CZASOPISMO TECHNICZNE Ch
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

z. 1-Ch/2007
ISSN 0011-4561
ISSN 1897-6298

MICHAŁ KONOPKA, ZYGMUNT KOWALSKI, KATARZYNA FELA*,
ANNA KLAMECKA, JANUSZ CHOLEWA**

OTRZYMYWANIE PLAZMY METODĄ WIROWANIA KRWI – CHARAKTERYSTYKA PROCESU

PLASMA OBTAINED BY BLOOD CENTRIFUGATION METHOD – PROCESS CHARACTERISTIC

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono charakterystykę procesu rozdziału krwi technicznej w celu otrzymania produktów o znaczeniu aplikacyjnym, plazmy pylistej oraz gęstwy krwinek. Głównym węzłem procesu jest wirowanie krwi. Przedyskutowano warunki prowadzenia tej operacji, sporządzono bilans masowy procesu, scharakteryzowano właściwości otrzymywanych produktów.

Sława kluczowe: krew techniczna, rozdział krwi, plazma, hemoglobina, wirowanie

Abstract

In the paper was presented physical and chemical characteristic of the animal blood and different product obtained after it treatment. The blood separation with whirling process was in detail presented. Whirling parameter, products characteristic and mass balance were especially characterized. Plasma, serum and globins are basic blood components mostly used in meat industry. Fibrin, leukocyte are used in pharmacy. Hem is used as a dye agent in meat--interchangeable products and in chemical synthesis.

Keywords: technical blood, blood separate, plasma, hemoglobin, centrifugation

* Dr inż. Michał Konopka, prof. zw. dr hab. inż. Zygmunt Kowalski, dr inż. Katarzyna Fela, Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska.
** Mgr inż. Anna Klamecka, mgr inż. Janusz Cholewa, P.P.H.U. DUDA-BIS Sp. z o.o., Sosnowiec.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wstęp

Krew należy do najcenniejszych pod względem odżywczym surowców ubocznych przemysłu mięsnego [1]. Ogólna jej zawartość w organizmach zwierząt rzeźnych w stosunku do ich masy całkowitej wynosi około 4,6% u trzody chlewnej, 8% u bydła i owiec oraz 9,8% u koni. W fazie uboju uzyskuje się 40–60% ogólnej ilości krwi, reszta pozostaje w organach wewnętrznych i w układzie krwionośnym. Ciężar właściwy krwi bydlęcej wynosi 1060 kg/m^3, natomiast krwi trzody chlewnej 1040 kg/m^3.

Krew jest tkanką, której 80% stanowi woda, a pozostałe 20% to składniki organiczne i nieorganiczne. Związki organiczne to białka (albuminy, globuliny, fibrynogen, enzymy), hormony, glukoza i inne węglowodany, mocznik, kwas moczowy, aminokwasy, lipidy, witaminy, produkty przemiany hemu oraz inne produkty organiczne przemian wewnątrzkomórkowych. Związki nieorganiczne stanowią kationy sodu, wapnia, potasu, magnezu oraz aniony zawierające chlor, węgiel i fosfor. Wśród kationów najwięcej jest jonów sodu, potasu i wapnia, a wśród anionów – jonów chlorkowych i węglanowych.

Płynną częścią krwi jest osocze, w którym zawieszone są krwinki czerwone (erytrocyty), krwinki płytkowe (trombocyty) i krwinki białe (leukocyty). Erytrocyty zawierają hemoglobinę, która jest białkiem złożonym (chromoproteidem), składającym się z części białkowej – globiny i barwnika – hemu.

Podstawowymi składnikami krwi o znaczeniu użytkowym są: osocze, surowica oraz globina, wykorzystywane do celów spożywczych; włóknik, leukocyty i stroma, stosowane w przemyśle farmaceutycznym do produkcji leków oraz diagnostycznych preparatów enzymatycznych; a także hem, używany jako barwnik wyrobów mięsozamiennikowych oraz do syntez chemicznych.

Wysoka nietrwałość krwi (świeża krew bardzo łatwo ulega hemolizie), jej czerwona barwa, specyficzny smak i zapach, duża zawartość wody oraz niebezpieczeństwo przenoszenia chorób ograniczają wykorzystanie krwi. Poza tym konieczność przechowywania i/lub transportu krwi wymuszają stosowanie procesów skutkujących przedłużeniem jej trwałości. Do najpopularniejszych, stosowanych w tym celu metod należą [2–4]:

- schładzanie krwi do temperatury 0°C (trwałość: 2–3 doby),
- zamrażanie w temperaturze poniżej –30°C i przechowywanie zamrożonej krwi lub jej surowicy w temp. –10°C (trwałość: do 6 miesięcy),
- suszenie białek surowicy krwi w temp. poniżej 60°C,
- dodawanie antykoagulantów, np. cytrynianu trójsodu lub trójpotasu, szczawianu sodu lub potasu, soli fosforanowych, chlorku sodu itp. (trwałość: do 3 miesięcy).

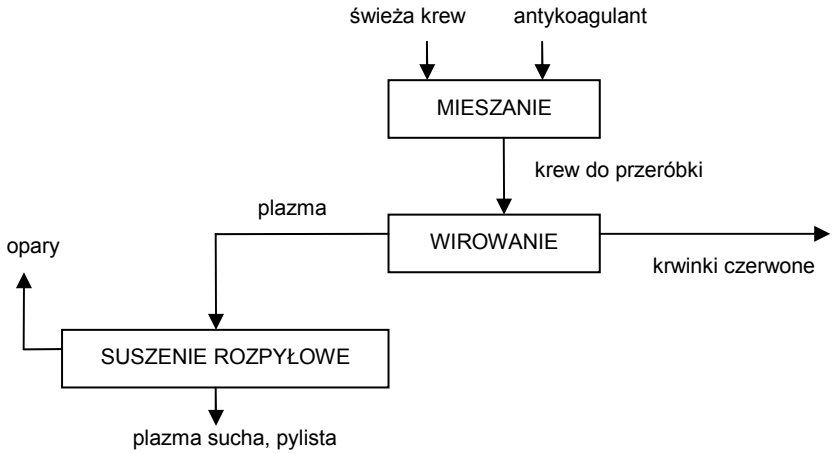
2. Produkcja plazmy

Plazma krwi jest cennym białkiem zwierzęcym. Otrzymywana ze świeżej krwi zawiera ok. 6,5–8,0% białka. Ponieważ ciężar właściwy krwinek jest większy o około 0,046–0,073 g/cm^3 od ciężaru właściwego plazmy, składniki te można rozdzielić pod wpływem działania siły odśrodkowej. Dlatego też najpopularniejszą metodą rozdzielania krwi na plazmę oraz czerwoną gęstwę krwinek jest wirowanie.

Do produkcji plazmy może być używana zarówno krew bydlęca, jak i krew trzody chlewnej [5, 6]. Według danych literaturowych, teoretyczny możliwy uzysk krwi dla trzody

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

chlewnej wynosi do 2,5 dm^3 ze sztuki oraz dla bydła – do 13 dm^3 z jednej sztuki. Zatem można szacować, że z ubojni przerabiającej od 250 000 do 300 000 sztuk zwierząt rzeźnych można pozyskać od 375 do 450 t krwi rocznie. Ponieważ krew techniczna zawiera około 60–66% bezbarwnej plazmy oraz 34–40% gęstwy krwinek, w procesie wirowania można będzie uzyskać rocznie około 1000 ton roztworu plazmy zawierającego ~9% substancji stałych lub 90 ton pylistej plazmy. Schemat ideowy procesu otrzymywania plazmy pylistej na bazie krwi zwierzęcej przedstawiono na rycinie 1.



Ryc. 1. Schemat ideowy procesu wytwarzania plazmy pylistej na bazie krwi zwierzęcej

Fig. 1. Flow-sheet of powdered plasma production from animal blood

Jednym ze sposobów rozdziału krwi jest metoda oparta na wytycznych firmy Anitec. Otrzymywanie plazmy odbywa się tu w następujący sposób: schłodzona do temp. 0–3°C krew zwierzęca, dostarczana z ubojni w zbiornikach polipropylenowych o pojemności 1 m^3, w oczekiwaniu na rozdział przechowywana jest w chłodni o temp. +3°C. W momencie rozpoczęcia operacji wirowania pojemniki podstawia się kolejno na stanowisko rozładowcze, skąd krew podawana jest grawitacyjnie na rozpędzony wirnik wirówki. Podczas wirowania krew rozdzielana jest na dwa strumienie: strumień plazmy i strumień gęstwy krwinek. Plazma gromadzona jest w jednym z dwóch chłodzonych zbiorników buforowych o pojemności 5 m^3, skąd jest podawana pompą wysokociśnieniową do suszarki rozpyłowej. Strumień hemoglobiny (gęstwy krwinek) po odwirowaniu za pomocą pompy wirnikowej kierowany jest do chłodzonego zbiornika buforowego o pojemności 5 m^3. Ze zbiornika tego napełnia się hemoglobiną pojemniki polipropylenowe o objętości 1 m^3, które następnie kierowane są do chłodni, gdzie w temp. +3°C oczekują na ekspedycję. Plazma pylista odbierana z suszarki rozpyłowej jest transportowana pneumatycznie do zbiornika o pojemności 3 m^3, współpracującego z wagopakowaczką pneumatyczną. Pyły niesione przez spaliny z suszarki rozpyłowej odzyskiwane są za pomocą układu multicyklonu i filtra workowego, a następnie dołączane do produktu. Opróżnione z krwi pojemniki poddawane są myciu i dezynfekcji, a następnie są przechowywane w magazynie pojemników czystych.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Korzystne jest prowadzenie procesu separacji krwi (wirowanie) w temperaturze wyższej niż 20°C. W literaturze patentowej zalecane jest podgrzanie krwi przed wirowaniem do takiej temperatury, a także przed rozpoczęciem rozdziału ogrzanie wirnika wirówki do temp. 40–50°C (np. parą). Krew podgrzana ma mniejszą lepkość niż krew schłodzona. Dużo łatwiejszy jest jej transport i wydajniejszy proces wirowania. Ponadto krew przed wirowaniem powinna być przecedzona przez gęste sito celem usunięcia ewentualnych skrzepów. Po zakończonym rozdziale surowicę należy szybko ochłodzić do temp. 3–5°C bądź zamrozić (temp. zamarzania plazmy wynosi ok. –0,5°C) i przechowywać w mroźni w temp. od –10 do –20°C. Proces zamrażania i przechowywania zamrożonej plazmy nie zmienia jej właściwości.

Roztwór plazmy otrzymany w wyniku wirowania można zagęszczać w wyparce próżniowej lub za pomocą technik membranowych, a następnie suszyć w suszarce rozpyłowej. Zatężanie i suszenie plazmy powinno być prowadzone w temperaturze niższej niż 50°C. W wyższej temperaturze następuje bowiem denaturacja białek, wskutek czego plazma traci swe właściwości. Niemniej, precyzyjnie kontrolowany bardzo krótki czas kontaktu roztworu plazmy z temperaturą sięgającą nawet 200°C, w warunkach suszarki rozpyłowej pozwala na otrzymanie produktu pylistego o pożądanej biologicznej funkcjonalności. Taka postać produktu znacznie obniża koszty transportu i magazynowania.

3. Wirowanie krwi

Podczas odwirowywania składników krwi, przy zbyt dużej sile odśrodkowej dochodzi do hemolizy rozdzielanych krwinek. W temperaturze 36°C graniczne ciśnienie, jakiemu mogą być poddawane krwinki wynosi 147 100 MPa. Liczba obrotów i średnica wirnika muszą być tak dobrane, aby była spełniona zależność [7]

$$n^2d^2 = (846^2 \cdot \mathrm{P})/(10^2 \cdot \rho)$$

gdzie:

- n – liczba obrotów wirnika wirówki [obr/min],
- d – średnica wirnika [m],
- P – maksymalne dopuszczalne ciśnienie, 147 100 MPa,
- ρ – ciężar właściwy krwi, 1055 kg/m^3.

Po podstawieniu danych równanie przybiera postać

$$n^2d^2 = (846^2 \cdot 147\,100)/(100 \cdot 1055)$$

$$nd = 999$$

Z powyższej zależności wynika, że im większa jest średnica wirnika, tym wolniejsze muszą być obroty bębna wirówki. Zależność pomiędzy prędkością obrotów i średnicą wirnika wirówki w czasie rozdziału składników krwi pokazano w tablicy 1.

Przeprowadzone testy efektywności rozdziału krwi w zależności od liczby obrotów i średnicy wirnika wirówki wykazały, że optymalne obroty wirówki o średnicy 0,14 m to 7800 obr/min. Stwierdzono ponadto, że zmiany liczby obrotów wirnika nie mają znaczą-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

cego wpływu na zabarwienie plazmy, wpływają natomiast na właściwości oddzielanej hemoglobiny. Hemoglobina otrzymana w wyniku wirowania z wysokimi prędkościami, ok. 13 900 obr/min była bardzo gęsta i nie ulegała powtórnemu mieszaniu z plazmą, w przeciwieństwie do preparatu uzyskiwanego przy niskich prędkościach, ok. 3500 obr/min. Bardzo wyraźny wpływ na jakość plazmy miał czas wirowania, jego wydłużanie wiązało się z otrzymaniem plazmy o ciemniejszym zabarwieniu.

Tablica 1

Zależność pomiędzy prędkością obrotów i średnicą wirnika wirówki

Średnica wirnika [m]	Maks. prędkość wirnika [obr/min]
0,1	10 000
0,2	5 000
0,3	3 300
0,4	2 500
0,5	2 000
0,6	1 700
0,7	1 400
0,8	1 250
0,9	1 100
1,0	1 000

W trakcie wirowania krwi mogą wystąpić zakłócenia, które uniemożliwiają prawidłowe oddzielenie plazmy od gęstwy krwinek. Do najważniejszych problemów i przyczyn ich występowania należą hemoliza krwi oraz niewłaściwa praca wirówki. Hemoliza krwi to proces będący następstwem zmieszania krwi z wodą, przyubojowym zanieczyszczeniem krwi śliną zwierzęcia, działaniem enzymów lub drobnoustrojów, rozpoczęciem wyrównawczych procesów dyfuzyjnych. Wirowanie krwi zhemolizowanej jest bezcelowe, ponieważ krew taka nie daje jasnej plazmy. Niewłaściwa, nieskuteczna praca wirówki może zaś być spowodowana obecnością we krwi nawet najdrobniejszych skrzepów, niewłaściwą temperaturą krwi (zbyt niska temperatura wirowanej krwi powoduje wzrost jej lepkości, wysoka zaś przyspiesza zachodzenie hemolizy, wpływa na zmniejszenie trwałości krwi), źle dobraną prędkością wirowania (niewłaściwym doborem siły odśrodkowej). Skutkiem tego jest obniżenie efektywności rozdziału krwi. Podczas rozdzielania krwi istotne jest, aby podanie pierwszej partii krwi do wirnika nastąpiło dopiero po uzyskaniu przez wirówkę docelowej liczby obrotów. Należy także zwrócić uwagę na ilość krwi podawanej na wirówkę – przy zbyt dużym dozowaniu krwi jej część może przedostawać się do plazmy.

Ze względu na właściwości krwi (mała trwałość, łatwo ulega hemolizie) i koszty wiążące się z koniecznością jej obróbki wstępnej, przechowywania, transportu i stratami podczas tych operacji, celowa wydaje się lokalizacja instalacji rozdziału krwi bezpośrednio na miejscu uboju.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

4. Bilans masowy procesu oraz charakterystyka produktów

Na podstawie dostępnych danych literaturowych opracowano bilanse materiałowe procesów rozdziału krwi i otrzymywania plazmy pylistej bez wstępnego zatężania oraz ze wstępnym zatężaniem roztworu plazmy, które przedstawiono odpowiednio w tabl. 2 i 3.

Tablica 2

Bilans masowy dla procesu produkcji plazmy pylistej bez wstępnego zatężania roztworu plazmy

Masa przerabianej krwi	730	t/rok
Czas pracy instalacji	252	d/rok
Wielkość produkcji plazmy pylistej	44	t/rok
Wielkość produkcji krwinek pylistych	251	t/rok

Wyszczególnienie	Udział masowy [kg/t]				Zawartość procentowa [%]		
	całk.	części stałe	proteiny	woda	części stałe	proteiny	woda
I. Przygotowanie składników							
Surowce							
1. Cytrynian trójsodu (antykoagulant)	167	167	0	0	100,00	0	0
2. Świeża krew	16 667	3008	2817	13 658	18,05	16,90	81,95
Razem	**16 833**	**3175**	**2817**	**13 658**	**18,86**	**16,73**	**81,14**
Produkty							
1. Krew do przeróbki (do pozycji II)	16 833	3175	2817	13 658	18,86	16,73	81,14
II. Odwirowanie plazmy							
Wchodzi							
1. Krew do przeróbki (z pozycji I)	16 833	3175	2817	13 658	18,86	16,73	81,14
Wychodzi							
1. Roztwór plazmy (do poz. III)	11 110	1000	883	10 110	9,00	7,95	91,00
2. Gęstwa krwinek	5723	2175	1933	3548	38,00	33,78	62,00
Razem	**16 833**	**3175**	**2817**	**13 659**	**18,86**	**16,73**	**81,14**
III. Suszenie rozpyłowe plazmy							
Wchodzi							
1. Roztwór plazmy (z poz. II)	11 110	1000	883	10 110	9,00	7,95	91,00
Wychodzi							
1. Plazma pylista	1000	1000	883	0	100,00	88,34	0,00
2. Opary	10 110	0	0	10 110	0,00	0,00	100,00
Razem	**11 110**	**1000**	**883**	**10 110**	**9,00**	**7,95**	**91,00**

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Tablica 3

Bilans masowy dla procesu produkcji plazmy pylistej z wstępnym zatężaniem roztworu plazmy

Masa przerabianej krwi	1500	t/rok
Czas pracy instalacji	252	d/rok
Wielkość produkcji roztworu plazmy	1000	t/rok
Wielkość produkcji koncentratu plazmy	429	t/rok
Wielkość produkcji plazmy pylistej	90	t/rok
Wielkość produkcji gęstwy krwinek	515	t/rok

Wyszczególnienie	Udział masowy [kg/t]				Zawartość procentowa [%]		
	całk.	części stałe	proteiny	woda	części stałe	proteiny	woda
I. Przygotowanie składników							
Surowce							
1. Cytrynian trójsodu (antykoagulant)	167	167	0	0	100,00	0	0
2. Świeża krew	16 667	3008	2817	13 658	18,05	16,90	81,95
Razem	**16 833**	**3175**	**2817**	**13 658**	**18,86**	**16,73**	**81,14**
Produkty							
1. Krew do przeróbki (do pozycji II)	16 833	3175	2817	13 658	18,86	16,73	81,14
II. Odwirowanie plazmy							
Wchodzi							
1. Krew do przeróbki (z pozycji I)	16 833	3175	2817	13 658	18,86	16,73	81,14
Wychodzi							
1. Roztwór plazmy (do poz. III)	11 110	1000	883	10 110	9,00	7,95	91,00
2. Gęstwa krwinek	5723	2175	1933	3549	38,00	33,78	62,00
Razem	**16 833**	**3175**	**2817**	**13 659**	**18,86**	**16,73**	**81,14**
III. Zatężanie próżniowe plazmy							
Wchodzi							
1. Roztwór plazmy (z poz. II)	11 110	1000	883	10 110	9,00	7,95	91,00
Wychodzi							
1. Koncentrat plazmy (do poz. IV)	4761	1000	883	3762	21,00	18,55	79,00
2. Opary	6349	0	0	6349	0,00	0,00	100,00
Razem	**11 110**	**1000**	**883**	**10 110**	**9,00**	**7,95**	**91,00**
IV. Suszenie rozpyłowe plazmy							
Wchodzi							
1. Koncentrat plazmy (z poz. III)	4761	1000	883	3762	21,00	18,55	79,00
Wychodzi							
1. Plazma pylista	1000	1000	883	0,000	100,00	88,34	0,00
2. Opary	3762	0	0	3762	0,00	0,00	100,00
Razem	**4761**	**1000**	**883**	**3762**	**21,00**	**18,55**	**79,00**

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Produkty wytworzone w wyniku rozdziału krwi powinny spełniać odpowiednie standardy. Plazma zwierzęca pylista – produkt oferowany na rynku – powinna być jednorodnym proszkiem o zabarwieniu od kremowego do jasnobeżowego, bez zapachu, o wilgotności 6–9%, łatwo rozpuszczalnym w wodzie (w 88%). Produkt ten powinien zawierać min. 70% białka, inne składniki powinny znajdować się w nim w ilościach nie większych niż: tłuszcz – 2,0%, włóknik – 0,3%, Na – 6,0%, K – 0,6%, Ca – 0,15%, P – 0,15%, Cl – 3,0%, Fe – 50 ppm, natomiast ilość popiołu otrzymanego z próbki materiału nie powinna przekraczać 14,0%. Wymagana zawartość funkcjonalnych białek w suszonej rozpyłowo plazmie krwi zwierzęcej jest następująca: albuminy – 50%, α-globuliny – 15%, β-globuliny – 15%, γ-globuliny – 15% oraz włóknik – 5%.

Natomiast roztwór hemoglobiny (gęstwa krwinek) powinny cechować: ciemnoczerwona barwa, specyficzny zapach oraz zawartość wody – 62%. Jej skład chemiczny powinien spełniać następujące wymagania: białko – min. 56,0%, tłuszcz – maks. 1,2%, włóknik – maks. 0,3%, Na – maks. 0,5%, K – maks. 0,15%, Ca – maks. 0,01%, P – maks. 0,09%, Cl – maks. 0,9%, Fe – maks. 1700 ppm oraz popiół – maks. 1,9%.

Literatura

[1] Moure F., Rendueles M., Diaz M., *Coupling process for plasma protein fractionation using ethanol precipitation and ion exchange chromatography*, Meat Science, 64, 2003, 391-398.

[2] Torres M.R., Marin F.R., Ramos A.J., Soriano E., *Study of operating conditions in concentration of chicken blood plasma proteins by ultrafiltration*, Journal of Food Engineering, 54, 2002, 215-219.

[3] Dailloux S., Djelveh G., Peyron A., Oulion C., *Rheological behaviour of blood plasmas concentrated by ultrafiltration and by evaporation in relation to liquid-gel transition temperature*, Journal of Food Engineering, 55, 2002, 35-39.

[4] Chang Y.Ch., Hwang L.S., Chang H.M., *Effect of calcium and thrombin on the turbidity changes and the gelation properties of swine plasma*, Food Research International, 32, 1999, 553-558.

[5] Toldra M., Elias A., Pares D., Saguer E., Carretero C., *Functional properties of a spray-dried porcine red blood cell fraction treated by high hydrostatic pressure*, Food Chemistry, 88, 2004, 461-468.

[6] Silva V.D.M., Marialice S.P.C., *Functional properties of bovine blood plasma intended for use as a functional ingredient in human food*, Lebensm.-Wiss. u.-Technol., 36, 2003, 709-718.

[7] Pezacki W., *Przetwarzanie jadalnych surowców rzeźnych*, PWN, Warszawa 1984.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ