

模糊线性规划饲料配方模型的建立与应用

艾景军,刘大有,曹东军,姜 丽

(吉林大学计算机科学与技术学院,吉林长春 130021)

摘 要: 规划技术在工业生产、交通、化工和航天等领域等得到广泛应用. 作者根据动物生长发育规律特点,建立了饲料配方模糊线性规划模型. 在原有工作基础上研制了新一代饲料配方优化软件. 该软件较国内外其它同类系统增加了模糊线性规划优化手段. 与普通线性规划和目标规划技术相比,模糊线性规划可进一步降低饲料配方成本. 本文对三种模型应用结果进行了比较和分析.

关键词: 模糊线性规划; 饲料配方; 线性规划; 目标规划

中图分类号: TP31 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 11-1568-03

Establishing and Application of Fuzzy Programming Model in Feed Formula

AI Jing-jun, LIU Da-you, CAO Dong-jun, JIANGLi

(Department of computer science, Jilin University, Changchun, Jilin 130023, China)

Abstract: Programming technology has been applied in industry, traffic, chemical plant and cosmonautics et al. The author established fuzzy linear programming (FLP) model for feed formula in light of feature of animal growth. A new version of feed formula software has been developed basing on the original one. The new software is better than similar system inside and outside China for its fuzzy programming technology. FLP can decrease the cost of feed compared with linear programming (LP) and objects programming (OP). This paper contrasted and analyzed the results of three optimizing models.

Key words: fuzzy linear programming (FLP); Feed formula; linear programming (LP); objects programming (OP)

1 引言

借助于运筹学优化饲料配方技术国内始于 1984 年,由张子仪等采用 Basic 语言编制的线性规划程序运行于 PC1500 型计算机上,由用户输入数据. 随着微机普及应用,到 90 年代初国内相继出现若干运行于微机上的通用饲料配方优化软件^[1~2]. 这些软件优化手段仍只有线性规划,但是软件已包含了常用的饲料营养成分和饲养标准数据,用户只需修改数据就可计算配方. 1992 年由许万根等研制的 CMIX 配方系统在国内率先引入了目标规划技术^[3]. 同时国外配方软件也被引进,象美国的 Brill 系统和 REFS 系统. 这些系统虽然各具特色,但是就优化算法看仍只有线性规划和目标规划两种. 由于动物对营养素的需要量具有一定的不确定性,因此对动物饲料配方优化问题进行模糊线性规划建模,以期找到一种更符合动物生长发育规律的优化手段. 在原有工作基础上研制了新一代饲料配方优化软件. 新版本还增加了灵敏度分析模型和预混料制作工具. 有 1000 余个饲料厂或养殖场采用了该系统. 用户反馈信息表明,模糊线性规划可进一步降低饲料配方成本,灵敏度分析技术可为饲料原料采购和产品定位提供决策支持. 软件取得了良好社会效益和经济效益.

2 模糊线性规划数学模型

能量、蛋白质、氨基酸、矿物质元素、维生素是动物生命活动所必需的营养素,现代养殖业的集约化生产使动物与自然环境隔离,畜禽对各类营养素的需要只能由饲料提供. 动物营养学家已经确定了动物对各种营养素的需要量和饲料当中各营养素的含量. 动物对各种营养素的需要量被换算成营养浓度,制定出饲养标准. 测定饲料当中各营养素的含量编制成饲料营养价值表. 由于动物生长发育具有不确定性,生命现象应引入运动和模糊的概念. 因而也就不应该机械静止地看待饲养标准. 动物的营养需要应该以饲养标准为轴心,在一定范围内变化的一种弹性约束. 线性规划的约束条件是硬性规定的,缺乏弹性,如果有一条约束不满足,就会造成系统无可行解. 从而可能丢失价格和营养平衡方面都比较满意的解. 例如,如果某约束条件 $F_i(x) \leq b_i$,按线性规划的要求,只有在满足约束条件下计算出价格最低的最优解. 但是也有可能完全是为了满足约束条件 $F_i(x) \leq b_i$ 而造成价格上升或配方营养成分不平衡. 在这种情况下,若系统能自动放宽该约束条件就有可能输出一价格较低和营养平衡的配方. 为此我们借助于模糊逻辑方法对饲料配方优化矩阵建立模糊线性规划模型^[4,5].

目标函数:

$$\text{Min } Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$$

约束条件:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n & \quad b_1 \text{ (或 } =, \quad b_1) \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n & \quad b_2 \text{ (或 } =, \quad b_2) \\ \dots\dots & \quad \dots\dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n & \quad b_m \text{ (或 } =, \quad b_m) \\ x_j & \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

其中 x_1, x_2, \dots, x_n 为决策变量,即各种原料在配方中的数量;
 $a_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 各种原料相应的营养成分(包
 括某种原料的用量的限制系数,通常为 1); b_1, b_2, \dots, b_m 为配
 方中应满足的各项营养指标或重量指标值. n 为配方原料个
 数, m 为约束方程数; c_1, c_2, c_n 为每种饲料原料的价格.

分别表示“近似大于等于”和“近似小于等于”. 设 $X = \{x \mid x \in R^n, x \geq 0\}$, 对每个约束 $F_i(x) \leq b_i$, 相应地有 X 中一
 个模糊子集 D_i 与之对应,其隶属函数如下:

$$D_i(x) = f_i \left(\frac{a_{ij}x_j}{b_i - d_i} \right) = \begin{cases} 1, & \text{当 } a_{ij}x_j \geq b_i \\ 1 - \frac{1}{d_i} \left(b_i - a_{ij}x_j \right), & \text{当 } b_i - d_i \leq a_{ij}x_j < b_i \\ 0, & \text{当 } a_{ij}x_j < b_i \end{cases}$$

记 $t_i = \frac{a_{ij}x_j}{b_i - d_i}$, 则 $f(t_i)$ 的图象如图 1 所示. 其中 d_i 是适
 当的伸缩度, $d_i \geq 0 (i = 1, 2, \dots, m)$.

令 $D = D_1 \cap D_2 \cap \dots \cap D_m (X)$, 称为对应的约束条件
 $Ax \leq b(x \geq 0)$ 的模糊约束集. 当 $d_i = 0 (i = 1, 2, \dots, m)$ 时, D
 退化为普通约束集 D , 它满足约束条件 $Ax \leq b(x \geq 0)$. 这时约
 束方程中的“ \leq ”退化为“ \leq ”.

对目标函数 $\text{Min } Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$ 构造模糊目标
 集 $M (X)$, 其隶属函数如下:

$$M(x) = g \left(\frac{c_j x_j}{z_0 - d_0} \right) = \begin{cases} 0, & \text{当 } c_j x_j \leq z_0 - d_0 \\ \frac{1}{d_0} \left(z_0 - c_j x_j \right), & \text{当 } z_0 - d_0 < c_j x_j \leq z_0 \\ 1, & \text{当 } c_j x_j > z_0 \end{cases}$$

记 $t_0 = \frac{c_j x_j}{z_0 - d_0}$, 则 $g(t_0)$ 的图象如图 2 所示. 其中 z_0 是严格遵

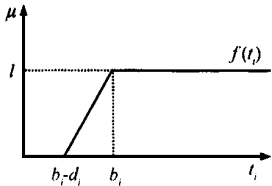


图 1

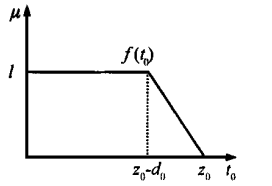


图 2

守约束条件时目标函数最小值, d_0 是约束条件适当的伸缩后
 目标函数值与 z_0 的差值.

显然,当 $D(x) = 1$ 时, $M(x) = 0$, 欲使目标值小于 z_0 , 必
 须降低 $D(x)$. 为了兼顾模糊约束集 D 与模糊目标集 M , 可采
 用模糊判决 $D_F = D \cap M$, 然后找最佳点 x^* 使得

$$D_F(x^*) = D(x^*) \cap M(x^*) = (D(x) \cap M(x))$$

也就是说由 M 诱导的可能性测度 μ_{D_F} 对 x^* 的可能度

$$(\mu_{D_F})(x^*) = \mu_D(x^*) \cdot \mu_M(x^*) = D \cdot M$$

最佳点 x^* 满足

$$D(x^*) \cap M(x^*) = (D_F)(x^*) = D \cdot M$$

由于

$$\begin{aligned} D \cdot M &= (D(x) \cap M(x)) \\ &= \{x \mid D(x) = 1, M(x) = 0\} \cup \{x \mid D(x) < 1, M(x) > 0\} \\ &= \{x \mid D_1(x) = 1, D_2(x) = 1, \dots, D_m(x) = 1, M(x) > 0\} \end{aligned}$$

所以,问题归结到求普通线性规划问题

$$\begin{aligned} \text{Min } S &= \\ 1 - \frac{1}{d_i} \left(b_i - \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \right) &\geq \\ \frac{1}{d_0} \left(z_0 - \sum_{j=1}^n c_j x_j \right) &\geq \\ 0, x_1, x_2, \dots, x_n &\geq 0 \end{aligned}$$

进一步变换得

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j - d_i &\geq b_i - d_i \\ \sum_{j=1}^n c_j x_j + d_0 &\geq z_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Min } S &= \\ 0, x_1, x_2, \dots, x_n &\geq 0 \\ i &= 1, 2, \dots, m \\ j &= 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

用改进单纯形方法求出最优解 $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*, d_i^*)$, 则

$$(D_F)(x^*) = D \cdot M = 1$$

最佳点配方: $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$

最低成本 $z^* = \sum_{j=1}^n c_j x_j^*$

3 三种优化模型结果比较

在相同饲料原料、营养成分和约束值条件下(见表 1), 其
 中“标准”列采用美国 NRC 于 1998 公布的模型^[6]. 下面是利用
 我们研制的配方优化系统采用三种优化技术所得结果(见表
 2、表 3).

表 1 生长猪 10~20kg 采食 1000g 配方模型

(单位:元、兆卡/Kg, %)

指标	玉米	麸皮	豆粕	棉粕	菜粕	豆油	鱼粉	石粉	氢钙	赖氨酸	标准
价格	0.9	1.2	2.8	1.4	1.5	8.0	6.0	0.2	2.0	28.0	Min Z
DE	3.4	2.2	3.2	2.2	2.5	7.7	2.9	0.0	0.0	0.0	3.4
CP	8.7	15.7	46.8	42.5	38.6	0.0	62.8	0.0	0.0	0.0	20.9
Ca	0.0	0.1	0.3	0.2	0.6	0.0	3.8	35.8	23.2	0.0	0.7
P	0.2	0.9	0.6	0.9	1.0	0.0	2.7	0.0	18.0	0.0	0.6
Lys	0.2	0.5	2.8	1.5	1.3	0.0	4.9	0.0	0.0	78.0	1.15
Thr	0.3	0.4	1.8	1.3	1.4	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.74
合计	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	100.0

表 2 三种不同规划方法结果比较

(单位:元/Kg, %)

原料	价格	线性规划	目标规划	模糊线性规划
玉米	0.9	51.43	55.44	55.40
麸皮	1.2	8.00	9.14	8.00
豆粕	2.8	25.87	28.27	24.02
棉粕	1.4	3.00	0.00	3.00
菜粕	1.5	3.00	0.00	3.00
豆油	8.0	5.78	4.90	3.71
鱼粉	6.0	1.00	0.00	1.00
石粉	0.2	0.99	0.95	1.00
氢钙	2.0	0.78	1.08	0.70
赖氨酸	28.0	0.15	0.22	0.17
合计		100.00	100.00	100.00
吨成本		1977.9	1899.9	1797.8

表 3 三种不同规划配方营养比较

(单位:元、兆卡/Kg, %)

营养指标	标准	线性规划	目标规划	模糊线性规划
消化能 DE	3.40	3.40	3.40	3.32
粗蛋白 CP	20.90	20.90	19.49	20.38
钙 Ca	0.70	0.70	0.70	0.68
磷 P	0.60	0.60	0.60	0.59
赖氨酸 Lys	1.15	1.15	1.15	1.12
苏氨酸 Thr	0.74	0.78	0.74	0.77

从实验结果(表 2)可看出,三种规划方法的吨成本分别是 1977.9、1899.9 和 1797.8 元,模糊线性规划比普通线性规划和目标规划计算吨成本分别低 180.1 元和 102.1 元。三种规划方法均有较好的营养平衡(表 3),从动物营养学看不会产生饲养效果上的差异。模糊伸缩指标通常可设定 -5%至 +5%之间。正伸缩指标指提高营养水平,负伸缩指标指降低营养水平,伸缩指标为 0%时,与线性规划结果相同。上述实验结果是在伸缩指标为 -5%下取得。如果伸缩指标为正则可使吨成本增加,但是营养水平相应提高。与线性规划相比模糊线性规

划不是简单的降低营养标准,而是保持营养平衡前提下,最大限度达到用户设定伸缩度以降低成本。技术人员在做配方时往往根据具体情况对饲养标准进行调整,模糊线性规划为这种调整提供了一个科学依据,比人为调整后再进行线性规划要方便快捷,并且程序会自动兼顾营养平衡问题。对于目标规划来说,也同样具有这些功能,但是客户反馈信息表明,目标规划可操作性差,需要用户设定权重、优先级、目标价格。而大多数用户对目标规划原理不了解,设定参数不合理,导致目标规划运行结果不理想。

参考文献:

- [1] 艾景军,许万根. 生长猪营养代谢模型中若干概念探讨 [J]. 动物营养学报,1996,8(3):54-62.
- [2] 卢德勋. 实现羊营养需要量模型化和计算机化 [A]. 动物营养研究进展 [C],北京:中国畜牧兽医学学会动物营养学分会,1994:36-48.
- [3] 许万根,苗泽荣. 蛋鸡配方专家系统的研制 [J]. 饲料工业,1992,4.
- [4] 张振良. 应用模糊数学 [M]. 重庆:重庆大学出版社,1988.
- [5] L A Zadeh. Fuzzy Sets [J]. Information and Control,1965,8.
- [6] National Research Council. Nutrient requirements of swine [S]. 1998, 10th revised. Washington, D. C. :National Academy Press.

作者简介:



艾景军 男,1969年2月10日出生于吉林永吉,1996年在解放军农牧大学获动物生产学硕士学位,2001年毕业于吉林大学计算机科学与技术学院,获工学博士学位。研究领域为知识工程、数据库和运筹学等。



刘大有 男,教授、博士生导师,1943年7月出生吉林省长春市。1968年毕业于吉林大学计算机系,获硕士学位。现任吉大计算机科学与技术学院院长和国务院学位委员会学科评议组成员等职务。主要研究知识工程与 ES, DAI 与智能 Agent, 空间推理与 GIS, 组集、格机与数据挖掘, 智能软件等。承担国家级和省部级项目 27 项,发表论文、著作 140 多篇。获国家科技进步三等奖 1 项,省部级科技进步一等奖 2 项,省部级二、三等奖 6 项。