

OPTIMIRANJE SASTAVA MLIJEKA ZA DOJENČAD SIRUTKOM, DEMINERALIZIRANOM ULTRAFILTRACIJOM*

Damir HANSER, dipl. inž., dr Ljerka KRŠEV, mr Ljubica TRATNIK i Olivera MARIĆ, dipl. inž., Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb

Sažetak

U radu je pokazana mogućnost primjene demineralizirane sirutke, dobivene dijafiltracijom uz ultrafiltraciju u Laboratoriju za tehnologiju mlijeka i mlječnih proizvoda, kao sirovine za proizvodnju »humaniziranog mlijeka«.

Sastavljanje recepture i njeno optimiranje izvedeno je pomoću matematičkog modela linearnog programiranja. Računanje je izvedeno vlastitim programom napravljenim za kućno mikroračunalo ZX Spectrum.

Rezultati pokazuju da je moguće sastaviti »formulu« koja pokazuje gotovo idealno slaganje sa sastavom majčinog mlijeka i ujedno zadovoljava sve propisane zakonske norme.

Omjer proteina, masti i ugljikohidrata, energetska vrijednost proizvoda i omjer zastupljenosti nutritivno bitnih komponenti — obzirom na ukupni energetska unos — zadovoljavaju zahtjeve koje takav proizvod mora ispunjavati.

Uvod

Sirutka se, zbog svoje izuzetne nutritivne vrijednosti sve češće koristi u humanoj prehrani. Posebno se cijeni mogućnost njene primjene za proizvodnju dojenačke hrane od mlijeka.

Pri usporedbi sastava kravljeg i majčinog mlijeka uočava se značajno manja količina mineralnih tvari u majčinom mlijeku. Radi toga se za pripremu dojenačke hrane od mlijeka koristi demineralizirana sirutka.

Za demineralizaciju sirutke koristi se više načina kao: elektrodijaliza, ionska izmjena, a u novije vrijeme dijafiltracija uz ultrafiltraciju. Ultrafiltracija i dijafiltracija su operacije koje omogućavaju pripremu demineralizirane sirutke, koja je istovremeno i koncentrirana.

Za ovaj je rad u Laboratoriju za mlijeko i mlječne proizvode pripremljena demineralizirana ugušćena slatka sirutka.

Prikladnost tako dobivene demineralizirane sirutke kao jedne od sirovina za pripremu »humaniziranog« mlijeka, testirana je tako što se ispitalo da li je njenim korištenjem, kao glavnim izvorom laktalbumina, moguće uravnotežiti sastav za proizvodnju. Podaci za ostale sirovine uzeti su iz literature (1, 2, 3, 4) i prikazani u tablici 1. U istoj tablici su i cijene koje su prikupljene iz različitih izvora (2, 3, 5) i izražene u relativnim odnosima.

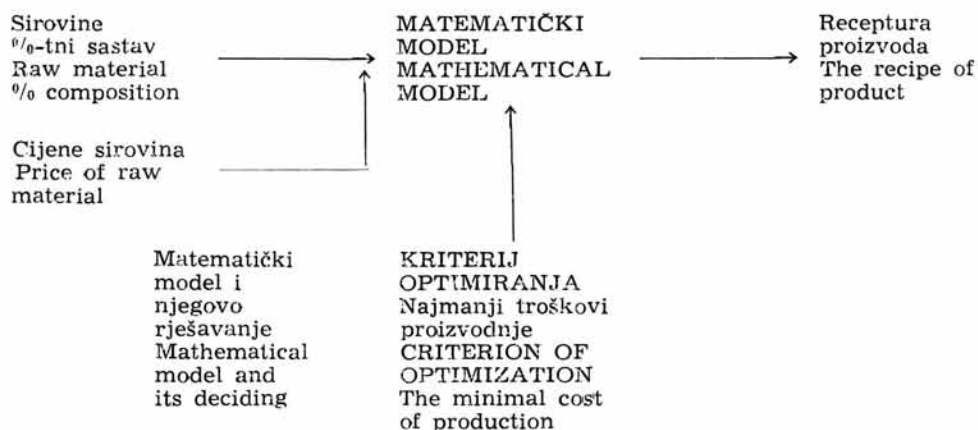
* Referat održan na XXIII Seminaru za mljekarsku industriju, Zagreb, 1985.

Tablica 1. Sastav i cijene sirovina potrebnih za pripravljavanje humaniziranog mlijeka
Table 1. The constituents and prices of raw material used for humanized milk preparing

	Vrhnje s 30% masti Cream with 30% milk fat	Demineralizirana sirutka Demineralized whey	Sirutka u prahu Whey powder	Obrano mlijeko u prahu Skim milk powder	Punomasno mlijeko u prahu Whole milk powder	Laktoza u prahu Lactose in powder
Kazein Casein	2,05	—	—	28,7	20,66	—
Laktalbumin Lactalbumin	0,45	3,79	13,1	6,3	4,54	—
Mast Fat	30	1,775	0,18	0,87	26,20	—
Laktoza Lactose	3	2,8815	75	38,10	96	—
Minerali Minerals	0,5	0,2675	7,3	7,80	7,00	—
Voda Water	64	91,286	3,6	4,3	3,5	4
Indeks cijene Index of price	144,5	6	72	189	187	86

Matematički model i njegovo rješavanje

Dobivanje optimalne recepture postiglo se rješavanjem matematičkog modela na elektroničkom računalu. Shematski prikaz modela dan je na slici 1



Slika 1. Shematski prikaz matematičkog modela za sastavljanje recepture humaniziranog mlijeka

Figure 1. Mathematical model of preparing the recipe for humanized milk

Ulazne podatke za takav model sačinjavaju kvantitativni sastavi ulaznih sirovina, njihove cijene i ograničenja vezana za željeni kvantitativni sastav proizvoda.

Opća formulacija modela linearnog programiranja ima slijedeći oblik:

Funkciju cilja:

$$\sum c_j x_j = F_{\min}; \quad F_{\max} = (-1) \cdot F'_{\min} \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad /1/$$

Ograničenja:

$$\begin{aligned} \sum a_{ij} x_j &\geq b_i && (i = 1, 2, \dots, N) \\ &\leq b_i && (j = 1, 2, \dots, N) \quad /2/ \\ x_j &0 \end{aligned}$$

Ovdje nam ograničenja napisana u obliku nejednadžbi (2) predstavljaju materijalne bilanse za pojedine komponente proizvoda.

Varijable x_j su količine sirovina koje ulaze u recepturu, a_{ij} su postotni udjeli pojedine komponente u proizvodu, a b_i predstavljaju željene % udjele određene komponente u proizvodu.

Kako svježa sirovina ima svojstvo aditivnosti, odnosi između komponenata su linearni i moguće je primijeniti matematički model linearnog programiranja.

Traženje optimalnog rješenja se izvodi pomoću Simplex algoritma. Bit algoritma je da se računanjem čim manje osnovnih rješenja dođe do optimalnog rješenja. Sam algoritam se odvija u tri osnovna koraka (6, 7):

1. Traženje početnog osnovnog rješenja koje zadovoljava uvjet negativnosti.
2. Testiranje osnovnog rješenja na prisutnost traženog ekstrema. Ako je ekstrem prisutan, dobili smo optimalno rješenje, a ako nije, izvodi se treći korak.
3. Traženje novog osnovnog rješenja koje se zamjenom jedne osnovne varijable najviše približava ekstremu i ponavljanje drugog koraka.

Matematički model LP rješavan je tako, da je najprije sveden na standardni oblik (6, 7), tj. nejednadžbe ograničenja su provedene u jednadžbe uvođenjem nadopunjujućih varijabli, a zatim se tražilo optimalno rješenje Simplex algoritma (6).

Svođenje na standardni oblik izvedeno je na slijedeći način:

1. Nejednadžba oblika

$$a_{ij} x_j \geq b_i \quad /3/$$

transformiraju se u jednadžbe uvođenjem nadopunjujućih varijabli S_i u

$$\begin{aligned} a_{ij} x_j - S_i &= b_i \\ x_j \geq 0 \quad S_i &\geq 0 \end{aligned} \quad /4/$$

2. Nejednadžbe oblika

$$a_{ij} x_j \leq b_i \quad /5/$$

se transformiraju u

$$a_{ij} x_j + S_i = b_i \quad /6/$$

3. Ako je traženi ekstrem maksimum, množimo koeficijente u funkciji cilja sa -1 i računamo minimum tako dobivene funkcije:

$$F'_{\min} = \sum c_j x_j \cdot (-1) \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad /7/$$

Sistem jednažbi dobiven uvođenjem nadopunjujućih varijabli i napisan u kanonskom obliku obzirom na bilo koji skup varijabli za koje vrijedi $x_j \geq 0$ čini osnovno rješenje sistema, a vrijednosti tih osnovnih varijabli jednake su pripadnim konstantama na desnoj strani jednažbe.

Svako tako dobiveno rješenje predstavlja jednu od mogućih receptura proizvoda, a vrijednost funkcije cilja nam daje podatke o cijeni te recepture. Vrijednost svih varijabli koje nijesu osnovne jednake su 0. Optimalno rješenje je ono rješenje u kome je vrijednost funkcije cilja jednaka traženom ekstremu.

U ovom radu se minimiziraju troškovi realizacije recepture te će nam minimalne vrijednosti varijabli za tako dobivenu funkciju cilja predstavljati najjeftiniju moguću recepturu koja zadovoljava tražene zahtjeve, a vrijednost funkcije cilja cijenu te recepture.

Algoritam se odvija tako da se ispisuju osnovna rješenja i prema kriteriju optimiranja (7) pronalazi slijedeće osnovno rješenje koje je najbliže traženom ekstremu. Postupak se izvodi sve dok ne dođe do optimalnog rješenja.

Rezultati rada

U radu je korištena već prije izračunata receptura masne komponente »humaniziranog mlijeka« koja sadrži 45,64% mlječne masti i smjesu ostalih ulja i masti animalnog i vegetabilnog porijekla (7) i pretpostavljeno je da joj je indeks cijene 200.

Pri sastavljanju recepture nastojao se sastav proizvoda sasvim približiti sastavu majčinog mlijeka. Sadržaj bjelančevina u recepturi je nešto povećan, ali je zadržan optimalni odnos kazein : laktalbumin 40 : 60.

Izračunato je da su sve esencijalne aminokiseline prisutne u većoj količini nego u majčinom mlijeku, a zadovoljavaju preporuke FAO (1).

U recepturi su laktoza, masti i bjelančevine zastupljene u svom fiziološkom odnosu i na raspolaganju su kao građevni materijal i omogućuju normalan rast i razvoj dojenčeta.

Količina minerala također je u recepturi vrlo bliska onoj u majčinom mlijeku.

Prirodna ravnoteža bjelančevine : laktoza omogućuje razvoj normalne intestinalne mikroflore, a dodatak laktoze kao izvor ugljikohidrata omogućuje sintezu galaktocerebrozida mozga, vezivnih tkiva, mukoproteida epifize i proces okoštavanja, a ujedno je faktor rasta za normalnu intestinalnu mikrofloru, bifidus mikroflore (8).

U nedostatku konkretnih podataka u razmatranje nisu uzete eventualne ekonomske teškoće za pojedinog proizvođača »humaniziranog« mlijeka, već je pretpostavljeno da su sve sirovine iz navedenog sastava na raspolaganju u dovoljnoj količini.

Ograničenja vezana za nabavu sirovine, ograničena devizna sredstva za uvoz i slični podaci, različiti su za svakog proizvođača i osim što predstavljaju

njegovu poslovnu tajnu, u funkciji su njegovog proizvodnog programa, te zahtijevaju interdisciplinarni pristup problemu na nivou radne organizacije.

Svaki proizvođač može postavljenu matematički model proširiti i prilagoditi svom trenutačnom ekonomskom stanju i mogućnostima (7).

Tablice 2 i 3 prikazuju rezultate optimiranja recepture mlijeka za dojenčad pomoću elektroničkog računala.

Tablica 2. Receptura za 100 kg »humaniziranog« mlijeka

Table 2. The recipe for preparing 100 kg humanized milk

Dodatak Addition	Količina (kg) Quantity (kg)
Vrhnje, 30% masti Cream, 30% milk fat	32,68
Demineralizirana sirutka Demineralized whey	175,55
Obrano mlijeko u prahu Skim milk powder	15,77
Laktoza u prahu Lactose in powder	41,95
Smjesa ulja i masti Mix of oils and fats	15,57
Indeks cijene Index of price	15477,79

Tablica 3. Sastav »humaniziranog« mlijeka (‰)

Table 3. The composition of humanized milk (‰)

Kazein Casein	5,11
Laktalbumin Lactalbumin	7,67
Mast Fat	28,17
Laktoza Lactose	55,25
Minerali Minerals	1,83
Voda Water	1,97

Kako receptura dobro imitira sastav majčinog mlijeka (tablica 2 i 3), ona automatski zadovoljava sve preporuke FAO/WHO i našeg Pravilnika o minimalnim uvjetima ispravnosti dijetetskih proizvoda (9), što je računski provjereno.

Zaključak

Zbog složenosti problema pomoć elektroničkog računala je neophodna i to je jedini način da se brzo, efikasno i točno izračuna tako postavljeni problem. Nprestanim ažuriranjem ulaznih podataka u svakom trenutku se može ostva-

riti optimalni plan proizvodnje bez obzira na stalne promjene cijena i sastava nekih od sirovina (7).

Kako se iz nekih podataka vidi, postupak demineralizacije sirutke na način kako je učinjeno u Laboratoriju za tehnologiju mlijeka u potpunosti zadovoljava zahtjeve za pripremu dojenačke hrane. Rezultati dobiveni matematičkim modelom pokazuju da nije potrebna oštrija demineralizacija, što je ekonomski vrlo povoljno.

Summary

This work shows the possibility of application of demineralized whey as valuable raw material for the production of humanized milk. The demineralization of the whey has been achieved by ultrafiltration in the laboratory for milk and milk products.

The determination of the optimal recipe was obtained with mathematical model by linear programming. A program in BASIC was developed and calculations were done on ZX Spectrum.

The results show the possibility to make a product which is almost the same as human milk.

The ration of proteins, fat and carbohydrates, as well as energetic value of the product and the percentages of the most important nutritive components responsible for total energy intake of the product satisfy the standards for such products.

Literatura

1. ERGOTIĆ, N.: Značaj humaniziranog mlijeka i prijedlog za njegovu proizvodnju. Diplomski rad, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb, 1983.
2. Usmena saopćenja — »PLIVA«, Zagreb.
3. Cjenik R. O. »Dukat«, Zagreb.
4. CARIĆ, M.: Tehnologija sušenih i koncentrovanih mlečnih proizvoda, Univerzitet u Novom Sadu, 1980, 96—206.
5. *La Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, 54 (10) (1977) 441—444.
6. PETRIĆ, J.: Operaciona istraživanja, Savremena administracija, Beograd (1982).
7. HANSER, D.: Primjena linearnog programiranja u proizvodnji humaniziranog mlijeka. Diplomski rad, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb, 1984.
8. HARRISON, W., PEAT, G.: *Am. J. Clin. Nutr.* 28 (1975) 1351—1355.
9. ERGOTIĆ, E., ANUŠIĆ, J.: Arhiv za zaštitu majke i djeteta, Supplementum (1976) 406—413.