

Моделирование и оптимизация аминокислотного состава многокомпонентных мясных систем

Н.Н.ЛИПАТОВ, И.А.РОГОВ, А.В.ЕВТИМОВ, М.Л.МАМКОНЯН, Н.А.МУХАЙЛОВ, Е.И.ТИТОВ

Московский технологический институт мясной и молочной промышленности, Москва, СССР

В.Т.ВЫСОЦКИЙ

Институт питания АМН СССР, Москва, СССР

В настоящее время в отечественной литературе появилось значительное число работ 1, 2, 3, 4 посвященных оптимизации состава фаршей вареных колбасных изделий, технология которых предусматривает частичную замену жилованного мясного сырья гидратированными белково-восодержащими ингредиентами немясного происхождения. Обычно в роли оптимизирующих показателей выступают содержание в таких фаршах мышечной ткани, соединительной ткани, жира, немясных белковых ингредиентов и воды. При этом в качестве критерия оптимизации выбираются либо минимум потерь массы при термообработке, либо минимум себестоимости единицы готовой продукции (при заданных значениях органолептических показателей). Безусловно, такие подходы к оптимизации состава оправданы, но только с производственных позиций. Медико же биологическая оценка готовых изделий, и, в частности, содержания в них незаменимых аминокислот, проводится обычно "post factum" и никак заранее не моделируется. Такое положение дел все чаще и чаще подвергается заслуженной критике специалистов в области питания и именно это побудило нас предпринять попытку к моделированию и управлению аминокислотным составом комбинированных мясоспродуктов, в рецептуре которых содержание большинства ингредиентов задано технологическими особенностями производства.

Из элементарных математических соображений нетрудно получить следующие уравнения для расчета содержания какой-либо j -ой аминокислоты в n -компонентной системе:

$$A_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i a_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_i P_i} \quad (1)$$

где A_j - суммарное содержание j -ой аминокислоты, г/100г белка;
 X_i - содержание i -ого компонента в системе, доля единицы;
 P_i - содержание белка в i -ом компоненте, %;
 a_{ij} - содержание j -ой аминокислоты в i -ом компоненте, г/100г белка.

В принципе оптимизация аминокислотного состава комбинированного мясоспродукта может осуществляться исходя из его абсолютного соответствия формуле ФАО/ВОЗ. При этом целевые функции могут быть получены путем деления уравнения (1) на A_{pi} и примут следующий вид:

$$\frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i a_{ij}}{A_{pi} \sum_{i=1}^n X_i P_i} = 1 \quad (2)$$

где A_{pi} - содержание j -ой незаменимой аминокислоты, соответствующее идеальному белку, г/100г белка.

В результате несложных преобразований уравнения (2) для восьми незаменимых аминокислот получим следующую однородную систему

$$\begin{aligned} X_1 P_1 (a_{1j} - A_{pi}) + \dots + X_i P_i (a_{ij} - A_{pi}) + \dots + X_n P_n (a_{nj} - A_{pi}) &= 0 \\ X_1 P_1 (a_{1j} - A_{pi}) + \dots + X_i P_i (a_{ij} - A_{pi}) + \dots + X_n P_n (a_{nj} - A_{pi}) &= 0 \\ X_1 P_1 (a_{1j} - A_{pi}) + \dots + X_i P_i (a_{ij} - A_{pi}) + \dots + X_n P_n (a_{nj} - A_{pi}) &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Известно 5, что подобные системы могут иметь нетривиальное решение лишь в случае, когда определитель матрицы, составленный из коэффициентов при неизвестных, в нашем случае определитель вида $D = \det \|P_i (a_{ij} - A_{pi})\|$ равен нулю. Однако и при выполнении этого равенства трудно ожидать решений, фактически удовлетворяющих требованиям идентичности аминокислотных составов комбинированных мясоспродуктов и "идеального" белка и прежде всего потому, что на оптимизируемые параметры наложены жесткие технологические ограничения:

$$X_i \geq 0 \quad t_{\min} \leq \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n X_i} \leq t_{\max}$$

где $t_{\max}$ и $t_{\min}$ соответственные верхняя и нижняя границы интервала допустимого изменения содержания белка в конкретном виде изделий.

В связи с этим можно констатировать, что вопросы, связанные с такой рода оптимизацией, требуют серьезных проработок, направленных главным образом на математическую формализацию условий, накладываемых на исходные белково-содержащие компоненты рецептур комбинированных мясоспродуктов, а именно соответствующие им a_{ij} , при выполнении которых система (3) будет иметь нестрого определенные решения. Ситуация значительно упрощается если сформулировать вышепредложенные о заранее заданном содержании m белково-содержащих ингредиентов в комбинированной системе выполняется, а оптимизация содержания остальных $n-m$ компонентов осуществляется только по содержанию e лимитирующих незаменимых аминокислот при условии, что для остальных $8-e$ незаменимых аминокислот левая часть уравнения (2) не меньше единицы. В этом случае однородная система (3) может быть легко преобразована к следующему неоднородному виду:

$$X_{n-m+1} P_{n-m+1} (a_{n-m+1,j} - K_j A_{pi}) + \dots + X_n P_n (a_{nj,j} - K_j A_{pi}) = C_j$$

$$X_{n-m+1} P_{n-m+1} (a_{n-m+1,j} - K_j A_{pi}) + \dots + X_n P_n (a_{nj,j} - K_j A_{pi}) = C_j \quad (4)$$

где $C_j = \sum_{i=1}^m X_i P_i (a_{ij} - K_j A_{pi})$ - расчетная величина;
 $K_j = \frac{\sum_{i=1}^m X_i P_i a_{ij}}{A_{pi} \sum_{i=1}^m X_i P_i}$ - условный коэффициент биологической ценности комбинированного мясоспродукта по отношению к j -ой незаменимой аминокислоте "идеального" белка (Задаваемая величина $K_j \leq 1$).

Наиболее удобной с вычислительной точки зрения представляется ситуация когда $n-m$ ингредиентов, содержание которых в рецептуре оптимизируется, равно числу e лимитирующих аминокислот, для которых задаются условные коэффициенты биологической ценности, являющиеся по существу количественными выражениями целевых функций типа (2). Если при этом значения задаваемых величин таковы, что система (4) совместна, то ее решение может быть найдено путем исключения неизвестных методом Гаусса. В случае же когда $n-m < e \leq 3$ легко может быть применено правило Крамера. Проиллюстрируем изложенный выше материал на следующих примерах.

Пример 1. В состав фарша комбинированного мясоспродукта - аналога вареной колбасы входят следующие белково-содержащие ингредиенты:
 - односортная говядина: $X_1 = 0,3$; $P_1 = 19$; $a_{1,1} = 3,8$; $a_{1,2} = 5,7$ (х)
 - односортная мясная свинина: $X_2 = 0,4$; $P_2 = 14$; $a_{2,1} = 3,7$; $a_{2,2} = 5,8$
 - гидратированный соевый изолят: $X_3 = ?$; $P_3 = 18$; $a_{3,1} = 2,6$; $a_{3,2} = 4,3$
 - гидратированный молочный белок: $X_4 = ?$; $P_4 = 19$; $a_{4,1} = 3,3$; $a_{4,2} = 7,2$
 Оптимизацию состава комбинированного фарша - аналога колбасного проводим по содержанию метионина-цистина и валина, при этом принимаем $K_{1,1} = 1$, $K_{1,2} = 1,1$. При таких параметрах исходного сырья система примет следующий вид:

$$X_3 \cdot 18(2,6 - 3,5) + X_4 \cdot 19(3,3 - 3,5) = -(0,3 \cdot 19(3,8 - 3,5) + 0,4 \cdot 14(5,7 - 3,5)) = 16,2 X_3 + 3,8 X_4 = 2,83$$

$$X_3 \cdot 18(4,3 - 1,1 \cdot 5,0) + X_4 \cdot 19(7,2 - 1,1 \cdot 5,0) = -(0,3 \cdot 19(5,7 - 1,1 \cdot 5,0) + 0,4 \cdot 14(5,8 - 1,1 \cdot 5,0)) = 2,16 X_3 - 2,3 X_4 = 2,82$$

х) размерности характеризующих их параметров такие же как и в формулах (1) и (2)
 хх) вместо индекса j при символах a_{ij} и K_j ставится общепринятое обозначение лимитирующей незаменимой аминокислоты

Выполнив простые арифметические расчеты имеем: $\Delta = -605,340$; $\Delta X_3 = -152,82$ откуда, на основании правила Крамера $X_3 = 0,025$. Таким образом количества всех белково-содержащих ингредиентов, обеспечивающие заданный уровень двух лимитирующих незаменимых аминокислот - метионина-цистина и валина в белке комбинированного аналога вареной колбасы найдены. Путем довольно несложных алгебраических выкладок можно рассчитать количество воды и жиродержащего сырья, которые нужно ввести в состав фарша, чтобы общее содержание в нем белка и жира составляло, например, 10% и 20% от его массы. Эти количества следующие: жиросодержащего сырья (хх) $X_{mc} = 0,143$, воды $X_{w} = 0,494$.

Пример 2. В состав комбинированного мясоспродукта нового вида входят пять белково-содержащих ингредиентов:

- односортная говядина I категории: $X_1 = 0,4$; $P_1 = 20$; $a_{1,1} = 4,7$; $a_{1,2} = 3,9$; $a_{1,3} = 5,4$
 - односортная мясная свинина: $X_2 = 0,3$; $P_2 = 15$; $a_{2,1} = 4,9$; $a_{2,2} = 3,7$; $a_{2,3} = 5,3$
 - гидратированный казеинат: $X_3 = ?$; $P_3 = 20$; $a_{3,1} = 6,0$; $a_{3,2} = 3,1$; $a_{3,3} = 6,3$
 - гидратированный соевый изолят: $X_4 = ?$; $P_4 = 20$; $a_{4,1} = 4,8$; $a_{4,2} = 2,6$; $a_{4,3} = 4,6$
 - плазма крови к.р.с.: $X_5 = ?$; $P_5 = 7$; $a_{5,1} = 3,3$; $a_{5,2} = 2,5$; $a_{5,3} = 4,4$

Оптимизацию состава проводим по содержанию трех аминокислот, являющихся лимитирующими для немясных белково-содержащих ингредиентов данной композиции. Коэффициенты K_j условной биологической ценности данного комбинированного мясоспродукта принимаем равными:

$$K_{1,1} = 1,2 \quad ; \quad K_{1,2} = 1 \quad ; \quad K_{1,3} = 1,05$$

После подстановки конкретных значений приведенных выше параметров в систему (4) и соответствующих вычислений она примет следующий вид:

$$\begin{cases} -8 X_3 - 18 X_4 - 7 X_5 = -4,1 \\ 24 X_3 + 2 X_4 - 4,9 X_5 = 0,35 \\ 21 X_3 - 15 X_4 - 8,75 X_5 = -3,025 \end{cases}$$

Вычислив определители системы $\Delta 161,42$; $\Delta 45,57$; $\Delta X_5 = 263,62$ $\Delta X_4 = 215,5$ и применив правило Крамера, получаем $X_3 = 0,028$; $X_4 = 0,163$; $X_5 = 0,134$. Подбираем комбинированного мясоспродукта такого состава содержит (хх) 17,27% - белка, 13,66% - жира и 66,51% влаги.

х) в соответствии с формулой ФАО/ВОЗ метионин и цистин взяты в сумме

хх) при расчетах содержание жира в говядине I категории принято равным 12%, в свинине мясной - 33%, во вносимом жиродержащем сырье - 92%. Результаты всех вычислений округлены с точностью до 10-3

ххх) содержание жира в говядине - 11%, в свинине - 32%

ВЫВОДЫ

Таким образом изложенная выше методика позволяет:

- по заданному набору и содержанию в композиции белковосодержащего сырья моделировать аминокислотный состав белков многокомпонентного комбинированного мясопродукта;
- по заданному набору белковосодержащего сырья и значениям условных коэффициентов аминокислотного сгорания комбинированного мясопродукта рассчитывать обеспечивающие их содержания каждого ингредиента, входящего в рецептуру.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воякин И.П. Разработка технологии приготовления фарша вареных колбас заданного химического состава. - Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 1981, 27с.
2. Салаватуллина Р.М., Алиев С.А. Принципы составления рецептур модельных фаршей с применением методов математического планирования эксперимента. - Мясная индустрия СССР, 1981, №11.
3. Салаватуллина Р.М., Любченко В.И., Горошко Г.П., Печникова А.Н. Влияние изолированного соевого белка на азотсодержащие вещества при производстве колбас. - Мясная индустрия СССР, 1983, №2.
4. Салаватуллина Р.М., Горбатов В.М., Алиев С.А. Влияние молочнокислых концентратов на качество и выхода вареных колбас. - Мясная индустрия СССР, 1983, № 3.
5. Куроп А.Г. Курс высшей алгебры. - Государственное издание физико-математической литературы. М., 1962, 431с.