

第八章 分级试验

分级试验是以某个级数值来描述食品的属性。在排列试验中，两个样品之间必须存在先后顺序，而在分级试验中，两个样品可能属于同一级数，也可能属于不同级数，而且它们之间的级数差别可大可小。排列试验和分级试验各有特点和针对性。

级数定义的灵活性很大，没有严格规定。例如，对食品甜度，其级数值可按下表定义。

	分级方法					
	1	2	3	4	5	
极甜	9	4	8	}	7	4
很甜	8	3	7			
较甜	7	2	6	6	}	3
略甜	6	1	5	5		
适中	5	0	4	4	}	2
略不甜	4	-1	3	3		
较不甜	3	-2	2	2	}	1
很不甜	2	-3	1			
极不甜	1	-4	0			

对于食品的咸度、酸度、硬度、脆性、粘性、喜欢程度或者其它指标的级数值也可以类推。当然也可以用分数，数值范围或图解来对食品进行级数描述。例如，对于茶叶进行综合评判的分数范围为：外形（20分），香气与滋味（60分），水色（10分），叶底（10分），总分100分。当总分>90分为1级茶，81~90分为2级茶，71~80分为3级茶，61~70分为4级茶。

在分级试验中，由于每组试验人员的习惯、爱好及分辨能力各不相同，使得各人的试验数据可能不一样。因此规定标准样的级数，使它的基线相同，这样有利于统一所有试验人员的试验结果。

第一节 评分法

一、评分法特点

评分法是指按预先设定的评价基准，对试样的特性和嗜好程度以数字标度进行评定，然后换算成得分的一种评价方法。在评分法中，所有的数字标度为等距或比率标度，如1~10（10级），-3~3级（7级）等数值尺度。该方法不同于其它方法的是所谓的绝对性判断，即根据评价员各自的鉴评基准进行判断。它出现的粗糙评分现象也可由增加评价员人数的方法来克服。

由于此方法可同时评价一种或多种产品的一个或多个指标的强度及其差异，所以应用较为广泛。尤其用于评价新产品。

二、问答表的设计和做法

设计问答票前，首先要确定所使用的标度类型。在检验前，要使评价员对每一个评分点所代表的意义有共同的认识。样品的出示顺序可利用拉丁法随机排列。

问答票的设计应和产品的特性及检验的目的相结合，尽量简洁明了。可参考表8-1的形

式。

表 8-1 评分法问答票参考形式

姓名	性别	试样号	年 月 日			
<p>请你品尝面前的试样后，以自身的尺度为基准，在下面的尺度中的相应位置上画○</p>						
极 端 好	非 常 好	好	一 般	不 好	非 常 不 好	极 端 不 好
1	2	3	4	5	6	7

三、结果分析与判断

在进行结果分析与判断前，首先要将问答票的评价结果按选定的标度类型转换成相应的数值。以上述问答票的评价结果为例，可按-3~3（7级）等值尺度转换成相应的数值。极端好=3；非常好=2；好=1；一般=0；不好=-1；非常不好=-2；极端不好=-3。当然，也可以用10分制或百分制等其他尺度。然后通过相应的统计分析和检验方法来判断样品间的差异性，当样品只有两个时，可以采用简单的t检验；而样品超过两个时，要进行方差分析并最终根据F检验结果来判别样品间的差异性。下面通过例子来介绍这种方法的应用。

（例1）：为了比较X、Y、Z三个公司生产的快餐面质量，8名评审员分别对3个公司的产品按上述问答票中的1分~6分尺度进行评分，评分结果如下，问产品之间有无显著性差异？

评审员 n	1	2	3	4	5	6	7	8	合计
试样 X	3	4	3	1	2	1	2	2	18
试样 Y	2	6	2	4	4	3	6	6	33
试样 Z	3	4	3	2	2	3	4	2	23
合计	8	14	8	7	8	7	12	10	74

解题步骤：（1）求离差平方和Q

$$\text{修正项 } CF = \frac{x^2_{..}}{n \cdot m} = \frac{74^2}{8 \times 3} = 228.17$$

$$\begin{aligned} \text{试 样 } Q_A &= (x^2_{1.} + x^2_{2.} + \Lambda + x^2_{i.} + \Lambda + x^2_{m.}) / n - CF \\ &= (18^2 + 33^2 + 23^2) / 8 - 228.17 \\ &= 242.75 - 228.17 = 14.58 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{评价员 } Q_B &= (x^2_{.1} + x^2_{.2} + \Lambda + x^2_{.j} + \Lambda + x^2_{.n}) / m - CF \\ &= (8^2 + 14^2 + \Lambda + 10^2) / 3 - 228.17 \\ &= 243.33 - 228.17 = 15.16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{总平方和 } Q_T &= (x_{11}^2 + x_{12}^2 + \Lambda + x_{ij}^2 + \Lambda + x_{mm}^2) - CF \\ &= (3^2 + 4^2 + \Lambda + 2^2) - 228.17 = 47.83 \end{aligned}$$

$$\text{误差 } Q_E = Q_T - Q_A - Q_B = 18.09$$

(2) 求自由度 f

$$\text{试样 } f_A = m - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$\text{评审员 } f_B = n - 1 = 8 - 1 = 7$$

$$\text{总自由度 } f_T = m \times n - 1 = 24 - 1 = 23$$

$$\text{误差 } f_E = f_T - f_A - f_B = 14$$

(3) 方差分析

$$\text{求平均离差平方和 } V_A = Q_A / f_A = 14.58 / 2 = 7.29$$

$$V_B = Q_B / f_B = 15.16 / 7 = 2.17$$

$$V_E = Q_E / f_E = 18.09 / 14 = 1.29$$

$$\text{求 } F_0 \quad F_A = V_A / V_E = 7.29 / 1.29 = 5.65$$

$$F_B = V_B / V_E = 2.17 / 1.29 = 1.68$$

查 **F 分布表 (附表 7.)**, 求 $F(f, f_E, \alpha)$ 。若 $F_0 > F(f, f_E, \alpha)$, 则对信度 α , 有显著性差异。

$$\text{本例中, } F_A = 5.65 > F(2, 14, 0.05) = 3.74$$

$$F_B = 1.68 < F(7, 14, 0.05) = 2.76$$

故对信度 $\alpha = 5\%$, 产品之间有显著性差异, 而评价员之间无显著性差异。

将上述计算结果列入下列方差分析表。

方差来源	平方和 Q	自由度 f	均方和 V	F ₀	F
产 品 A	14.58	2	7.29	5.65*	F(2, 14, 0.05) = 3.74
评审员 B	15.16	7	2.17	1.68	F(7, 14, 0.05) = 2.76
误 差 E	18.09	14	1.29		
合 计	47.83	23			

(4) 检验试样间显著性差异

方差分析结果, 试样之间有显著性差异时, 为了检验哪几个试样间有显著性差异, 采用重范围试验法, 即

$$\begin{array}{ccc} \text{求试样平均分:} & X & Y & Z \\ & 18/8 = 2.25 & 33/8 = 4.13 & 23/8 = 2.88 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \text{按大小顺序排列:} & 1 \text{ 位} & 2 \text{ 位} & 3 \text{ 位} \\ & Y & Z & X \\ & 4.13 & 2.88 & 2.25 \end{array}$$

$$\text{求试样平均分的标准误差: } dE = \sqrt{V_E / n} = \sqrt{1.29 / 8} = 0.4$$

查**斯图登斯化范围表 (附表 8.)**, 求斯图登斯化范围 r_p , 计算显著性差异最小范围 $R_p = r_p \times \text{标准误差 } dE$

P	2	3

r_p (5% $f=14$)	3.03	3.70
R_p	1.21	1.48

1 位—3 位=4.13—2.25=1.88>1.48 (R_3)

1 位—2 位=4.13—2.88=1.25>1.21 (R_2)

即 1 位 (Y) 和 2、3 位 (Z, X) 之间有显著性差异。

2 位—3 位=2.88—2.25=0.63<1.21 (R_2)

即 2 位 (Z) 和 3 位 (X) 之间无显著性差异。

故对信度 $\alpha=5\%$, 产品 Y 和产品 X、Z 比较有显著性差异, 产品 Y 明显不好。

第二节 成对比较法

一、成对比较法特点

当试样数 n 很大时, 一次把所有的试样进行比较是困难的。此时, 一般采用将 n 个试样 2 个一组、2 个一组地加以比较, 根据其结果, 最后对整体进行综合性的相对评价, 判断全体的优劣, 从而得出数个样品相对结果的评价方法这种方法称为成对比较法。本法的优点很多, 如在顺序法中出现样品的制备及试验实施过程中的困难等大部分都可以得到解决, 并且在实验时间上, 长达数日进行也无妨。因此, 本法是最近应用最广泛的方法之一。如舍菲 (Scheffe) 成对比较法, 其特点是不仅回答了两个试样中“喜欢哪个”, 即排列两个试样的顺序, 而且还要按设定的评价基准回答“喜欢到何种程度”, 即评价试样之间的差别程度(相对差)。

成对比较法可分为定向成对比较法(2-选项必选法)和差别成对比较法(简单差别检验或异同检验)。二者在适用条件及样品呈送顺序等方面都存在一定差别。

二、问答表的设计和做法

设计问答票时, 首先应根据检验目的和样品特性确定是采用定向还是差别成对比较法。由于该方法主要是在样品两两比较时用于鉴评两个样品是否存在差异, 故问答票应便于评价员表述样品间的差异, 最好能将差异的程度尽可能准确地表达出来。同时还要尽量简洁明了。可参考表 8-2 所给的形式。

定向成对比较法用于确定两个样品在某一特定方面是否存在差异, 如甜度、色彩等。对试验实施人要求: 将两个样品同时呈送给评价员, 要求评价员识别出在这一指标感官属性上程度较高的样品。样品有两种可能的呈送顺序 (AB, BA), 这些顺序应在评价员间随机处理, 评价员先收到样品 A 或样品 B 的概率应相等; 感官专业人员必须保证两个样品只在单一的所指定的感官方面有所不同。此点应特别注意, 一个参数的改变会影响产品的许多其他感官特性。例如, 在蛋糕生产中将糖的含量改变后, 不只影响甜度, 也会影响蛋糕的质地和颜色; 对评价员的要求: 必须准确理解感官专业人员所指的特定属性的含义, 应在识别指定的感官属性方面受过训练。

差别成对比较法使用条件是: 没有指定可能存在差异的方面, 实验者想要确定两种样品的不同。该方法类似于 3 点检验或 2-3 点检验, 但不经常采用。当产品有一个延迟效应或是供应不足以及 3 个样品同时呈送不可行时, 最好采用它来代替 3 点检验或 2-3 点检验。对实施人员的要求: 同时被呈送两个样品, 要求回答样品是相同还是不同。差别成对比较法有 4 种可能的样品呈送顺序 (AA, AB, BA, BB)。这些顺序应在评价员中交叉进行随机处理, 每种顺序出现的次数相同。对评价员的要求: 只需比较两个样品, 判断它们是相似还是不同。

表 8-2 成对比较法问答票参考形式

姓名	性别	试样号	年 月 日
<p>评价你面前两种试样的质构并回答下列问题。</p> <p>① 两种试样的质构有无差别？</p> <p style="text-align: center;">有 无</p> <p>② 按下面的要求选择两种试样质构差别的程度，请在相应的位置上画○</p> <p style="margin-left: 20px;">先品尝的比 </p> <p style="margin-left: 20px;">后品尝的</p> <p style="margin-left: 100px;">非常不好 很不好 不 无 好 很 非常好</p> <p style="margin-left: 100px;">好 好 好 差别 好 好 好</p> <p>③ 请评价试样的质构（相应的位置上画○）</p> <p style="margin-left: 40px;">No 21 好 一般 不好</p> <p style="margin-left: 40px;">No 13 好 一般 不好</p> <p>意见：</p>			

三、结果分析与判断

和评分法相似，成对比较法在进行结果分析与判断前，首先要将问答票的评价结果按选定的标度类型转换成相应的数值。以上述问答票的评价结果为例，可按-3~3（7级）等值尺度转换成相应的数值。非常好=3；很好=2；好=1；无差别=0；不好=-1；很不好=-2；非常不好=-3。当然，也可以用十分制或百分制等其他尺度。然后通过相应的统计分析和检验方法来判断样品间的差异性。下面结合例子来介绍这种方法的结果分析与判断。

〔例2〕为了比较用不同工艺生产的3种（n）试样的好坏，由22名（m）评价员按问答票的要求，用+3~-3的7个等级对试样的各种组合进行评分。其中11名评价员是按A→B、A→C、B→C的顺序进行评判，其余11名是按B→A、C→A、C→B的顺序进行评判（各对的顺序是随机性的），结果列于下表，请对它们进行分析。

第一组 11 名评价员

	第一组 11 名评价员										
评审员 试样	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
(A, B)	1	1	3	1	1	-1	-2	1	-1	2	0
(A, C)	2	-2	0	0	-2	-1	0	1	-1	-1	-1
(B, C)	1	-1	-3	2	1	-1	-2	-2	-1	-1	-1

第二组 11 名评价员

	第二组 11 名评价员										
评审员 试样	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
(A, B)	1	1	3	1	1	-1	-2	1	-1	2	0
(A, C)	2	-2	0	0	-2	-1	0	1	-1	-1	-1
(B, C)	1	-1	-3	2	1	-1	-2	-2	-1	-1	-1

解：(1) 整理试验数据，求总分，嗜好度 μ_{ij} ，平均嗜好度 $\bar{\mu}_{ij}$ （除去顺序效果的部分）

和顺序效果 δ_{ij} 。

评分 组合	-3	-2	-1	0	1	2	3	总分	μ_{ij}	$\bar{\mu}_{ij}$
(A, B)		1	2	1	5	1	1	6	0.545	0.045
(B, A)			4	2	3		2	5	0.455	
(A, C)		2	4	3	1	1		-5	-0.455	-0.955
(C, A)				2	3	5	1	16	1.455	
(B, C)	1	2	5		2	1		-8	-0.727	-0.636
(C, B)		2	3		1	3	2	6	0.545	
合计	1	7	18	8	15	11	6			

其中 总分 = $(-2) \times 1 + (-1) \times 2 + 0 \times 1 + 1 \times 5 + 2 \times 1 + 3 \times 1 = 6$

$$\mu_{ij} = \text{总分} / \text{得分个数} = 6 / 11 = 0.545$$

$$\bar{\mu}_{ij} = \frac{1}{2}(\mu_{ij} - \mu_{ji}) = \frac{1}{2} \times (0.545 - 0.455) = 0.045$$

按照同样的方法计算其他各行的相应数据，并将计算结果列于上表。

(2) 求各试样的主效果 α_i

$$\alpha_A = \frac{1}{3}(\bar{\mu}_{AA} + \bar{\mu}_{AB} + \bar{\mu}_{AC}) = \frac{1}{3}(0 + 0.045 - 0.955) = -0.303$$

$$\alpha_B = \frac{1}{3}(\bar{\mu}_{BA} + \bar{\mu}_{BB} + \bar{\mu}_{BC}) = \frac{1}{3}(-0.045 + 0 - 0.636) = -0.227$$

$$\alpha_C = \frac{1}{3}(\bar{\mu}_{CA} + \bar{\mu}_{CB} + \bar{\mu}_{CC}) = \frac{1}{3}(0.955 + 0.636 + 0) = 0.530$$

(3) 求平方和

$$\text{总平方和 } Q_T = 3^2 \times (1+6) + 2^2 \times (7+11) + 1^2 \times (18+15) = 168$$

主效果产生的平方和 $Q_a = \text{主效果平方和} \times \text{试样数} \times \text{评价员数}$ ：

$$Q_a = 22 \times 3 \times (0.303^2 + 0.227^2 + 0.530^2) = 28.0$$

平均嗜好度产生的平方和 $Q_\pi = \sum \bar{\mu}_i^2 \times \text{评价员数}$

$$Q_\pi = 22 \times (0.045^2 + 0.955^2 + 0.636^2) = 29.0$$

$$\text{离差平方和 } Q_f = Q_\pi - Q_a = 1.0$$

平均效果 $Q_\mu = \text{平均平方和} \times \text{评价员数的一半}$

$$Q_\mu = 11 \times (0.545^2 + 0.455^2 + (-0.455)^2 + 1.455^2 + (-0.727)^2 + 0.545^2) = 40.2$$

$$\text{顺序效果 } Q_\delta = Q_\mu - Q_\pi = 40.2 - 29.0 = 11.2$$

$$\text{误差平方和 } Q_E = Q_T - Q_\mu = 168 - 40.2 = 127.8$$

(4) 求自由度 f

$$f_a = n - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$f_r = \frac{1}{2}(n-1)(n-2) = \frac{1}{2} \times (3-1) \times (3-2) = 1$$

$$f_\pi = \frac{1}{2}n(n-1) = 3$$

$$f_\delta = \frac{1}{2}n(n-1) = \frac{1}{2} \times 3 \times (3-1) = 3$$

$$f_\mu = n(n-1) = 3 \times (3-1) = 6$$

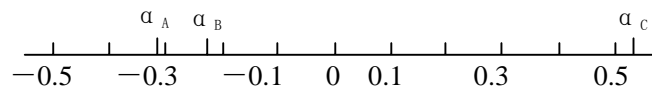
$$f_E = n(n-1)\left(\frac{m}{2}-1\right) = 3 \times (3-1) \times (11-1) = 60$$

$$f_T = n(n-1)\frac{m}{2} = 3 \times (3-1) \times 11 = 66$$

(5) 作方差分析表

方差来源	平方和 Q	自由度 f	均方和 V	F ₀	F
主效果 α	28.0	2	14.0	6.57**	F(2, 60, 0.01) = 4.98
离差 r	1.0	1	1.0	0.47	F(1, 60, 0.05) = 4.0
平均嗜好度 π	29.0	3			F(3, 60, 0.05) = 2.76
顺序效果 δ	11.2	3	3.7	1.74	
平均 μ	40.2	6			
误差 E	127.8	60	2.13		
合计	168	66			

求 F₀ 的结果表明, 对信度 α = 1%, 主效果有显著性差异, 离差和顺序效果无显著性差异。即 A、B、C 之间的好坏很明确, 只用主效果表示也足够 (如下图所示):



(6) 主效果差 (α_i - α_j)

先求 $Y_{0.05} = q_{0.05} \sqrt{\text{误差均方和}/(\text{评价员数} \times \text{试样数})}$

其中 $q_{0.05} = 3.4$ (查附表 8. 斯图登斯化范围 $n=3, f=60$), 所以

$$Y_{0.05} = 3.4 \times \sqrt{\frac{2.13}{(22 \times 3)}} = 0.612$$

$|\alpha_A - \alpha_B| = |-0.303 + 0.227| = 0.076 < Y_{0.05}$, 故 A、B 之间无显著性差异。

$|\alpha_A - \alpha_C| = |-0.303 - 0.530| = 0.833 > Y_{0.05}$, 故 A、C 之间有显著性差异。

$|\alpha_B - \alpha_C| = |-0.227 - 0.530| = 0.757 > Y_{0.05}$, 故 B、C 之间有显著性差异。

结论: 对信度 α = 5%, A 和 B 之间无差异, A 和 C, B 和 C 之间有差异。

第三节 加权评分法

一、加权评分法的特点

第一节中所介绍的评分法，没有考虑到食品各项指标的重要程度，从而对产品总的评价结果造成一定程度的偏差。事实上，对同一种食品，由于各项指标对其质量的影响程度不同，它们之间的关系不完全是平权的，因此，需要考虑它的权重，所谓加权评分法是考虑各项指标对质量的权重后求平均分数或总分的方法。加权评分法一般以 10 分或 100 分为满分进行评价。加权平均法比评分法更加客观、公正，因此可以对产品的质量做出更加准确的评价结果。

二、权重的确定

所谓权重是指一个因素在被评价因素中的影响和所处的地位。权重的确定是关系到加权评分法能否顺利实施以及能否得到客观准确的评价结果的关键。权重的确定一般是邀请业内人士根据被评价因素对总体评价结果影响的重要程度，采用德尔菲法进行赋权打分，经统计获得由各评价因素权重构成的权重集。

通常，要求权重集所有因素 a_i 的总和为 1，这称为归一化原则。

设权重集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} = \{a_i\}, (i=1, 2, \dots, n)$

$$\text{则} \quad \sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (9-1)$$

工程技术行业采用常用的“0~4 评判法”确定每个因素的权重。一般步骤如下：首先请若干名（一般 8~10 人）业内人士对每个因素两两进行重要性比较，根据相对重要性打分：很重要~很不重要，打分 4~0；较重要~不很重要，打分 3~1；同样重要，打分 2~2。据此得到每个评委对各个因素所打分数表。然后统计所有人的打分，得到每个因素得分，再除以所有指标总分之和，便得到各因素的权重因子。

例如为获得番茄的颜色、风味、口感、质地这四项指标对保藏后番茄感官质量影响的权重，邀请 10 位业内人士对上述四个因素按 0~4 评判法进行权重打分。统计十张表格各项因素的得分列于下表。

评委											
得分	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	总分
因素											
颜色	10	9	3	9	2	6	12	9	2	9	71
风味	5	4	10	5	10	6	5	6	9	8	68
口感	7	6	9	7	10	6	5	6	8	4	68
质地	2	5	2	3	2	6	2	3	5	3	33
合计	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	240

将各项因素所得总分除以全部因素总分之和便得权重系数：

$$A = [0.296, 0.283, 0.283, 0.138]$$

三、加权评分的结果分析与判断

该方法的分析及判断方法比较简单,就是对各评价指标的评分进行加权处理后,求平均得分或求总分的办法,最后根据得分情况来判断产品质量的优劣。加权处理及得分计算可按下式进行。

$$p = \sum_{i=1}^n a_i x_i / nf \quad (9-2)$$

式中: P ——总得分;

n ——评价指标数目;

a ——各指标的权重;

x ——评价指标得分;

f ——评价指标的满分值。如采用百分制,则 $f=100$;如采用十分制,则 $f=10$;

如采用五分制,则 $f=5$ 。

(例 1): 评定茶叶的质量时,以外形权重(20分)、香气与滋味权重(60分)、水色权重(10分)、叶底权重(10分)作为评定的指标。若评定标准为一级(91~100分)、二级(81~90分)、三级(71~80分)、四级(61~70分)、五级(51~60分)。现有一批花茶,经评审员评审后各项指标的得分数分别为:外形 83 分;香气与滋味 81 分;水色 82 分;叶底 80 分。问,该批花茶是几级茶?

解: 该批花茶的总分为

$$\frac{(83 \times 20) + (81 \times 60) + (82 \times 10) + (80 \times 10)}{4 \times 100} = 81.4(\text{分})$$

故该批花茶为二级茶。

第四节 模糊数学法

在加权评分法中,仅用一个平均数很难确切的表示某一指标应得的分数,这样使结果存在误差。如果评定的样品是两个或两个以上,最后的加权平均数出现相同而又需要排列出它们的各项时,现行的加权评分法就很难解决。如果采用模糊数学关系的方法来处理评定的结果,以上的问题不仅可以得到解决,而且它综合考虑到所有的因素,获得的是综合且较客观的结果。模糊数学法是在加权评分法的基础上,应用模糊数学中的模糊关系对食品感官检验的结果进行综合评判的方法。

一、模糊数学基础知识

模糊综合评判的数学模型是建立在模糊数学基础上的一种定量评价模式。它是应用模糊数学的有关理论(如隶属度与隶属函数理论),对食品感官质量中多因素的制约关系进行数学化的抽象,建立一个反映其本质特征和动态过程的理想化评价模式。由于我们的评判对象相对简单,评价指标也比较少,食品感官质量的模糊评判常采用一级模型。模糊评判所应用的模糊数学的基础知识,主要为以下内容:

(1) 建立评判对象的因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 。因素就是对象的各种属性或性能。例如评价蔬菜的感官质量,就可以选择蔬菜的颜色、风味、口感、质地作为考虑的因素。因此,评判因素可设 u_1 =颜色; u_2 =风味; u_3 =口感; u_4 =质地; 组成评判因素集合是:

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}。$$

(2) 给出评语集 V :

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}。$$

评语集由若干个最能反映该食品质量的指标组成，可以用文字表示，也可用数值或等级表示。

如保藏后蔬菜样品的感官质量划分为四个等级，可设：

$$V_1=\text{优}; V_2=\text{良}; V_3=\text{中}; V_4=\text{差}$$

$$\text{则 } V = \{V_1, V_2, V_3, V_4\}.$$

(3) 建立权重集

确定各评判因素的权重集 X ，所谓权重是指一个因素在被评价因素中的影响和所处的地位。其确定方法与前面加权评分法中介绍的方法相同。

(4) 建立单因素评判

对每一个被评价的因素建立一个从 U 到 V 的模糊关系 R ，从而得出单因素的评价集；矩阵 R 可以通过对单因素的评判获得，即从 U_i 着眼而得到单因素评判，构成 R 中的第 i 行。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \Lambda & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \Lambda & r_{2n} \\ \text{M} & \text{M} & & \text{M} \\ r_{m1} & r_{m2} & \Lambda & r_{mn} \end{bmatrix}$$

即： $R = (r_{ij}) \quad i=1, 2, \dots, n; \quad j=1, 2, \dots, m$ 。这里的元素 r_{ij} 表示从因素 u_i 到该因素的评判结果 V_j 的隶属程度。

(5) 综合评判

求出 R 与 X 后，进行模糊变换：

$$B = X \cdot R = \{b_1, b_2, \dots, b_m\} \quad (9-3)$$

$X \cdot R$ 为矩阵合成，矩阵合成运算按照最大隶属度原则。再对 B 进行归一化处理得到 B' ，

$$B' = \{b_1', b_2', \dots, b_m'\}$$

B' 便是该组人员对高食品感官质量的评语集。最后，再由最大隶属原则确定该种食品感官质量的所属评语。

二、模糊数学评价方法。

根据模糊数学的基本理论，模糊评判实施主要有：因素集、评语集、权重、模糊矩阵、模糊变换、模糊评价等部分组成。下面结合实例来介绍模糊数学评价法的具体实施过程。

(例 1)：设花茶的因素集为 U 。

$$U = \{\text{外形 } u_1, \text{ 香气与滋味 } u_2, \text{ 水色 } u_3, \text{ 叶底 } u_4\}.$$

评语集为 V

$$V = \{\text{一级、二级、三级、四级、五级}\}$$

其中一级 (91~100 分)，二级 (81~90 分)，三级 (71~80 分)，四级 (61~70 分)，五级 (51~60 分)。

设权重集为 X

$$X = \{0.2, 0.6, 0.1, 0.1\}$$

即外形 20 分，香气与滋味 60 分，水色 10 分，叶底 10 分，共计 100 分。

10 名评价员 ($k=10$)，对花茶各项指标的评分如下表所示。

问该花茶为几级茶？

分数	71~75	76~80	81~85	86~90
指标				
外形	2 (人)	3 (人)	4 (人)	1 (人)
香气与滋味	0 (人)	4 (人)	5 (人)	1 (人)
水色	2 (人)	4 (人)	4 (人)	0 (人)
水底	1 (人)	4 (人)	5 (人)	0 (人)

解题步骤:

分析: 本例中, 因素集为 $U: U = \{\text{外形}u_1, \text{香气与滋味}u_2, \text{水色}u_3, \text{叶底}u_4\}$ 。评

语集为 $V: V = \{\text{一级、二级、三级、四级、五级}\}$; 权重集:

$X = \{x_1, x_2, x_3, x_n\}$, 均已经给出, 即前面三个步骤都已经完成。下面

只需要根据模糊矩阵的计算方法, 求出模糊矩阵, 然后再进行模糊评判就可以了。

其模糊矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} 2/k & 3/k & 4/k & 1/k \\ 0 & 4/k & 5/k & 1/k \\ 2/k & 4/k & 4/k & 0 \\ 1/k & 4/k & 5/k & 0 \end{bmatrix} \quad \text{本例中, } R = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.1 \\ 0 & 0.4 & 0.5 & 0.1 \\ 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0 \\ 0.1 & 0.4 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

进行模糊变换:

$$Y = X \cdot R = (0.2, 0.6, 0.1, 0.1) \cdot \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.1 \\ 0 & 0.4 & 0.5 & 0.1 \\ 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0 \\ 0.1 & 0.4 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

其中 $y_1 = (0.2 \wedge 0.2) \vee (0.6 \wedge 0) \vee (0.1 \wedge 0.2) \vee (0.1 \wedge 0.1)$
 $= 0.2 \vee 0 \vee 0.1 \vee 0.1 = 0.2$

同理得 y_2, y_3, y_4 分别为 0.4、0.5、0.1, 即

$$Y = (0.2, 0.4, 0.5, 0.1)$$

归一化后得

$$Y = (0.17, 0.33, 0.42, 0.08)$$

得到此模糊关系综合评判的峰值为 0.42, 与原假设相比, 得出结论: 该批花茶的综合评分结果为 81~85, 因此, 应该是二级花茶。

如果按加权评分法得到的总分相同, 无法排列它们的名次时, 可用下述方法处理:

设两种花茶评定的结果如下:

指标	外形	香气与滋味	水色	叶底
品种				
1	90	94	92	88
2	90	94	89	91

1号花茶各项指标的评定结果:

分数 \ 指标	86~88	89~91	92~94	95~97	98~100
外形	1 (人)	5 (人)	3 (人)	1 (人)	0
香气与滋味	0	3 (人)	4 (人)	2 (人)	1 (人)
水色	2 (人)	4 (人)	3 (人)	1 (人)	0
叶底	3 (人)	4 (人)	2 (人)	1 (人)	0

1号花茶各项指标的评定结果:

分数 \ 指标	86~88	89~91	92~94	95~97	98~100
外形	2 (人)	3 (人)	3 (人)	2 (人)	0
香气与滋味	1 (人)	2 (人)	4 (人)	2 (人)	1 (人)
水色	2 (人)	4 (人)	2 (人)	1 (人)	0
叶底	1 (人)	6 (人)	3 (人)	0	0

两种花茶的模糊矩阵分别为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.6 & 0.3 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

权重都采用 $X = (0.2, 0.6, 0.1, 0.1)$ 处理得到

$$Y_1 = (0.1, 0.3, 0.4, 0.2, 0.1)$$

$$Y_2 = (0.2, 0.2, 0.4, 0.2, 0.1)$$

归一化处理后 $Y_1 = (0.09, 0.27, 0.37, 0.18, 0.09)$

$$Y_2 = (0.18, 0.18, 0.37, 0.18, 0.09)$$

两种茶叶的评价结果峰值均为 0.37, 表明这两种茶也均为一级品。这样无法评价出哪一种茶叶更好一些, 这时可以采用模糊关系曲线来进一步评判这两种茶叶的优劣。

Y_1 和 Y_2 可用下面的模糊关系曲线如图 8-1 所示。

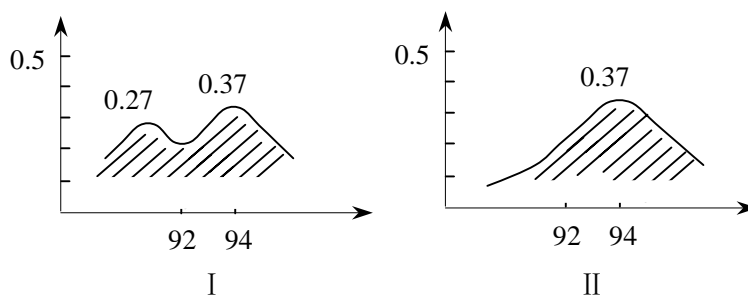


图 8-1 Y_1 和 Y_2 的模糊关系曲线

由图可知，虽然它们的峰值都出现在同一范围内，均为 0.37，但 Y_1 和 Y_2 中各数的分布不一样， Y_1 中峰值左边出现一个次峰 0.27，这表明分数向低位移动，产生“重心偏移”。而 Y_2 中各数平均分布，表明评审员的综合意见比较一致，分歧小。因此，虽然这两种花茶都属于一级茶，但 2 号花茶的名次应排在 1 号花茶之前。

第五节 阈值试验

一. 阈值和主观等价值的概念

1、刺激阈 (RL)

能够分辨出感觉的最小刺激量叫做刺激阈。刺激阈分为：敏感阈、识别阈和极限阈。例如：大量的统计试验表明，食盐水浓度为 0.037% 时人们才能识别出它与纯水之间有区别，当食盐水浓度为 0.1% 时，人们才能感觉出有咸味。我们把前者称为敏感阈，把后者称为识别阈，即所谓敏感阈（味阈）是指某物质的味觉尚不明显的最低浓度。所谓极限阈是指超过某一浓度后溶质再增加也无味觉感变化的最低浓度。感觉或者识别某种特性时并不是在刺激阈附近有突然变化，而是刺激阈值前后从 0 到 100% 的概率逐渐变化，我们把概率为 50% 刺激量叫做阈值。阈值大小取决于刺激的性质和评判员的敏感度，阈值大小也因测定方法的不同而发生变化。

2、分辨阈 (DL)

感觉上能够分辨出刺激量的最小变化量称分辨阈。若刺激量是由 S 增大到 $S + \Delta S$ 时，能分辨出其变化，则称 ΔS 为上分辨阈，用 ΔS 来表示；若刺激量由 S 减少到 $S - \Delta S$ 时，能分辨出其变化，则称 ΔS 为下分辨阈，用 $-\Delta S$ 来表示，上下分辨阈的绝对值的平均值称平均分辨阈。

3、主观等价值 (DSE)

对某些感官特性而言，有时两个刺激产生相同的感受效果，我们称之为等价刺激。主观上感觉到与标准相同感觉的刺激强度称为主观等价值。例如：当浓度为 10% 的葡萄糖为标准刺激时，蔗糖的主观等价值浓度为 6.3%，主观等价值与评判员的敏感度关系不大。

二. 阈值的影响因素

影响阈值（味觉）的因素很多，例如：年龄、健康状态、吸烟、睡眠、温度等，简述如下：

1、年龄和性别

随着年龄的增长，人们的感觉器官逐渐衰退，对味觉的敏感度降低，但相对而言，对酸度的敏感度的降低率最小。在青壮年时期，生理器官发育成熟并且也积累了相当的经验，处于感觉敏感期。另外，女性在甜味和咸味方面比男性更加敏感，而男性在酸味方面比女性较为敏感，在苦味方面基本上不存在性别的差异。男女在食感要素的诸特性构成上均存在一定的差异（表 8-3）。

2、吸烟

有人认为吸烟对甜、酸、咸的味觉影响不大，其味阈与不吸烟者比较无明显差别，但对苦味的味阈值却很明显。这种现象可能是由于吸烟者长期接触有苦味的尼古丁而形成了耐受性，从而使得对苦味敏感度下降。

3、饮食时间和睡眠

表 8-3 构成食感要素的诸特性

特 性	男性	女性
质 构	27.2%	38.2%
口感香味	28.8%	26.5%
色 泽	17.5%	13.1%
外 形	21.4%	16.6%
嗅感香味	2.1%	1.8%
其 它	3.0%	3.8%

饮食时间的不同会对味阈值产生影响。饭后一小时所进行的品尝试验结果表明，试验人员对甜、酸、苦、咸的敏感度明显下降，其降低程度与膳食的热量摄入量有关，这是由于味觉细胞经过了紧张的工作后处于一种“休眠”状态。所以，其敏感度下降。而饭前的品尝试验结果表明试验人员对四种基本味觉的敏感度都会提高。为了使试验结果稳定可靠，更具有说服力，一般品尝试验安排在饭后 2~3 小时内进行。睡眠状态对咸味和甜味的感觉影响不大，但是睡眠不足会使酸味的味阈值明显提高。

4、疾病

疾病常是影响味觉的一个重要因素。很多病人的味觉敏感度会发生明显变化，降低、提高、失去甚至改变感觉。例如，糖尿病人，即使食品中无糖的成分也会被说成是甜味感觉；肾上腺功能不全的病人会增强对甜、酸、苦、咸味的敏感性；对于黄疸病人，清水也会被说成苦味，如此等等。因此在试验之前，应该了解评审员的健康状态，避免试验结果产生严重失误。

5、温度

温度对味觉的影响较为显著，甘油的甜味阈由 17℃ 的 $2.5 \times 10^{-1} \text{mol/L}$ (2.3%) 降至 37℃ 的 $2.8 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ (0.25%) 有近 10 倍之差。温度对酸、苦、咸味也有影响，其中苦味的味阈值在较高温度是增加较快。在食品感官检验中，除了按需要对某些食品进行热处理外，应尽可能保持同类型的试验在相同温度下进行。

三. 阈值的测定

阈值的测定方法很多，下面举例介绍食品感官检验中常用的极限法。

例 1: 果汁饮料生产中，用葡萄糖代替砂糖时，用极限法求 10% 的砂糖具有相同甜味的葡萄糖浓度。

试验计划表及记录表

试验次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	.....	61	62	63	64
评审员			1				2				3		.....			16	
系列	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↓	.....	↑	↓	↓	↑
品尝顺序	I	I	II	II	I	I	II	II	I	I	II	II	.....	I	I	II	II
葡萄糖浓度	C ₁₂																	
	C ₁₁	+					+											
	C ₁₀	+			+			+										
	C ₉	+	+		+			+	+									
	C ₈	?	?	+	+			+	+	+			.....				
	C ₇	?	?	?	?		+	+	+	?								
	C ₆	-	?	?	-		?	-	+	?								
	C ₅		-	?			-		?	-							
	C ₄		-	-			-		-	-								
	C ₃		-	-			-		-									
	C ₂																	
	C ₁																	

注：↑表示浓度上升系列，↓表示下降系列；+表示 C_i 比 S_i 甜，-表示 C_i 比 S_i 不甜，
? 表示 C_i 与 S_i 无差异；I 表示砂糖→葡萄糖顺序，II 表示葡萄糖→砂糖顺序。

解：此题是求与浓度为 10% 的砂糖相对应的葡萄糖的主观等价值

(1) 试验步骤

①根据预备试验，先求出 10% 的砂糖相对应的葡萄糖的大体浓度，然后以此浓度为中心，往浓度两侧作一系列不同浓度的葡萄糖样品 C_0 、 C_1 、 C_2 ... C_n 。此时要注意，如果葡萄糖的浓度变化幅度太小，虽然可以提高试验精度，但会增大样品个数，引起疲劳效应。样品数 n 一般取 10~20 为宜。

②根据浓度上升、下降系列和品尝顺序，作试验计划表（如表 7-2 所示）。

③制作如下表的记录表。

④确定浓度上升或者是下降系列的试验开始浓度。试验中，由于评审员具有盼望甜度关系早点变化的心理，故评审员实际指出的甜度关系（砂糖与葡萄糖的甜度比）变化区域可能超前（称为盼望效应），因此试验时应制作不同长度的试验系列。例如：试验次数为 64 次时，先准备 20 张卡片，其中 6 张卡写“长”字，表示样品从 C_1 至 C_{12} ，7 张卡写“中”字，表示样品从 C_2 至 C_{11} ，7 张卡写“短”字，表示样品从 C_3 至 C_{10} 。然后把 20 张卡片随机混合后（象洗扑克牌一样），从上边开始按卡片顺序作试验，反复循环即可。

⑤按葡萄糖浓度上升或下降系列

桌上从右至左排好样品 C_i ，同时准备好足够的标准样 S_i （即浓度为 10% 的砂糖溶液），评审员把根据试验要求按顺序比较 S_i 和 C_i ，每次判断结果记入记录表中（如上表）。

⑥浓度下降系列中，从“？”变为“-”时或者从“+”变为“-”时；浓度上升系列中，从“？”变为“+”或者从“-”变为“+”时，结束试验。

(2) 解题步骤

①设浓度下降系列中，从“+”变为“？”时的 C_i 为 x_u ，从“？”变为“-”时的 C_i 为 x_L ，浓度上升系列中，从“-”变为“？”时的 C_i 为 x_L ，从“？”变为“+”时的 C_i 为 x_u ，从“+”变为“-”或者从“-”变为“+”时 x_L 与 x_u 相同。

例如：上表中第一次试验（下降系列）中

$$x_u = \frac{C_9 + C_8}{2}, x_L = \frac{C_7 + C_8}{2}$$

第二次试验： $x_L = \frac{C_5 + C_6}{2}, x_u = \frac{C_8 + C_9}{2}$

依此类推

第六次试验： $x_u = x_L = \frac{C_7 + C_6}{2}$

②用下式计算阈值和主观等价值

上阈： $L_u = \frac{1}{N} \sum x_u$

下阈： $L_L = \frac{1}{N} \sum x_L$

主观等价值： $RSE = \frac{L_u + L_L}{2}$

③求葡萄糖的分辨阈 DL 时，可以把葡萄糖作为标准液。

例如：求浓度为 10% 的葡萄糖的分辨阈 DL 时，用 10% 浓度的葡萄糖 C_0 代替上述试验

中的 10%浓度的砂糖 S_i 做试验, 此时

上分辨阈 $DL_u = L_u - C_0$

下分辨阈 $DL_L = C_0 - L_L$

④求葡萄糖的刺激阈 R_L 时, 在浓度下降系列中, 在明显感到甜味的浓度 (+) 出发逐渐减小浓度。开始感觉不出甜味 (-) 时的浓度与它前面浓度的平均值即为未知刺激阈, 用 r_d 表示。在浓度上升系列中, 从明显感到无甜味的浓度 (-) 出发逐渐增加浓度, 最初感到甜味 (+) 时的浓度与它前面浓度的平均值即为可知刺激阈, 用 r_a 表示, 则

$$R_L = \frac{r_d + r_a}{2}$$

⑤极限法中, 为了避免盼望误差的影响, 一般取上升系列和下降系列个数相同, 但对于苦味试验来说, 由于存在着先品尝的样品的残留效应, 一般只用上升系列而不用下降系列。