

营养调和油复配优选模型的建立及应用

宋 阳, 顾佳莹, 李宗达, 朱 珠, 胡子竟, 郭怡雯, 常 明, 黄健花, 刘睿杰

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要:为解决慢性疾病人群适宜摄入脂肪酸比例要求特殊的问题,采用气相色谱法和液质联用法分析结合查阅文献构建17种原料油脂脂肪酸组成、MCT含量及价格信息数据库,总结某种慢性疾病患者营养要求,建立了一种简便实用的营养调和油数学模型,并基于MATLAB软件开发易于掌握的求解及评价方法。结果表明:通过运行该程序得到40种符合条件的适宜某种慢性疾病患者食用的营养调和油配方;通过排序优选出10种营养调和油配方。该模型设计合理,可快速准确地计算出各原料油的比例并对配方综合打分评价,实现多种营养调和油配方的生成和排序。

关键词:调和油;数学模型;脂肪酸组成;慢性疾病;计算机软件

中图分类号:TS225;TQ645 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)01-0094-04

Establishment and application of mathematical model for optimizing nutritional blend oil

SONG Yang, GU Jiaying, LI Zongda, ZHU Zhu, HU Zijing, GUO Yiwen, CHANG Ming, HUANG Jianhua, LIU Ruijie

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

Abstract: In order to solve the problem of suitable fatty acid intake proportion for chronic patients, a database of fatty acid composition, MCT content and price of 17 kinds of raw oil was established by gas chromatography analysis, LC-MS analysis combined with literature review. The nutritional requirements of patients with certain chronic diseases were summarized, then a simple and practical mathematical model of nutritional blend oil was established, and an easy to master solution and evaluation method was developed based on MATLAB software. The results showed that by running the program, 40 kinds of nutritional blend oil formulas suitable for patients with certain chronic diseases were obtained and 10 kinds of nutritional blend oil formulas were optimized by sequencing. The model is reasonably designed, which can quickly and accurately calculate the proportion of each raw oil and comprehensively score, then evaluate the formulas, so as to realize the generation and sequencing of the formulas of a variety of nutritional blend oils.

Key words: blend oil; mathematical model; fatty acid composition; chronic disease; computer software

脂肪是人类所需三大营养素之一,在调节人体生理功能和维持正常代谢等方面起着十分重要的作用。脂肪的摄入量和脂肪酸的摄入比例在很大程度上

上会影响人体健康,控制不当则会引起人体代谢紊乱,对身体健康产生负面影响,例如引发心血管疾病、肥胖症等^[1-5]。因此,科学合理地控制脂肪的摄入量以及脂肪酸摄入比例具有重要的意义,尤其是对于患有慢性疾病的人群而言。

调和油是指按照一定营养要求,将两种以上原料油以科学比例调配得到的食用油产品。然而,不同的原料油中甘油三酯、脂肪酸的种类和含量有较大差异,而广大消费者由于缺乏相关营养学专业知

收稿日期:2021-09-08;修回日期:2022-07-03

基金项目:江南大学大学生创新训练计划资助(2020169Y)

作者简介:宋 阳(1999),女,在读本科,专业为食品科学与工程(E-mail) songyang0991@163.com。

通信作者:刘睿杰,教授(E-mail) liuruijie163@163.com。

识,不能正确选择。此外,在已经公开的针对慢性疾病人群的特殊食品中,对脂肪的组成和比例的设计也较为简单。如何设计出一种科学、简便和实用的方法,用于复配并优选满足慢性病患者日常膳食摄入要求的营养调和油,是目前有待解决的问题。目前关于调和油模型的研究较少,且主要集中在复配模型方面,未见优选模型研究。

本文根据前期市场调研,对比市售大宗食用油,从营养价值、市场接受度和价格3个方面考虑,根据原料油的脂肪酸组成和中链甘油三酯(MCT)含量建立原料油营养信息数据库,以某慢性疾病为例,参考《中国居民膳食营养素参考摄入量》等指南推荐值建立功能性调和油的线性规划问题的数学模型,利用MATLAB软件计算获得调和油配方,并从营养、稳定性和价格3个方面进行打分排序,以期慢性病患者适用营养调和油的设计和开发提供有效解决方案。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

一级压榨牡丹籽油,晨光生物科技集团股份有限公司;一级大豆油,浙江益海嘉里食品工业有限公司;一级浸出小麦胚芽油,河北家丰植物油有限公司;一级压榨红花籽油,中粮东海粮油工业(张家港)有限公司;一级浸出米糠油,浙江得乐康食品股份有限公司;鱼油、菜籽油,青岛海智源生命科技有限公司。

正己烷、甲醇,色谱纯,北京百灵威科技有限公司;氢氧化钾、无水硫酸钠,分析纯,上海国药集团化学试剂有限公司;37种脂肪酸混标,美国Sigma公司;甘油三酯标准品(纯度>95%),Larodan Fine Chemicals AB, Malmö, Sweden。

1.1.2 仪器与设备

EL3002电子分析天平,上海梅特勒-托利多仪器有限公司;XW-80A旋涡混合器,江苏海门其林贝尔仪器制造有限公司;GC7280A气相色谱仪、Acquity超高效液相色谱仪、Synapt Q-TOF-MS质谱仪,美国沃特世公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原料油营养信息数据库的建立

依据原料油的脂肪酸组成及MCT含量,构建原料油营养信息数据库。

脂肪酸组成测定:准确称取0.05g油样溶于2mL正己烷,加入500μL 2mol/L的氢氧化钾-甲醇溶液,旋涡振荡混匀,离心,取上层有机相,加入适量无水硫酸钠,过膜后进行气相色谱检测。气相色谱条件参考文献[6]。

MCT含量测定:准确称取0.05g油样溶于3mL正己烷,旋涡振荡混匀,过膜后进行液质联用检测。液质联用条件参考文献[7]。

1.2.2 营养调和油配方设计

1.2.2.1 调配原则

根据文献[8-13],得到某种慢性病患者适用营养调和油推荐范围,见表1。

表1 某种慢性病患者适用营养调和油推荐范围

| 脂肪供能比/% | MCT含量/% | n-6 PUFA:n-3 PUFA | 必需脂肪酸/% | | 功能性脂肪酸(DHA)/% |
|---------|---------|-------------------|---------|-----|---------------|
| | | | 亚油酸 | 亚麻酸 | |
| 20 | 40~70 | 4:1~6:1 | 11~12 | 2~3 | 0.2~0.4 |

1.2.2.2 营养调和油配方数学模型的建立

按式(1)~式(5)建立营养调和油的配方模型。

$$Y_1 = M_1 m_1 + M_2 m_2 + M_3 m_3 + M_4 m_4 + M_5 m_5 \quad (1)$$

$$Y_2 = P_1 m_1 + P_2 m_2 + P_3 m_3 + P_4 m_4 + P_5 m_5 \quad (2)$$

$$Y_3 = Q_1 m_1 + Q_2 m_2 + Q_3 m_3 + Q_4 m_4 + Q_5 m_5 \quad (3)$$

$$Y_4 = K_1 m_1 + K_2 m_2 + K_3 m_3 + K_4 m_4 + K_5 m_5 \quad (4)$$

$$Y_5 = (H_1 m_1 + H_2 m_2 + H_3 m_3 + H_4 m_4 + H_5 m_5) / (h_1 m_1 + h_2 m_2 + h_3 m_3 + h_4 m_4 + h_5 m_5) \quad (5)$$

$$m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 \geq 0 \quad (6)$$

式中: m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 为待定的5种原料油占调和油配方比例; M_1, M_2, M_3, M_4, M_5 为待定的5种原料油中MCT含量; P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 为待定的5种原料油中亚油酸含量; Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 为待定的5

种原料油中亚麻酸含量; K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 为待定的5种原料油中DHA含量; H_1, H_2, H_3, H_4, H_5 为待定的5种原料油中n-6 PUFA含量; h_1, h_2, h_3, h_4, h_5 为待定的5种原料油中n-3 PUFA含量; Y_1 为MCT含量; Y_2 为亚油酸含量; Y_3 为亚麻酸含量; Y_4 为DHA含量; Y_5 为n-6 PUFA:n-3 PUFA。

1.2.2.3 编程求解

根据1.2.1建立的原料油营养信息数据库、1.2.2.1营养调和油推荐范围和1.2.2.2数学模型,通过MATLAB计算筛选符合推荐值范围的调和油配方:分别循环选取所有原料油中的目标种数,再通过循环遍历确定原料油的所有配方比例组合;调用数据,依次计算 $Y_1 \sim Y_5$,并与表1中推荐值范围

进行比较,符合范围条件的解则保存至调和油配方矩阵。

1.2.3 营养调和油配方优选

1.2.3.1 评价指标及权重计算

对 1.2.2.3 得到的调和油配方进行营养、稳定性和价格 3 个方面的评价。3 个评价因素的衡量指标:营养方面,根据《中国居民膳食营养素参考摄入量》推荐饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸与多不饱和脂肪酸的比例为 1:1:1^[8],故将所得配方的饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸方差作为衡量指标;稳定性方面,食用调和油的主要成分是脂肪酸甘油酯,其中一些具有双键的不饱和脂肪酸易与氧气发生氧化反应,研究表明,植物油的氧化与脂肪酸组成有紧密联系,不饱和脂肪酸含量越低越稳定^[15],故将不饱和脂肪酸含量作为衡量指标;价格方面,将市场价格作为衡量指标。

评价因素权重确定:采用调查问卷法。邀请专家学者、消费者和生产厂商填写调查问卷,根据问卷结果计算,得到 3 个评价因素的权重分别为营养

0.315 6、稳定性 0.280 6、价格 0.403 8。

1.2.3.2 营养调和油配方排序

分别计算调和油配方矩阵中所有配方对应评价因素衡量指标值的平均值,再对调和油配方各评价因素打分,打分为其衡量指标值与平均值比值的倒数。按式(7)建立营养调和油配方排序模型。

$$Y = W_1 M_1 / m_1 + W_2 M_2 / m_2 + W_3 M_3 / m_3 \quad (7)$$

式中: W_1 、 W_2 、 W_3 为不同评价因素的权重; m_1 、 m_2 、 m_3 为调和油配方对应评价因素衡量指标值; M_1 、 M_2 、 M_3 为调和油配方矩阵中所有配方对应评价因素衡量指标平均值; Y 为最终得分。

1.2.3.3 排序

采用 1.2.3.2 的数学模型对 1.2.2.3 得到的调和油配方解进行排序,按总分降序输出,保存至排序解矩阵。

2 结果与讨论

2.1 原料油营养及价格信息数据库

17 种原料油脂肪酸组成及含量、MCT 含量、价格信息数据库见表 2。

表 2 17 种原料油营养及价格信息数据库

| 原料油 | 含量/% | | | | | | | | | 价格/ (元/kg) |
|-------|-------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| | MCT | n-6PUFA | n-3PUFA | 亚油酸 | 亚麻酸 | DHA | SFA | MUFA | PUFA | |
| 椰子油 | 48.73 | 1.86 | 0.00 | 1.86 | 0.00 | 0.00 | 90.75 | 7.39 | 1.86 | 8.94 |
| 棕榈油 | 0.00 | 10.09 | 0.20 | 9.96 | 0.33 | 0.00 | 50.10 | 39.61 | 10.29 | 8.01 |
| 橄榄油 | 0.00 | 4.75 | 0.64 | 4.51 | 0.88 | 0.00 | 14.80 | 79.68 | 5.39 | 11.00 |
| 油茶籽油 | 0.00 | 10.62 | 0.17 | 10.06 | 0.73 | 0.00 | 10.93 | 78.09 | 10.79 | 60.00 |
| 牡丹籽油 | 0.00 | 30.75 | 38.01 | 30.54 | 38.22 | 0.00 | 8.69 | 22.55 | 68.76 | 272.13 |
| 菜籽油 | 0.00 | 21.35 | 7.68 | 20.11 | 8.92 | 0.00 | 7.96 | 63.01 | 29.03 | 11.27 |
| 大豆油 | 0.00 | 54.63 | 7.79 | 54.46 | 7.96 | 0.00 | 15.08 | 22.49 | 62.42 | 9.43 |
| 小麦胚芽油 | 0.00 | 61.89 | 3.48 | 61.05 | 4.32 | 0.00 | 16.63 | 17.94 | 65.37 | 37.33 |
| 米糠油 | 0.00 | 40.38 | 0.65 | 39.87 | 1.16 | 0.00 | 18.34 | 40.63 | 41.03 | 34.08 |
| 花生油 | 0.00 | 34.31 | 0.14 | 33.24 | 1.21 | 0.00 | 18.23 | 47.26 | 34.45 | 10.60 |
| 亚麻籽油 | 0.00 | 16.41 | 54.30 | 16.23 | 54.48 | 0.00 | 9.53 | 19.74 | 70.71 | 57.42 |
| 芝麻油 | 0.00 | 48.03 | 0.36 | 47.85 | 0.54 | 0.00 | 14.25 | 37.36 | 48.39 | 23.98 |
| 棉籽油 | 0.00 | 56.18 | 0.26 | 55.88 | 0.56 | 0.00 | 25.99 | 17.25 | 56.52 | 15.27 |
| 葡萄籽油 | 0.00 | 62.13 | 0.82 | 61.97 | 0.98 | 0.00 | 13.97 | 22.71 | 62.95 | 128.67 |
| 红花籽油 | 0.00 | 79.42 | 0.27 | 79.25 | 0.44 | 0.00 | 9.22 | 11.08 | 79.69 | 39.20 |
| 鱼油 | 0.00 | 0.00 | 81.99 | 0.00 | 0.00 | 28.80 | 8.35 | 9.66 | 81.99 | 75.67 |
| 鳄梨油 | 0.00 | 9.68 | 0.58 | 9.42 | 0.84 | 0.00 | 13.58 | 76.06 | 10.26 | 252.33 |

注:表中牡丹籽油、菜籽油、大豆油、小麦胚芽油、米糠油、红花籽油、鱼油营养信息数据为按 1.2.1 方法分析所得,椰子油营养信息数据参考文献[14],其余油样营养信息数据参考文献[7]

2.2 配方设计

根据 1.2.2.3 方法通过 MATLAB 运算程序,筛

选出所有符合推荐值范围的调和油配方, MATLAB 配方计算命令窗口截图如图 1 所示。

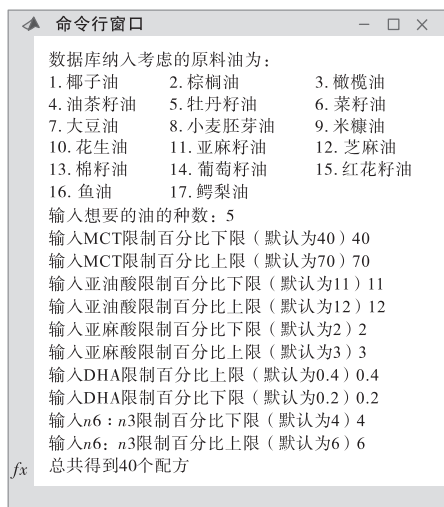


图1 MATLAB 配方计算命令窗口截图

由图1可知,在满足表1推荐范围条件下,共得到40个解,即40种配方。

2.3 分层排序

参照1.2.3.2的数学模型,使用MATLAB对2.2中所得的配方进行分层计算排序,表3为输出得分排序前十的营养调和油配方。由表3可知,排序前十的营养调和油配方均包括椰子油、亚麻籽油、红花籽油和鱼油,个别配方中包括菜籽油、大豆油、花生油、芝麻油或棉籽油。

不同的权重大小可得到不同的最优解排序。实际使用中可参照所建立的模型,根据需要调整价格、营养和稳定性的权重(总和须为1),也可以增添新的评价因素和衡量指标进行配方优选。

表3 排序前十的营养调和油配方

| 序号 | 椰子油 | 菜籽油 | 大豆油 | 花生油 | 亚麻籽油 | 芝麻油 | 棉籽油 | 红花籽油 | 鱼油 | % |
|----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|----|---|
| 1 | 83 | 0 | 5 | 0 | 3 | 0 | 0 | 8 | 1 | |
| 2 | 83 | 0 | 2 | 0 | 4 | 0 | 0 | 10 | 1 | |
| 3 | 83 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 11 | 1 | |
| 4 | 83 | 0 | 1 | 0 | 4 | 0 | 0 | 11 | 1 | |
| 5 | 83 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 0 | 10 | 1 | |
| 6 | 83 | 0 | 0 | 1 | 4 | 0 | 0 | 11 | 1 | |
| 7 | 83 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 3 | 9 | 1 | |
| 8 | 83 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 2 | 10 | 1 | |
| 9 | 83 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 11 | 1 | |
| 10 | 83 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 1 | 11 | 1 | |

3 结论

本文建立了一种营养调和油复配和优选的方法,消费者可根据需求,建立线性规划约束模型,得出多种调和油配方;在此基础上,基于层次分析法对不同调和油配方进行分析和优选。通过该方法得到40种符合某种慢性病患者营养需求的调和油,并优选出10种配方。所建立的营养调和油复配和优选模型操作简单、科学合理,具有较强的针对性、实用性和普适性。所得调和油营养丰富,功能性强,对病人的营养补充和术后恢复有一定的作用,为我国慢性疾病适用营养调和油设计和开发提供了有效解决方案。

参考文献:

- [1] 夏娟,卓勤,何宇纳. 膳食脂肪摄入与慢性病相关性的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2015, 21(11): 64-67.
- [2] 刘吉凯,李晓晖,袁洪,等. 食用植物油中脂肪酸对人体健康影响的研究[J]. 食品工程, 2015(2): 4-5, 22.
- [3] 邓泽元. 我国食用调和油存在的问题和对策探讨[J]. 中国食品学报, 2014, 14(5): 1-12.
- [4] 张飞,柏云爱,鲁海龙. 饱和脂肪酸与健康研究进展[J]. 中国油脂, 2012, 37(4): 29-33.
- [5] CHO Y A, SHIN A, KIM J. Dietary patterns are associated with body mass index in a Korean population[J]. J Am Diet Assoc, 2011, 111(8): 1182-1186.
- [6] 刘慧敏. 不同植物油微量成分与抗氧化能力的相关性研究[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2015.
- [7] 洪颖. 食用油脂甘油三酯组成特征及HPLC测定方法研究[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2015.
- [8] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000.
- [9] 食品安全国家标准 特殊医学用途配方食品通则: GB 29922-2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [10] 中国营养学会. 中国居民膳食指南 2016[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2016.
- [11] 炎症性肠病营养支持治疗专家共识(第二版)[J]. 中华炎症肠病杂志, 2018(3): 154-172.
- [12] FORBES A, ESCHER J, HÉBUTERNE X, et al. ESPEN guideline: clinical nutrition in inflammatory bowel disease [J]. Clin Nutr, 2017, 36(2): 321-347.
- [13] 魏翠翠. 国内外肠内营养制剂调查报告[J]. 食品与药品, 2010, 12(7): 270-273.
- [14] 徐文迪, 缪智诚, 王小三, 等. 酶法合成中长碳链甘油三酯[J]. 中国油脂, 2019, 44(8): 51-56.
- [15] FREIRE L M S, FILHO J R C, MOURA C V R, et al. Evaluation of the oxidative stability and flow properties of quaternary mixtures of vegetable oils for biodiesel production[J]. Fuel, 2012, 95: 126-130.