Operations Research and Fuzziology 运筹与模糊学, 2023, 13(3), 2058-2066
Published Online June 2023 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/orf
https://doi.org/10.12677/orf.2023.133205

基于运筹优化的河南省农产品供应点选址问题研究

荣　博，冯爱芬*，娄新新

河南科技大学，数学与统计学院，河南 洛阳

收稿日期：2023年4月12日；录用日期：2023年6月20日；发布日期：2023年6月27日

摘　要

河南省农产品供应点选址问题以供应点覆盖人口数最多、所花费的租赁费用最低为目标函数，以相邻区县关系为约束条件，建立了农产品供应点选址的多目标整数线性规划模型，采用约束法、线性加权法这两种方法对其进行求解，并对权重的选取进行了讨论，依此结果可以对农产品供应点选址进行统筹优化，降低农产品的销售与运输成本，缩短物流时间，保证农产品的质量。

关键词

整数线性规划，选址优化模型，约束法，线性加权法

Research on the Location of Agricultural Products Supply Points in Henan Province Based on Operations Optimization

Bo Rong, Aifen Feng*, Xinxin Lou

School of Mathematics and Statistics, Henan University of Science and Technology, Luoyang Henan

Received: Apr. 12th, 2023; accepted: Jun. 20th, 2023; published: Jun. 27th, 2023

Abstract

The problem of location selection of agricultural supply points in Henan Province takes the max-

*通讯作者。

文章引用: 荣博, 冯爱芬, 娄新新. 基于运筹优化的河南省农产品供应点选址问题研究[J]. 运筹与模糊学, 2023, 13(3): 2058-2066. DOI: 10.12677/orf.2023.133205

imum number of population covered by the supply points and the lowest lease cost as the objective function, and the relationship between neighboring districts and counties as the constraint condition. The multi-objective integer linear programming model of location selection of agricultural supply points is established. The two methods of constraint method and linear weighting method are used to solve the problem, and the selection of weights is discussed. According to the results, the location of supply points of agricultural products can be optimized as a whole, so as to reduce the sales and transportation costs of agricultural products, shorten the logistics time and ensure the quality of agricultural products.

Keywords

Integer Linear Programming, Location Optimization Model, Constraint Method, Linear Weighting Method

1. 引言

在农产品的销售运输中，物流运输是最为关键的一环，近年来，国家已经大力推进“数商兴农”工程的实施，奋力推进乡村电子商务化，这大大促进了河南省相对不发达地区的农产品销售情况。随着农业生产机械化、现代化的发展，农业生产产量有了很大的提升，农产品的运输问题逐渐被人们所关注。

为了解决农产品物流运输问题，国内外许多学者针对农产品的物流运输进行了研究，其中大部分研究方向主要是农产品的供应链、局域物流或研究物流经济效益。如胡勇建立的 SFC 法和模拟退火算法求解定位–车辆路线问题[1]，张雅娴研究的生鲜农产品物流中心选址问题[2]，汪寿阳等对集成物流管理系统中定位–运输路线安排问题的研究[3]，李祎嘉等通过因子分析法河南省农产品物流发展水平的研究[4]，王英全对 T 连锁便利配送中心选址研究[5]，尹巍巍对物流配送中心选址的实例研究[6]，霍雪咪等基于 Lingo 的物流配送中心选址问题研究[7]等等。

在物流运输中，供应点的定位是关键问题之一。考虑到运筹优化在解决与数学有关的实际问题中的效果良好，为此，本文在查阅大量参考文献的基础上，运用了整数线性规划的方法合理安排了供应点的选址，确保了对整个运输过程进行合理调配，从而提升农产品物流运输效率，优化物流运输分配，以提升农业的生产效益。

经过对农产品流通各环节进行详细的调查，并进行合理分析，可以优化农产品流通的整体过程，对农产品的后期加工、销售进行调查研究，确定各农产品的加工去向，可以提高资源利用率，提高农产品的自身价值，进而提高农民收益。

综上所述，优化农产品供应点选址和运输问题有重要的理论价值和现实意义。本文对调查报告进行分析，分析解决以下问题：对农产品供应点数量和供应点位置进行分析研究。

2. 供应点选址问题调查与分析

在物流系统中，供应点的选址定位和运输路线规划是其中最为关键的两个环节。供应点的选址不仅

影响着物流运输的距离，而且对物流运输的工作效率也会产生很大影响，运输路线的合理化规划将会大大缩短运输时间、节省运输能力、降低运输费用、减少中转环节、提高运输质量，以实现物流运输效益最大化。

供应点选址问题是在区县间的相邻关系和各区县人数已知的情况下，确定供应点的建造位置和建造数量，使得供应点可供应的人数达到最大。目前，我国对物流配送的研究较多，但是对供应点的选址问题研究还很少，运用运筹优化方法建立合理有效的供应点，不仅可以提高物流的配送效率，降低农产品的配送成本，而且可以提高农产品销售的整体效益，推动农产品现代化销售运输进程。

3. 河南省农产品供应点选址问题

以 A 市为例，对 A 市地理位置以及各区县人口进行调查，共有 12 个区县，在 A 市建立 n 个农产品供应点，向 12 个区的居民供应农产品，每个区的居民数量不同，且每个供应点只能向本区和一个相邻区的居民销售农产品，每个区的居民数量及位置如图所示，供应点应该建在何处，才能使所能供应的居民数量最大并使供应点的租赁费用最低。A 市各区县人口数见表 1。

Table 1. Population of districts and counties in A
表 1. A 市各区县人口

区县序号	全部人口	城镇人口数	租赁费用(/m^2)
1	962,642	754,711	765
2	1,061,263	832,030	765
3	819,439	642,440	765
4	1,617,541	1,268,152	765
5	197,399	154,761	1350
6	555,002	435,122	765
7	702,657	550,883	830
8	785,242	615,630	490
9	730,135	572,426	1350
10	826,031	647,608	370
11	1,172,237	919,034	1170
12	729,332	571,796	230

要想选择多少个合适的供应点使得覆盖人群达到最大并使租赁费用最低，选择合适的供应点就是本问题的关键所在。要在许多候选区域中选择最优的区域，就要制定最优的规划方案，即建立优化模型。每个地区都有选与不选的可能性，这就要用到 0~1 规划模型，每个区域只能选择一个供应代理点，最优

方案就是选择每个相邻供应点之间权值最大和次大的两个，将此方案限制转化成约束条件，建立目标函数，求最优解即可。

以 12 个区县作为顶点，两个区县具有相邻关系则相连，连线作为边，否则不相连，做出各区县相邻关系图，$V_i\left(1\le i\le 12\right)$ 代表 12 个区县；$x_{i,j}\left(1\le i\le 12,1\le j\le 12\right)$ 代表 20 条边。转化后的图见图 1：

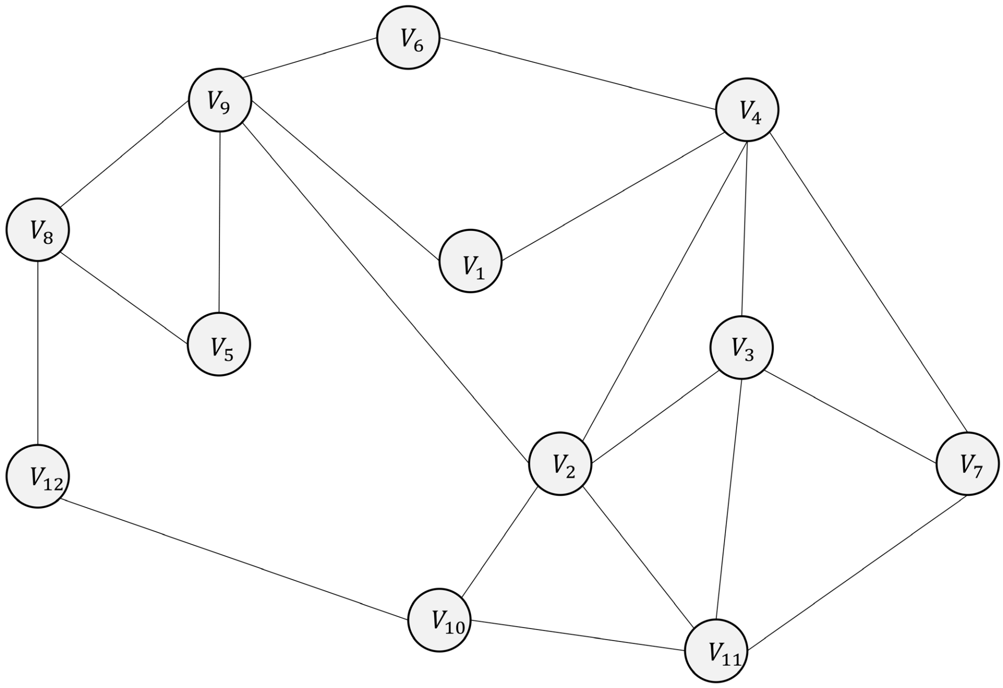


Figure 1. Neighborhoods by district
图 1. 各区县相邻关系

模型假设：

1) 每个供应点只能向该区和其邻近的区销售农产品。
2) 农产品的供应量远远满足居民的需求。
3) 供应点对所有区的价格相同。
4) 不考虑临区居民因路程远近而减少购买次数的因素。

3.1. 建立农产品销售运输选址模型

1) 决策变量的确定

在上述 12 地中的某两地之间建立代售关系 $x_{i,j}\left(1\le i\le 12,1\le j\le 12\right)$。$x_{i,j}=0$ 表示不建立关系，$x_{i,j}=1$ 表示建立关系。

2) 决策目标函数

$p_i\left(1\le i\le 12\right)$ 分别代表 12 个区县的人数；$c_i\left(1\le i\le 12\right)$ 分别代表 12 个区县的租赁费用。

$P_{i,j}\left(1\le i\le 12,1\le j\le 12\right)$ 表示每条边两端顶点对应的两个区县的人数之和。

$C_{i,j}\left(1\le i\le 12,1\le j\le 12\right)$ 表示每条边两端顶点对应的两个区县的租赁费用之和。

如图 2 所示，$P_{8,12}=p_8+p_{12}$，$C_{8,12}=c_8+c_{12}$，其余同理。

以供应的居民数量最大为目标可得：

$$\max \text{Supply} = \sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{12} x_{i,j} P_{i,j}$$

以租赁费用之和最低为目标可得：

$$\min \text{Price} = \sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{12} x_{i,j} C_{i,j}$$

3) 约束条件

供应点最低数量约束：

$$\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{12} x_{i,j} \geq 1$$

相邻区县关系约束：

每个供应点只能向能向本区/县和一个相邻区县的居民销售农产品，则与每个区/县建立关系的约束条件为：

$$\begin{cases} x_{8,12} + x_{8,9} + x_{8,5} \leq 1 \\ x_{8,12} + x_{12,10} \leq 1 \\ x_{8,5} + x_{9,5} \leq 1 \\ x_{8,9} + x_{9,5} + x_{9,6} + x_{9,1} + x_{9,2} \leq 1 \\ x_{12,10} + x_{10,2} + x_{10,11} \leq 1 \\ x_{9,6} + x_{6,4} \leq 1 \\ x_{9,1} + x_{1,4} \leq 1 \\ x_{9,2} + x_{10,2} + x_{2,3} + x_{2,4} + x_{2,11} \leq 1 \\ x_{10,11} + x_{2,11} + x_{3,11} + x_{11,7} \leq 1 \\ x_{6,4} + x_{1,4} + x_{2,4} + x_{4,3} + x_{4,7} \leq 1 \\ x_{2,3} + x_{3,11} + x_{4,3} + x_{3,7} \leq 1 \\ x_{11,7} + x_{4,7} + x_{3,7} \leq 1 \end{cases}$$

3.2. 河南省农产品选址模型求解

在对模型进行求解时，分别采用约束法、线性加权法这两种方法进行求解。

3.2.1. 约束法求解

利用约束法进行求解时，若选取 max Supply 为主要目标，则 min Price 目标处理为适当的约束，约束条件为：

$$\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{12} x_{i,j} C_{i,j} \leq b$$

参数 b 可根据实际情况取值，若令 b = 4800，则利用 *Lingo* 编程求解结果为：$x_{10,2} = x_{1,4} = x_{3,11} = 1$，即在 $V_2, V_3, V_1, V_4, V_{10}, V_{11}$ 六地建立供应点，此时 max Supply = 5,063,976，min Price = 4600。

若选取 *Minprice* 为主要目标，则 max Supply 目标处理为适当的约束，约束条件为：

$$\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{12} x_{i,j}P_{i,j} \geq c$$

参数 c 可根据实际情况取值，若令 $c = 4.5 \times 10^6$，则利用 *Lingo* 编程求解结果为：

$x_{8,12} = x_{10,2} = x_{1,4} = 1$，即在 $V_1, V_2, V_4, V_8, V_{10}, V_{12}$ 六地建立供应点，此时 min Price = 3385，max Supply = 4,689,928。

Lingo 程序见图 2：

```
model:
sets:
a/1/;
b/1..20/;
link(a,b):r,e,x,r0;
endsets
data:
r=1187426.016  1188055.568  770390.544   1219404.592  727186.656 1007547.408   1327137.168
1404456.032  1479638.496 1566642.112 1703273.712   1474470.368   2022863.472  2100182.336
1561473.984   1469916.896  1819035.232  1193323.264    1751064  1910592.32;
r0=720 1840 1840 600 2700 2115 2115 2115  1135 1540 1530 1530 1530 1530  1935 2000 1595
1595 1935 1530;
e=1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1;
enddata
max=@sum(link:r*x);
@sum(link:r0*x)<4800;
@sum(link:x*e)>1;
x(1,1)+x(1,2)+x(1,3)  <1;
x(1,1)+x(1,4)<1;
x(1,3)+x(1,5)<1;
x(1,2)+x(1,5)+x(1,6)+x(1,7)+x(1,8)<1;
x(1,4)+x(1,9)+x(1,10)<1;
x(1,6)+x(1,11)<1;
x(1,7)+x(1,13)<1;
x(1,8)+x(1,9)+x(1,12)+x(1,14)+x(1,19)<1;
x(1,10)+x(1,19)+x(1,15)+x(1,16)<1;
x(1,11)+x(1,13)+x(1,14)+x(1,20)+x(1,17)<1;
x(1,12)+x(1,15)+x(1,20)+x(1,18)<1;
x(1,16)+x(1,17)+x(1,18)<1;
@for(link:@bin(x));
end
```

Figure 2. Binding method Lingo procedure
图 2. 约束法 Lingo 程序

3.2.2. 线性加权法求解

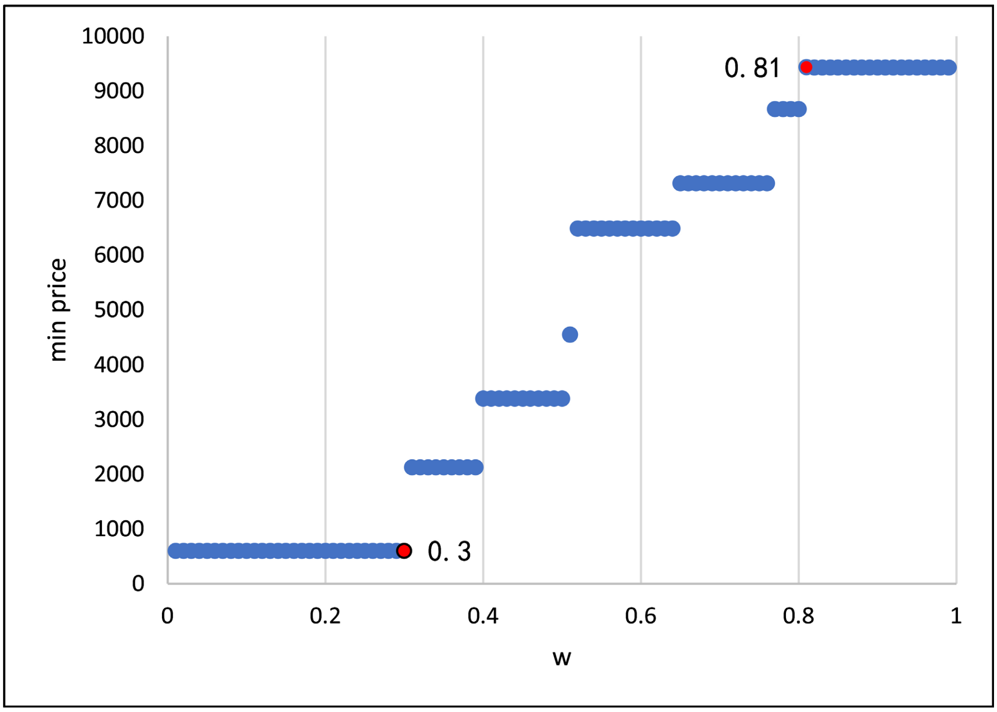
利用线性加权法求解时，需要为每一决策目标函数赋一个权系数，从而把多目标模型转化成单目标模型，决策目标函数为

$$\max = w\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{12} x_{i,j}P_{i,j} - (1-w)\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{12} x_{i,j}C_{i,j}$$

参数 w 根据实际情况取值，若 max Supply 更重要，可令 $w = 0.7$ 或 0.6，则求解结果为：$x_{8,12} = x_{10,11} = x_{2,3} = x_{1,4} = 1$，即在 $V_1, V_2, V_3, V_4, V_8, V_{10}, V_{11}, V_{12}$ 八地建立供应点，此时 max Supply = 6,251,401，min Price = 5320。

若 *MinPrice* 更重要，可令 $w = 0.4$，此时利用 *Lingo* 编程求解结果为 $x_{8,12} = x_{2,11} = x_{1,4} = 1$，即在 $V_1, V_2, V_4, V_8, V_{11}, V_{12}$ 六地建立供应点，此时 max Supply = 4,689,928，min Price = 3385。

对参数 w 多次取值，利用 *MATLAB* 编程做出散点图，见图 3：



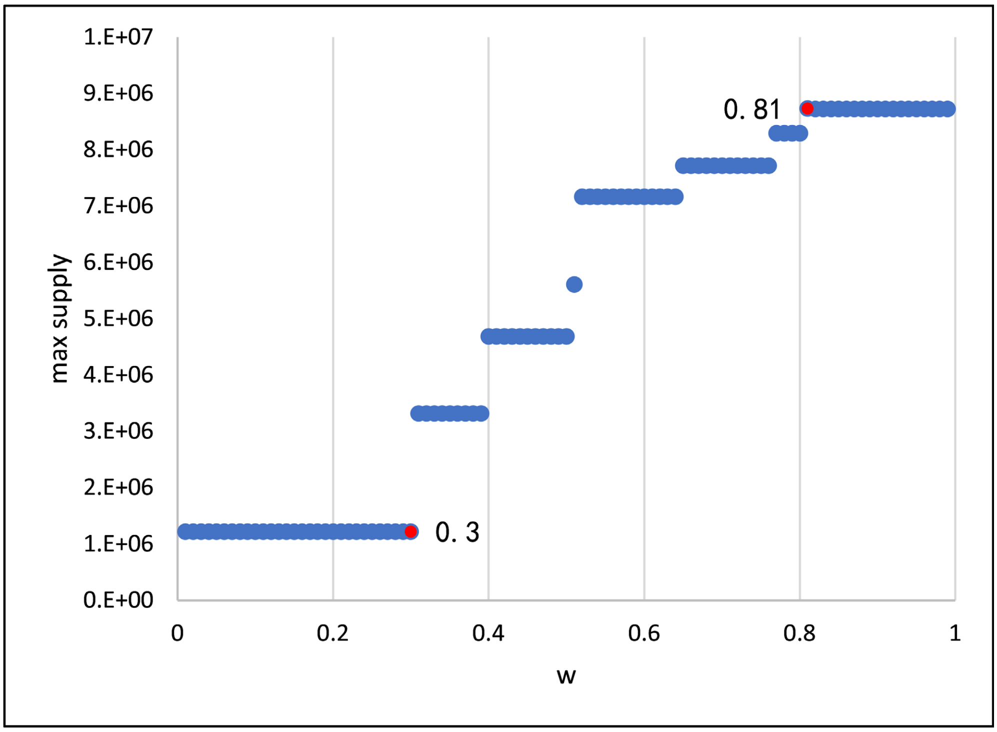


Figure 3. Objective function value scatter plot
图 3. 目标函数值散点图

由图可知，当 $w \le 0.3$ 时目标函数值与 $w = 0$ 时的目标函数值相同，$w \ge 0.81$ 时目标函数值与 $w = 1$ 时的目标函数值相同。

Lingo 和 *MATLAB* 程序见图 4：

```
model:
sets:
a/1/;
b/1..20/;
link(a,b):r,e,x,r0;
endsets
data:
r=33.52081632     33.56666876 3.146687832 35.84992605 0     20.41963832
43.69646028 49.32785921 54.80365677 61.14042952 71.09177911
54.42724423 94.36860107 100   60.76401697 54.09559919
79.52308896 33.95033319 74.57251024 86.19150674;
r0=5.714285714    59.04761905 59.04761905 0     100
72.14285714 72.14285714 72.14285714 25.47619048 44.76190476
      44.28571429 44.28571429 44.28571429 44.28571429 63.57142857
      66.66666667 47.38095238 47.38095238 63.57142857 44.28571429;
e=1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1;
enddata
max=0.4*@sum(link:r*x)-0.6*@sum(link:r0*x);
@sum(link:x*e)>1;
x(1,1)+x(1,2)+x(1,3)  <1;
x(1,1)+x(1,4)<1;
x(1,3)+x(1,5)<1;
x(1,2)+x(1,5)+x(1,6)+x(1,7)+x(1,8)<1;
x(1,4)+x(1,9)+x(1,10)<1;
x(1,6)+x(1,11)<1;
x(1,7)+x(1,13)<1;
x(1,8)+x(1,9)+x(1,12)+x(1,14)+x(1,19)<1;
x(1,10)+x(1,19)+x(1,15)+x(1,16)<1;
x(1,11)+x(1,13)+x(1,14)+x(1,20)+x(1,17)<1;
x(1,12)+x(1,15)+x(1,20)+x(1,18)<1;
x(1,16)+x(1,17)+x(1,18)<1;
@for(link:@bin(x));
end
```

```
a2=-ones(1,20);
a3 =[1 1 1 0 0 0 0 0 0 0    0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
a4 =[1 0 0 1 0 0 0 0 0 0    0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
a5 =[0 0 1 0 1 0 0 0 0 0    0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
a6 =[0 1 0 0 1 1 1 1 0 0    0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
a7 =[0 0 0 1 0 0 0 0 1 1    0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
a8 =[0 0 0 0 0 1 0 0 0 0    1 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
a9 =[0 0 0 0 0 0 1 0 0 0    0 0 1 0 0 0 0 0 0 0];
a10=[0 0 0 0 0 0 0 1 1 0    0 1 0 1 0 0 0 0 1 0];
a11=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 1    0 0 0 0 0 1 1 0 1 0];
a12=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0    1 0 1 1 0 0 1 0 0 1];
a13=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0    0 1 0 0 1 0 0 1 0 1];
a14=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0    0 0 0 0 0 1 1 1 0 0];
a=[a2; a3;a4;a5;a6; a7;a8;a9;a10;  a11;a12;a13;a14];
b=[-1;  1;1;1;1;  1;1;1;1;  1;1;1;1];
lb=zeros(20,1);
ub=ones(20,1);
for i=1:99
f=-(i/100)*br+(1-i/100)*br0;
[x,fval,flag]=intlinprog(f,20,a,b,[],[],lb,ub);

q_supply(1,i)=x'*r;q_price(1,i)=x'*r0;q_i(1,i)=i;
end
figure(2);
subplot(1,2,1);plot(q_i,q_price,'o');xlabel('w');ylabel('min price');
subplot(1,2,2);plot(q_i,q_supply,'o');xlabel('w');ylabel('max supply')
```

Figure 4. Linear weighting procedure
图 4. 线性加权法程序

4. 结语

本文研究了多目标整数线性规划在农产品供应点选址问题中的应用，以供应点覆盖人口数最多、建立供应点所花费的租赁费用最低为目标函数，以相邻区县关系为约束条件，建立了多目标整数规划模型，利用 *Lingo* 和 MATLAB 编程求解，得出的选址结果可以为农产品企业制定更优的销售与运输方案提供一些参考。

基金项目

国家基金项目(12101195)；河南科技大学大学生研究训练计划项目(SRTP：2022225)。

参考文献

[1] 胡勇. 基于 SFC 法和模拟退火算法求解定位-车辆路线问题研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2006. https://doi.org/10.7666/d.y978113

[2] 张雅娴. 河南省生鲜农产品物流中心选址研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2019.

[3] 汪寿阳, 赵秋红, 夏国平. 集成物流管理系统中定位——运输路线安排问题的研究[J]. 管理科学学报, 2000, 3(2): 69-75.

[4] 李祎嘉, 吕玉花. 基于因子分析法的河南省农产品物流发展水平研究[J]. 中国商论, 2022(15): 4-6. https://doi.org/10.19699/j.cnki.issn2096-0298.2022.15.004

[5] 王英全. T 连锁便利配送中心选址研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 中北大学, 2019.

[6] 尹巍巍. 物流配送中心选址的实例研究[J]. 物流工程与管理, 2020, 42(4): 68-71+23.

[7] 霍雪咪, 傅航. 基于 Lingo 的物流配送中心选址问题研究[J]. 物流工程与管理, 2020, 42(2): 111-112.