

СИСТЕМИ ХАРЧУВАННЯ ЛІКУВАЛЬНО-ПРОФІЛАКТИЧНОЇ ДІЇ ТА МАТЕМАТИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ДЛЯ ЇХ СТВОРЕННЯ

Ж.А. Крутовий

Сформульовано концепцію створення систем харчування (СХ) лікувально-профілактичного призначення з використанням математичного інструментарію. Визначено види математичних моделей та методів, які запропоновано для використання на різних етапах проектування СХ.

Ключові слова: системи харчування, математичні моделі, співвідношення між нутрієнтами, цільова функція.

СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ДЛЯ ИХ СОЗДАНИЯ

Ж.А. Крутовой

Сформулирована концепция создания систем питания (СП) для лечебно-профилактического назначения с использованием математического инструментария. Определены виды математических моделей и методов, которые предложено использовать на различных этапах проектирования СП.

Ключевые слова: системы питания, математические модели, соотношения между нутриентами, целевая функция.

FOOD SYSTEMS FOR MEDICATION AND PROPHYLAXIS OF DISEASES AND THE MATHEMATICAL METHODS FOR THEIR CREATION

G.A. Krutovyi

The objective of the research is to develop the concept for the creation of long-term food systems aimed at disease prevention and medication, which appear as a result of calcium deficiency; suggest the types of mathematical models, methods and computer technologies for further use during the creation of the named systems, including the analysis of the expected efficiency of their functioning.

Food systems are grounded on the ingredients of wide, mass consumption. During the research it is found that the most perspective direction of the research concerning the creation of the indicated mechanism for the realization of the integrally balanced nutrition is the development of long-term food systems for various categories of consumers. The concept of medical and preventive food systems (FS) creation with the use of mathematical toolkit is formulated in the article. A chain of mathematical models of linear programming for the projection of one meal rations for different purposes, and a task model of the integral

programming for daily rations optimization are developed. Formal approach to simultaneous operational identification of scores of 10 essential amino acids is suggested. The method is aimed at the identification of proteins' biological value in medical and preventive rations.

Keywords: *food (nutrition) systems, mathematical models, correlations between nutrients, target function.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Відомо, якщо їжа не перетравлюється, то вона з'їдає, руйнує того, хто її споживає. Щоб їжа добре перетравлювалась, вона повинна бути збалансованою. Щоб харчування було збалансованим, має виконуватися величезна сукупність науково обгрунтованих співвідношень (різних для різних категорій споживачів) між нутрієнтами: між вмістом білків, жирів та вуглеводів, між вмістом десяти незамінних амінокислот, між вмістом кальцію, жирів, фосфору та магнію, між вмістом груп жирних кислот (насичених, мононенасичених, поліненасичених) тощо. Крім того, повинна забезпечуватися низка технологічних умов та обмежень тощо.

Як цього досягти?

На сьогодні, принаймні у нашій країні, не існує, не створено механізму системної реалізації ідеї збалансованого харчування, не створено механізму інтегрального збалансування, тобто забезпечення всієї сукупності рекомендованих фізіологічних співвідношень і технологічних обмежень і умов, хоча існує багато окремих, розрізаних, несистемних, обгрунтованих рекомендацій. Відсутні інтегрально збалансовані страви, інтегрально збалансовані раціони одного прийому їжі, відсутні інтегрально збалансовані добові раціони харчування для різних категорій людей і тим більше для індивідуального споживання.

На наш погляд, розв'язок сформульованої інтегральної проблеми збалансування не знайдено з двох причин: по-перше, тому що проблема надзвичайно складна та потребує для свого розв'язання довготривалої сумісної діяльності фахівців різних спеціальностей; по-друге, тому що її в принципі розв'язати неможливо без використання науки про кількісні співвідношення – математики, без кваліфікованого і творчого використання різного математичного інструментарію та комп'ютерних технологій. Розв'язувати можна, але розв'язати неможливо.

Актуальною залишається проблема інтегрально збалансованого харчування споживачів, харчування, збалансованого при кожному конкретному прийому їжі протягом доби, протягом довготривалого проміжку часу, що охоплює багато діб, тижнів, місяців.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зауважимо, що харчування, у тому числі лікувально-профілактичне, це не стільки акт

споживання конкретної страви (страв), скільки процес, що складається з великої кількості окремих, зв'язаних між собою, актів; процес, що впливає на стан здоров'я людини в цілому та на перебіг різних захворювань. Цю обставину необхідно враховувати при створенні механізму інтегрально збалансованого харчування.

Перші успішні спроби застосування математичного інструментарію при створенні проектів рецептур булочних виробів були здійснені нами більше 20 років тому [1]. Потім у різні роки створювались різні, надзвичайно спрощені моделі проектів рецептур страв із наперед заданими властивостями, з невеликою кількістю різних обмежень.

В останні декілька років у Харківському державному університеті харчування та торгівлі на замовлення Міністерства освіти і науки під керівництвом професора Черевка О.І. виконуються дослідження проблем харчування. Мета досліджень: розробка рецептур страв та ширше – раціонів харчування, призначених для профілактики та лікування захворювань, що виникають на тлі дефіциту кальцію [2; 3].

Очевидно, що збалансування вмісту нутрієнтів може бути здійснено лише шляхом оптимізації вмісту інгредієнтів. При проектуванні рецептур окремих страв, виробів кількість інгредієнтів як важелів (засобів) забезпечення необхідних співвідношень між нутрієнтами відносно невелика, порядку десяти або менше. У той же час кількість співвідношень, які необхідно враховувати для забезпечення інтегральної збалансованості, десятки.

Отже, важелів для інтегрального збалансування надзвичайно мало і здійснити його на рівні рецептури окремої страви, швидше за все неможливо. Про це свідчить і наш досвід [3; 4]. Суттєво більше важелів збалансування при проектуванні раціонів окремих прийомів їжі, ще більше – при створенні добових раціонів харчування [5].

Оскільки лікування багатьох захворювань, що виникають на тлі дефіциту кальцію, – це зазвичай процес (не акт) часто довготривалий і може тривати тижні, місяці і навіть роки, то й харчування, мета якого цілеспрямовано сприяти усуненню захворювань, доцільно розглядати, досліджувати як процес. Цей процес може складатися з великої кількості різних етапів, до яких належать створення (проектування) рецептур окремих страв, виробів, створення раціонів одноразового споживання (РОСів) різного призначення: для перших і других сніданків, обідів, вечерь тощо, створення добових раціонів (ДР), багатьох ДР тощо. Усі етапи взаємно пов'язані між собою. Причому найбільше важелів збалансування мають добові раціони. Саме ДР,

оскільки вони складаються з великої кількості інгредієнтів, кожен з яких є важелем для здійснення збалансування.

Мета статті –

– розробити концепцію створення систем харчування (СХ), у першу чергу, СХ лікувально-профілактичного призначення;
– визначити види математичних моделей та математичних методів, призначених для використання на різних етапах створення СХ, у тому числі на етапі аналізу очікуваної ефективності функціонування систем, що проектується.

Виклад основного матеріалу дослідження. Предметом наших досліджень є створення СХ для профілактики та лікування захворювань, що виникають на тлі дефіциту кальцію, у жінок віком 40–59 років і коефіцієнтом фізичної активності 2,2. Вибір систем харчування вказаного призначення зумовлено такими міркуваннями:

1) існує близько 300 захворювань, що виникають на тлі дефіциту кальцію;

2) дефіцит збалансованого кальцію в організмі людини суттєво впливає на її імунну систему в цілому. Крім того, з огляду на те, що німецький вчений Отто Варбург став лауреатом Нобелівської премії за розробку методів лікування ракових пухлин, у тому числі кальцієм.

Сформулюємо основні принципи розробки проектів систем харчування, що виникають на тлі дефіциту кальцію в організмі людини.

1. Принцип системності. Лікувально-профілактичне харчування може бути високоефективним, якщо буде носити не епізодичний, а системний характер. Не споживання окремих, навіть відносно добре збалансованих страв, навіть не окремі прийоми їжі, а система 3–4-х і більше добових прийомів їжі протягом 3–4-х і більше тижнів (профілактика) та 3–4-х і більше місяців (лікування).

2. Система харчування базується на інгредієнтах широкого, масового вжитку (споживання); не дефіцитних інгредієнтах, а таких, що є у вільному продажі в магазинах і на ринках.

3. Математичні моделі, методи та комп'ютерні технології мають використовуватися на всіх етапах створення систем харчування, супроводжуватись аналізом ефективності їх функціонування тощо.

4. Базовими елементами систем харчування є раціони одного прийому їжі або раціони одноразового споживання (РОС).

5. Система харчування складається з великої сукупності РОСів, сукупності добових раціонів (ДР), що складаються із неповторних 3–4-х і більше РОСів, циклових раціонів (ЦР) – не менше 14–15 ДР. Циклові раціони, яких може бути декілька, періодично повторюються.

6. До РОСів можуть входити продукти харчування, рецептури яких спроектовано окремо, а також БАД. Останні – тільки у випадках, коли досягти певного рівня збалансованості без них неможливо.

7. У математичних моделях РОСів повинна враховуватись уся сукупність нутрієнтів, що впливають на метаболізм кісткової тканини (на процес лікування захворювань, що виникають на тлі дефіциту кальцію і з яких доступна необхідна інформація).

8. Має здійснюватись оптимізація систем харчування на всіх етапах її створення, а саме: при проектуванні окремих страв, продуктів харчування, оптимізації кожного раціону одноразового споживання, кожного добового раціону та циклових раціонів.

9. Принцип мінімуму розсіювання нутрієнтів відносно їх добових потреб при створенні добових раціонів та принцип неповторності РОСів у сукупності ДР.

10. Принцип оптимізації циклового раціону харчування: із сукупності ДР обирається, наприклад, 14 найкращих з мінімальним розсіюванням нутрієнтів.

11. Принцип створення базових систем харчування лікувально-профілактичного призначення з оптимізованим високим вмістом збалансованого кальцію та індивідуальних систем харчування із заданою індивідуальною величиною середньодобового вмісту збалансованого кальцію.

12. Принцип формалізованого визначення біологічної цінності РОСів, з використанням залежностей скорів незамінних амінокислот раціонів від аналогічних скорів інгредієнтів.

13. При створенні систем харчування з чотириразовим (та більше) вживанням їжі протягом доби доцільно споживати не менше одного разу молочні продукти; 1 раз м'ясо; 1 раз рибу; 2 рази сирі овочі; не менше 1 разу фрукти.

Крім того, протягом тижня планувати 1–2 розвантажувальних дні без м'яса та риби.

Для створення проектів систем харчування відповідно до викладених принципів нами використовується наступний математичний інструментарій. По-перше, нами розроблено математичні моделі оптимізації 15 РОСів для перших сніданків, 15 РОСів для других сніданків, а також по 15 моделей РОСів відповідно для обідів і вечерів. По-друге, створено математичну модель оптимізації добових раціонів. По-третє, для визначення біологічної цінності білків у раціонах лікувально-профілактичного призначення нами розроблено формалізований метод обчислення скорів одночасно всієї сукупності незамінних амінокислот.

Метод базується на встановлених лінійних залежностях скорів незамінних амінокислот раціонів харчування від аналогічних скорів інгредієнтів [6].

Крім того, створено низку математичних моделей рецептур борошняних виробів, збагачених дефіцитними нутрієнтами. Зауважимо, що розробка рецептур борошняних виробів становить предмет окремого дослідження, що здійснюється для використання зазначених виробів у РОСах нового покоління з метою удосконалення СХ різних видів.

У математичних моделях оптимізації вмісту інгредієнтів у раціонах одноразового споживання враховано таке:

- а) основні фізіологічні співвідношення між вмістом жиру та кальцію в раціоні харчування, кальцію та фосфору, кальцію та магнію;
- б) технологічні обмеження на вміст інгредієнтів;
- в) умови збагачення кожного РОСу нутрієнтами, які впливають на метаболізм кісткової тканини;
- г) умову забезпечення енергетичної цінності.

Для кожного РОСу обрана своя цільова функція.

Математичне формулювання задачі оптимізації вмісту інгредієнтів у РОСі: знайти багатовимірний вектор $\vec{X} = \langle x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n \rangle$, координати якого x_1, x_2, \dots, x_n задовольняють системі нерівностей (фізіологічним і технологічним умовам) і максимізують відповідну цільову функцію.

Розв'язки сформульованих задач лінійного програмування здійснено симплексним методом у системі MathCAD.

Математичне формулювання задачі оптимізації добових раціонів, що створюються з використанням сукупності безповторних РОСів. Необхідно знайти сукупність (множину) цілих булевих змінних n_i^j (шукану кількість використань j -го РОСу ($j = \overline{1,15}$) i -го виду ($i=1, 2, 3, 4$), тобто створених відповідно для перших та других сніданків, обідів і вечерь так, щоб виконувались такі умови:

- а) співвідношення у добовому раціоні між вмістом жиру та кальцію в раціоні харчування, кальцію та фосфору, кальцію та магнію;
- б) умови забезпечення добових раціонів нутрієнтами що впливають на метаболізм кісткової тканини споживача;
- в) умови конструювання ДР, що створюються на базі РОСів, призначених для різних прийомів їжі. Ці умови полягають у тому, що в конкретному ДР буде використано тільки один із 15–20 і більше РОСів для перших сніданків, аналогічно тільки один для других сніданків, обідів, вечерь тощо;
- г) умови конструювання другого та наступних ДР.

При цьому цільова функція, наприклад, сума абсолютних величин відносних відхилень добових значень нутрієнтів від їх добових потреб,

повинна бути мінімальною.

Зауважимо, що математичні моделі, у тому числі цільові функції оптимізації ДР для різних раціонів можуть дещо відрізнятися, особливо для систем харчування різного призначення.

Аналіз моделі оптимізації добових раціонів показує, що вона є моделлю цілочисельного програмування з булевими змінними. Для розв'язання одержаної задачі необхідне створення програмного продукту або адаптація існуючої програми відповідного типу.

У процесі дослідження здійснено обґрунтування можливості визначення скорів незамінних амінокислот раціонів одноразового споживання різної структури як лінійних функцій від аналогічних скорів інгредієнтів.

Розроблено формалізований метод визначення скорів незамінних амінокислот як для будь-яких проектів раціонів харчування, так і, природно, проектів рецептур страв.

Запропонований метод, по-перше, дозволяє швидко та необтяжливо виконувати одночасний розрахунок скорів усієї сукупності незамінних амінокислот. По-друге, створює перспективу як розробки відповідної програми, так і обчислення скорів НАК великих сукупностей РОСів із використанням ПК. Потреба у зазначених обчисленнях виникає при проектуванні довготривалих систем харчування лікувально-профілактичного призначення.

По-третє, при вилученні будь-якого інгредієнта (інгредієнтів) із раціону харчування, що створюється, або залученні додаткового (додаткових) інгредієнтів немає необхідності всю процедуру обчислень повторювати в повному обсязі. У матриці скорів незамінних амінокислот інгредієнтів $C^{ингред}$ вимірністю $m \times n$, де n може бути близько 10–15 і більше елементів, необхідно лише один або декілька стовпців вилучити (замінити на нові), а інші – залишити без зміни, що надзвичайно важливо. Зазначена обставина суттєво (у разі) спрощує розрахунок елементів нової матриці $C^{ингред}$ і, як висновок, – скорів усієї сукупності незамінних амінокислот нового раціону харчування.

Висновки. У результаті виконаного дослідження встановлено, що:

- 1) створити ефективний механізм реалізації інтегрально збалансованого харчування для профілактики та лікування різних захворювань, у тому числі й тих, що виникають на тлі дефіциту кальцію, неможливо без застосування математичного інструментарію та комп'ютерних технологій;
- 2) найбільш перспективним напрямом досліджень щодо створення зазначеного механізму є розробка довготривалих систем харчування для різних категорій споживачів;

3) сформульовано концепцію створення систем харчування (СХ) лікувально-профілактичного призначення з використанням математичного інструментарію;

4) розроблено низку математичних моделей лінійного програмування для проектування раціонів одноразового споживання різного призначення, а також моделей задач цілочисельного програмування для оптимізації добових раціонів;

5) запропоновано формалізований метод одночасного оперативного визначення скорів 10 незамінних амінокислот, метод, призначений для визначення біологічної цінності білків у раціонах лікувально-профілактичного призначення.

Список джерел інформації / References

1. Юрина Э. В., Крутовой Ж. А., Синекон Н. С., Протопопова К. Э. Оптимизация рецептур и технологии высокобелковых хлебоулучных изделий пониженной энергетической ценности. Тезисы докладов: Теоретические и прикладные аспекты применения инженерной физико-химической механики с целью совершенствования и интенсификации технологических процессов пищевых производств. – Московский институт прикладной биотехнологии. – Москва, 1990.

Yurina, E. V., Krutovoy, G. A., Synekop, N. S., Protoporova, K. E. (1990), “The optimization of recipes and technologies for the baked products with a high content of protein with low energy value” [Optimizatsiya retseptur e tekhnologii vysokobelkovykh khlebobulochnykh izdeliy ponizhennoy energeticheskoy tsennosti], Theses of the reports. *Theoretical and applied aspects of using engineering physico-chemical mechanics with the aim of improving and intensification of technological processes in food industry*, Moscow Institute of Applied Biotechnology, Moscow.

2. Математичне моделювання раціонів харчування, що містять збалансований кальцій / В. М. Михайлов, Ж. А. Крутовий, Г. В. Запаренко, Н. В. Манжос, Л. О. Касілова // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. праць / Донецький нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк, 2011. – С. 105–110.

Mikhailov, V. M., Krutovy, G. A., Zaparenko, G. V., Manzhos, N. V., Kasilova, L. O. (2011) “Mathematical modeling of calcium balanced diets” [Matymatyчне modeliuвання ratsioniv kharchuvannya, shcho mistiat zbalansovanniy kaltsiy], *Equipment and technology of food industry*, Collected papers, Donetsk National University of Economics and Trade named by M. Tugan-Baranovsky, Donetsk, pp. 105–110.

3. Черевко О. І., Крутовий Ж. А. Математичні аспекти збалансування складу нутрієнтів у системах харчування / О. І. Черевко, Ж. А. Крутовий // Прогресивні

техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / ХДУХТ. – Х., 2013. – Вип. 1 (17). – С. 271–287.

Cherevko, O. I., Krutovyi, G. A. (2013), “Mathematical aspects of balancing nutrients content in the edible systems” [Matematychni aspekty zbalansuvannya skladu nutriyentiv u systemakh kharchuvannya], *Advanced Technics and Technologies of Food Production, Catering and Trade*, Collected papers, KhSUFT, Kharkiv, Vol. 1 (17), pp. 271–287.

4. Черевко О. І. Основні принципи створення систем харчування для профілактики та лікування захворювань, що виникають на тлі дефіциту кальцію / О. І. Черевко, Ж. А. Крутовий, В. М. Михайлов, Л. О. Касілова // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг – Х. : ХДУХТ, 2012. – С. 233.

Cherevko, O. I., Krutovyi, G. A., Mikhailov, V. M., Kasilova, L. O. (2012), “The main principles of creating nutritional systems for the prevention and medication of diseases caused by calcium deficiency” [Osnovni pryntsypy stvorennia system kharchuvannya dlia profilaktyky ta likuvannya zakhvoriuvan, shcho vynykayut na tli defitsytu kaltsiyu], *Advanced Technics and Technologies of Food Production, Catering and Hotel Industry and Trade. Economic Strategy and Development Prospects of Trade and Services*, Kharkiv, KhSUFT, p. 233.

5. Крутовий Ж. А. Математичні моделі проектування добових раціонів харчування з високим вмістом кальцію на базі раціонів одноразового споживання / Ж. А. Крутовий, А. О. Півненко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / ХДУХТ. – Х., 2011. – Вип. 1 (13).с. 415–424.

Krutovyi, G. A., Pivnenko, A. O. (2011), “Mathematical models of projecting daily diets with a high calcium content based on the rations of one-time consumption” [Matematychni modeli proektuvannya dobovykh ratsioniv kharchuvannya z vysokym vmistom kaltsiyu na bazi ratsioniv odnorazovogo spozhyvannya], *Advanced Technics and Technologies of Food Production, Catering and Trade*, Collected papers, KhSUFT, Kharkiv, Vol. 1 (13), pp. 415–424.

6. Крутовий Ж. А. Дослідження залежності скорів незамінних амінокислот від аналогічних скорів інгредієнтів., Х., 2002.

Krutovyi, G. A. (2002), “Investigation of the dependence of essential amino acid scores on the similar scores of the ingredients” [Doslidzhennia zalezhnosti skoriv nezaminykh aminokyslot vid analogichnykh skoriv ingrediientiv], Kharkiv.

Крутовий Жорж Андрійович, канд.техн. наук, проф., кафедра вищої математики, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: +38(057) 349-45-63

Круговой Жорж Андреевич, канд.техн. наук, проф., кафедра высшей математики, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: +38(057) 349-45-63

Krutovyi George, Ph.D, Professor, Department of higher mathematics, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska Str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: +38(057) 349-45-63

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.М. Михайловим.
Отримано 15.03.2014. ХДУХТ, Харків.*