

Цифровая нутрициология: спектральные портреты меню оптимального питания

Ю.Н. Орлов^{1,А}, А.А. Кислицын^{2,А}, А.О. Камбаров^{3,В}, А.К. Батурич^{4,В},
Д.Б. Никитюк^{5,В}, В.А. Тутельян^{6,В}

^А Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

^В Институт питания и биотехнологии РАН

¹ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9114-0436>, ov3159f@yandex.ru

² ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2388-0496>

³ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2108-2100>

⁴ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7007-621X>

⁵ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4968-4517>

⁶ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4164-8992>

Аннотация

Строится алгоритм расчета величин порций суточного меню блюд в соответствии с определенными нормативами потребления заданного набора контролируемых эссенциальных веществ, содержащихся в продуктах питания. К таким веществам в данной работе относятся макронутриенты – белки, жиры, углеводы, а также микронутриенты – витамины А, В1, В2, С, РР, каротин, и элементы натрия, калий, кальций, магний, фосфор, железо. Исследованы особенности возникающих при этом вычислительных задач, связанных с тем, что суточное потребление макронутриентов и микронутриентов различается по массе на 4-5 порядков. Для анализа качества вычислительной обусловленности задачи определения величины порции блюда используются спектральные портреты матриц нутриентного состава блюд, показывающие точность вычисления спектра матрицы в зависимости от точности элементов матрицы. Такие портреты построены для типичных меню без специфических изъятий для условно здорового человека и для вегетарианца. Проведен сравнительный анализ соответствующих нутриентных матриц. Предложен алгоритм выбора блюд и расчета величин их порций, обладающий устойчивостью по макронутриентам. Показано, что при увеличении горизонта планирования среднесуточное расчетное потребление микронутриентов приближается к рекомендуемым нормам Минздрава. Оценена скорость сходимости по микронутриентам в зависимости от типа меню.

Ключевые слова: матрица нутриентов, оптимальное меню, спектральный портрет, сходимость по микронутриентам.

1. Введение

Создание программных продуктов для цифровой нутрициологии предполагает решение как теоретических, так и практических вычислительных задач.

Первой задачей является цифровая трансформация данных о физиологических потребностях человека в пищевых и биологически активных веществах и энергии, химическом составе основных пищевых продуктов и создание вычислительной программы для обработки этих данных с целью создания персонализированных рекомендаций по оптимальному питанию. [1]

Вторая задача состоит в разработке объединенных детерминистических и статистических моделей по особенностям питания с учетом медицинских рекомендаций, про-

гноза количественного, возрастного изменения структуры населения, экологической обстановки, национальных особенностей. Это важно в том числе и для прогнозирования региональных потребностей в необходимых продуктах питания.

Третья задача менее глобальна, но от ее решения зависит точность прогнозов и рекомендаций, и именно о ней пойдет речь в данной работе. Эта задача состоит в создании алгоритма автоматического подбора блюд и расчета величины их порций при заданных линейных ограничениях (равенствах и неравенствах), исходя из некоторого не вполне формализуемого принципа оптимальности, что выводит ее из классической области линейного программирования. Суть в том, что формально в этой задаче нет функционала, который надо минимизировать.

Оптимизация в данном контексте будет пониматься как минимизация промежутка времени, необходимого для достижения заданного потребления нутриентов в среднесуточном эквиваленте. Например, рекомендуемое в [2] среднегодовое потребление белка составляет для взрослого человека в среднем примерно 100 г в сутки, из них 50 % животного происхождения, а 50 % – растительного (злаковые, овощи, фрукты). При этом потребление мяса рыбы и птицы составляет примерно по 20 % от общего потребления мясной пищи, а 60 % приходится на мясо животных. В этом смысле среднесуточное потребление белка из мясной продукции составляет 10 г из мяса птицы, 10 г из мяса рыбы и 30 г из мяса говядины (или баранины, свинины) и т.д. Однако питаться каждый день продуктами, составляющими среднегодовой суточный набор, не очень естественно. Также было бы странно первый квартал в году питаться только рыбой, второй квартал – птицей, а потом мясом животных. Оптимальность мы будем понимать как такое разнообразие меню, при котором среднесуточное потребление нутриентов достигается с заданной точностью за минимальное время. Это требует разработки определенного алгоритма подбора продуктов и блюд в соответствии с их химическим составом [3] и частотой питания. Поскольку эта задача не имеет однозначного решения, следует формализовать алгоритм выбора блюд из имеющейся базы данных [4, 5] и расчета величины порций в зависимости от параметров пользователя.

Современное состояние решаемой проблемы содержится, в частности, в обзоре [6]. Согласно [6], существуют достаточно однотипные программы, такие как «Оценка фактического питания», «Индивидуальная диета», «Диетолог», «Nutrilogic», «Idealnutrient» и ряд других, исходными данными для которых являются сведения, полученные при опросе пациента: возраст и антропометрические данные, данные о физической активности, сведения о привычках в питании. По каждому продукту в программу вводят объем порции и частоту потребления. В итоге получают сведения о среднесуточном потреблении. Итоговый протокол работы программы содержит рассчитанный уровень величины основного обмена, рекомендации по калорийности, структуру показателей пищевой ценности по продуктовым группам, а также график характеристик пищевой ценности в отношении к нормам. Нормы обычно соответствуют рекомендациям Минздрава [2]. Однако описание правил, по которым отбираются те или иные блюда в суточное меню, в этих программах отсутствует.

Также следует отметить, что существующие программные продукты не предполагают возможности автоматического создания меню на произвольно задаваемый временной промежуток. В то же время для пользователей с определенным графиком суточных изъятий (различного рода посты и традиционные праздники) такой график представляет практическую необходимость.

Отметим, что существуют бухгалтерские программы составления меню и сопроводительных отчетных документов для учреждений общественного питания, которые автоматизируют функции врача-диетолога, бухгалтера-калькулятора или кладовщика по расчету питания и учету приготовления блюд на пищеблоках лечебно-профилактических учреждений стационарного типа. Такие программы не могут быть использованы для научно-исследовательских целей, поскольку не предполагают вариацию меню применительно к запросу пользователя.

Основная вычислительная составляющая программных алгоритмов – это наполнение суточного меню в условиях ограничений на суммарное содержание нутриентов. Остальные алгоритмы относятся к работе с базами данных. Задача оптимизации в этом контексте не возникает. Вместо решения неоднозначной задачи формирования меню имеющиеся программы содержат варианты стандартных суточных диет и отличаются главным образом объемами баз данных по продуктам и нутриентам.

Выделяются три крупных блока, из которых состоит любая программная реализация той или иной модели в области нутрициологии.

Первый блок представляет собой совокупность моделей усвоения продуктов питания организмом человека (или животного, если задача относится к животноводству и т.п.), имеющего определенные характеристики. К базовым характеристикам относят пол, возраст, рост, массу тела, массу жировой ткани, физическую активность. Дополнительными параметрами, влияющими на выбор продуктов питания, являются заболевания, которые (если они есть у пользователя) вносят ограничения или, наоборот, определенные включения в меню, а также регион проживания, культурные традиции и индивидуальные предпочтения определенных продуктов.

Второй блок – это база данных по химическому составу продуктов питания. В этот блок входит как собственно нутриентный состав продуктов, так и расчет соответствующего состава, который получается для блюда, состоящего из заданного набора ингредиентов после его приготовления определенным способом. Следует подчеркнуть, что достоверных оценок точности используемых данных не существует. Они есть только для конкретно выполненных экспериментов, многие из которых относятся к неактуальному историческому прошлому. Насколько используемые данные отвечают современным реалиям хотя бы в части средних значений и дисперсии, остается не вполне ясным. Вследствие этого априорные требования по точности входящих данных для проведения вычислительных процедур представляются практически важными. Они показывают верхний предел ошибки, получаемой в результате расчетов величин порций и состава меню. Эффективным инструментом для нахождения пределов по точности в задачах вычислительной линейной алгебры является спектральный портрет матрицы соответствующего линейного оператора, построение которого и используется в данной работе.

Третий блок представляет собой объединенные в программный комплекс вычислительные алгоритмы, необходимые для решения следующей задачи: выбрать из второго блока совокупность продуктов и блюд и определить величины их порций, необходимые для удовлетворения вектора суточных потребностей в нутриентах, которые определяются в первом блоке по заданным антропометрическим и иным характеристикам пользователя. Также в этот блок входит набор статистических функций, позволяющих провести сравнительный анализ различных вариантов меню, определить точность решения указанной задачи, провести классификацию пользователей по предпочитаемым типам меню и решать иные статистические задачи, связанные с нутрициологией. Один из аспектов разработанной авторами вычислительной программы, связанный с оценкой точности формирования меню рационального питания, и представлен в данной статье.

Таким образом, рассчитываемое меню должно быть, с одной стороны, достаточно разнообразным, т.е. в некотором смысле случайным, а с другой – содержать необходимые суточные калории в виде макронутриентов. В настоящей работе формулируется подход к решению такой задачи и описываются некоторые вычислительные трудности, возникающие на этом пути.

2. Постановка задачи

Пусть K есть суммарное суточное потребление продуктов и блюд. Обычно их число варьируется от 10 до 20. Введем следующие обозначения. Вектор потребностей в i -ом

нутриенте считается заданной величиной и обозначается F_i . Как нутриентный состав продуктов, так и ингредиенты блюд известны. Тогда считается известной «пищевая матрица» A_{ij} массового содержания i -го нутриента в j -ом блюде меню из расчета на 100 г блюда. Обозначим x_j величину порции j -го блюда. Тогда уравнение, решаемое для определения коэффициентов x_j , имеет вид линейной системы $Ax = F$ или

$$\sum_{j=1}^K A_{ij} x_j = F_i, \quad (1)$$

решаемое при условиях $x_j > 0$. Матрица A_{ij} представляет основную характеристику базы данных цифровой нутрициологии. Ее базисный минор определяет точность, с которой определяется весовой состав блюд меню.

Формально решение уравнения (1) осуществляется средствами аппарата вычислительной линейной алгебры в зависимости от структуры матрицы A_{ij} . Однако на практике могут возникнуть трудности, связанные с плохой обусловленностью пищевой матрицы. Цель данной работы состоит в описании методики, позволяющей получить решение в математически корректной форме и с разумными коэффициентами.

В зависимости от структуры пищевой матрицы возможны следующие варианты решения уравнения (1).

Вариант 1. Число K блюд меню в точности равно числу N балансируемых нутриентов. Матрица A_{ij} в этом случае – квадратная размеров $N \times N$. Если эта матрица невырождена, то существует обратная матрица A^{-1} , которая также считается известной, после чего формальное решение уравнения (1) имеет вид

$$x = A^{-1}F. \quad (2)$$

Суть задачи в этом случае состоит в подборе такого меню, для которого компоненты найденного решения (доли блюд в меню) строго положительны: $x_j > 0$ и находятся в пределах некоторых естественных размеров блюда, априори известных.

Вариант 2. Число K блюд меню меньше числа балансируемых нутриентов. Тогда матрица A_{ij} – прямоугольная размеров $N \times K$, базисный минор имеет ранг $K < N$. Система в общем случае несовместна, т.е. получить решение задачи по всем нутриентам невозможно. Необходимое условие существования решения – $\text{rang } A = \text{rang}[A, F]$, где $[A, F]$ – расширенная матрица, полученная из матрицы A добавлением вектора F в качестве дополнительного столбца.

В случае, когда это известно из стандартного курса линейной алгебры условие не выполнено, можно поступить следующим способом. Поскольку непосредственная цель суточного питания состоит в балансировке калорий, а не микроэлементов, то три компонента (белок, жир, углевод) могут быть определены, если число блюд не меньше трех. Остальные компоненты в этом случае должны определяться по более широкому диапазону времени потребления – неделя, две недели, месяц. Следовательно, вместо исходной задачи можно решить уравнение относительно величин порций, например, для меню на неделю, которое содержит не менее чем N блюд, а затем провести разбиение этих блюд по дням с учетом ограничения по суточной калорийности. Таким образом, случаем общего положения при таком способе решения задачи является нижеследующий вариант 3.

Вариант 3. Число K блюд меню больше числа N балансируемых нутриентов. Тогда матрица A_{ij} – прямоугольная размеров $N \times K$, базисный минор имеет ранг N , а система (1) в общем случае имеет более одного решения. Представим матрицу A в блочном виде, выделив базисный минор G и оставшуюся подматрицу U :

$$A = \left\| \begin{array}{c|c} G_{N \times N} & U_{N \times K-N} \end{array} \right\|.$$

Тогда уравнение (1) имеет вид:

$$A\mathbf{x} \equiv G \begin{pmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_N \end{pmatrix} + U \begin{pmatrix} x_{N+1} \\ \dots \\ x_K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_1 \\ \dots \\ F_N \end{pmatrix} \quad (3)$$

Таким образом, коэффициенты использования первых N блюд меню зависят от произвольно выбранных неотрицательных коэффициентов остальных $K - N$ блюд при условии неотрицательности решения относительно всех компонент \mathbf{x} .

Следовательно, алгоритм действий по составлению суточного меню состоит в приведении к равенству числа нутриентов и числа блюд. Он представляется следующим.

Пусть суточное меню имеет число блюд, равное K и пусть n есть ближайшее целое к отношению числа нутриентов к числу блюд $[N/K] = n \geq 1$. Если при этом $N/K > n$, то некоторые блюда из n -дневного меню вычеркиваются так, чтобы выполнилось условие $N/K = n$. Если же $N/K < n$, то некоторые блюда дописываются в меню последнего дня. Вычеркивание и дописывание носит формальный характер и является не изменением меню, а формальным изменением рецепта некоторых блюд.

Эти действия приводят к формированию меню на n дней, исходя из расчета, что суммарное количество блюд равно числу балансируемых нутриентов, т.е. N . Для каждого такого меню составляется матрица A и вычисляется обратная матрица A^{-1} . Эти объекты являются характеристиками базы данных по химическому составу продуктов и по блюдам, а не являются свойствами потребителя, поэтому могут быть вычислены заранее. После этого задача решается формулой (2). Однако такие стандартные действия при практических вычислениях часто оказываются невыполнимыми. Причины этого обсуждаются далее.

3. Анализ нутриентной матрицы

Рассмотрим задачу составления меню для здорового человека с определенными антропометрическими параметрами, которым соответствует заданная суточная норма потребления нутриентов и, в частности, калорийности. На Рис. 1 приведен пример накопленной за день калорийности по макронутриентам.

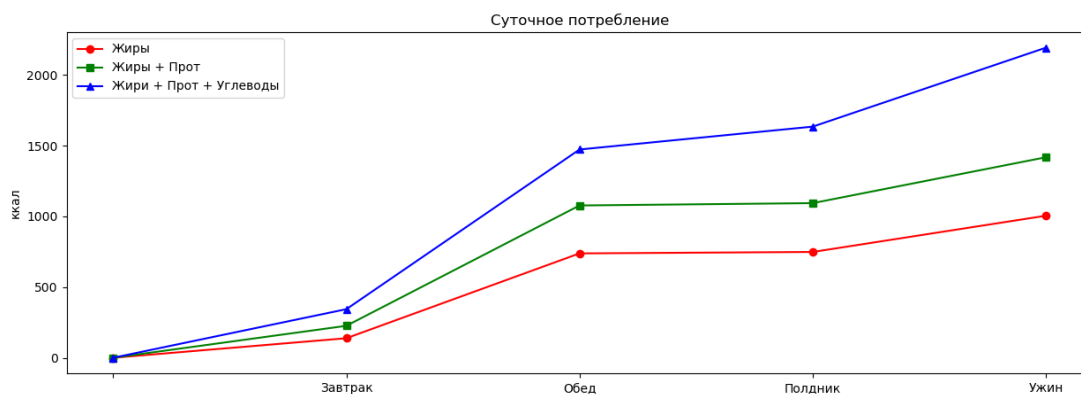


Рис. 1 – Типовое суточное потребление основных нутриентов: жиров, белков и углеводов

При моделировании вектора потребностей используется следующий перечень нутриентов.

Макронутриенты: 1 – жиры, 2 – протеины, 3 – углеводы.

Микронутриенты: 4 – витамин С, 5 – витамин В2, 6 – витамин РР, 7 – К (калий), 8 – Са (кальций), 9 – Р (фосфор), 10 – Na (натрий).

Микронутриенты малых концентраций: 11 – витамин B1, 12 – витамин A, 13 – каротин, 14 – Mg (магний), 15 – Fe (железо).

Составим меню, в котором число блюд точно равно числу балансируемых нутриентов, не обсуждая пока способ выбора блюд из базы данных. Пример такого меню приведен ниже. Завтрак: 1-каша манная вязкая на молоке, 2-бутерброд с сыром (батон нарезной, масло сливочное), 3-варенье из абрикосов, 4-чай черный без сахара. Обед: 5-борщ московский с мясом и со сметаной, 6-хлеб зерновой, 7-салат из свежих огурцов и помидоров с зеленым луком и майонезом, 8-люля-кебаб из говядины с рисом, 9-компот из сухофруктов с сахаром. Полдник: 10-кофе капучино без сахара, 11-печенье сдобное. Ужин: 12-овощное рагу, 13-фисташки, 14-мед, 15-чай черный без сахара.

Однако, проведя формальные вычисления по формуле (2), получаем в качестве решения относительно величины порций такого меню вектор, часть компонент которого отрицательна, что не имеет смысла. Причина такого странного поведения решения для вполне приемлемого, казалось бы, меню состоит в том, что пищевая матрица A является плохо обусловленной, тогда как элементы базы данных по химическому составу блюд известны со сравнительно низкой точностью (порядка 10-15 %), существенно отклоняющейся от требований к точности элементов матрицы для разделения точек спектра.

Вычислительный смысл разделения точек спектра состоит в следующем. Предположим, что все собственные значения матрицы A различны. Обозначим их $\lambda_1, \dots, \lambda_n$. Соответствующие собственные векторы e_k , удовлетворяющие условию $Ae_k = \lambda_k e_k$, $k = 1, \dots, n$ образуют линейно независимую систему векторов, по которой можно разложить как вектор F в правой части (1), так и искомый вектор решения x . Предположим, что найдены коэффициенты f_k разложения вектора правой части, так что $F = \sum_{k=1}^n f_k e_k$.

Представим аналогично $x = \sum_{k=1}^n \alpha_k e_k$. Подставляя разложения для F и x в уравнение (1),

получаем систему для определения α_k , решение которой имеет вид $\alpha_k = \frac{f_k}{\lambda_k}$. Однако,

если неопределенность в элементах матрицы такова, что, будучи вычисленными с этой точностью, точки спектра оказываются неразличимы, то собственные значения считаются кратными, и требуется другая формула для построения решения. Спектральный портрет представляет собой эффективный метод определения достаточной точности входных данных по структуре изучаемой матрицы для применения вышеописанных формул.

Чтобы определить, какие требования по точности следует предъявить к элементам пищевой матрицы, построим ее спектральный портрет. Построение спектральных портретов матриц основано на процедуре, описанной в книге [6]. Портрет показывает области, в которых лежат собственные значения матриц, если элементы этих матриц известны с точностью, десятичный показатель степени которой указан в легенде.

В терминах резольвенты $R(\lambda) = (\lambda I - A)^{-1}$ пищевой матрицы A ее ε -спектр определяется следующим образом: число λ принадлежит ε -спектру $\Lambda_\varepsilon(A)$, если

$$\|R(\lambda)\| \geq \frac{1}{\varepsilon \|A\|}. \quad (4)$$

При исследовании расположения точек спектра удобно рассматривать замкнутые гладкие кривые γ_ε , представляющие изолинии ε -спектра. Качество дихотомии $\kappa_\gamma(A)$ оценивается нормой квадрата резольвенты (4) на данной кривой:

$$\kappa_\gamma(A) = \frac{\|A\|^2}{l_\gamma} \oint_\gamma \|R(\lambda)\|^2 d\lambda. \quad (5)$$

Здесь l_γ есть длина контура γ . Величина $\kappa_\gamma(A)$ может считаться индикатором точности разделения спектра. Если на некоторой кривой γ нет точек спектра $\lambda(A)$, то норма резольвенты на такой кривой конечна, $\|R(\lambda)\|_\gamma < \infty$, как и интеграл от нее по этой кривой. Это представление используется при численном нахождении ε -спектра матрицы. Алгоритм устроен следующим образом. Комплексная плоскость разбивается на концентрические круги с шагом ε . Для каждого круга численно вычисляется интеграл (5). Логарифмический рост этого интеграла при переходе с одного круга на другой свидетельствует о приближении к собственному значению матрицы A . Последующее уменьшение интеграла (5) позволяет определить кольцо, в котором лежит собственное значение матрицы, оцениваемое с заданной точностью ε . Сопоставляя значениям интеграла (5), полученным при разбиении комплексной плоскости на кривые γ , цветовую окраску соответствующих точек этой плоскости, получаем спектральный портрет матрицы.

Типичные спектральные портреты пищевых матриц суточных меню «мясоеда» и «вегана» приведены на Рис. 2-3. Из них следует, что для корректного решения пищевого уравнения (1) элементы матрицы A должны быть известны по крайней мере с точностью 10^{-3} (когда собственные значения матрицы разделяются), что на самом деле не реализуется.

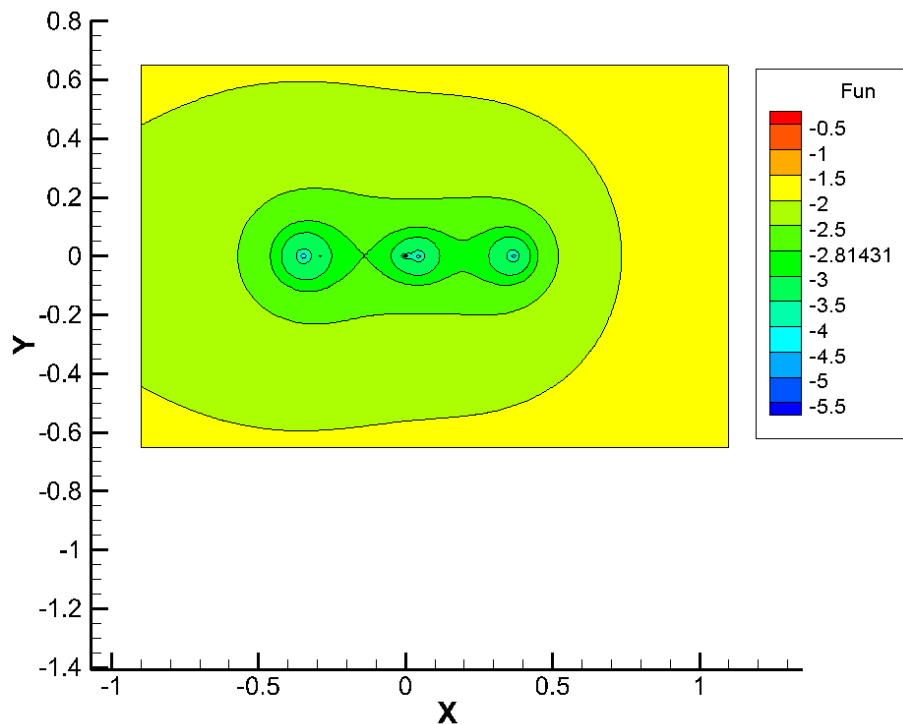


Рис. 2 – Спектральный портрет пищевой матрицы «мясоеда»

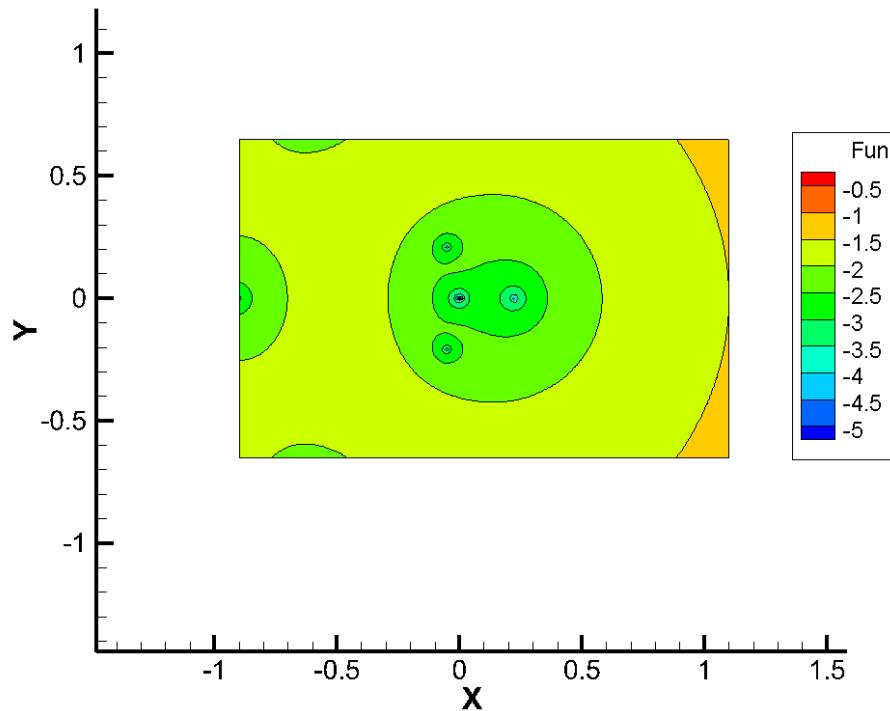


Рис. 3 – Спектральный портрет пищевой матрицы «вегана»

Смысл приведенных рисунков следующий. Если относительная точность элементов матрицы составляет 10^{-2} (желтый фон), то матрица имеет одно собственное значение (вернее, 15 совпадающих), которые находятся где-то в отмеченном квадрате. При точности $10^{-3,5}$ на Рис. 2 видны три голубоватых кружка, в которых лежат все 15 собственных значений, воспринимаемых в данном случае как три. На Рис. 3 разделение точек спектра (уже на четыре голубоватых кружка) происходит при точности 10^{-3} , т.е. пищевая матрица вегана обусловлена несколько лучше, чем мясоеда. Тем не менее, для расчета порций меню такая матрица не применима, поскольку, как говорилось выше, точность данных матрицы химического состава блюд не лучше, чем 10^{-1} .

Из этого рассмотрения также следует, что увеличение количества дней при расчете меню не изменит долевого соотношения между нутриентами, и потому одновременный расчет величин порций блюд при условиях контроля всех 15-ти нутриентов на заданном уровне точности невозможен. Косвенно о таком положении дел свидетельствует отсутствие описания расчетного алгоритма в существующих программных продуктах, т.е. меню в этих программах фактически строится не расчетом, а подбором. Точность подбора также не указывается, как не указывается и характерное отклонение процентного содержания нутриентов в тех или иных продуктах от норматива, прописанного в базе данных.

4. Решение задачи для макронутриентов

С вычислительной точки зрения проблема состоит в том, что в меню присутствуют блюда с большим содержанием макронутриентов, в результате чего доля микронутриентов на их фоне не может быть определена с необходимой точностью. Поступим тогда следующим образом. Выберем строки системы (1) с доминирующими элементами, относящимися к макронутриентам, и проведем объединение блюд меню так, чтобы вместо плохо обусловленной матрицы 15×15 получилась «хорошая» матрица 3×3 . Отметим, что идея баланса только по макронутриентам используется в некоторых расчетах (см., например, [8]), но без объяснения причин такого выбора.

Группировка блюд позволяет анализировать пищевую матрицу только в части макро-нутриентов. Спектральный портрет такой матрицы представлен на Рис. 4.

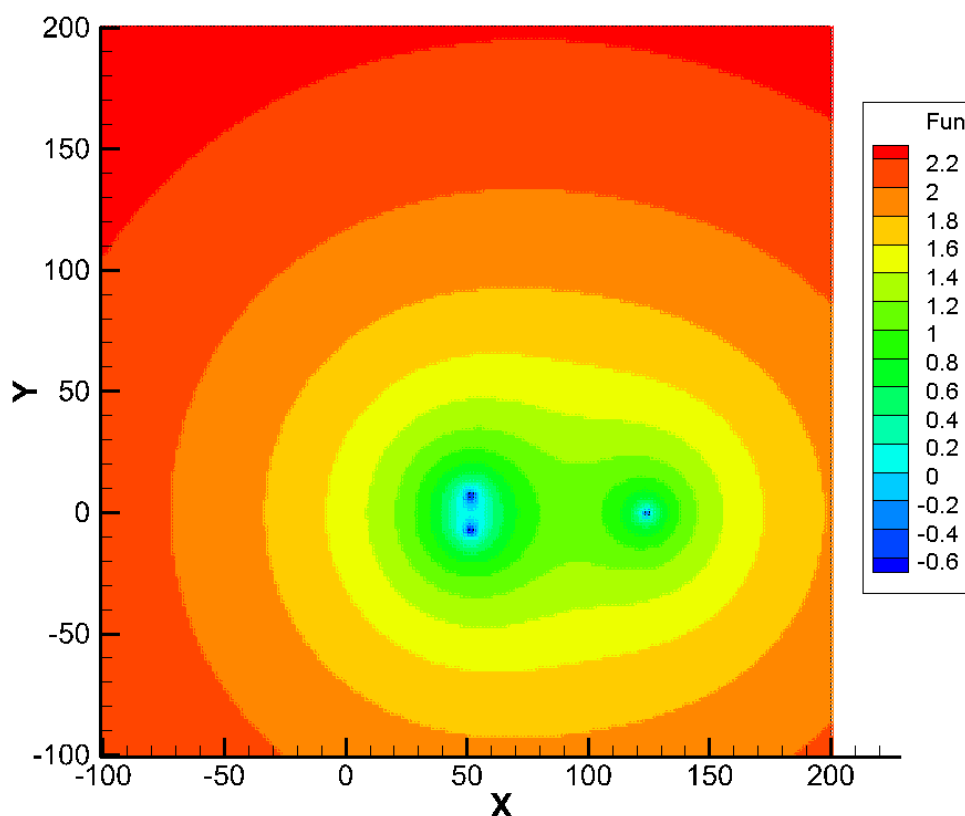


Рис. 4 – Спектральный портрет укрупненной пищевой матрицы

Координаты X и Y на Рис. 4 отвечают точкам комплексной плоскости, где может находиться спектр матрицы A . Красная, оранжевая, желтая и светло-зеленая области отвечают последовательно уменьшаемой неточности (от 10 000 % до 400 %) в элементах матрицы, при которой ее три собственных значения все еще не распознаются. При уровне неточности 160 % (отвечающей шкале $Fun=0,2$, так как $10^{0,2} \approx 1,6$) спектр распадается на две голубых области. Три собственных значения этой матрицы идентифицируются, начиная с точности примерно 0,4 ($10^{-0,4} \approx 0,4$). Это означает, что даже для весьма неточных измерений химического состава блюд решение задачи для макро-нутриентов будет корректным.

Остановимся теперь на подборе блюд. Особенностью нашего алгоритма является создание меню с горизонтом планирования существенно больше, чем на 1 день. Единицей планирования удобно считать месяц (точнее, 4 недели). Тогда, исходя из фактических данных Росстата годового потребления продуктов питания, можно определить их среднемесячное потребление. Применительно к определенному типу пользователя с учетом его возраста, пола, антропометрических и других данных проводится коррекция этих средних величин на основе статистических моделей, здесь не обсуждаемых. После этого определяется количество потребляемых в течение месяца типов блюд (блюда из мяса, блюда из птицы и т.п.), каждое из которых является основным поставщиком одного из макро-нутриентов. Поскольку суточное меню из типов блюд известно, осталось выбрать представителей этих типов. Для этого генерируется случайный набор чисел – идентификаторов блюд данного типа в базе данных. Затем после объединения их в группы решается уравнение (1) для укрупненной пищевой матрицы. В результате макро-нутриенты сбалансированы точно, но микро-нутриенты могут иметь заметные

отклонения от заданных нормативов. По каждому i -му нутриенту в день n введем отклонение расчетного потребления от заданного:

$$\Delta_i^n = \sum_{j=1}^K A_{ij}^n x_j^n - F_i. \quad (6)$$

Введем также накопленный средний модуль относительного отклонения

$$r_i^n = \frac{1}{nF_i} \sum_{k=1}^n |\Delta_i^k|. \quad (7)$$

Оптимизацией меню будем называть перебор вариантов в рамках типов блюд в базе данных, при котором величина r_i^n достигает заданного уровня точности за минимальное количество дней n . Этим достигается как сохранение заданного уровня потребления нутриентов, так и достаточное разнообразие питания. Если база данных по химическому составу блюд достаточно разнообразна и содержит порядка тысячи различных блюд, то каждый из оставшихся микронутриентов может быть сбалансирован с относительной точностью 0,10 за срок менее двух недель.

Отметим, что в условиях специальных ограничений (изъятий) балансировка микронутриентов наступает несколько позже, чем для питания без ограничений, хотя пищевая матрица обусловлена лучше для меню с изъятиями. Подчеркнем, что витамины в таблетках не рассматриваются как возможные продукты.

5. Заключение

В работе построен алгоритм выбора компонент базы данных и расчета соответствующих весовых коэффициентов этих компонент в условиях плохой обусловленности матрицы линейных связей. Применительно к задачам цифровой нутрициологии этот алгоритм применен для построения суточного меню блюд на произвольно задаваемый горизонт планирования. Используемый в работе метод визуализации расчета, основанный на построении спектрального портрета нутриентной матрицы, привел к необходимости сегментировать расчет таким образом, чтобы снизить вычислительную погрешность. Показано, что задача оптимизации в терминах разнообразия питания может быть решена предложенным методом.

Литература

1. David A. Bender An introduction to nutrition and metabolism // CRC Press, 2014
2. Методические рекомендации МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ» (утв. главным государственным санитарным врачом РФ 18 декабря 2008 г.).
3. Тутельян В.А. и др. Картотека блюд диетического (лечебного и профилактического) питания оптимизированного состава. – М.: Национальная ассоциация клинического питания, 2008. – 448 с.
4. Тутельян В.А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания. Справочник. – М.: ДеЛи принт, 2012. – 284 с.
5. Raper N., Perloff B., Ingwersen L., Steinfeldt L., Anand J. An overview of USDA's Dietary Intake Data System // J Food Compos Anal, 2004. 17 (3–4).
6. Портнов Н.М. Электронный доктор // Практическая диетология, 2012, 2 (6).
7. Годунов С.К. Современные аспекты линейной алгебры. – Новосибирск: Научная книга, 1997. – 388 с.
8. Гращенков Д.В. Математическое моделирование рецептов для организации детского питания // Индустрия питания, 2018, 3 (4).

Digital Nutrition: Spectral Portraits of Optimal Diet

N.A. Orlov^{1,A}, A.A. Kislitsyn^{2,A}, A.O. Kambarov^{3,B}, A.K. Baturin^{4,B},
D.B. Nikituk^{5,B}, V.A. Tutelian^{6,B}

^A Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS

^B Institute of Nutrition and Biotechnology RAS

¹ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9114-0436>, ov3159f@yandex.ru

² ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2388-0496>

³ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2108-2100>

⁴ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7007-621X>

⁵ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4968-4517>

⁶ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4164-8992>

Abstract

The algorithm for calculating the values of daily menu portions of dishes in accordance with certain standards is constructed. This is consumption' standards of a given set of controlled essential substances contained in food. Such substances in this work include macronutrients -proteins, fats, carbohydrates, as well as micronutrients-vitamins A, B1, B2, C, PP, carotene and the elements – sodium, potassium, calcium, magnesium, phosphorus, iron. The features of the resulting computational problems associated with the fact that the daily consumption of macronutrients and micronutrients differs in weight by 4-5 orders of magnitude are investigated.

To analyze the quality of the computational conditionality for the problem of determining the size of a dish portion, spectral portraits of the dishes nutrient composition matrices are used. The portraits show us the accuracy of calculating the matrix spectrum depending on the accuracy of the matrix elements. Such portraits are built for typical menus without specific exceptions for a conditionally healthy person and for a vegetarian. A comparative analysis of the corresponding nutrient matrices is carried out.

An algorithm for selecting dishes and calculating the values of their portions, which is stable for macronutrients, is proposed. It is shown that when the planning horizon increases, the average daily calculated consumption of micronutrients approaches to the recommended standards of the Ministry of health. It is estimated the rate of convergence on micronutrients depending on the menu type.

Keywords: the matrix of nutrients, the optimal menu, spectral portrait, the convergence of the micronutrients.

References

1. David A. Bender An introduction to nutrition and metabolism // CRC Press, 2014
2. Methodical recommendations of MP 2.3.1.2432-08 “Norms of physiological requirements for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation” (approved by the chief state sanitary doctor of the Russian Federation on December 18, 2008).
3. Tutelian V.A., Samonov M.A., Kaganov B.S., Baturin A.K., Sharafetdinov H.H., Plotnikova O.A., Pavluchkova M.S. Cardboard dishes of dietary (therapeutic and prophylactic) nutrition optimized composition. - M.: National Association of Clinical Nutrition, 2008. - 448 p.
4. Tutelian V.A. The chemical composition and calorie content of Russian food. Directory. - M.: DeLi print, 2012.-- 284 p.

5. Raper N., Perloff B., Ingwersen L., Steinfeldt L., Anand J. An overview of USDA's Dietary Intake Data System // J Food Compos Anal, 2004.17 (3-4).
6. Portnov N.M. Electronic Doctor // Practical Dietetics, 2012, 2 (6).
7. Godunov C.K. Modern aspects of linear algebra. - Novosibirsk: Scientific Book, 1997. – 388p.
8. Grashchenkov D.V. Mathematical modeling of formulations for the organization of baby food // Food Industry, 2018, 3 (4).