

度,达到划分食品产品等级的目的。

以第二、三部分讨论的羊奶粉为例:

硬规定性指标权重定为 0.4,软规定性指标权重定为 0.6

则综合隶属度为:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 0.4 \times Y_{1理} + 0.6 \times Y_{1感} \\ &= 0.4 \times 0.297 + 0.6 \times 0.17 \\ &= 0.221 \end{aligned}$$

同理可求出:

$$Y_B = 0.377, Y_C = 0.354, Y_D = 0.032$$

所以该产品综合隶属度集为(归一化后):

$$Y = (0.225, 0.383, 0.360, 0.032)$$

按最大值原则,此产品应定为 B 级。

如果某个产品隶属度集中出现两个并列极大,如:

$$Y = (0.013, 0.440, 0.440, 0.107)$$

则看其次大峰方向,这个产品应定为 C 级。

通过产品隶属度集极大值和次大值的大小还可将产品在同一级别内排定名次。

如:

$$Y_1 = (0.110, 0.421, 0.302, 0.167)$$

$$Y_2 = (0.121, 0.421, 0.331, 0.127)$$

$$Y_3 = (0.103, 0.480, 0.257, 0.190)$$

则上面三个 B 级产品名次排序应为:

产品 3, 产品 2, 产品 1

五、结论

本文以加糖全脂羊奶粉的综合分等分级为例,说明了食品产品分等分级的方法。这种方法即可将对人体健康造成危害的产品(控制指标超标)列为等外品,又可利用模糊数学的先进手段定量地对感官指标项目进行评定,同时引入隶属度概念解决了过去产品评比过程中理化卫生指标检测 results 和感官指标评定分数之间难以有机地相结合的难题,从而可以全面地定量化对食品产品进行分等分级分数的评定,以促进我国质量控制方面向国际标准靠拢。同时此法还可用于产品评优时的评分工作,使产品评优时既可考虑理化卫生质量对总分的影响,又消除了感官评定工作中人为因素的干扰,使产品名次的排序更加合理。

参 考 资 料

- (1) 王化泉等 《食品科学》4, 21~23, 1987
- (2) 李有巨 《食品科学》4, 23~25, 1987
- (3) 吕志俭 《食品科学》3, 1~5, 1986

猪屠宰加工中烫毛温度的模糊综合评定

干 尧 根

一、引言

模糊数学于 60 年代美国控制专家 L. A. 扎德(zadeh) 首先提出^[1], 20 余年来迅速发展,并在许多生产领域中得到广泛应用。笔者尝试在食品加工过程中应用作一试探,不当之处,请有关专家指教。

在肉类加工工业宰猪生产过程中,除毛工序中需要用热水进行浸泡,使猪皮毛孔松开,使除毛容易。热水温度根据生产实践有一定范围。水温很低,达不到烫毛要求,即不能使猪

皮毛孔受热松开。达到某一水温,可以使毛孔松开,这是最低烫猪水温,但烫毛时间长,生产率低。若水温过高,毛孔胀结,猪毛毛根被涨结,难以除毛,甚至过烫,猪皮烫烂,俗称老烫,影响产品质量。所以烫猪温度有一定范围,即水温有下限和上限,因此烫猪温度是一个模糊数。决定烫毛的温度,还有许多影响因素,如烫毛时间,猪的品种,饲养条件,猪身大小,猪皮厚薄,生产季节,工人操作技术的熟练程度等等。这些因素都是模糊数,对烫毛的影响,在模糊集合中可以用隶属函数的值,

即隶属度来表示^[2]。

在模糊数学中, 这些模糊因素可以用定量的方法进行描述和分析计算。下面我们用二级模糊综合评定猪烫毛水温参数值。

二、猪烫毛水温模糊评定

1. 建立因素集 U

影响猪烫毛温度参数选值的诸多模糊因素, 归纳为五个因素: 烫毛时间 u_1 , 机器烫猪一般时间是一定的, 但是在从烫猪机烫完到刨毛机刨毛有一等待时间, 约占机器烫猪时间的 $1/4 \sim 1/2$, 也属模糊数; 猪的品种 u_2 , 与猪的品种有关的, 如毛色、猪皮厚薄、皱纹深浅等; 饲养条件(时间) u_3 , 如猪身个体大小, 饲养时间长短等; 季节情况 u_4 , 生产季节处于气候由热到冷转变时, 或由冷转变为暖时, 猪为适应季节变化增毛或更毛, 都是难以除毛; 操作人员技术熟练情况 u_5 。

因素集为:

$$U = \{u_i\} = \{u_1, u_2, \dots, u_5\} \quad (1)$$

式中: $(i = 1, 2, \dots, 5)$

其每一因素又可以按照性质和程度分为 5 个等级, 由于因素的模糊性以及各个等级的模糊性质, 难以把某一因素具体规定它为某一等级。所以各个因素也可视为等级论域上的模糊子集, 即

$$\begin{aligned} u_i &= \sum_{j=1}^5 \frac{\mu_{ij}}{u_{ij}} \\ &= \frac{\mu_{i1}}{u_{i1}} + \frac{\mu_{i2}}{u_{i2}} + \dots + \frac{\mu_{i5}}{u_{i5}} \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $(0 \leq \mu_{ij} \leq 1; i = 1, 2, \dots, 5; j = 1, 2, \dots, 5)$

这里符号 Σ 不是数字的和, $\frac{u_{ij}}{u_{ij}}$ 也不是分数, 它只有符号意义, 它只表示点 u_{ij} 时模糊集 u_i 的隶属度 μ_{ij} 。

上述因素等级及因素等级对该因素的隶属度 μ_{ij} , 列于表 1 和表 2。

2. 建立备择集

烫毛温度 t 根据生产实践经验取值, 其范

表 1 影响因素及其等级

因素 u_i	等 级				
	1	2	3	4	5
u_1 烫毛时间	长	较长	一般	较短	短
u_2 猪的品种	易去毛	较易去毛	一般	较难去毛	难去毛
u_3 饲养时间	短	较短	一般	较长	长
u_4 季节情况	很好	好	较好	不好	最不好
u_5 操作技术	不熟练	不太熟练	中等	较熟练	熟练

表 2 各因素等级隶属度

因素 u_i	隶 属 度 μ_{ij}				
	1	2	3	4	5
u_1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
u_2	0	0.3	0.5	0.9	1.0
u_3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0
u_4	0	0.3	0.8	0.9	1.0
u_5	0.1	0.3	0.6	0.9	1.0

围的区间为:

$$[t, \bar{t}] = [59, 63]$$

式中: t 是下界温度, 取 $t = 59^\circ\text{C}$; \bar{t} 是上界温度, 取 $\bar{t} = 63^\circ\text{C}$ 。而且温度参数在下界至上界区间是连续的。

由于待定的烫毛温度参数值必然包含在预定的区间内, 为了从综合评定中确定该参数值, 可以把区间 $[t, \bar{t}]$ 按等步距取一系列离散值集。取步距为 0.5°C , 得到烫毛温度的备择集为:

$$T = \{t_p\} = \{59.0, 59.5, \dots, 63.0\} \quad (3)$$

式中: $(p = 1, 2, \dots, 9)$

3. 一级模糊综合评定

一级模糊综合评定是通过一个因素的各个等级对评定对象取值作一单因素评定。通常各因素等级集与总评定集不一定同序。这里采用各因素等级集与总评定集同序(表 1, 表 2)。烫泡时间长, 去毛容易, 饲养时间短, 猪个体小, 操作技术不熟练, 生产季节不在换毛季节时, 要求浸泡温度要求低。反之, 烫泡时间短,

去毛难, 饲养时间长, 猪个体大, 操作熟练, 生产季节在换毛季节时, 浸泡温度要求高。

采用各因素通用的同一等级评定隶属度为行, 组成矩阵为(符号 \sim 表示模糊):

$$R = \{y_{ip}\}$$

$$= \begin{pmatrix} 1.0 & 0.9 & 0.7 & 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.9 & 1.0 & 0.9 & 0.7 & 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.9 & 1.0 & 0.9 & 0.7 & 0.5 & 0.3 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.9 & 1.0 & 0.9 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.9 & 1.0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

式中: ($j=1, 2, \dots, 5; p=1, 2, \dots, 9$)

第一行表示第一等级对各择集中各元素的隶属度; 第二行表示第二等级对各择集各元素的隶属度;; 第五行表示第五等级对各择集各元素的隶属度。

把表2所列各因素的隶属度 μ_{ij} 归一化的值:

$$W_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{\sum_{i=1}^5 \mu_{ij}} \quad (5)$$

取作各因素各等级的权数, 其值列于表3, 于是可得第 i 个因素权重集:

$$W_i = \{W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{i5}\} \quad (6)$$

式中: ($i=1, 2, \dots, 5$)

全部因素的权重矩阵为:

$$W = \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \\ W_5 \end{pmatrix} = \{W_{ij}\} \quad (7)$$

式中: ($i=1, 2, \dots, 5; j=1, 2, \dots, 5$)

表3 各因素等级隶属度归一值

因素 u_i	隶属度归一值 w_{ij}				
	1 (w_{i1})	2 (w_{i2})	3 (w_{i3})	4 (w_{i4})	5 (w_{i5})
$u_1 (w_{1j})$	0.25	0.23	0.20	0.17	0.15
$u_2 (w_{2j})$	0	0.11	0.19	0.33	0.37
$u_3 (w_{3j})$	0.11	0.17	0.19	0.25	0.28
$u_4 (w_{4j})$	0	0.10	0.27	0.30	0.33
$u_5 (w_{5j})$	0.03	0.10	0.21	0.31	0.35

对全部因素各个等级进行综合评定, 使得一级模糊综合评定集:

$$\underline{A} = W \circ R \quad (8)$$

式中: 符号 \circ 是运算逻辑符号, 可具体采用各种算子, 我们采取 $MC, +$ 算子, 即普通矩阵的乘法运算:

$$a_{ip} = \sum_{j=1}^5 W_{ij} r_{jp} \quad (9)$$

式中: ($i=j=1, 2, \dots, 5; p=1, 2, \dots, 9$)

式(4)(7)(表3)数据代入式(8)(9)进行模糊矩阵乘法运算, 得到一级模糊综合评判矩阵:

$$\underline{A} = \{a_{ip}\}$$

$$= \begin{pmatrix} 0.49 & 0.57 & 0.61 & 0.63 & 0.60 & 0.57 & 0.51 & 0.43 & 0.35 \\ 0.17 & 0.26 & 0.38 & 0.50 & 0.61 & 0.71 & 0.76 & 0.75 & 0.45 \\ 0.31 & 0.40 & 0.48 & 0.56 & 0.60 & 0.64 & 0.64 & 0.61 & 0.53 \\ 0.18 & 0.29 & 0.41 & 0.55 & 0.65 & 0.73 & 0.75 & 0.72 & 0.64 \\ 0.19 & 0.28 & 0.40 & 0.52 & 0.61 & 0.70 & 0.74 & 0.72 & 0.64 \end{pmatrix} \quad (10)$$

4. 二级模糊综合评定

各个因素影响参数取值重要程度是不同的, 可通过第 i 个因素 u_i 的权数 w_i 来反映, 各因素重要程度的因素权重集表示为:

$$w = \{w_1, w_2, \dots, w_5\} \quad (11)$$

显然, 因素权重集应是因素集上的模糊子集, 各权数应满足归一性和非负性条件。即

$$\sum_{i=1}^5 w_i = 1$$

$$w_i \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, 5)$$

权数应根据实际情况分配, 突出主要因素, 这里考虑在季节从暖和转向寒冷时, 去毛特别困难, 季节情况重要程度大一些, 给予较大的权数值, 取因素权重集为:

$$w = \{0.1 \quad 0.2 \quad 0.2 \quad 0.4 \quad 0.1\} \quad (12)$$

于是, 按全部因素进行综合评定, 便可得到二级模糊综合评定集为:

$$\underline{B} = W \circ \underline{A} = \{0.236 \quad 0.333 \quad 0.437$$

$$0.547 \quad 0.623 \quad 0.689 \quad 0.705$$

$$0.675 \quad 0.547\} \quad (13)$$

5 参数值的确定

获得二级模糊综合评定集 $\underline{B} = \{b_1, b_2, \dots,$

$b_p\}$ 后, b_q 值是综合考虑所有因素时评定对象对备择集中第 q 个元素的隶属度, 可采取下面两种方法具体确定烫毛温度参数值。

1) 最大隶属法

取综合评定集元素 $\max b_q$ 相应的备择集同序号的元素 t_q 为烫猪温度参数值。这里取 $\max b_q = 0.71$, 相应的烫猪温度 $t_q = 62^\circ\text{C}$ 。

2) 取评定集 $b_q (q = 1, 2, \dots, p_0)$ 为权数, 对 $t_q (q = 1, 2, \dots, p_0)$ 进行加权平均的值为温度参数 t 的值。计算式为:

$$t = \frac{\sum_{q=1}^p b_q t_q}{\sum_{q=1}^p b_q} \quad (14)$$

此例 $p = 7$, 式(3)和(13)中的 t_q 和 b_q 的数值代入上式, 可得烫猪温度参数值为: $t = 61.5^\circ\text{C}$ 。

三、结束语

1. 由上述例子可见, 二级模糊评定生产工艺参数的过程为:

1) 建立因素集

$$U = \{u_i\} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

及因素等级论域上的模糊子集

$$u_i = \sum_{j=1}^m \frac{\mu_{ij}}{u_{ij}}$$

$$0 \leq \mu_{ij} \leq 1; \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m_0)$$

2) 确定工艺参数的上限 \bar{t} 和下限 \underline{t} 及备择集:

$$T = \{t_p\} \quad (p = 1, 2, \dots, k_0)$$

3) 确定因素通用的同一等级评定隶属度矩阵:

$$R = \{r_{ip}\} \quad (j = 1, 2, \dots, m; p = 1, 2, \dots, k_0)$$

及计算因素隶属度 μ_{ij} 的归一值:

$$W_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{\sum_{i=1}^m \mu_{ij}}$$

4) 计算一级模糊综合评判矩阵:

$$\underline{A} = W \circ R = \{a_{ip}\}$$

5) 决定各因素权重集:

$$w = \{w_i\} \quad (i = 1, 2, \dots, n_0)$$

$$\text{且} \quad \sum_{i=1}^n W_i = 1, W_i \geq 0$$

6) 进行二级模糊综合评判:

$$\underline{B} = W \circ \underline{A} = \{b_p\} \quad (p = 1, 2, \dots, k_0)$$

7) 按最大隶属度 $\max b_q$ 确定 t 为工艺参数, 或者用加权平均值作工艺参数:

$$t = \frac{\sum_{p=1}^p b_p t_p}{\sum_{p=1}^p b_p}$$

2. 用二级模糊数学解决生产过程中的参数是探索性尝试, 在上例中仅对宰猪生产烫毛过程中几个主要因素进行评定, 没有对烫毛工序全部因素进行评定, 其结论难免粗糙。

3. 在确定各因素等级隶属 μ_{ij} 参数的上限 \bar{t} 和下限 \underline{t} , 因素通用的同一等级对备择隶属度矩阵 r_{ip} , 应根据生产实践经验和统计数据为依据, 尽量反映客观实际, 所以有一定难度。但也不可避免含有人的主观因素引起的误差, 采用这种二级模糊综合评判模型和方法, 可以降低人们主观因素引起的误差, 能得到较高精度的参数值。

4. 反映各因素重要程度的因素权重集, 权重的分配对参数取值有较大的影响。如在正常季节生产, 季节情况因素对烫猪温度参数影响较小, 取较小的权数。如果猪的品种因素较突出时, 可给猪的品种因素取较大的权重值。取因素权重集为: $W = \{0.1 \quad 0.4 \quad 0.2 \quad 0.1 \quad 0.1\}$ 时, 按加权平均法的烫猪温度参数值为: $t = 61.2^\circ\text{C}$ 。

参考资料

- (1) 王铭文等 模糊数学讲义 东北师范大学出版社 1988.2
- (2) 汪培庄 模糊集合论及其应用 上海科学技术出版社 1983
- (3) 上海食品公司 猪的宰杀技术与生产管理 1981.