

优化理论在营养配餐问题中的应用

于小雯, 周国艳, 潘秋颖, 吐玛热斯, 杜晓雯, 董丽*

大连民族大学理学院, 辽宁 大连

收稿日期: 2022年5月13日; 录用日期: 2022年6月1日; 发布日期: 2022年6月16日

摘要

营养配餐是一项实践性很强的工作, 与人们的日常饮食息息相关。如何做到营养配餐科学合理, 一直是一个值得思考的问题。针对学龄前儿童、高血压和糖尿病患者的营养配餐问题, 以最大热量和最少花费为目标函数, 以满足各类人群营养摄入热量和各类食物质量为约束, 建立线性规划模型, 借助Lingo软件进行编程求解, 分别给出学龄前儿童、高血压和糖尿病患者的最优营养配餐方案。通过调整此线性规划模型中的参数, 也可以得出其他年龄人们或其他病型患者的饮食方案, 这为营养配餐问题提供了科学依据。

关键词

线性规划, 营养配餐, Lingo软件

Application of Optimization Theory in Nutritional Catering

Xiaowen Yu, Guoyan Zhou, Qiuying Pan, Maresi Tu, Xiaowen Du, Li Dong*

College of Science, Dalian Minzu University, Dalian Liaoning

Received: May 13th, 2022; accepted: Jun. 1st, 2022; published: Jun. 16th, 2022

Abstract

Nutritional catering is a practical work, which is closely related to people's daily diet. How to make nutritional catering scientific and reasonable has always been a problem worth thinking about. Aiming at the problem of nutritional diet for preschool children, patients with hypertension and diabetes, taking the maximum calorie and minimum cost as the objective function, and taking meeting the nutritional intake calories and food quality of all kinds of people as constraints, a linear programming model is established, which is solved by programming with Lingo software,

*通讯作者。

and the optimal nutritional diet schemes for preschool children, patients with hypertension and diabetes are given respectively. By adjusting the parameters in this linear programming model, we can also get the diet plan of people of other ages or patients with other disease types, which provides a scientific basis for the problem of nutritional diet.

Keywords

Linear Programming, Nutritional Catering, Lingo Software

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着生活水平的提高, 如何做到营养配餐科学合理的问题引起了人们广泛地关注。在我国, 学龄前儿童一般指 3 到 6 周岁处于学龄前期的儿童, 由于饮食不好, 会出现营养摄入不足、生长发育迟缓现象和过分摄入高热能糖类食品导致龋齿和体重超标的现象。而在中老年人中, 患有高血压、糖尿病的人数也在持续增加, 据调查显示, 70%~80% 的高血压发生与不健康的生活方式有关, 长期大量吃含糖量高的食物、运动量过少、肥胖等是引起糖尿病的重要因素[1]。因此, 平衡膳食、合理营养是最根本的解决办法, 营养配餐是实现平衡膳食的重要举措。所谓营养配餐, 是按照人们身体的需要, 根据食物中各种营养物质的含量, 设计一天、一周或一个月的食谱, 使得人体摄入的蛋白质、脂肪、糖类等几大营养素比例合理, 即达到平衡膳食。本文将根据学龄前儿童、糖尿病患者、高血压患者对各大营养素的不同需求以及不同食物所含营养素的情况, 参考相关资料, 进行合理配餐, 最终给出适合以上不同患者的营养膳食食谱。

2. 研究方法

2.1. 配餐设计方法

目前对于营养配餐设计的方法主要有: 算法、食品交换法、平衡膳食宝塔法以及计算机软件法等。每种配餐方法都有各自的特点, 算法的精确度较高但设计步骤较为复杂费时, 多用于为个体进行营养配餐设计; 食品交换法相对简单实用, 但数据往往不够精确, 与研究对象实际需要存在一定的差距, 需要较多的专业性知识来辅助才能灵活运用; 平衡膳食宝塔法相对更为简洁, 但受众多现实因素的影响往往达不到理想模式; 计算机软件法则是需要利用计算机软件对研究对象进行营养配餐的设计, 相对准确性更高, 更为灵活, 但计算机软件设计法必须依赖于算法这个基础, 并且受一定硬件条件的限制[2]。

本文主要采用了算法对三类研究对象所需的热量进行计算, 得到配餐时各营养成分的需求量; 再根据平衡宝塔膳食法对研究对象的营养摄入量 and 摄入种类进行约束, 使研究对象所摄入的营养处于合理范围, 再使用食品交换法将食品进行分类, 确定每份食物的能量单位, 计算出每份各类食物的质量以及每份提供的热量, 最后根据不同研究对象的需求计算出食品交换量。

2.2. 配餐设计

对于不同患者而言, 其摄入的营养成分有比较严格的要求。既要满足所需的营养, 又要保证某些成

分含量不能超标，因此配餐时各部分量的计算根据为：

$$W = (\text{身高} - 105)(\text{kg})(\text{成年人})$$

成年人中轻体力劳动者所需热量为：

$$Q = W \times 30 \times 4.184$$

14 岁以下儿童所需热量为：

$$Q = (\text{年龄} \times 100 + 1000) \times 4.184$$

各营养成分的需求量是：

蛋白质： $(Q \times \text{蛋白质含量所占比}) \div 4(\text{g})$ ；

脂肪： $(Q \times \text{脂肪含量所占比}) \div 9(\text{g})$ ；

碳水化合物： $(Q \times \text{碳水化合物含量所占比}) \div 4(\text{g})$ ；

假设成年男性身高为 167 cm，求得 $Q = 7782.24 \text{ J}$ ；

假设成年女性身高为 160.6 cm，求得 $Q = 6978.91 \text{ J}$ ；

假设学龄前儿童年龄为 5 岁，求得 $Q = 6276 \text{ J}$ 。

2.3. 数学模型的建立

设患者所需热量为 Q (kJ)，则热量分别由脂肪、蛋白质、碳水化合物三部分提供。分别占热量的比例为 b_1, b_2, b_3 而一单位脂肪、蛋白质[3]。碳水化合物提供的热量分别是 Q_{zf}, Q_{dbz}, Q_{tsw} ，因而所需向应得营养成分为：

脂肪： $Zf = Q \cdot b_1 / Q_{zf}$ ；

蛋白质： $dbz = Q \cdot b_2 / Q_{dbz}$ ；

碳水化合物： $tsw = Q \cdot b_3 / Q_{tsw}$ 。

上述公式构成了患者对热量及营养成分所需的关系描述。其中营养成分是通过食物获取的，而食物中各种营养成分是混杂在一起的，无法单独向患者提供[3]。设共有 n 种食物，它们的各种营养成分含量为 $(zfi, dbzi, tswi, i = 1, 2, \dots, n)$ 因而提供的热量为：

$$Q_i = zfi \cdot Q_{zf} + dbzi \cdot Q_{dbz} + tswi \cdot Q_{tsw}, i = 1, 2, \dots, n$$

设每种食物用量为 $X_i, i = 1, 2, \dots, n$ ，则有相应的热量 Q 满足式：

$$\sum_{i=1}^n X_i \cdot Q_i = Q$$

设每种食物的价格为 $a_i, i = 1, 2, \dots, n$ ，则有相应的花费 R 为：

$$\sum_{i=1}^n X_i \cdot a_i = R$$

因为想要取得最优值，我们需要使热量达到最大，花费达到最小，所以将热量值取负并于花费值结合，从而得到目标函数为：

$$\min = \sum_{i=1}^n X_i \cdot a_i - \sum_{i=1}^n X_i \cdot Q_i$$

同时需要使食物所产生的热量满足患者所需的热量，故得到一个约束条件为：

$$\sum_{i=1}^n X_i \cdot zfi \leq zf$$

$$\sum_{i=1}^n X_i \cdot dbzi \leq dbz$$

$$\sum_{i=1}^n X_i \cdot tswi \leq tsw$$

为了保证所搭配食物用量合理，通常可限制各种食物的最低和最高用量。这个数值主要是为了避免某种食物用量过高或过低而设置的。其限制可根据食物类型事先设置好[3]。于是有如下约束条件：

$$0 \leq X_{\min} \leq X_i \leq X_{\max} (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

满足以上不等式的任意一个解都可以作为配餐的结果。如果无解，说明食物营养结构不合理，需要重新选择食物。

3. 数学模型的求解

针对不同的患者我们分别根据他们的身体情况查找出适合他们食用的食材并进行分类研究。

1) 学龄前儿童所用食材分类如表 1 所示：

Table 1. Classification of food materials used by preschool children

表 1. 学龄前儿童所用食材分类

分类	名称		蛋白质 (g)/100g	脂肪 (g)/100g	碳水化合物 (g)/100g	价格/元 每斤	能量 /kcal	焦耳/kJ
油、盐	植物油	X11	0	92	0	9	826	3468.4
	盐	X12	0	0	0	6.6	0	0
牛奶、大豆坚果	核桃	X21	13.8	59	10	8.74	626.2	2621.76
	牛奶	X22	3.2	3.4	4.1	2.5	59.8	250.09
	豆浆	X23	2.67	1.26	2.98	2.5	31	141.857
	豆腐	X24	8.1	3.7	4.2	3.5	84	344.9
畜禽鱼类、鱼虾类、蛋类	鲫鱼	X31	13	1.1	0.1	30	62.3	260.24
	虾	X32	16.4	1.3	0.1	21.43	77.8	324.56
	纯瘦鸡肉	X33	22.3	2.3	0.3	20	111.1	464.13
	鸡蛋	X34	13.3	8.8	2.8	7.15	144	600.63
蔬菜类、水果类	葡萄	X41	0.6	0.5	10.9	4.37	50.5	210.9
	胡萝卜	X42	0.7	0.3	8.3	0.52	38.7	161.61
	菠菜	X43	2.1	0.2	2.8	0.78	21	89.37
	香蕉	X44	1.3	0.2	23	2.67	99	413.35
	西瓜	X45	1.3	0.2	4.2	1.3	22	99.39
	苹果	X46	0.4	0.5	14.8	4	65.3	272.69

Continued

	面包片	X51	8.3	5.1	58.1	8	253.8	1301.15
	小米	X52	9.7	3.5	76	6.81	374	1563.14
	馒头	X53	7	1.1	47	11.56	223	943.27
谷类及 杂粮	面条	X54	8.9	0.6	8.9	6.32	107	319.88
	红薯	X55	1.8	0.2	29.5	1.71	127	530.25
	米饭	X56	2.6	0.33	25.86	2.7	116	487.723
	土豆	X57	3.3	0.1	16.4	0.75	79.7	332.76
	红枣	X58	2.45	0.4	28	25	125.5	523.595

2) 糖尿病患者所用食材分类如表 2 所示:

Table 2. Classification of food materials used by diabetic patients

表 2. 糖尿病患者所用食材分类

分类	名称		含蛋白质 (g)/100g	含脂肪 (g)/100g	含碳水化合物 (g)/100g	价格/元 每斤	能量 /kcal	焦耳/kJ
油、盐	植物油	X11	0	92	0	9	826	3468.4
	盐	X12	0	0	0	6.6	0	0
牛奶、 大豆坚 果	核桃	X21	13.8	59	10	8.74	626.2	2621.76
	驼奶	X22	12	6	68	100	646	1562.2
	腐竹	X23	44.6	21.7	8.1	16	161.7	1698.18
	豆干	X24	14.7	9.3	5.3	9.64	197	684.61
畜禽鱼 类、鱼虾 类、蛋类	鱼	X31	13	1.1	0.1	30	62.3	260.24
	虾	X32	16.4	1.3	0.1	21.43	77.8	324.56
	瘦肉	X33	22.3	2.3	0.3	20	111.1	464.13
	鸡蛋	X34	13.3	8.8	2.8	7.15	144	600.63
蔬菜 类、水 果类	猕猴桃	X41	0.9	1.5	13	6.33	69.1	288.68
	青椒	X42	2.2	0.4	4.3	2.07	29.6	123.63
	梨	X43	0.1	0.1	14.2	1.67	58	242.58
	洋葱	X44	1.8	0	8	0.6	39	163.66
	山药	X45	1.7	0	14.4	3.95	64.4	268.87
	胡萝卜	X46	0.7	0.3	8.3	0.8	38.7	161.61
谷类及 杂粮	小米	X51	9.7	3.5	76	6.81	374	1563.14
	馒头	X52	7	1.1	47	11.56	150	943.27
	红豆	X53	20.20	0.6	63.4	7.91	324	1418.74
	土豆	X54	3.3	0.1	16.4	0.75	79.7	332.76
	窝窝头	X55	6.19	3.26	44.78	18.9	230	974.101
	黑豆	X56	36	15.9	33.6	5.92	199.7	1761.75
	绿豆	X57	22	0.7	58.9	5.58	329.9	1377.42
	米饭	X58	2.6	0.33	25.86	2.7	116	487.723
	玉米	X59	8.5	4.3	72.2	1.08	136	1509.8
	燕麦	X60	14.2	6.4	61.8	4.14	361.6	1510.48

3) 高血压患者所用食材分类如表 3 所示:

Table 3. Classification of food materials used by patients with hypertension

表 3. 高血压患者所用食材分类

分类	名称		含蛋白质 (g)/100g	含脂肪 (g)/100g	含碳水化合物 (g)/100g	价格 (元/每斤)	热量/kcal	焦耳/kJ
油、盐	植物油	X11	0	92	0	9	828	3468.4
	盐	X12	0	0	0	6.6	0	0
牛奶、大豆坚果	核桃	X21	13.8	59	0.8	8.74	589.4	2468.12
	脱脂牛奶	X22	3.4	0.2	4.4	2.5	33	137.8
	大豆	X23	36.6	13.4	25	2.95	367	1533.9
畜禽鱼类、鱼虾类、蛋类	鱼	X31	17	5	0	30	113	472.4
	青虾	X32	19.1	1	3	21.43	97.4	406.77
	瘦肉	X33	14.6	30.8	1.1	20	340	1423.35
	鸡蛋	X34	13.3	8.8	2.8	7.15	143.6	600.63
蔬菜类、水果类	黑木耳	X41	10.4	0.18	65.6	76	305.62	1275.986
	青椒	X42	1.4	0.15	5.4	2.07	28.55	119.215
	苹果	X43	0.4	0.5	13.6	4	60.5	252.65
	橘子	X44	1	0.3	10.2	5	47.5	198.35
	梨	X45	0.1	0.1	20.2	1.67	82.1	342.78
	洋葱	X46	1.1	0.2	9	0.6	42.2	176.21
	西红柿	X47	0.75	0.35	4	1.68	22.15	92.52
谷类及杂粮	小米	X51	9.7	3.5	75.1	6.81	370.7	1548.11
	馒头	X52	7	1.1	47	11.56	225.9	943.27
	红豆	X53	20.20	0.6	63.4	7.91	339.8	1418.74
	土豆	X54	3.3	0.1	14.2	0.75	70.9	296.02
	窝窝头	X55	6.19	3.26	44.78	18.9	233.22	974.101
	红薯	X56	1.8	0.2	29.5	1.71	127	530.25
	玉米	X57	8.5	1.2	22.8	1.08	136	567.95
	燕麦	X58	14.2	6.4	61.6	4.14	360.8	1507.14

糖尿病患者、学龄前儿童、高血压患者三大营养素所占比如表 4 所示:

Table 4. The proportion of the three nutrients in diabetic patients, preschool children and hypertension patients

表 4. 糖尿病患者、学龄前儿童、高血压患者三大营养素所占比

	蛋白质	脂肪	碳水化合物
糖尿病患者	20	25	55
学龄前儿童	15	30	55
高血压患者	15	20	65

将所求得营养素热量转化为质量, 计算结果如表 5:

Table 5. Nutrient calories translate into quality results
表 5. 营养素热量转化为质量结果

	学龄前儿童	糖尿病男患者	糖尿病女患者	高血压男患者	高血压女患者
蛋白质(g)	56.25	93.00	83.4	67.75	57.38
脂肪(g)	50	51.67	104.25	41.33	34.00
碳水化合物(g)	206.25	255.75	229.35	302.25	248.63

3.1. 学龄前儿童营养配餐问题的模型建立与求解

根据学龄前儿童对脂肪、蛋白质、碳水化合物三大营养素的需求以及不同食物所含营养素的情况确定出可行的食物分别为：植物油、盐、核桃、牛奶、豆浆、豆腐、鲫鱼、虾、纯瘦鸡、鸡蛋、葡萄、胡萝卜、菠菜、香蕉、西瓜、苹果、面包片、小米、馒头、面条、红薯、米饭、土豆、红枣。为取得最优值，我们需要使热量达到最大，花费达到最小，所以将热量值取负并于花费值结合，确定目标函数，同时需要使食物所产生的热量满足学龄前儿童所需的热量，为了保证所搭配食物用量合理，通常可限制各种食物的最低和最高用量，得到约束条件，所建：

$$\begin{aligned}
 & \min (9X_{11} + 6.6X_{12} + 8.74X_{21} + 2.5X_{22} + 2.59X_{23} + 30X_{31} + 21.43X_{32} + 20X_{33} + 7.15X_{34} \\
 & + 76X_{41} + 2.07X_{42} + 4X_{43} + 5X_{44} + 1.67X_{45} + 0.6X_{46} + 1.68X_{47} + 6.18X_{51} + 11.56X_{52} + 7.9X_{53} \\
 & + 0.75X_{54} + 18.9X_{55} + 1.71X_{56} + 1.08X_{57} + 4.14X_{58})/500 - (3468.4X_{11} + 2468.12X_{21} + 137.8X_{22} \\
 & + 1533.9X_{23} + 472.4X_{31} + 406.77X_{32} + 1243.35X_{33} + 600.63X_{34} + 1275.985X_{41} + 119.215X_{42} \\
 & + 252.65X_{43} + 198.35X_{44} + 342.78X_{45} + 176.21X_{46} + 92.52X_{47} + 1548.11X_{51} + 943.27X_{52} \\
 & + 1418.74X_{53} + 296.02X_{54} + 974.101X_{55} + 530.25X_{56} + 567.95X_{57} + 1507.14X_{58})/100 \\
 & \text{s.t.} \\
 & (13.8X_{21} + 3.4X_{22} + 36.6X_{23} + 17X_{31} + 19.1X_{32} + 14.6X_{33} + 13.3X_{34} + 10.4X_{41} + 1.4X_{42} + 0.4X_{43} \\
 & + X_{44} + 0.1X_{45} + 1.1X_{46} + 0.75X_{47} + 9.7X_{51} + 7X_{52} + 20.2X_{53} + 3.3X_{54} + 6.19X_{55} + 1.8X_{56} \\
 & + 8.5X_{57} + 14.2X_{58})/100 \leq 56.25 \\
 & 92X_{11} + 59X_{21} + 0.2X_{22} + 1.26X_{23} + 1.1X_{31} + 1.3X_{32} + 2.3X_{33} + 8.8X_{34} + 0.5X_{41} + 0.3X_{42} \\
 & + 0.2X_{43} + 0.2X_{44} + 0.2X_{45} + 0.5X_{46} + 5.1X_{51} + 3.5X_{52} + 1.1X_{53} + 0.6X_{54} + 0.2X_{55} + 0.33X_{56} \\
 & + 0.1X_{57} + 0.4X_{58})/100 \leq 50 \\
 & 10X_{21} + 4.1X_{22} + 2.98X_{23} + 4.2X_{24} + 0.1X_{31} + 0.1X_{32} + 0.3X_{33} + 2.8X_{34} + 10.9X_{41} + 8.3X_{42} \\
 & + 2.8X_{43} + 23X_{44} + 4.2X_{45} + 14.8X_{46} + 58.1X_{51} + 76X_{52} + 47X_{53} + 8.9X_{54} + 29.5X_{55} \\
 & + 25.86X_{56} + 16.4X_{57} + 28X_{58})/100 \leq 206.25 \\
 & X_{11} > 0 \\
 & X_{11} < 3(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373 \\
 & X_{12} > 20(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373 \\
 & X_{12} < 25(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373 \\
 & X_{22} > 350(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373 \\
 & X_{22} < 500(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373 \\
 & X_{21} + X_{23} + X_{24} > 10(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373 \\
 & X_{21} + X_{23} + X_{24} < 20(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373 \\
 & X_{34} = 50(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& X_{31} + X_{32} + X_{33} > 50(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373 \\
& X_{31} + X_{32} + X_{33} < 75(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373 \\
& X_{42} + X_{43} > 150(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373 \\
& X_{42} + X_{43} < 300(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373 \\
& X_{41} + X_{44} + X_{46} + X_{46} > 150(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373 \\
& X_{41} + X_{44} + X_{46} + X_{46} < 250(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373 \\
& X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} + X_{57} + X_{58} > 100(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373 \\
& X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} + X_{57} + X_{58} < 150(56.26 + 50 + 206.35)4.4/1373
\end{aligned}$$

运用 Lingo 软件对上面的线性规划模型进行求解，求得学龄前儿童每日营养配餐方案如表 6:

Table 6. Daily nutritional feeding program for preschool children
表 6. 学龄前儿童每日营养配餐方案

食物名称	食物用量/g	食物名称	食物用量/g	食物名称	食物用量/g	食物名称	食物用量/g
植物油	3 g	鲫鱼	0 g	菠菜	0 g	馒头	0 g
盐	20.03 g	虾	50.07 g	香蕉	250.37 g	面条	0 g
核桃	20.03 g	纯瘦鸡肉	50.07 g	西瓜	0 g	红薯	0 g
牛奶	350.52 g	鸡蛋	0 g	苹果	3000.7 g	米饭	0 g
豆浆	0 g	葡萄	0 g	面包片	0 g	土豆	0 g
豆腐	0 g	胡萝卜	300.45 g	小米	150.22 g	红枣	0 g

根据得出的最优值，我们计算出学龄前儿童每日需要花费 21.91 元，可获取 7815.51 J 的热量，由于前面提到满足一个 5 岁学龄前儿童的热量至少为 6276 J， $7815.51 \text{ J} > 6276 \text{ J}$ ，根据资料得知，学龄前儿童碳水化合物摄入过多容易导致肥胖症，皮下脂肪多，血糖升高，甚至诱发糖尿病，或者是冠心病，这些都会危害健康的，因此不要过多的摄入碳水化合物的食物，要合理膳食，应该控制碳水化合物的摄入，每日最大摄入量为 206.25 g，而本设计方案中学龄前儿童每日摄取的碳水化合物小于 206.25 g，因此可以认为该方案合理。

3.2. 糖尿病患者营养配餐问题的模型建立与求解

根据糖尿病患者对脂肪、蛋白质、碳水化合物三大营养素的需求以及不同食

物所含营养素的情况确定出可行的食物分别为：植物油、盐、核桃、驼奶、腐竹、豆干、鱼、虾、纯肉、猕猴桃、青椒、梨、洋葱、山药、胡萝卜、小米、馒头、红豆、土豆窝窝头、黑豆、绿豆、米饭、玉米、燕麦。为取得最优值，我们需要使热量达到最大，花费达到最小，所以将热量值取负并于花费值结合，确定目标函数，同时需要使食物所产生的热量满足女糖尿病患者所需的热量，为了保证所搭配食物用量合理，通常可限制各种食物的最低和最高用量，故得到约束条件，所建：

$$\begin{aligned}
& \min (9X_{11} + 6.6X_{12} + 8.74X_{21} + 100X_{22} + 16X_{23} + 9.64X_{24} + 30X_{31} + 21.43X_{32} + 20X_{33} \\
& + 7.15X_{34} + 6.33X_{41} + 2.07X_{42} + 1.67X_{43} + 0.6X_{44} + 3.95X_{45} + 0.8X_{46} + 6.81X_{51} + 11.56X_{52} \\
& + 7.91X_{53} + 0.75X_{54} + 18.9X_{55} + 5.92X_{56} + 5.58X_{57} + 2.7X_{58} + 1.08X_{59} + 4.14X_{50})/500 \\
& - (3468.4X_{11} + 2621.76X_{21} + 1562.2X_{22} + 1698.18X_{23} + 684.61X_{24} + 260.24X_{31} + 324.56X_{32} \\
& + 464.13X_{33} + 600.63X_{34} + 288.68X_{41} + 1563.14X_{51} + 943.27X_{52} + 1418.74X_{53} + 332.76X_{54}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+974.101X_{55}+1761.75X_{56}+1377.42X_{57}+487.723X_{58}+1509.8X_{59}+1510.48X_{50})/100 \\
 &s.t. \\
 &(13.8X_{21}+12X_{22}+44.6X_{23}+14.7X_{24}+13X_{31}+16.4X_{32}+22.3X_{33}+13.3X_{34}+0.9X_{41} \\
 &+2.2X_{42}+0.1X_{43}+1.8X_{44}+1.7X_{45}+0.7X_{46}+9.7X_{51}+7X_{52}+20.20X_{53}+3.3X_{54} \\
 &+6.19X_{55}+36X_{56}+22X_{57}+2.6X_{58}+8.5X_{59}+14.2X_{50})/100 \leq 85.98 \\
 &92X_{11}+59X_{21}+6X_{22}+21.7X_{23}+1.1X_{31}+1.3X_{32}+2.3X_{33}+8.8X_{34}+1.5X_{41}+0.4X_{42} \\
 &+0.1X_{43}+0.3X_{46}+3.5X_{51}+1.1X_{52}+0.6X_{53}+0.1X_{54}+3.26X_{55}+15.9X_{56}+0.7X_{57} \\
 &+0.33X_{58}+10.3X_{59}+6.4X_{50})/100 \leq 48.46 \\
 &10X_{21}+68X_{22}+8.1X_{23}+5.3X_{24}+0.1X_{31}+0.1X_{32}+0.3X_{33}+2.8X_{34}+13X_{41}+10.3X_{42} \\
 &+14.2X_{43}+8X_{44}+14.4X_{45}+8.3X_{46}+76X_{51}+47X_{52}+63.4X_{53}+16.4X_{54}+44.78X_{55} \\
 &+33.6X_{56}+58.9X_{57}+25.86X_{58}+72.2X_{59}+61.8X_{50})/100 \leq 239.9 \\
 &X_{11} = 6(89.98+48.46+239.9)4.2/1771 \\
 &X_{12} > 25(89.98+48.46+239.9)4.2/1771 \\
 &X_{12} < 30(89.98+48.46+239.9)4.2/1771 \\
 &X_{21} + X_{23} + X_{24} > 25(89.98+48.46+239.9)4.2/1771 \\
 &X_{21} + X_{23} + X_{24} < 35(89.98+48.46+239.9)4.2/1771 \\
 &X_{22} = 300(89.98+48.46+239.9)4.2/1771 \\
 &X_{31} + X_{32} > 40(89.98+48.46+239.9)4.2/1771 \\
 &X_{31} + X_{32} < 75(89.98+48.46+239.9)4.2/1771 \\
 &X_{33} > 40(89.98+48.46+239.9)4.2/1771 \\
 &X_{33} < 75(89.98+48.46+239.9)4.2/1771 \\
 &X_{34} > 25(89.98+48.46+239.9)4.2/1771 \\
 &X_{34} < 50(89.98+48.46+239.9)4.2/1771 \\
 &X_{42} + X_{44} + X_{45} + X_{46} > 300(89.98+48.46+239.9)4.2/1771 \\
 &X_{42} + X_{44} + X_{45} + X_{46} < 500(89.98+48.46+239.9)4.2/1771 \\
 &X_{41} + X_{43} > 200(89.98+48.46+239.9)4.2/1771 \\
 &X_{41} + X_{43} < 350(89.98+48.46+239.9)4.2/1771
 \end{aligned}$$

运用 Lingo 软件对上面的线性规划模型进行求解，求得糖尿病女患者每日营养配餐方案如表 7：

Table 7. Daily nutritional meal plan for female diabetic patients
表 7. 糖尿病女患者每日营养配餐方案

食物名称	食物用量/g	食物名称	食物用量/g	食物名称	食物用量/g	食物名称	食物用量/g
植物油	6.1 g	鱼	76.31 g	洋葱	305.23 g	土豆	0 g
盐	25.44 g	虾	76.31 g	山药	0 g	窝窝头	0 g
核桃	32.21 g	纯瘦肉	25.43 g	胡萝卜	0 g	黑豆	0 g
驼奶	195.06 g	猕猴桃	203.49 g	小米	0 g	绿豆	0 g
腐竹	0 g	青椒	0 g	馒头	0 g	米饭	0 g
豆干	0 g	梨	0 g	红豆	0 g	玉米	0 g
燕麦	0 g						

根据得出的最优值, 我们计算出糖尿病女患者每日需要花费 63.91 元, 可获取 7523.17 J 的热量, 大于一个平均身高为 160.6 cm 的女性每日所需的热量, 且糖尿病患者如果食用过多的糖类, 会使血糖升高明显, 但是并不是糖尿病患者不能吃糖, 而是需要根据患者的身体情况合理膳食, 控制每日糖类的摄入量, 糖尿病女患者每日最多可摄入 239.9 g, 而本文中的患者每日的摄入量远小于 239.9 g, 因此可以认为该方案合理。

糖尿病男患者用类似的方法, 我们也可以给出配餐方案如表 8:

Table 8. Daily nutritional meal plan for male diabetic patients

表 8. 糖尿病男患者每日营养配餐方案

食物名称	食物用量/g	食物名称	食物用量/g	食物名称	食物用量/g	食物名称	食物用量/g
植物油	5.38 g	鱼	0 g	洋葱	8.34 g	土豆	0 g
盐	22.43 g	虾	67.29 g	山药	269.17 g	窝窝头	0 g
核桃	21.68 g	纯瘦肉	67.29 g	胡萝卜	0 g	黑豆	22.07 g
驼奶	269.17 g	猕猴桃	44.86 g	小米	0 g	绿豆	0 g
腐竹	9.72 g	青椒	171.11 g	馒头	0 g	米饭	0 g
豆干	0 g	梨	0 g	红豆	0 g	玉米	0 g
燕麦	0 g						

根据得出的最优值, 我们计算出糖尿病男患者每日需要花费 69.65 元, 可获取 7761.18 J 的热量, 接近于一个平均身高为 167 cm 的男性每日所需的热量, 糖尿病男患者最多可摄入 255.75 g, 而本文中的患者每日的摄入量远小于 255.75 g, 因此可以认为该方案合理。

3.3. 高血压患者营养配餐问题的模型建立与求解

根据高血压患者对脂肪、蛋白质、碳水化合物三大营养素的需求以及不同所含营养素的情况确定出可行的食物分别为: 植物油、盐、核桃、脱脂牛奶、大豆、鱼、瘦肉、鸡蛋、黑木耳、青椒、苹果、橘子、梨、洋葱、西红柿、小米、馒头、红豆、土豆、窝窝头、红薯、玉米、燕麦、青虾。为取得最优值, 我们需要使热量达到最大, 花费达到最小, 所以将热量值取负并于花费值结合, 确定目标函数, 同时需要使食物所产生的热量满足高血压女患者所需的热量, 为了保证所搭配食物用量合理, 通常可限制各种食物的最低和最高用量, 故得到约束条件, 所建:

$$\begin{aligned}
 \min & \quad (9X_{11} + 6.6X_{12} + 8.74X_{21} + 2.5X_{22} + 2.59X_{23} + 30X_{31} + 21.43X_{32} + 20X_{33} + 7.15X_{34} \\
 & + 76X_{41} + 2.07X_{42} + 4X_{43} + 5X_{44} + 1.6X_{45} + 0.6X_{46} + 1.68X_{47} + 6.18X_{51} + 11.56X_{52} + 7.91X_{53} \\
 & + 0.75X_{54} + 18.9X_{55} + 1.71X_{56} + 1.08X_{57} + 4.14X_{58})/500 - (3468.4X_{11} + 2468.12X_{21} + 137.8X_{22} \\
 & + 1533.9X_{23} + 472.4X_{31} + 406.77X_{32} + 1243.45X_{33} + 600.63X_{34} + 1275.986X_{41} + 119.215X_{42} \\
 & + 252.65X_{43} + 198.35X_{44} + 342.78X_{45} + 176.21X_{46} + 92.52X_{47} + 1548.11X_{51} + 943.27X_{52} \\
 & + 1418.74X_{53} + 296.02X_{54} + 974.101X_{55} + 530.25X_{56} + 567.95X_{57} + 1507.14X_{58})/100 \\
 \text{s.t.} & \quad (13.8X_{21} + 3.4X_{22} + 36.6X_{23} + 17X_{31} + 19.1X_{32} + 14.6X_{33} + 13.3X_{34} + 10.4X_{41} + 21.4X_{42} \\
 & + 0.4X_{43} + X_{44} + 0.1X_{45} + 1.1X_{46} + 0.75X_{47} + 9.7X_{51} + 7X_{52} + 20.20X_{53} + 3.3X_{54} + 6.19X_{55} \\
 & + 1.8X_{56} + 8.5X_{57} + 14.2X_{58})/100 \leq 67.75
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &92X_{11}+59X_{21}+0.2X_{22}+13.4X_{23}+5X_{31}+X_{32}+30.8X_{33}+0.18X_{34}+0.15X_{41}+0.5X_{42} \\
 &+0.3X_{43}+0.1X_{44}+0.2X_{45}+0.35X_{46}+3.5X_{51}+1.1X_{52}+0.6X_{53}+0.1X_{54}+3.26X_{55}+0.2X_{56} \\
 &+1.2X_{57}+6.4X_{58})/100 \leq 41.33 \\
 &0.8X_{21}+4.4X_{22}+825X_{23}+3X_{32}+1.1X_{33}+2.8X_{34}+65.6X_{41}+5.4X_{42}+13.6X_{43}+10.2X_{44} \\
 &+20.2X_{45}+9X_{46}+4X_{47}+75.1X_{51}+47X_{52}+63.4X_{53}+14.2X_{54}+44.78X_{55}+29.5X_{56} \\
 &+22.8X_{57}+61.6X_{58})/100 \leq 302.4 \\
 &X_{11} > 4.5(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{11} < 5(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{12} > 20(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{12} < 25(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{22} > 200(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{22} < 250(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{21}+X_{23} > 30(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{21}+X_{32} < 50(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{34} < 50(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{34} > 25(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{33} > 50(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{33} < 75(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{31}+X_{32} > 50(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{31}+X_{32} < 100(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{43}+X_{44}+X_{45} > 200(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{43}+X_{44}+X_{45} < 400(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{42}+X_{43} < 300(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{41}+X_{42}+X_{46}+X_{47} > 300(67.75+41.33+302.4)4.5/1855 \\
 &X_{51}+X_{52}+X_{53}+X_{54}+X_{55}+X_{56}+X_{57}+X_{58} > 250(67.75+41.33+302.4)4.5/1855
 \end{aligned}$$

运用 Lingo 软件对上面的线性规划模型进行求解，求得高血压男患者每日营养配餐方案如表 9：

Table 9. Daily nutritional feeding regimen for male hypertensive patients
表 9. 高血压男患者每日营养配餐方案

食物名称	食物用量/g	食物名称	食物用量/g	食物名称	食物用量/g	食物名称	食物用量/g
植物油	4.99 g	瘦肉	49.9 g	梨	0 g	土豆	0 g
盐	19.96 g	鸡蛋	49.9 g	洋葱	0 g	窝窝头	0 g
核桃	16.87 g	黑木耳	31.94 g	西红柿	467.15 g	红薯	0 g
脱脂牛奶	249.55 g	青椒	0 g	小米	0 g	玉米	0 g
大豆	33.04 g	苹果	299.46 g	馒头	399.28 g	燕麦	0 g
鱼	0 g	橘子	99.82 g	红豆	0 g	青虾	95.60 g

根据得出的最优值，我们计算出高血压男患者每日需要花费 27.75 元，可获取 8975.92 J 的热量，大于一个平均身高为 167 cm 的男性每日所需的热量，根据资料显示高血压患者吃过多的脂肪容易加重动脉

硬化,使血压不易控制,还可以诱发心脑血管疾病的并发症发生控制每日脂肪的摄入量,高血压男患者每日最多可摄入 41.33 g,而本文中的患者每日的摄入量小于 41.33 g,因此可以认为该方案合理。

高血压女患者用类似的方法,我们也可以给出配餐方案如表 10:

Table 10. Daily nutritional feeding regimen for female hypertensive patients

表 10. 高血压女患者每日营养配餐方案

食物名称	食物用量/g	食物名称	食物用量/g	食物名称	食物用量/g	食物名称	食物用量/g
植物油	4.12 g	瘦肉	41.24 g	梨	0 g	土豆	0 g
盐	16.50 g	鸡蛋	41.24 g	洋葱	0 g	窝窝头	0 g
核桃	13.6 g	黑木耳	25.31 g	西红柿	397.1 g	红薯	0 g
脱脂牛奶	206.2 g	青椒	0 g	小米	0 g	玉米	0 g
大豆	27 g	苹果	225.21 g	馒头	329.93 g	燕麦	0 g
鱼	0 g	橘子	104.72 g	红豆	0 g	青虾	92.49 g

根据得出的最优值,我们计算出高血压女患者每日需要花费 23.10 元,可获取 7403.29 J 的热量,大于一个平均身高为 160.6 cm 的女性每日所需的热量,高血压女患者每日最多可摄入 34 g 的脂肪,而本文中的患者每日的摄入量远小于 34 g,因此可以认为该方案合理。

4. 总结

从现代合理的营养配餐与均衡的膳食角度去观察,发现高蛋白、高脂肪、高热量的膳食结构中存在着严重的微量营养素摄入不均衡的问题所在,营养过盛或营养缺乏并存的现象在营养学中统称为营养不良[4]。由此而导致的免疫力下降引发的非传染性疾病频频发生,吃出来的病、喝出来的病已经严重地影响到国民的身体健康,把住疾病的源头首先要从口入手,最关键的还是要学会营养配餐,这才是现代人们生活饮食标准的最高法则。本文针对学龄前儿童、糖尿病、高血压三类人群的饮食特点分别进行研究总结,最终制定出对应的每日营养配餐方案,而本方法也可以其他有需要营养配餐的人群提供科学依据。

基金项目

2021 年度大学生创新创业训练计划大连民族大学校级项目(202112026420)。

参考文献

- [1] 杨利玲,平潇. 学龄前儿童营养配餐与食谱设计[J]. 安阳工学院学报, 2016, 15(2): 69-71.
- [2] 刘豆豆. 食品交换份法在平衡膳食营养配餐中的应用[J]. 食品安全导刊, 2022(1): 174-176.
- [3] 马湘玲. 糖尿病患者营养配餐的数学模型及程序设计[J]. 河南医科大学学报, 1995(2): 202-204.
- [4] 孙淑芝. 营养配餐是现代饮食生活的最高境界[J]. 烹调知识, 2011(16): 7.