

B: 大学生平衡膳食食谱的优化设计及评价

摘要

大学时代是对营养需求极大的阶段，养成良好的饮食习惯、摄入足够适量的营养物质有助于身体健康和脑力补充。因此，设计一个合理的大学生平衡膳食食谱优化模型尤为重要。本文基于所给信息和网络上查找的资料，建立数学模型进行分析，从而评价所给的食谱并给出优化的平衡膳食食谱。

本文对数据进行预处理，得到了每百克主要成分的营养素含量和每一份菜品的营养素含量。

针对问题一，本文从食物结构、主要营养素含量食谱总能量、餐次比、食谱能量来源、每餐蛋白质氨基酸评分方面建立了膳食食谱评价模型。第一小问，本文运用了该模型对男女生日食谱进行评价；第二小问，本文针对他们食谱的不足之处进行较少调整，并作出全面评价。

针对问题二，该题为优化类问题。问题二的目标分别为一天的氨基酸评分最高、用餐费用最经济、兼顾氨基酸评分和用餐费用经济性。一二小问为单目标优化模型，以氨基酸评分和用餐费用的相反数为目标函数，求目标函数最大值。第三小问为多目标优化模型^{[1][2]}，白鲸优化算法是于 2022 年提出的一种新的群智能优化算法，该算法以白鲸的游泳、捕食和鲸鱼坠落行为为灵感，建立了勘探、开发和鲸落 3 个进化阶段，在优化过程中能较好地平衡全局搜索和局部搜索，使算法尽可能在探索到解空间的同时，又能保证其具有较好的收敛速度。由于本文考虑营养素的摄取和能量的来源的多样性，所以在原始 BWO 算法的基础上加入遗传算法的精英选择操作，避免算法陷入局部最优。本文运用代码计算出迭代次数内的精英选择的最优解后得到最终结果。

针对问题三，该题思路和问题二大致相同。变化为在问题二的基础上分别设计氨基酸评分最高、用餐费用最经济、兼顾氨基酸评分和用餐费用经济性的周食谱。将日食谱汇总后求出对应的周目标函数，得出最终的优化结果。

关键词：食品、白鲸模型、精英选择、遗传算法

1. 问题重述

1.1 背景介绍

大学生健康饮食的重要性不容忽视。合理的饮食结构会对他们的身体健康、学习效率以及未来的生活方式有着积极的影响。因此，在学业繁重且不少学生饮食习惯不合理的当下，如何设计并完善一个健康合理的平衡膳食食谱尤为重要^[3]。

当然，设计完善一个健康合理的食谱是件复杂的工作，必须综合考虑能量摄取、营养含量、食物比重等各方面的因素。掌握并运用一定的营养知识可以帮助我们设计出合理健康的平衡膳食食谱，并对学生们的食谱加以改进。

1.2 本文要解决的问题

本题旨在让我们建立一个健康合理的膳食食谱营养评价模型，并以此为基础制定平衡膳食食谱，改进大学生的饮食结构，从而帮助大学生养成良好的饮食习惯，促进生长发育，保证身心健康。

本题给出了四个附件。附件一给出了一位男大学生的一日三餐的膳食情况；附件二给出了一位女大学生的一日三餐的膳食情况；附件三给出了某高校学生食堂一日三餐主要食物信息统计表，包括了食物种类，主要成分，食物质量以及食品价格；附件四给出了膳食食谱分析、评价、优化的基本方法 and 要求。

本文将基于附件四解决以下问题：

（1）基于附件一和附件二，对男、女学生的一日的食谱进行全面的营养膳食评价；并基于附件三，在已有食谱的基础上进行较少的改进，并评价改进后的食谱。

（2）基于附件三，分别以蛋白质氨基酸评分最大、用餐费用最经济、兼顾氨基酸评分与用餐费用为目标建立优化模型，分别设计男、女生的日食谱，并对得到的日食谱进行膳食营养评价和比较分析。

（3）基于附件三，分别以蛋白质氨基酸评分最大、用餐费用最经济、兼顾氨基酸评分与用餐费用为目标建立优化模型，分别设计男、女生的周食谱，并对得到的周食谱进行膳食营养评价和比较分析。

（4）运用营养知识，针对大学生的饮食习惯写一份关于饮食健康的倡议书。

2. 模型假设与符号说明

2.1 模型假设

(1) 鉴于数据来源的有限性以及数量级的差异，假设以占比最高且相关度系数最高的维生素 C 填充维生素含量。

(2) 鉴于数据来源的有限性，假设钙铁锌的分布能代替矿物质分布，钙铁锌之和为矿物质含量。

(3) 假设一顿餐最多点同一份菜品 6 次，半份的最多点 3 次。

(4) 假设个人将所点菜品全部吃完，没有浪费。

(5) 假设非产能营养素的上下波动幅度 θ 的变化最小值为 1%。

2.2 符号说明

符号	符号说明
i	食物名称
n	主要成分
$J(j)$	营养素
X_i	第 i 份食品的份数
ω_{nj}	每百克主要成分 n 的营养素 j 的含量
μ	每天（周）摄取的食物种类数量
ν	每天（周）摄取的食物种类最低值
ξ	μ 和 ν 的比值
Q	质量
α_j	营养素 j 的能量转换系数
E	能量
m	早中晚的某一餐
a	早餐
b	中餐
c	晚餐

γ	供能占比
d	氨基酸编号
AAS_{id}	第 i 份食品的氨基酸 d 的含量
AAS_d	d 种氨基酸的评分
$\overline{AAS_d}$	d 种氨基酸的参考评分
AAS_{i0}	第 i 份食品的蛋白质的含量
$\min(AAS_{md})$	某一餐的氨基酸评分
AAS	氨基酸评分
J_i	一份食品 i 的营养素 j 的含量
C_i	一份食品 i 的价格
C	经济性评分
θ	非产能营养素的上下波动幅度
$\overline{J_{男}}$	男大学生每日膳食非产能主要营养素参考摄入量
$\overline{J_{女}}$	女大学生每日膳食非产能主要营养素参考摄入量
G	兼顾氨基酸评分和经济性的评分

表格 2.2-1 符号说明

3. 问题分析

3.1 问题一

问题一要求用所给信息对男、女生的一日食谱进行营养评价并加以较少改进，为评价类问题。观察所给信息，我们已经掌握了食品名称、主要成分、每一份的质量和各人所点的份数。从附件四中我们还得到了膳食食谱评价优化的过程和标准，包括食物结构、主要营养素含量、食谱提供的能量、餐饮比、非产能主要营养素含量、食谱能量来源、氨基酸评分。

通过查找《中国食品成分表》第一册、第二册^[4]，我们得到了每一类食品成分的分类与各营养素含量。我们分别对食物结构、主要营养素含量等附加四给出的评价标准建立了对应模型，并最后给出了整体评价。

针对评价里的不足之处，我们以附件三给出的食堂提供的早中晚食谱为基础进行较少调整，最后得到较完善的平衡膳食食谱。

3.2 问题二

问题二要求运用所给信息，分别以氨基酸评分最高、用餐费用最少和兼顾氨基酸评分与用餐费用为目标建立优化模型，设计男、女生的日食谱，为多目标白鲸算法优化类问题。

该问题需解决变量、目标函数、约束条件等方面问题。我们先明确变量为每餐所点的食物名称和对应份数。目标函数分别为蛋白质氨基酸评分 AAS 和经济费用函数 C。第一问我们只以蛋白质氨基酸评分最高为目标，第二问我们只以经济费用最低为目标。第三问需要同时兼顾两者，因此我们对蛋白质氨基酸评分和经济费用同时加权为 0.5 进行多目标算法优化。

我们还将明确约束条件。从附录可知，最后得到的方案应满足能量总摄入量合适、产能营养素供能占比在合适范围、非产能主要营养素接近参考量、餐饮比在合适范围这些设计原则。对于非产能主要营养素接近参考量这条原则，我们从 1% 开始调大波动参数 θ 至结果出现。我们将把这些约束条件分别数学化作为条件代入模型中，确保最终食谱不会违背这些原则。

得到了结果集后，我们分别选出了最终得分最高的日食谱作为最终结果。

3.3 问题三

问题三模型与问题二模型相差不大。问题三在问题二的基础上要求分别以氨基酸评分最高、用餐费用最少和兼顾氨基酸评分与用餐费用为目标建立优化模型，设计男、女生的周食谱，目标函数和约束条件如问题二的分析。需要注意的是，每周的最低食物数量为 25，每日最低数量为 12，约束条件有所变化。

蛋白质氨基酸评分目标函数从原来的一天的氨基酸评分 AAS 转为一周七天的 AAS 之和；经济费用目标函数从原来的一天的积极性评分 C 转为七天的 C 之和。得到的新

的 AAS 和 C 的评分结果即为周食谱的结果集。

得到新结果集后，我们分别选出了最终得分最高的日食谱作为最终结果。

4. 数据预处理

针对附件三所给出的食物成分，处理了食堂早餐编号 30 处缺失的问题后，我们查找了《中国食物成分表》第一册、第二册中的相关信息，得到了一张主要成分、食物编码、类别、碳水化合物含量、脂肪含量、蛋白质含量、矿物质含量、维生素含量、水含量、膳食纤维含量、酒精(乙醇)含量、钙含量、铁含量、锌含量、维生素 A 含量、维生素 B1/硫胺素含量、维生素 B2/核黄素含量、维生素 C 含量、异亮氨酸含量、亮氨酸含量、赖氨酸含量、含硫氨基酸含量、芳香族氨基酸含量、苏氨酸含量、色氨酸含量、缬氨酸含量的总表。并将该总表以食物编码为联结链，和附件一、二、三进行左联结。

Left on 食物编码.附件 1 = 食物编码.营养总表 from 附件 1.营养总表

以附件一中的油条为例,见表 4-1:

油条			
小麦粉(每百 g)		豆油	
食物编码: 011021x	可食部: 50	食物编码: 192004	可食部: 50
食用份数:1	类别:谷薯类	食用份数:2	类别:油类
碳水化合物含量 g: 74.1	脂肪含量 g: 1.7	碳水化合物含量 g: 0	脂肪含量 g: 1.7
水含量 g: 11.2	膳食纤维含量 g:0.8	水含量 g: 0.02	膳食纤维含量 g:0
酒精含量 g:0	钙含量 mg:28	酒精含量 g:0	钙含量 mg:2.6
铁含量 mg:1.4	锌 mg:0.69	铁含量 mg:0.4	锌 mg:0.218
维生素 A 含量 ug:0	维生素 B1/硫胺素 mg:0.2	维生素 A 含量 ug:0	维生素 B1/硫胺素 mg:
维生素 B2/核黄素 mg:0.06	维生素 Cmg:0	维生素 B2/核黄素 mg:0	维生素 Cmg:0
异亮氨酸 mg:402	亮氨酸 mg:837	异亮氨酸 mg:0	亮氨酸 mg:0

赖氨酸 mg:271	含硫氨基酸 mg:460	赖氨酸 mg:0	含硫氨基酸 mg:0
芳香族氨基酸 mg:946	苏氨酸 mg:337	芳香族氨基酸 mg:0	苏氨酸 mg:0
色氨酸 mg:123	缬氨酸 mg:510	色氨酸 mg:0	缬氨酸 mg:0

表格 4-1

以 n 代表某食物主要成分, j 代表各营养素。从表中我们可以得知在每百克食物成分 n 中某营养素 j 的含量 ω_{nj} 。以小麦粉中的碳水化合物为例, 每百克可食部分小麦粉所包含的碳水化合物为 $\omega_{\text{小麦粉碳水}}$, 该值为 74.1。

针对 2、3 两题, 我们还求出了每一份食物所包含的碳水化合物含量、脂肪含量、蛋白质含量、矿物质含量、维生素含量、水含量、膳食纤维含量、酒精(乙醇)含量、钙含量、铁含量、锌含量、维生素 A 含量、维生素 B1/硫胺素含量、维生素 B2/核黄素含量、维生素 C 含量、异亮氨酸含量、亮氨酸含量、赖氨酸含量、含硫氨基酸含量、芳香族氨基酸含量、苏氨酸含量、色氨酸含量、缬氨酸含量。和上文不同的是, 上文所求的是每百克主要成分的营养素含量, 新得出的是一份食品的营养素含量。通过获得一份食物的各营养素含量以及各营养素的能量转化系数, 我们得到了某一份菜品 i 所含能量 E_i 。

因为所用方法不同, 因此同一个变量可能对应不同的表达符号。

我们仍以油条为例, 见表格 4-2:

油条 (一份)			
价格	1.5	可否半份	否
碳水化合物(g)	37.05	脂肪(g)	10.84
蛋白质(g)	6.2	维生素(g)	0.00
水(g)	5.61	膳食纤维(g)	0.40
酒精(g)	0	钙(mg)	15.30

铁(mg)	0.90	锌(mg)	0.45
维生素 A(ug)	0.00	维生素 B1(mg)	0.10
维生素 B2	0.03(mg)	维生素 C(mg)	0.00
异亮氨酸	201.00(mg)	亮氨酸(mg)	418.50
赖氨酸	135.50(mg)	含硫氨基酸(mg)	230.00
芳香族氨基酸	473.00(mg)	苏氨酸(mg)	168.50
色氨酸	61.50(mg)	缬氨酸(mg)	255.00
矿物质	16.65(mg)	能量(kcal)	271.36

表格 4-2

这些数据可以便于之后的分析。

5. 模型建立

5.1 膳食食谱营养评价模型

(1) 食物结构模型

本文设每天（周）摄取的食物种类数量为 μ ，每天（周）摄取的食物数量最低值为 v 。对于 v ，每天摄取的食物数量最低值为 12，每周摄取的食物数量最低值为 25。实际摄取数 μ 和最低摄取数 v 的比值为 ξ ：

$$\xi = \frac{\mu}{v}$$

若 $\xi \geq 1$ ，食物种类齐全。反之，种类偏少。

(2) 主要营养素含量计算模型

设每日摄入的食物主要成分 n 的质量为 Q_n 。主要营养素分为碳水化合物、脂肪、蛋白质、矿物质、维生素、水。设摄入的各元素对应的质量为 Q_j ，食谱中碳水化合物

量为 $Q_{\text{碳水}}$ ，脂肪质量为 $Q_{\text{脂肪}}$ ，蛋白质质量为 $Q_{\text{蛋白质}}$ ，矿物质质量为 $Q_{\text{矿物质}}$ ，维生素质量为 $Q_{\text{维生素}}$ ，水质量为 $Q_{\text{水}}$ 。矿物质中的钙铁锌，维生素中的维生素 ABC，各类氨基酸的对应质量的表达方式以此类推。

$$Q_j = \sum (\frac{Q_n}{100}) \times \omega_{nj}$$

(3) 食谱总能量模型

主要营养素中，只有碳水化合物、蛋白质、脂肪可以代谢后释放能量，三者统称宏量营养素。设每种营养素的转换系数为 α_j 。其中，营养素能量转换系数如表 5.1-1 所示。

营养素	蛋白质	脂肪	碳水化合物	膳食纤维	乙醇
α_j (kcal/g)	4	9	4	2	7

表格 5.1-1

本文设每餐提供能量为 E_m ，全天摄入的总能量为 E:

$$E = E_a + E_b + E_c$$

其中 E_m 为:

$$E_m = \sum Q_{mj} \times \alpha_j$$

得到一天摄入的总能量为 E:

$$E = E_a + E_b + E_c$$

对于男生而言，每日的能量摄入 E 应在 2160kcal 与 2640kcal 间（2400kcal 上下 10%）；对于女生而言，每日的能量摄入 E 应在 1710kcal 与 2090kcal 间（1900kcal 上下 10%）；

(4) 餐次比模型

设早餐、中餐、晚餐的餐次比分别为 γ_a 、 γ_b 、 γ_c :

$$\gamma_m = \frac{E_m}{E}$$

其中， γ_a 应在 25%-35%， γ_b 、 γ_c 应在 30%-40%。

(5) 食谱能量来源模型

设碳水化合物、脂肪、蛋白质供能占比对应的分别是 $\gamma_{\text{碳水}}$ 、 $\gamma_{\text{脂肪}}$ 、 $\gamma_{\text{蛋白质}}$ 。宏量营

营养素供能占比 γ_j 为该营养素当天提供能量占总能量的比重。

$$\gamma_j = \frac{Q_j \times \alpha_j}{E}$$

其中， $\gamma_{\text{碳水}}$ 应在 50%-60%， $\gamma_{\text{脂肪}}$ 应在 20%-30%， $\gamma_{\text{蛋白质}}$ 应在 10%-15%。

(6) 每餐蛋白质氨基酸评分模型

共八种必需氨基酸，我们对他们分别编号为 d ， $d \in [1,8]$ 。氨对应的氨基酸编号和氨基酸种类如表 5.1-2 所示：

异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	含硫氨基酸	芳香族氨基酸	苏氨酸	色氨酸	缬氨酸
1	2	3	4	5	6	7	8

表格 5.1-2

根据附件以及建模 (2)，我们已经得到了每百克主要成分 n 中的八种必需氨基酸的含量 Q_{nd} （单位：mg），设每餐摄入的 j 类氨基酸质量为 Q_{md} ：

$$Q_{md} = \sum \frac{Q_{mn}}{100} \times \omega_{nj}$$

设氨基酸 d 的必须氨基酸评分为 AAS^d ，参考必需氨基酸评分为 $\overline{AAS^d}$ ， $\overline{AAS^d}$ 如表 5.1-3 所示。

必需氨基酸	异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	含硫氨基酸	芳香族氨基酸	苏氨酸	色氨酸	缬氨酸
$\overline{AAS^d}$ (mg/g 蛋白质)	40	70	55	35	60	40	10	50

表格 5.1-3

$$AAS_d = \frac{Q_{md}}{\overline{AAS_d} \times Q_{m\text{蛋白质}}} \times 100$$

我们取 AAS_d 的最小值 $\min(AAS_d)$ 。当 $\min(AAS_d)$ 小于 60 分时，不合理；当 $\min(AAS_d)$ 间于 60-80 时，不够合理； $\min(AAS_d)$ 间于 80-90 时，比较合理； $\min(AAS_d)$ 大于 90 时合理。

5.2 平衡膳食食谱优化设计模型

去除早餐编号 30 处的缺失后，设 i 为按附件三所给顺序进行的食物名称编号。其中 1 到 33 为早饭的食品，共 33 种；34 到 92 为中饭的食品，共 59 种；93 到 141 为晚饭的食品，共 49 种。设 X_i 为一餐中第 i 份食品对应的份数。 $X_i \in [0,6]$ 。部分菜品可以点半分，设为 $\frac{1}{2}X_i \in [0,3]$ 。以 $X_2 = 2$ 为例，表示早餐点了两份酸奶。需要特别说明的是，同一份食品名称可能对应不同的食品编号。比如 34 号和 93 号分别代表中午的大米饭和晚上的大米饭。

设某一份食品 i 所含的蛋白质、脂肪、碳水化合物、钙、铁、锌、维生素 A、维生素 B1、维生素 B2、维生素 C 的含量分别为 D_i 、 Z_i 、 T_i 、 Ca_i 、 Fe_i 、 Zn_i 、 VA_i 、 $VB1_i$ 、 $VB2_i$ 、 VC_i 。用 J 指代任意一种营养素名，对应含量为 J_i 。食品 i 提供的能量为 $X_i J_i$ 。

(1) 蛋白质氨基酸评分模型

设某一份食品 i 对应的氨基酸 d 含量为 AAS_{id} ，对应的蛋白质的含量为 AAS_{i0} 。则一餐中，某菜品 X_i 对应的氨基酸 d 含量为 $X_i AAS_{id}$ 。早饭摄取的全部氨基酸 d 的含量为 $\sum_{i=1}^{33} X_i AAS_{id}$ 。同理中饭摄取的全部氨基酸 d 的含量为 $\sum_{i=34}^{92} X_i AAS_{id}$ ；晚饭摄取的全部氨基酸 d 的含量为 $\sum_{i=93}^{141} X_i AAS_{id}$ 。

设氨基酸 d 对应的氨基酸评分为 AAS_m^d ， m 代表早中晚的任意一餐。混合食物的氨基酸评分 $AAS_{md} = \frac{\sum_{i=1}^{34} X_i AAS_{id}}{\sum_{i=1}^{34} X_i AAS_{id}} \times \frac{1}{AAS_{id}} \times 100$ 。求出的最低的氨基酸评分 $\min(AAS_m^d)$ 即为所求的该餐蛋白质氨基酸评分。求出早中晚蛋白质氨基酸评分的对应值 $\min(AAS_{ad})$ 、 $\min(AAS_{bd})$ 、 $\min(AAS_{cd})$ 后，食谱的蛋白质氨基酸评分 AAS:

$$AAS = \min(AAS_{ad}) + \min(AAS_{bd}) + \min(AAS_{cd})$$

考虑蛋白质氨基酸评分最大则追求 AAS 值最大化。

(2) 经济费用评分模型

设某一份食品 i 的价格为 C_i ，对某食品 i 的花费价格为 $X_i C_i$ 。将 1-142 的食品的花费加总即为一天在食堂所消耗的经济费用，因为我们追求用餐费用经济性，所以在满足约束条件下， C 越小，方案越优。我们设 C 为一天所消耗的用餐费用的相反数:

$$C = - \sum_{i=1}^{141} X_i C_i$$

考虑用餐费用最经济则追求 C 最大化。

(3) 兼顾氨基酸评分与经济性的模型

假设兼顾两者后评分为 G:

$$G = AAS - C$$

(4) 实际摄入量在合适范围模型

设一份食品 i 的能量含量为 E_i ，某食品 i 提供的能量为 $X_i E_i$ 。将 1-142 的食品的提供能量的加总即为一天所摄入的能量 E:

$$E = \sum_{i=1}^{141} X_i E_i$$

由于男女生一天摄取能量的合适范围不同，对于男生而言， $E \in [2160, 2640]$ 为合适范围；对于女生而言， $E \in [1710, 2090]$ 为合适范围。

(5) 产能营养素占总能量百分比合适模型

产能营养素主要有蛋白质、脂肪、碳水化合物三种。其产能占比的合理值分别为 10%-15%，20%-30%，50%-65%。

以蛋白质为例，食品 i 提供的蛋白质质量为 $X_i D_i$ 。全天的蛋白质摄入量 $Q_{\text{蛋白质}}$:

$$Q_{\text{蛋白质}} = \sum_{i=1}^{141} X_i D_i$$

蛋白质能量转化系数 $\alpha_{\text{蛋白质}}$ 为 4kcal/g。全天的蛋白质供能 $E_{\text{蛋白质}}$ 为:

$$E_{\text{蛋白质}} = 4 \times \sum_{i=1}^{141} X_i D_i$$

根据约束条件 $\min E_{\text{蛋白质}} = 0.1E$, $\max E_{\text{蛋白质}} = 0.15E$, $E_{\text{蛋白质}} \in [0.1E, 0.15E]$ 。

脂肪、碳水化合物同理，通式为:

$$\min E_j \leq \alpha_j \times \sum_{i=1}^{141} X_i j_i \leq \max E_j$$

J (j) 表示蛋白质、脂肪、碳水化合物。

(6) 餐饮比合适模型

由上文我们已知某食品提供的能量为 $X_i E_i$ ，全天能量的总摄入量为 $\sum_{i=1}^{141} X_i E_i$ 。早饭食物编号 i 属于 1-33，中饭为 34-92，晚饭为 93-141。

早饭能量摄入 E_a 为:

$$E_a = \sum_{i=1}^{33} X_i E_i$$

根据约束条件，早饭的餐饮比应在 25%-35%， $\min E_a = 0.25E$ ， $\max E_a = 0.35E$ ， $E_a \in [0.25E, 0.35E]$ 。

中饭晚饭同上，约束条件为：

$$\begin{cases} 0.25E \leq \sum_{i=1}^{33} X_i E_i \leq 0.35E \\ 0.3E \leq \sum_{i=34}^{92} X_i E_i \leq 0.4E \\ 0.3E \leq \sum_{i=93}^{141} X_i E_i \leq 0.4E \end{cases}$$

(7) 非主要营养素摄入量接近参考量模型

我们已经得到了非主要营养素 J 的一日摄取量 Q_j ：

$$Q_j = \sum_{i=1}^{141} X_i J_i$$

附件四给出了男女大学生每日非产能主要营养素参考摄取量，设为 $\overline{J}_{男}$ 、 $\overline{J}_{女}$ ，如表

5.1-4 所示：

营养 素	钙 (mg·d ⁻¹)	铁 (mg·d ⁻¹)	锌 (mg·d ⁻¹)	维生素 A (μg·d ⁻¹)	维生素 B ₁ /硫胺 素 (mg·d ⁻¹)	维生素 B ₂ /核黄 素 (mg·d ⁻¹)	维生素 C (mg·d ⁻¹)
男生	800	12	12.5	800	1.4	1.4	100
女生	800	20	7.5	700	1.2	1.2	100

表格 5.1-4

对于营养素 J，假设在参考值上下波动 θ ($\theta \in [0, 1]$)。

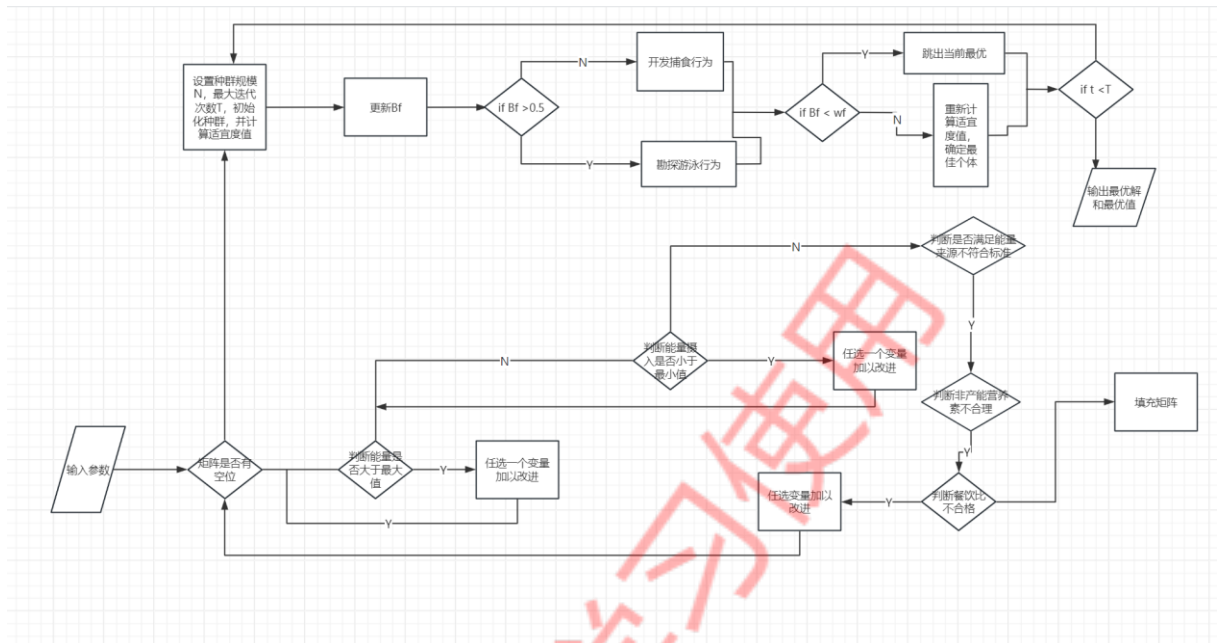
$$\overline{J}_{男(女)}(1 + \theta) \leq Q_j \leq \overline{J}_{男(女)}(1 - \theta)$$

我们假设 θ 为百分数，即范围变化以 1% 的幅度变化。

5.3 基于基因选择策略下的白鲸优化算法

将目标函数和约束条件代入后，我们基于遗传算法的精英选择模型改进白鲸算法^[5]。

我们在代入了约束条件，确保食谱不会违背优化设计原则的基础上追求目标函数最大化。求出最大之后进行迭代，最终得到迭代次数内的最大值。流程图如下：



6. 模型求解

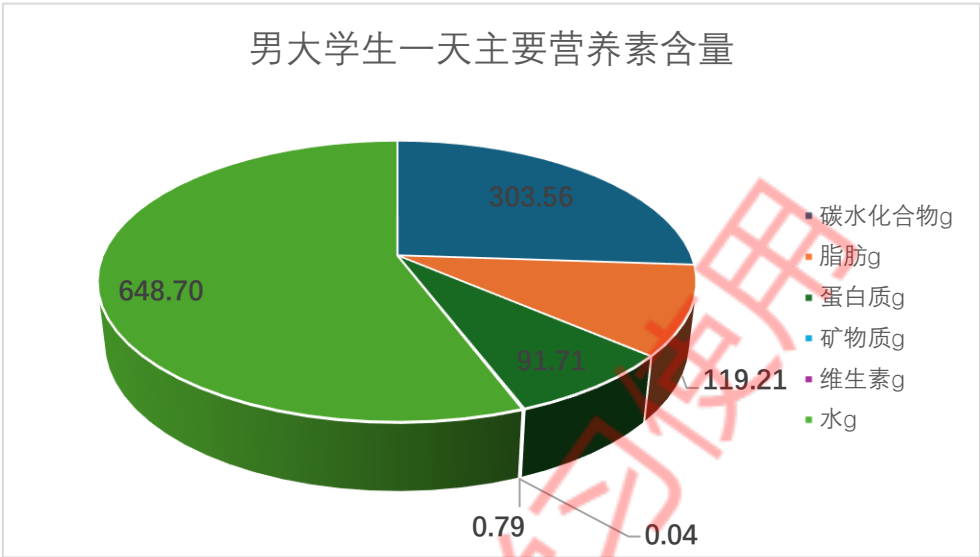
6.1 问题 1

本文用膳食食谱营养评价模型求解。对于男大学生一天的饮食，先将其重复的主要食物成分去重，保留剩余的食物种类 X_1 。 $\xi = \mu / v = 1.58 > 1$ ，食物种类齐全。然后运用主要营养素含量计算公式计算一日食谱的主要营养素的含量，结果如表格 6.1-1，表格 6.1-2 所示。

主要成分种类	一日食谱主要成分含量 Q_j
碳水化合物	303.56
脂肪	119.21
蛋白质	91.71
矿物质	0.79
维生素	0.04
水	648.70
膳食纤维	8.92

表格 6.1-1 男生一日摄入的主要成分含量

男大学生一天主要营养素含量的饼状图如图 6.1-1 所示



图表 6.1-1

	钙 mg	铁 mg	锌 mg	维生素 A μ g	维生素 B1/硫胺素 mg	维生素 B2/核黄素 mg	维生素 Cmg
男生	754.3	23.19	10.58	223.95	1.10	0.81	40.80
男生标准	800	12	12.5	800	1.4	1.4	100
偏差	-45.70	11.19	-1.92	-576.05	-0.30	-0.59	-59.20
男生偏差分布	-5.71%	93.28%	-15.37%	-72.01%	-21.17%	-42.39	-59.20%

表格 6.1-2 男生一日非产能主要营养素摄入量

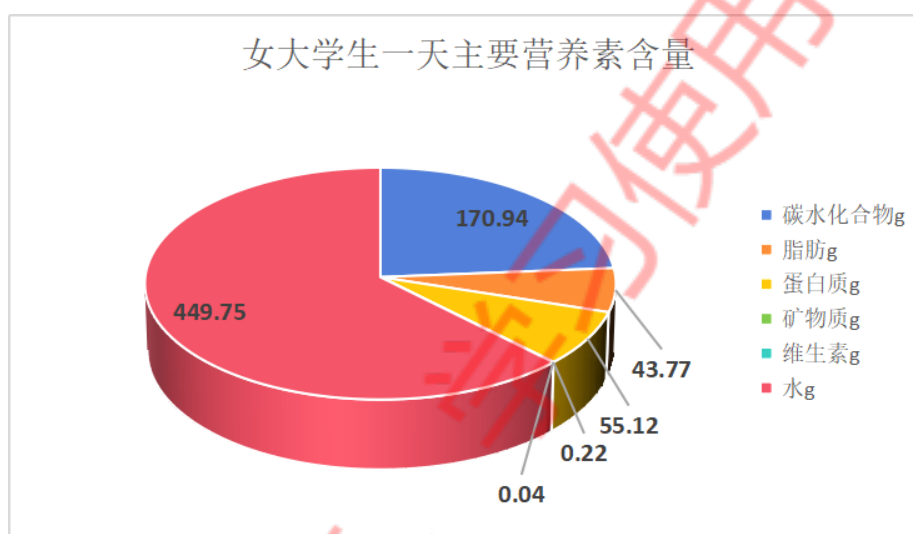
同理，女生的 $\xi = \mu/\nu = 1.2 > 1$ 。食物种类齐全。女生一日食谱的主要营养素的含量如表 6.1-3 和表 6.1-4 所示：

主要成分种类	一日食谱主要成分含量 Q_j
碳水化合物	170.94
脂肪	43.77

蛋白质	55.12
矿物质	0.22
维生素	0.04
水	449.75
膳食纤维	7.14

表格 6.1-3 女生一日摄入的主要成分含量

女大学生一天主要营养素含量的饼状图如图 6.1-2 所示

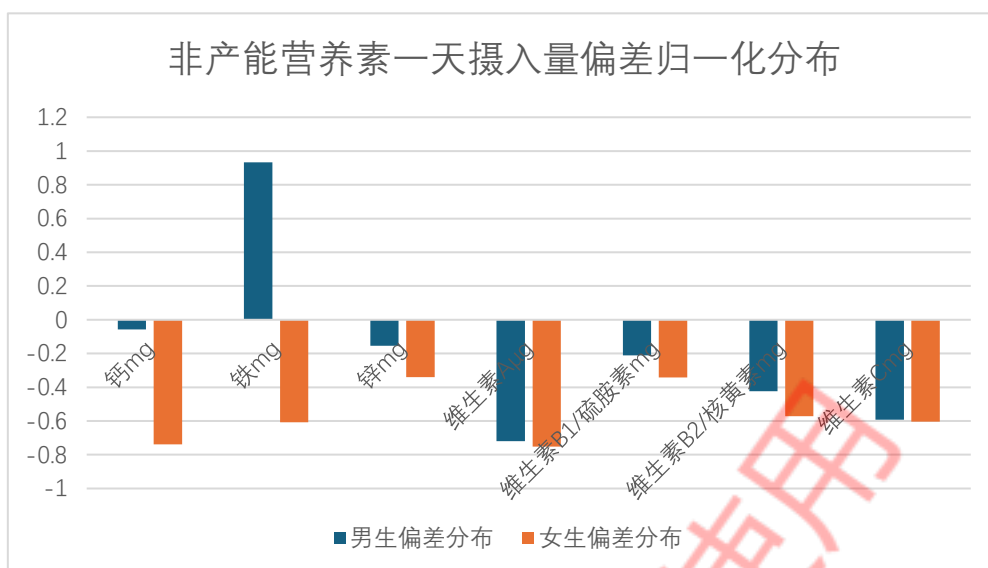


图表 6.1-2

	钙 mg	铁 mg	锌 mg	维生素 A μ g	维生素 B1/硫胺素 mg	维生素 B2/核黄素 mg	维生素 Cmg
女生	209.15	7.86	4.94	174.35	0.79	0.51	39.60
女生标准	800.00	20.00	7.50	700.00	1.20	1.20	100.00
偏差	-590.85	-12.15	-2.56	-525.65	-0.41	-0.69	-60.40
女生偏差分布	-73.86%	-60.73%	-34.08%	-75.09%	-34.13%	-57.21%	-60.40%

表格 6.1-4 女生一日非产能主要营养素摄入量

男女生非产能营养素一天摄入量偏差归一化分布如图 6.1-3 所示：



图表 6.1-3

本文接着使用食谱总能量模型和餐饮比模型，将每餐摄入的主要成分的含量 X_{mj} 与对应的能量转化系数 α_j 相乘得到某一种营养素提供的能量，并将每种营养素的能量加总，得到每餐摄入的总能量 Y_m ，进一步得出每一餐的餐饮比。结果如表 6.1-5 所示。

	能量(kcal)	餐饮比
早餐	779.34	29.17%
午餐	1033.96	38.70%
晚餐	858.55	32.13%
总量	2671.85	100%

表格 6.1-5 男生的总能量和餐饮比

可以看到，该男生一日摄入能量为 2671.85kcal，而每日合理的能量摄入应在 2160kcal 到 2640kcal 之间，超过了合理值。餐饮比的值在合理范围内。

同理，女生的总能量和餐饮比如表 6.1-6 所示：

	能量(kcal)	餐饮比
早餐	318.745	24.29%
午餐	570.68	43.48%
晚餐	422.96	32.23%
总量	1312.39	100%

表格 6.1-6 女生的总能量和餐饮比

可以看出，该女生一日摄入量能量为 1312.39kcal，而每日合理的能量摄入应在

1710kcal 到 2090kcal 之间，低于合理值。早饭的餐饮比低于正常水平。

接着，本文运用食物能量来源模型，求出了能量来源占比，结果如表格 6.1-7 所示。

	碳水化合物供能占比	脂肪供能占比	蛋白质供能占比	占比总和
能量来源	45.45%	40.16%	13.73%	99.33%
参考值下界	50%	20%	10%	
参考值上界	65%	30%	15%	

表格 6.1-7 男生的能量来源

可以看出，脂肪供能占比 40.16%，大于规定的 20%-30% 的范围，该男生摄入的脂肪含量过高；碳水化合物摄入占比较低。

同理可得出该女生的能量来源，结果如表格 6.1-8 所示：

	碳水化合物供能占比	脂肪供能占比	蛋白质供能占比	占比总和
能量来源	52.10%	30.01%	16.80%	98.91%
参考值下界	50%	20%	10%	
参考值上界	65%	30%	15%	

表格 6.1-8 女生的能量来源

可以看出，脂肪供能占比 30.01%，略高于正常范围。蛋白质供能占比为 16.80%，高于正常占比。

本文接着运用每餐蛋白质氨基酸评分模型，得到了每种氨基酸的必须氨基酸评分为 AAS_j ，和第一限制氨基酸的评分 $\min(AAS_j)$ 。结果如表格 6.2-5 所示。

	异亮氨酸评分	亮氨酸评分	赖氨酸评分	含硫氨基酸评分	芳香族氨基酸评分
早饭	98.02	106.47	65.84	131.74	131.49
中饭	87.28	83.30	81.73	80.14	118.42
晚饭	100.81	119.52	106.27	43.39	134.40

	苏氨酸评分	色氨酸评分	缬氨酸评分	第一限制氨基酸评分
早饭	83.10	115.50	88.40	65.84
中饭	79.24	97.36	88.45	79.24

晚饭	94.56	24.38	91.24	24.38
----	-------	-------	-------	-------

表格 6.1-9 男生一日食谱必需氨基酸评分

可以看出，该男生早饭混合食物氨基酸评分不够合理，摄入的赖氨酸较少，中饭苏氨酸评分不够合理，晚饭色氨酸评分不合理。

	异亮氨酸评分	亮氨酸评分	赖氨酸评分	含硫氨基酸评分	芳香族氨基酸评分
早饭	89.30	103.49	106.31	102.35	122.82
中饭	93.67	100.03	86.68	109.70	128.71
晚饭	101.51	102.36	112.71	102.36	129.17
	苏氨酸评分	色氨酸评分	缬氨酸评分	第一限制氨基酸评分	
早饭	92.05	116.17	89.62	89.30	
中饭	86.50	108.10	87.80	86.50	
晚饭	98.92	109.64	96.65	96.65	

表格 6.1-10 女生一日食谱必需氨基酸评分

可以看出，该女生早饭、中饭氨基酸评分较为合理，晚饭氨基酸评价合理。

该男生的饮食能量摄取过高，男生的餐次比分配较合理，摄入的脂肪含量过高，碳水化合物摄入占比较低。针对以上问题，本文给出较少改进，少吃动物性食品，多吃大米饭等碳水化合物含量高的食品。

该女生的饮食能量摄取不达标，该女生一日摄入量能量低于合理值。早饭的餐饮比低于正常水平，蛋白质供能占比高于正常占比。针对以上问题，本文建议多吃早饭，减少鸡蛋等蛋白质含量高的食品的摄取。

6.2 问题二

氨基酸评分最大化和经济费用最经济的两目标并不完全冲突，存在某些解可以既

满足氨基酸评分较大和经济费用较低。

以兼顾蛋白质氨基酸评分与经济性评分为例，得到了男生的日食谱，如表格所示：

食物名称	早餐		食物名称	午餐			晚餐
牛奶	1		馒头	1		大米饭	3
馒头	1		水煎包	1		小米粥	1
馄饨	1		菠菜汤	1		土豆丝饼	1
橙子	1		炒豆芽粉条	1		炒芹菜粉	1
葡萄	1		木须柿子	1		香菇炒油菜	1
			香蕉	1		炒豆芽粉条	1
						宫保鸡丁	1
						西瓜	1

可以看出，每日实际摄入量与摄入量目标相差 10%之内；产能营养素占总能量百分比合适，非主要营养素占比合适，餐饮比符合要求。

由于篇幅所限，正文只给出男生的兼顾氨基酸和经济性的日食谱，女生日食谱和氨基酸评分最大化为目标和经济费用最小化为目标的结果见附件。

6.3 问题三

以兼顾蛋白质氨基酸评分与经济性评分为例。得到了男生的周食谱，如表格所示：

	早饭	中饭	晚饭
周一	酸奶 2 小米粥 1	香蕉 2 花卷 1	大米饭 1 包子 1

	苹果 1 煎鸡蛋 1 花卷 1 拌木耳 0.5	豆浆 1 红烧牛肉面 1 葡萄 1 炒肉蒜台 0.5	蒸饺 1 炒肉蒜台 1 溜肉段 1 柚子 1
周二	牛奶 1 酸奶 1 大米饭 1 花卷 1 油条 1 拌菠菜 0.5	苹果 2 韭菜盒子 1 鸡蛋柿子汤 1 香蕉 1 拌芹菜花生米 0.5 海带炖白菜 0.5 宫保鸡丁 0.5	馒头 1 花卷 1 小米粥 1 韭菜盒子 1 鸡肉炖土豆胡萝卜 1
周三	南瓜粥 2 酸奶 1 大米粥 1 韭菜盒子 1 拌豆腐 1	花卷 2 馒头 1 红烧牛肉面 1 葡萄 1	豆浆 2 香蕉 2 蒸饺 1 木须瓜片 1 宫保鸡丁 1 柚子 1 葡萄 1
周四	蒸地瓜 2 花卷 1 煎鸡蛋 1 包子 1 苹果 1	大米饭 1 馒头 1 红烧牛肉面 1 苹果 1 炒芹菜粉 0.5 卷心菜炒木耳 0.5 溜肉段 0.5	香蕉 3 韭菜盒子 1 炖海带白菜豆腐 1 炒豆芽粉条 1 炒肉蒜台 1 柚子 1 葡萄 1
周五	小米粥 2 酸奶 1 馒头 1 馄饨 1 拌菠菜 0.5	大米饭 1 馄饨 1 香蕉 1 拌芹菜花生米 0.5 木须瓜片 0.5 溜肉段 0.5	花卷 1 砂锅面 1 香蕉 1
周六	土豆丝饼 2 葡萄 1 拌豆腐 0.5	馒头 1 南瓜粥 1 西瓜 1 香蕉 1 苹果 1 海带炖白菜 0.5 地三鲜 0.5 炒肉扁豆 0.5 炒肉酸菜粉 0.5	蒸饺 2 炒肉扁豆 1 香蕉 1 苹果 1
周天	馒头 1 南瓜粥 1 馄饨 1 鸡排面 1	大米饭 1 花卷 1 馅饼 1 菠菜汤 1 香蕉 1 香菇炒油菜 0.5 木须柿子 0.5	馒头 1 蒸饺 1 萝卜粉丝汤 1 卷心菜炒木耳 1 木须瓜片 1 西瓜 1 葡萄 1

得到营养素的相关信息：.

	碳水化 合物能 量占比	脂肪能 量占比	蛋白质 能量占 比	钙 mg	铁 mg	锌 mg	维生 素 A μg	维生 素 B1/ 硫胺 素 mg	维生 素 B2/ 核黄 素 mg	维生素 Cmg
周一	0.56	0.29	0.14	-0.19	0.31	-0.14	-0.48	-0.05	-0.21	0.04
周二	0.57	0.29	0.14	-0.05	0.18	-0.44	-0.20	-0.19	-0.26	-0.12
周三	0.59	0.25	0.15	-0.27	0.14	-0.25	-0.50	-0.24	-0.43	-0.37
周四	0.58	0.29	0.12	0.41	0.24	-0.30	-0.42	-0.15	-0.41	0.40
周五	0.57	0.28	0.13	-0.40	0.44	-0.28	-0.47	-0.01	-0.37	-0.44
周六	0.58	0.28	0.13	-0.48	0.27	-0.29	-0.42	-0.09	-0.46	0.29
周天	0.59	0.26	0.14	-0.49	0.32	-0.35	-0.06	-0.21	-0.45	0.15

	早饭	中饭	晚饭
周一	0.29	0.36	0.35
周二	0.35	0.31	0.34
周三	0.25	0.38	0.37
周四	0.30	0.35	0.34
周五	0.31	0.32	0.37
周六	0.27	0.33	0.40

周天	0.34	0.33	0.32
----	------	------	------

可以看出，每日实际摄入量与摄入量目标相差 10%之内；产能营养素占总能量百分比合适，非主要营养素占比合适，餐饮比符合要求。

限于篇幅所限，本文只给出男生兼顾氨基酸评分和经济费用经济化的的周食谱，女生周食谱和氨基酸评估最大化、经济费用经济化的周食谱见附件。

7. 模型优缺点分析

（一）优点：本模型改进传统白鲸优化算法，融合遗传算法的精英策略，显著降低了迭代的时间复杂度，提高算法在全局检索最优解的能力。

（二）缺点：1.本模型因白鲸模型采用“勘探行为”导致必然会让 X 在运算过程中出现小数，尽管在开头结尾取整，依然有小概率可能导致溢出边界。

2.本模型有极小概率出现报错，是因为代码部分若同时连续出现两个或更多的可能解，即会导致矩阵维度不符合优化模块的输入要求，引起形状报错，但此错误概率极低。

8. 倡议书

亲爱的同学们：

大家好！

作为新时代的大学生，我们肩负着建设祖国未来的重任。然而，近年来，我们不难发现，随着生活节奏的加快，许多同学开始忽视健康饮食的重要性，导致身体出现各种不适。为了提升大家的健康意识，保障每位同学的身体健康，我们特发起这次关于平衡健康饮食的倡议。

一、倡议背景与意义

健康饮食是身体健康的基石，合理的营养摄入对于维持身体的正常功能至关重要。然而，由于学习压力大、生活节奏快等原因，很多同学开始忽视健康饮食，选择方便、快捷但不健康的食品，导致身体出现各种问题，如肥胖、营养不良、免疫力下降等。这不仅影响我们的身体健康，也影响我们的学习效率和未来发展。因此，我们有必要提高健康饮食意识，养成平衡健康的饮食习惯。

二、倡议内容

我们要认识到健康饮食的重要性，树立健康第一的观念。了解各种食物的营养成分和营养价值，学会根据自己的身体需求和营养原则合理搭配食物。我们要注意膳食的多样性，保证摄入足够的蛋白质、碳水化合物、脂肪、维生素和矿物质等营养物质。同时，要控制高热量、高脂肪、高糖等不健康食品的摄入量。保证每种营养物质的摄入均衡。

我们要养成良好的饮食习惯，按时吃早饭，不暴饮暴食，保持每顿饭的能量摄入的均衡。我们要在校园内积极倡导健康饮食文化，举办健康饮食知识讲座、营养餐比赛等活动，提高同学们对健康饮食的认识和重视程度。

三、倡议实施

学生组织可以积极组织健康饮食主题的宣传活动中，如制作宣传海报、发布倡议书等。同时，可以开展健康饮食知识竞赛、营养餐制作比赛等活动，提高同学们对健康饮食的认识和实践能力。

每位同学都应积极参与健康饮食的实践，学会合理搭配食物，培养良好的饮食习惯。同时，可以互相监督、互相鼓励，共同营造健康饮食的校园氛围。

四、结语

健康饮食是我们每个人的责任和义务。作为大学生，我们更应该关注自己的身体健康，养成平衡健康的饮食习惯。让我们共同携手，为建设健康、美好的校园而努力！

2025.5.26

9. 参考文献

- [1] 孔云，周学良，冷杰武. 基于改进白鲸优化算法的低碳柔性工艺规划[J]. 工程科技工辑;信息科技, 2024,(01),80-88
- [2] 陈奕君, 郑嘉利, 李芷芊, 张江波, 朱兴洪. 基于改进型白鲸算法的 RFID 网络规划[J]. 信息科技, 2024,51(03),317-325
- [3] 杨剑婷, 刘振, 朱振来, 凌启斌, 齐海军. 大学生膳食营养调查与评价[J]. 安徽科技学院学报.2013,27(04)
- [4] 杨月欣. 中国食品成分表[M].北京大学医学出版社, 2019.8