwasu mlekowego dla poszczególnych szczepów LAB jest różna, a dodatkowy wpływ na jej efektywność ma rodzaj substratu, zastosowanego w podłożu (Tab. 1).

Za bogate źródło węgla do produkcji kwasu mlekowego przyjmuje się najczęściej serwatkę, która jest produktem ubocznym otrzymywanym w przemyśle mleczarskim. Obok źródła węgla, jakim jest laktoza, zawiera ona białka, a także sole mineralne i tłuszcze. Całkowite wykorzystanie laktozy możliwe jest w przypadku suplementowania pożywki hodowlanej dodatkowymi źródłami azotu. Opracowane zostały technologie stosujące jako dodatki do medium produkcyjnego ekstrakt drożdżowy, pepton, mleko w proszku oraz mąkę sojową i namok kukurydziany. Bakteriami stosowanymi do produkcji kwasu mlekowego z serwatki są szczepy *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *L. helveticus*, jak również *L. casei*, *L. lactis* oraz *S. thermophilus* [11, 13]. Wymienione szczepy LAB przeprowadzają fermentację mlekową laktozy na drodze różnych szlaków metabolicznych [36].

Autor do korespondencji:

Dr Sławomir MAŚLANKA, e-mail: alchemik74@wp.pl

Charakterystyka fizjologiczna wybranych bakterii szczepu *Lactobacillus* i ich efektywność produkcji kwasu mlekowego na podłożach z różnymi substratami

Substrat	Szczep bakterii kwasu mlekowego	Temperatura optymalna, °C	Typ fermentacji mlekowej	Zawartość kwasu mlekowego, g/l	Wydajność produkcji kwasu mlekowego, g/l · godz ⁻¹	Literatura
Kukurydza	<i>Lactobacillus amylovorus</i>	32 - 45	Heterofermentacja	10,1	0,8	[16]
Kassawa	<i>Lactobacillus amylovorus</i>	32 - 45	Heterofermentacja	4,8	0,2	[16]
Ziemniaki	<i>Lactobacillus amylovorus</i>	32 - 45	Heterofermentacja	4,2	0,1	[17]
Jęczmień	<i>Lactobacillus amylophilus</i>	37 - 45	Homofermentacja	27,3	0,3	[18]
	<i>Lactobacillus casei</i>	28 - 32	Fakultatywnie heterofermentacja	162,0	3,4	[19]
	<i>Lactobacillus helveticus</i>	37 - 45	Fakultatywnie heterofermentacja	66,0	1,4	[20]
	<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	45 - 52	Homofermentacja	20,8	0,3	[21]
Serwatka	<i>Lactobacillus casei</i>	28 - 32	Fakultatywnie heterofermentacja	46,0	4,0	[22]
Melasa	<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	45 - 52	Homofermentacja	90,0	3,8	[23]
Drewno	<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	45 - 52	Homofermentacja	108,0	0,9	[24]
Celuloza	<i>Lactobacillus coryniformis</i> subsp. <i>torquens</i>	37 - 45	Fakultatywnie heterofermentacja	24,0	0,5	[17]
Pszenvica	<i>Lactobacillus lactis</i> subsp. <i>lactis</i>	28 - 32	Homofermentacja	106,0	1,0	[25]
Żyto	<i>Lactobacillus paracasei</i>	10 - 37	Heterofermentacja	84,5	2,4	[26]
Sorgo	<i>Lactobacillus paracasei</i>	10 - 37	Heterofermentacja	81,5	2,7	[26]
	<i>Lactobacillus paracasei</i>	10 - 37	Heterofermentacja	106,0	3,5	[27]
Ryż	<i>Lactobacillus</i> sp.	32 - 45	Homofermentacja	129,0	2,9	[28]
Kozie mleko	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	37 - 45	Homofermentacja	-	2,4	[29]
Laktoza	<i>Lactobacillus plantarum</i>	28 - 32	Homofermentacja	41,0	1,0	[30]
	<i>Lactobacillus brevis</i>	28 - 32	Heterofermentacja	~15,0	-	[35]
	<i>Lactobacillus fermentum</i>	28 - 32	Heterofermentacja	~15,0	-	[35]
	<i>Lactobacillus bifidus</i>	37 - 45	Homofermentacja	~20,0	-	[35]
	<i>Lactobacillus caucasicus</i>	37 - 45	Homofermentacja	~20,0	-	[35]
	<i>Lactobacillus thermophilus</i>	45 - 52	Homofermentacja	~30,0	-	[35]
Ścieki winiarskie	<i>Lactobacillus pentosus</i>	28 - 32	Homofermentacja	21,8	0,8	[31]
Celobioza	<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	45 - 52	Homofermentacja	90,0	2,2	[32]
Ścieki papiernicze	<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	45 - 52	Fakultatywnie heterofermentacja	73,0	2,9	[33, 34]

Ze względu na sposób metabolizowania heksoz, LAB można podzielić na dwie podstawowe grupy:

- homofermentatywne, tj. takie, które wytwarzają wyłącznie lub prawie wyłącznie (90%) kwas mlekowy
- heterofermentatywne, produkujące oprócz kwasu mlekowego także dwutlenek węgla, kwas octowy, kwas mrówkowy i/lub etanol
- oraz dodatkowo można wyróżnić grupę bakterii mlekowych fakultatywnie heterofermentatywnych [4, 8, 11, 12].

Kryteria doboru odpowiednich szczepów bakterii produkcyjnych zależą od pożądaných cech produktu końcowego fermentacji. Najczęściej preferuje się termofilne szczepy produkujące kwas mlekowy w krótkim czasie, wytwarzające niewiele produktów ubocznych, a także silnie dominujące w środowisku. Zaletą wykorzystania szczepów termofilnych, tj. bakterii z rodzajów *Streptococcus* lub *Enterococcus*, jest podwyższona temperatura procesu (40–50°C), co zapobiega rozwojowi niekorzystnej mikroflory, mogącej zakłócić przebieg fermentacji mlekowej. Dodatkowo, jednym z czynników selekcyjnych przy wyborze odpowiednich szczepów jest forma produkowanego kwasu mlekowego. Poszczególne gatunki LAB syntetyzują go w trzech formach: prawoskrętnej L(+), lewoskrętnej D(-) oraz ich mieszaniny racemicznej. Kwas mlekowy uzyskiwany na drodze syntezy chemicznej produkowany jest wyłącznie w postaci mieszaniny racemicznej i jest nieprzydatny do wytwarzania taktycznego polilaktydu (PLA) o odpowiednich właściwościach termoplastycznych [11, 37].

Rodzaj syntetyzowanego izomeru optycznego uzależniony jest od stereospecyficzności dehydrogenaz mleczanowych (LDH) oraz aktywności racemazy mleczanowej (konwertującej formę L(+) w D(-), lub odwrotnie). Czystość optyczna kwasu mlekowego jest również istotna dla właściwego przebiegu procesu polimeryzacji PLA [37]. Domieszka enancjomeru D(-) podczas syntezy L-laktydu, produktu pośredniego procesu polimeryzacji, prowadzi do powstania

DL-laktydu, obniża to wydajność syntezy polilaktydu, zmniejsza jego zdolność do krystalizacji, co wpływa na właściwości fizykochemiczne polimeru (termoplastyczność, wytrzymałość, lepkość). PLA może występować w formie homochiralnych, izotaktycznych polimerów L-PLA i D-PLA lub jako heterochiralny, amorficzny polimer o bezładnym rozkładzie jednostek D i L, co może powodować niepożądane zmiany we właściwościach mechanicznych i reologicznych polimeru. Szczepy, które posiadają zdolność biosyntezy kwasu mlekowego w formie L(+), są szczególnie cenne, gdyż istnieje zapotrzebowanie zwłaszcza na produkty będące pochodnymi tego izomeru. Niewątpliwie zalety LAB w produkcji izomerów kwasu mlekowego spowodowały, iż znalazły one zastosowanie w przemysłowej syntezie tych związków [38, 39].

Ogólne właściwości podłoży i pożywek hodowlanych (mikrobiologicznych)

Pożywki do hodowli bakterii powinny charakteryzować się następującymi cechami [40, 41]:

- powinny zawierać pierwiastki biogenne (C, O, H, N, P, S), sole mineralne z kationami (Na, Ca, K, Mg), mikroelementy (Mn, Zn, Mo, Cu, Co, Ni), substancje wzrostowe
 - powinny wykazywać optymalny odczyn oraz potencjał redoks
 - powinny charakteryzować się odpowiednią wartością ciśnienia osmotycznego
 - powinny być przejrzyste (wyjątek: podłoża zawierające związki nierozpuszczalne, np. CaCO₃, tłuszcze)
 - muszą być jałowe.
- Stosowane podłoża dzieli się ze względu na konsystencję:
- stałe (zestalone agarowo odżywczym bądź żelatyną odżywczą), zawierające 1,5–2 % agaru i służące do namnażania bakterii oraz różnicowania

- półpłynne, zawierające 0,1–0,7 % agaru i mające zastosowanie w hodowli mikroorganizmów o mniejszym zapotrzebowaniu na tlen, oraz płynne (zwykły bulion odżywczy), które wykorzystywane są głównie do namnażania bakterii [3 ÷ 5]
- ze względu na pochodzenie wyróżniamy podłoża naturalne, półsyntetyczne i sztuczne.

Naturalne, to podłoże o nie w pełni zdefiniowanym składzie chemicznym zawierające wyciągi z tkanek roślinnych lub zwierzęcych, podłoża sztuczne to podłoża o ściśle określonym i znanym składzie chemicznym. Oprócz tego istnieją także pożywki półsyntetyczne, częściowo poznane pod względem składu chemicznego, np. podłoże M9 wg Adamsa wzbogacone dodatkiem glukozy [42 ÷ 44].

Podłoża dzieli się również ze względu na zawartość składników odżywczych. Wyróżnia się: podłoża minimalne, zawierające wyłącznie te składniki, które są niezbędne do podtrzymania funkcji życiowych określonej grupy mikroorganizmów oraz podłoża wzbogacone, gdzie poza podstawowymi składnikami, znajdują się jeszcze dodatkowe, takie jak: krew barania, glukoza i witaminy. Stosuje się również podłoża namnażające, które służą do otrzymywania dużej biomasy badanego szczepu i najczęściej są to podłoża płynne; podłoża różnicujące, gdzie może rosnąć kilka lub kilkanaście gatunków bakterii oraz podłoża wybiórcze z dodatkiem takich substancji, które umożliwiają wzrost tylko określonych gatunków bakterii, a jednocześnie hamują wzrost innych gatunków. Pożywki wybiórczo-namnażające (selekcyjne) są to podłoża, na których rośnie ograniczona liczba gatunków bakterii, przykładem może być podłoże agarowe typu MRS. Służy ono do wykrywania obecności i oznaczania liczby bakterii kwasu mlekowego rodzaju *Lactobacillus* w serwatce i produktach spożywczych. Podłoże wykorzystywane jest w wykrywaniu wszystkich *Lactobacillus* z wolno rosnącymi (*L. brevis* i *L. fermenti*) włącznie oraz *Bifidobacterium spp.* Czynniki selekcyjnymi podłoża MRS są cytrynian amonu i octan sodu, hamujące wzrost bakterii Gram-ujemnych. Podłoże to może być stosowane do metody posiewów powierzchniowych i wgłębnych. *Lactobacillus spp.* są bakteriami mikroaerofilnymi i do inkubacji zalecana jest atmosfera wzbogacona 5% CO₂ [42 ÷ 46].

Techniki analizy zawartości kwasu mlekowego w bulionie fermentacyjnym

W literaturze można znaleźć wiele informacji na temat metod badań jakościowych i ilościowych kwasu mlekowego. Jednak wśród powszechnie stosowanych norm analitycznych na szczególną uwagę zasługują te, które dotyczą technik oznaczania zawartości kwasu mlekowego w produktach przemysłu mleczarskiego, mianowicie odpowiednio wykorzystujących metodę alkacymetrii potencjometrycznej lub spektrofotometrii. Po dokonaniu ich modyfikacji opracowano na potrzeby realizowanego projektu Normy Zakładowe, które wdrożono w ramach prowadzonych badań własnych nad serwatkami produkcyjnymi i bulionami fermentacyjnymi.

Pierwsza norma własna (Norma Zakładowa ZN-G 2:2013), dotycząca bezpośredniego oznaczania zawartości kwasu mlekowego metodą miareczkowania potencjometrycznego, ma zastosowanie w przypadku bulionu fermentacyjnego, serwatki, mleka i ich roztworów. Została ona opracowana na podstawie polskiej normy PN-ISO 6091:2012 [48]. Metoda oznaczania polega na miareczkowaniu do pH 8,40 badanej próbki mianowanym 0,1 M roztworem wodorotlenku sodu wobec 1% roztworu fenoloftaleiny jako wskaźnika pomocniczego.

Przedmiotem kolejnej normy własnej (Norma Zakładowa ZN-G 5:2012) jest kolorymetryczne oznaczanie zawartości kwasu mlekowego metodą kompleksu LA-Fe (III) w produktach mlecznych oraz roztworach kwasu mlekowego nieprzekraczających stężenia 1% [49]. Normę tę opracowano na podstawie wcześniejszych norm o charakterze nie tylko polskim ale i europejskim: PN-EN ISO 8069:2008 [50],

PN-A-86060:1994 [51] i PN-A-86062:1994 [52]. Kompleks kwasu mlekowego z żelazem(III) powstaje w wyniku reakcji kwasu z chlorkiem żelaza(III), a pomiar jego absorbancji dokonuje się przy długości fali 410 nm z zastosowaniem spektrofotometru. Zawartość kwasu mlekowego dla badanej próbki, wyrażonej wg na 100 ml, odczytuje się z wcześniej sporządzonej krzywej wzorcowej.

Metoda enzymatyczna oznaczania zawartości kwasu mlekowego i mleczanów stanowi trzecią technikę analityczną stosowaną w trakcie zakładowej praktyki laboratoryjnej, a jej podstawę stanowi międzynarodowa norma PN-EN ISO 8069:2008 [50]. Metoda ta jest najdokładniejszą spośród wymienionych trzech technik analitycznych, gdyż pozwala na wyznaczenie zawartości poszczególnych izomerów kwasu mlekowego. Jako wzorce przyjmuje się odpowiednio roztwór D-mleczanu litu lub L-mleczanu litu w stężeniu 50 mg/l w zależności od tego, którego izomeru zawartość jest oznaczana. Metodę tą stosuje się dla bulionu fermentacyjnego, serwatki, mleka i ich roztworów, które nie tylko uprzednio odbiałczono, ale także pozbawiono zawartości tłuszczów. W metodzie tej filtrat badanej próbki jest poddawany działaniu enzymów: dehydrogenazy L-mleczanowej (L-LDH) i dehydrogenazy D-mleczanowej (D-LDH) w obecności dinukleotydu nikotynoamido-adeninowego (NAD), w celu utlenienia mleczanu do pirogronianu i przekształcenia NAD do jego zredukowanej formy NADH. Ilość powstałego NADH jest oznaczana spektrofotometrycznie przy długości fali 340 nm i jest proporcjonalna do zawartości kwasu mlekowego i mleczanów w badanej próbce.

Techniki analizy zawartości laktozy w bulionie fermentacyjnym

Serwatka jest bogatym, naturalnym źródłem laktozy, dzięki czemu może być wykorzystywana do prowadzenia procesu fermentacji mlekowej. W procesie tym laktoza, jako główny substrat fermentacji mlekowej przy udziale bakterii kwasu mlekowego, przekształcana jest do kwasu mlekowego. W trakcie procesu fermentacji mlekowej zawartość laktozy w hodowlach mikrobiologicznych ulega zmniejszeniu. Aby poprawnie monitorować proces fermentacji mlekowej, na każdym jego etapie należy oznaczyć m.in. zawartość laktozy w reaktorze fermentacyjnym [47, 53, 54].

Ogólnie metody oznaczania węglowodanów można podzielić na: fizyczne (metody densymetryczne, refraktometryczne, polarymetryczne), fizykochemiczne (metoda antronowa, rezorcynowa, żelazocyjankowa) oraz biologiczne. Jednak największe znaczenie w ilościowym oznaczaniu węglowodanów mają metody chemiczne oparte na redukcji soli miedzi(II) w środowisku alkalicznym (metoda Bertranda, Fehlinga, Lane-Eynona, Luffa-Schoorla). Metody chemiczne z powodzeniem można wykorzystywać do oznaczania zawartości laktozy w próbkach pochodzących z procesu fermentacji mlekowej. Właściwości redukujące, oprócz węglowodanów, posiadają także aminokwasy, białka, kwasy organiczne, aldehydy oraz zasady purynowe. Dlatego przed przystąpieniem do analizy, aby nie zawyżyć wyników, należy w pierwszej kolejności oczyścić badaną próbkę z różnych zanieczyszczeń. Jedną z metod najczęściej stosowanych do tego celu jest metoda Carreza, która polega na wykorzystaniu w jednakowej objętości heksacyjanożelazianu(II) potasu i siarczanu(VI) cynku(II) oraz utworzeniu koloidalnego roztworu heksacyjanożelazianu(II) cynku(II). Powstały roztwór ma charakter miceli, które absorbują substancje wielkocząsteczkowe, oczyszczając badaną próbkę z zanieczyszczeń. Po oczyszczeniu próbki można przystąpić do właściwej analizy. W praktyce laboratoryjnej jedną z najczęstszych metod do oznaczania cukrów redukujących (m.in. laktozy) w bulionie fermentacyjnym jest metoda Bertranda PN-67/A-86430 [55]. Oznaczanie laktozy przeprowadza się metodą pośrednią na podstawie ilości roztworu manganianu(VII) potasu zużytego na miareczkowanie jonów Fe²⁺ odpowiadających ilościowej

redukcji jonów Cu^{2+} do Cu^+ za pomocą laktozy zawartej w badanej serwatce. Reakcja zachodzi w środowisku alkalicznym (pH ok. 12) oraz w podwyższonej temperaturze. Po dodaniu do roztworu laktozy odczynników Bertranda I i II (zawierających pięciowodny siarczan(VI) miedzi(II), winian sodowo-potasowy i wodorotlenek sodu) i po ogrzaniu, laktoza zawarta w próbce redukuje ilościowo powstały w roztworze kompleks miedzi(II) do tlenku miedzi(I). Wytrącone jony miedzi(I) ulegają utlenieniu w reakcji z trzecim płynem Bertranda (kwaśny roztwór siarczanu(VI) żelaza(III)) do jonów Cu^{2+} , a jony Fe^{3+} redukcji do jonów Fe^{2+} . Ilość jonów Fe^{2+} oznacza się przez miareczkowanie mianowanym roztworem manganianu(VII) potasu. Ilość oznaczonego w ten sposób Cu_2O przelicza się na zawartość cukru, korzystając z odpowiednich tablic [47, 53]. Po dokonaniu modyfikacji przeliczania zawartości laktozy opracowano na potrzeby realizowanego projektu Normę Zakładową (ZN-G I:2013), w której zawartość laktozy oblicza się ze wzoru:

$$C_{\text{lactose}} = V_{(0,02\text{mol KMnO}_4)} \cdot 0,604 \left[\frac{\text{g}}{100\text{ml}} \right]$$

gdzie:

V – objętość użytego do miareczkowania KMnO_4 (o stężeniu $0,02 \text{ mol/dm}^3$)

$0,604$ – przelicznik dla laktozy w 10 ml.

Badania własne

W ramach projektu Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007–2013, realizowanego przez Głokor Sp. z o.o., podjęto próbę opracowania instalacji przemysłowej do przetwarzania odpadu z przemysłu mleczarskiego przy jednoczesnym uzyskaniu biopolimeru biodegradowalnego. Badania własne podzielono na kilka etapów. W pierwszym etapie badań skupiono się na otrzymaniu w procesie fermentacji mlekowej kwasu mlekowego z laktozy zawartej w serwatce kwaśnej. Do badań fermentacji mlekowej zastosowano szczepy bakterii kwasu mlekowego: *Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei* oraz *Lactobacillus fermentum*. Szczepy bakterii kwasu mlekowego pochodziły z kolekcji Instytutu Immunologii i Terapii Doświadczalnej PAN we Wrocławiu. Bakterie kwasu mlekowego inkubowano na różnych pożywkach stałych (ACA, YGA, MRS, agar), a następnie przeniesiono je do reaktora fermentacyjnego z pożywką płynną. W celu optymalizacji procesu fermentacji mlekowej przeanalizowano różne szczepy bakterii kwasu mlekowego, skład pożywek, wpływ temperatury, pH oraz długość procesu. Dodatkowo zbadano odporność środowiska produkcyjnego na obecność mikroflory szkodliwej. Na każdym etapie procesu fermentacji mlekowej oznaczono zawartość laktozy zmodyfikowaną metodą Bertranda oraz kwasowość metodą potencjometryczną.

Laseczki bakterii kwasu mlekowego zostały zidentyfikowane pod mikroskopem optycznym DELTA Optical, przy powiększeniu optycznym $\times 400$ i $\times 600$. Preparaty wykonano w oparciu o Normę Zakładową, wykorzystując barwienie Grama [46]. W końcowym etapie procesu fermentacji mlekowej uzyskano stężenie kwasu mlekowego w przedziale 3–4% w zależności od zastosowanych warunków. Otrzymany w wyniku fermentacji mlekowej kwas mlekowy oczyszczono z brzeczeki fermentacyjnej, a następnie zatężono w procesie membranowym. W ostatnim etapie uzyskany kwas mlekowy polimeryzowano do PLA, co wcześniej opisano w miesięczniku CHEMIK, 2014, 68, 8 [37].

Podsumowanie

Niniejsza publikacja stanowi przegląd literaturowy dotyczący procesu fermentacji mlekowej oraz opis badań własnych nad

opracowaniem metod analitycznych kwasu mlekowego i laktozy oraz optymalizacją procesu fermentacji mlekowej laktozy zawartej w serwatce poprodukcyjnej do kwasu mlekowego. Zagospodarowanie odpadu uciążliwego dla środowiska, jakim jest serwatka kwaśna stanowi dla przemysłu mleczarskiego duży problem gospodarczy i ekonomiczny. Utylizacja tego odpadu jest znacznym obciążeniem finansowym dla zakładów mleczarskich. Wydaje się słuszne, że zastosowanie serwatki jako substratu podłoża fermentacyjnego jest innowacyjnym pomysłem jej zagospodarowania. Omawiane w artykule procesy zastosowania serwatki w procesie fermentacji mlekowej są nadal nowym zagadnieniem, które wymaga prowadzenia dalszych prac badawczych, zwłaszcza w dużych instalacjach przemysłowych.

Podziękowania

Badania współfinansowane ze środków projektu pn. „Opracowania innowacyjnej i proekologicznej technologii otrzymywania polimerów biodegradowalnych” w ramach działania 1.4. „Wsparcie projektów celowych” osi priorytetowej 1 „Badania i rozwój nowoczesnych technologii” Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007–2013 realizowanego przez GŁOKOR Sp. z o.o. – numer projektu POIG.01.04.00–24–124/11.

Literatura:

1. Bednarski W.: *Zagospodarowanie produktów ubocznych, Mleczarstwo zagadnienia wybrane.*, Wydawnictwo ART, Olsztyn, 1997.
2. Szczurek W.: *Produkty przetwarzania serwatki i ich zastosowanie w paszy dla kurcząt brojlerów – aspekt żywieniowy i fizjologiczny.*, Wiadomości zootechniczne 2008, 4, 41–52.
3. Pluta A., Kratochwil A., Domańska E.: *Porównanie otrzymywania i zagospodarowania serwatki podpuszczkowej i kwasowej w aspekcie ochrony środowiska.*, Przegląd Mleczarski 2002, 10, 448–452.
4. Gajewska J., Błaszczuk M.K.: *Probiotyczne bakterie fermentacji mlekowej (LAB).*, Postępy Mikrobiologii 2012, 51, 55–65.
5. Jurkowski M., Błaszczuk M.: *Charakterystyka fizjologiczno-biochemiczna bakterii fermentacji mlekowej.*, Kosmos Problemy Nauk Biologicznych 2012, 61, 493–504.
6. Rohde C., Nawrotzki R., Jäger J.: *Badania laboratoryjne i techniczne fermentacji mlekowej odpadów organicznych.*, Ochr. Środ. 2007, 1, 41–44.
7. Libudzisz Z.: *Probiotyki i prebiotyki w fermentowanych napojach mlecznych.*, Pediaatria Współczesna. Gastroenterologia, Hepatologia i Żywnienie Dziecka 2002, 4, 19–25.
8. Libudzisz Z., Kowal K.: *Mikrob. techn.*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Tom II, Łódź, 2000.
9. Libudzisz Z., Kowal K., Żakowska Z.: *Mikrob. techn.*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Tom I, Warszawa, 2007.
10. Giori G., de Valdez G., de Ruiz Holgado A., Oliver G.: *Effect of pH and temperature on the proteolytic activity of lactic acid bacteria.*, J. Dairy Sci. 1985, 68, 2160–2164.
11. Pietraszek P., Dybka K., Walczak P., Otlewska A., Rygała A., Ołtuszek-Walczak E.: *Mikrobiologiczna produkcja kwasu mlekowego z surowców odnawialnych.*, Pol. J. Agronomy 2010, 16, 45–56.
12. Wee Y.J., Yun J.S., Kim D., Ryu H.W.: *Batch and repeated batch production of L(+)-lactic acid by Enterococcus faecalis RKY1 using wood hydrolyzate and corn steep liquor.*, J. Industr. Microbiol. Biotechnol. 2006, 33, 431–435.
13. Hofvendahl K., Hahn-Hägerdal B.: *Factors affecting the fermentative lactic acid production from renewable resources.*, Enz. Microbiol. Technol. 2000, 26, 87–107.
14. van Niel E.W.J., Hahn-Hägerdal B.: *Nutrients requirements of lactococci in defined growth media.*, Appl. Microbiol. Biotechnol. 1999, 52, 617–627.
15. Amrane A.: *Evaluation of lactic acid bacteria autohydrolyzate for the supplementation of lactic acid bacteria fermentation.*, World J. Microbiol. Biotechnol. 2000, 16, 207–209.
16. Wee Y.J., Yun J.S., Park D.H., Ryu H.W.: *Biotechnological production of L (+)-lactic acid from wood hydrolyzate by batch fermentation of Enterococcus faecalis.*, Biotech. Lett. 2004, 26, 71–74.

17. Yáñez R., Moldes A.B., Alonso J.L., Parajó J.C.: *Production of D(-)-lactic acid from cellulose by simultaneous saccharification and fermentation using Lactobacillus coryniformis subsp. torquens.*, *Biotechnol. Lett.* 2003, **25**, 1161–1164.
18. Trachoo N., Boudreaux C.: *Therapeutic properties of probiotic bacteria.*, *J. Biol. Sci.* 2006, **6**, 202–208.
19. Linko Y.Y., Javanainen P.: *Simultaneous liquefaction, saccharification, and lactic acid fermentation on barley starch.*, *Enzyme Microb. Technol.* 1996, **19**, 118–123.
20. Schepers A.W., Sibault J., Lacroix C.: *Lactobacillus helveticus growth and lactic acid production during pH-controlled batch cultures in whey permeate/yeast extract medium. Kinetic modeling and model validation.* *Enzyme Microb. Technol.* 2002, **30**, 187–194.
21. Ghasemi M., Najafpour G., Rahimnejad M., Beigi P.A., Sedighi M., Hashemiyeh B.: *Effect of different media on production of lactic acid from whey by Lactobacillus bulgaricus.* *Afric. J. Biotechnol.* 2009, **8**, 81–84.
22. Büyükkilci A.O., Harsa S.: *Batch production of L(+)-lactic acid from whey by Lactobacillus casei (NRRL B-441).*, *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 2004, **79**, 1036–1040.
23. Kotzanmanidis C., Roukas T., Skaracis G.: *Optimization of lactic acid production from beet molasses Lactobacillus delbrueckii NCIMB 8130.*, *World J. Microbiol. Biotech.* 2002, **18**, 442–444.
24. Moldes A.B., Alonso J.L., Parajó J.C.: *Strategies to improve the bioconversion of processed wood into lactic acid by simultaneous saccharification and fermentation.*, *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 2001, **76**, 279–284.
25. Hofvendahl K., Hahn-Hägerdal B.: *L-lactic acid production from whole wheat or hydrolysate using strains of Lactobacilli and Lactococci.*, *Enzyme Microbiol. Technol.* 1997, **20**, 301–307.
26. Richter K., Berthold C.: *Biotechnological conversion of sugar and starchy crops into lactic acid.*, *J. Agri. Eng. Res.* 1998, **71**, 181–191.
27. Richter K., A. Träger A.: *L(+)-lactic acid from sweet sorghum by submerged and solid state fermentations.*, *Acta Biotech.* 1994, **14**, 367–378.
28. Yun R., Wee A.B., Kim J.N., Ryu H.W.: *Fermentative production of DL-lactic acid from amylase-treated rice and wheat brans hydrolysate by a novel lactic acid bacterium, Lactobacillus sp.*, *Biotechnol. Lett.* 2004, **26**, 1613–1616.
29. Hadadji M., Bensoltane A.: *Growth and lactic acid production by Bifidobacterium longum and Lactobacillus acidophilus in goat's milk.*, *Afric. J. Biotechnol.* 2006, **5**, 505–509.
30. Fu W., Mathews A.P.: *Lactic acid production from lactose by Lactobacillus plantarum: kinetic model and effects of pH, substrate, and oxygen.*, *Bioch. Eng. J.* 1999, **3**, 163–170.
31. Bustos G., Moldes A.B., Cruz J.M., Domínguez J.M.: *Production of fermentable media from vine-trimming wastes and bioconversion into lactic acid by Lactobacillus pentosus.* *J. Sci. Food Agri.* 2004, **84**, 2105–2112.
32. Adsul M., Khire J., Bastawde K., Gokhale D.: *Production of lactic acid from cellobiose and cellotriose by Lactobacillus delbrueckii mutant Uc-3.*, *Appl. Environ. Microbiol.* 2007, **73**, 5055–5057.
33. Marques S., Santos J.A., Gírio F.M., Roseiro C.: *Lactic acid production from recycled paper sludge by simultaneous saccharification and fermentation.*, *Bioch. Eng. J.* 2008, **41**, 210–216.
34. Yamamoto Y., Murosaki S., Yamauchi R., Kato K., Sone Y.: *Structural study on an exocellular polysaccharide produced by Lactobacillus helveticus TYI 2.*, *Carbohydr. Res.* 1994, **261**, 67–78.
35. Chmiel A.: *Biotechnologia. Podstawy mikrobiologiczne i biochemiczne*, Wydawnictwo PWN, Warszawa, 1994.
36. Miks-Krajnik M.H.: *Rola paciorkowców mlekowych i pałeczek propionowych w procesie dojrzewania sera typu szwajcarskiego-holenderskiego.*, *Żywność: Nauka, Technol. Jakość* 2012, **1**, 45–59.
37. Maślanka S., Siołek M., Hamryszak Ł., Łopot D.: *Zastosowanie odpadów z przemysłu mleczarskiego do produkcji polimerów biodegradowalnych.*, *Chemik* 2014, **6**, 11–14.
38. Jim Jem J., van der Pol J.F., de Vos S.: *Microbial lactic acid, its polymer poly(lactic acid) and their industrial applications. Plastics from bacteria. Natural functions and applications.*, Wydawnictwo Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010.
39. Malinowski R., Łubkowski D.: *Badanie wpływu temperatury i czasu suszenia na wybrane właściwości polilaktydu (PLA).*, *Inż. Aparat. Chem.*, 2010, **49**, 77–78.
40. Jabłoński L.: *Podstawy Mikrobiologii Lekarskiej.*, Wydawnictwo PZWL, Warszawa, 1979.
41. Kunicki-Goldfinger W.J.H.: *Życie bakterii. Co to są drobnoustroje i jak się je bada.*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1998.
42. PN-EN 12322: 2005.: *Wyroby medyczne do diagnostyki in vitro. Pożywki mikrobiologiczne – Kryteria oceny działania pożywek mikrobiologicznych.*, PKN, Warszawa, 2005.
43. PN-EN 1659: 2004.: *Systemy diagnostyczne in vitro. Pożywki mikrobiologiczne. Terminy i definicje.*, PKN, Warszawa, 2004.
44. Stefaniuk E.: *Laboratoryjna kontrola jakości podłoży mikrobiologicznych. Aktualności bioMerieux*, 2008, **44**, 23–26.
45. Zaręba T.: *Pożywki mikrobiologiczne.*, Laboratorium, 2007, **6**, 18–19.
46. Basu S., Pal A., Desai P.K.: *Quality control of culture media in a microbiology laboratory.*, *Indian J. Med. Microbiol.*, 2005, **23**, 159–163.
47. Kupryszewski G.: *Wstęp do chemii organicznej*, Wydawnictwo PWN, Warszawa, 1979.
48. PN-ISO 6091:2012.: *Mleko w proszku. Oznaczanie kwasowości miareczkowej (Metoda odniesienia).*, PKN, Warszawa, 2012.
49. ZN-G 5:2012.: *Kolorymetryczne oznaczanie kwasu mlekowego metodą kompleksu LA-Fe(III).*, GLOKOR Sp. z o.o., Gliwice, 2012.
50. PN-EN ISO 8069:2008.: *Mleko w proszku – Oznaczanie zawartości kwasu mlekowego i mleczanów.*, PKN, Warszawa, 2008.
51. PN-A-86060:1994.: *Kwas mlekowy spożywczy.*, PKN, Warszawa, 1994.
52. PN-A-86062:1994.: *Kwas mlekowy spożywczy – Metody badań.*, PKN, Warszawa, 1994.
53. Białecka-Floriańczyk E.: *Podstawy chemii organicznej*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 1999.
54. Bojarski J.: *Chemia organiczna*, Wydawnictwo UJ, Kraków, 2003.
55. PN-67/A-86430:2002.: *Mleko i przetwory mleczarskie. Lody. Metody badań chemicznych.*, PKN, Warszawa, 2002.

*Dr n. chem. Sławomir MAŚLANKA absolwent Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, (2001) o specjalności technologia chemiczna i chemia związków wielkocząsteczkowych oraz dydaktyka chemiczna. W 2008 r. uzyskał stopień doktora nauk chemicznych broniąc rozprawę doktorską: „Modelowe oligoestry i poliestry do badań relaksacyjnych polimerów”. Po obronie został zatrudniony w UŚ w Katowicach jako specjalista na stanowisku zastępcy Kierownika Laboratorium Analiz Chemicznych. W 2009 r. uzyskał Zespołową Nagrodę I stopnia Rektora Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach za działalność naukową, za cykl prac w zakresie opracowania wymogów i charakterystyki składu i właściwości błony fosfolipidowej liposomów jako efektywnych nośników substancji leczniczych. Od 2012 r. zatrudniony jest również w firmie Glokor Sp. z o.o. w Gliwicach jako Kierownik Zespołu Zarządzania Projektem, dodatkowo pracuje w KW PSP w Katowicach jako doradca w ratownictwie atomowo-biologiczno-chemicznym. Zainteresowania naukowe: chemia analityczna, technologia chemiczna, fizyka jądrowa, badania fizykochemiczne polimerów, nowoczesne technologie przemysłowe i inżynierskie oraz medycyna internistyczna i diagnostyczna.
e-mail: alchemik74@wp.pl

Mgr Agnieszka KOS absolwentka Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, (2009). Od 2010 r. jest uczestniczką studiów doktoranckich w Instytucie Chemii na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Od października 2012 r. jest pracownikiem naukowo-badawczym Zespołu Separacji Kwasu Mlekowego w firmie Glokor sp. z o.o. w Gliwicach. Zainteresowania naukowe: chemia materiałów, biotechnologia mikroorganizmów.

Mgr Maria BAŃCZYK absolwentka Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, (2010). Od 2011 r. jest uczestniczką studiów doktoranckich w Instytucie Chemii na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Od października 2012 r. jest pracownikiem naukowo-badawczym Zespołu Separacji Kwasu Mlekowego w firmie Glokor sp. z o.o. w Gliwicach. Zainteresowania naukowe: chemia i technologia materiałów optycznych.

Mgr Izabela CZOPEK absolwentka Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, (2009). Od 2010 r. jest uczestniczką studiów doktoranckich w Instytucie Chemii na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Od października 2012 r. jest pracownikiem naukowo-badawczym Zespołu Separacji Kwasu Mlekowego w firmie Glokor sp. z o.o. w Gliwicach. Zainteresowania naukowe: mikrobiologia, mikroskopia.

Mgr Łukasz ADAM absolwent Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach (2011). Od marca 2013 r. jest pracownikiem naukowo-badawczym Zespołu Separacji Kwasu Mlekowego w firmie Glokor sp. z o.o. w Gliwicach. Zainteresowania naukowe: synteza organiczna i nieorganiczna, chemia analityczna.

Dr hab. n. med. Jolanta DORSZEWSKA ukończyła Wydział Farmaceutyczny Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu (1987). W 1996 r. uzyskała tytuł doktora nauk biologicznych na podstawie pracy pt.: *Wolne sterole istoty białej mózgu w doświadczalnym ciężkim niedotlenieniu*, a w 2004 r. tytuł doktora habilitowanego nauk medycznych w zakresie biologia medyczna na podstawie pracy pt.: *Wybrane czynniki apoptotyczne w procesie starzenia się mózgu szczura*. Od 1987 r. jest zatrudniona w Uniwersytecie Medycznym w Poznaniu na etacie naukowo-dydaktycznym. W latach 1999-2000 pracowała na stanowisku research scientist w Department of Clinical Neuropathology, IBR, New York, USA. Od 2012 r. jest zatrudniona na stanowisku prof. zwyczajnego w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Pile. W 1990 r. uzyskała specjalizację I stopnia z analityki farmaceutycznej, a w 1997 specjalizację II stopnia z analizy leków. W 2012 r. rozpoczęła specjalizację z medycznej genetyki laboratoryjnej. W latach 2012-2013 pełniła funkcję kierownika zespołu badawczego w projekcie Unii Europejskiej, Innowacyjna Gospodarka realizowanym przez firmę Glokor Sp. z o.o. z siedzibą w Gliwicach. Zainteresowania naukowe: choroby neurozwyrodnieniowe, neurogenetyka, badania biomarkerów.

Mgr inż. Katarzyna STARCZEWSKA – absolwentka Politechniki Poznańskiej na kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji o specjalności systemy produkcyjne oraz podyplomowych studiów Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu na kierunku Rachunkowość. Od 2012 r. bierze udział w zespole badawczym dotyczącym opracowania innowacyjnej i proekologicznej technologii otrzymania polimerów biodegradowalnych, realizowanym z projektem unijnego przez firmę Glokor Sp. z o.o. z siedzibą w Gliwicach.

Z prasy światowej – innowacje: odkrycia, produkty i technologie

From the world press - innovation: discoveries, products and technologies

Nanorewolucja, czyli expresseem ku efektywnej terapii

Nanokapsułki będące pęcherzykowatymi układami transportującymi mogą zamykać w swym wnętrzu wiele typów związków, np. witaminy, hormony, leki przeciwnowotworowe czy też cząstki magnetyczne. Uzyskanie efektywnej metody otrzymywania nanonośników stanowi wielkie wyzwanie dla współczesnych badaczy. Doświadczenia skupiające się wokół strategii kontrolowanego uwalniania zawartości nośnika mają na celu przede wszystkim zwiększenie wydajności enkapsulacji, skuteczną ochronę zawartego we wnętrzu nośnika związku, ale również i wydłużenie czasu, w którym składnik ten jest uwalniany.

Grupa naukowców z Wydziału Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego, koordynowana przez dr. hab. Szczepana Zapotocznego, przedstawiła ostatnio nową interesującą strategię otrzymywania nanokapsulek, która może być przedmiotem dalszych badań o zastosowaniu biomedycznym. Swoje wyniki naukowcy przedstawili w pracy pt. *Nanocapsules Templated on Liquid Cores Stabilized by Graft Amphiphilic Polyelectrolytes* w czasopiśmie *Nanoscale*. Do konstrukcji nanokapsulek zawierających ciekły olejowy rdzeń, badacze wykorzystali tzw. szczepione amfifilowe polielektrolity, zbudowane z poli(2-akryloamido-2-metylo-1-propanosulfonianu sodu) stanowiącego łańcuch główny oraz poliwinylonaftalenu tworzącego łańcuchy boczne – PAMPS-graft-PVN. Syntezę tego kopolimeru opracowali w swych poprzednich badaniach. Otrzymanie nanokapsulek stabilizowanych przez PAMPS-graft-PVN nie wymagało stosowania małowcząsteczkowych surfaktantów, co jest istotnym postępowaniem w badaniach nad nanoformulacjami emulsyjnymi. Kopolimer szczepiony jest makrocząsteczką o budowie

rozgałęzionej, której rdzeń stanowi łańcuch polimerowy zbudowany z merów jednego rodzaju, podczas gdy boczne łańcuchy zbudowane są z jednostek (merów) drugiego rodzaju. Określenie amfifilowość oznacza dwubiegunowy charakter cząsteczki, tj. występowanie w jej strukturze zarówno grup hydrofobowych, jak i hydrofilowych. Charakterystyczną właściwością polimerów amfifilowych jest ponadto ich zdolność do solubilizacji związków organicznych, które cechuje słaba rozpuszczalność w wodzie.

Płynny rdzeń nanokapsulek stabilizowany kopolimerem PAMPS-graft-PVN otrzymywano w wyniku bezpośredniej emulsyfikacji poprzez zmieszanie toluenu i PAMPS-graft-PVN w stosunku 1:10, a następnie sonikację uzyskanej mieszaniny. Taka strategia umożliwia enkapsulację cząsteczek aktywnych biologicznie o charakterze hydrofobowym. Aby otrzymać wielowarstwowe nanokapsułki, naukowcy posłużyli się metodą „warstwa po warstwie” (LbL, ang. *layer by layer*), adsorbując kolejno warstwy polielektrolitów: poli(chloroku diallilodimetyloamoniowego) (PADMAC) i wspomniany wcześniej PAMPS. Badacze zwracają uwagę, że na efektywność preparacji nanokapsulek miał wpływ nie tylko skład użytego kopolimeru, ale również rodzaj rozpuszczalnika, który stanowił rdzeń, kolejność mieszania i stosunek użytych odczynników. Wyniki uzyskanych badań są bardzo obiecujące. Potwierdzają wysoki potencjał aplikacyjny uzyskanych kapsułek jako stabilnych zbiorników związków o charakterze hydrofobowym, mogących znaleźć zastosowanie w wielu dziedzinach. (kk)

(<http://biotechnologia.pl/>, 1.04.2015)

Dokończenie na stronie 262