# Fuzzy 相关综合评判模型在辣椒品种抗病毒病鉴定中的应用

谢丙炎　欧阳本友　刘富春

（湖南省衡阳市蔬菜研究所）

**摘要**　本文以辣椒苗期对烟草花叶病毒（TMV）和黄瓜花叶病毒（CMV）的抗性作评判因子，应用 Fuzzy 相关综合评判模型，对品种田间抗病毒性表现进行评判。结果表明：与田间抗病毒性表现符合率为92.31%，说明该方法具有较高的可靠性，可作为其他作物抗病性鉴定的借鉴。

**关键词**　辣椒；抗病毒性；Fuzzy 相关综合评判模型

作物品种抗病性的评价是植物抗病性鉴定的核心，通常评价品种抗病性时，采用"高抗"、"抗病"、"感病"和"高感"等字眼进行主观定性划分，而这种划分概念的外延往往是不明确的。例如，"抗病"和"感病"等的差异在中介过渡时，会呈现许多中间状态，类似这种"亦此亦彼"的不确定性，称之为模糊性(Fuzziness)[1]。显然作物的抗病性评价是一个具有模糊性的问题，可用模糊综合评判法进行综合分析评价。为此作者在对湖南地方辣椒品种抗烟草花叶病毒(TMV)、黄瓜花叶病毒(CMV)的苗期抗性鉴定和田间自然发病观察的基础上，采用 Fuzzy 相关综合评判法，对抗病毒性进行分析评判，为植物抗病性鉴定的定量分析，试作一新的尝试。

## 材料与方法

### （一）供试辣椒品种与毒源

供试辣椒品种为湖南辣椒地方品种，共 39 份，由湖南农科院园艺所提供。供试毒源采用从本地辣辣上分离纯化的 TMV 和 CMV。

### （二）抗病毒病鉴定与分析方法

1. 苗期抗病毒病鉴定方法：苗期鉴定在防污温室中进行。供试土壤、苗钵及用具均经高压消毒处理。种子也先用 10%$Na_3PO_4$ 消毒，然后播于苗钵，于 4—6 片真叶时再进行接毒。接毒方法采用叶液摩擦接种，每个品种分别接 TMV、CMV 和 TMV＋CMV 三种毒源，每次每个处理栽 6 钵约 30 棵苗，重复 3—5 次。接毒一周后，分别观察每个品种的发病严重程度。

2. 田间自然发病观察：将 39 份供试品种随机排列于大田，每品种 10 行，每行 4 兜，共 40 兜，重复 3 次。1983—1985 年在本所和湖南农科院园艺所试验地连续观察 3 年。

3. 抗病毒性 Fuzzy 评判方法：抗病毒性评判系采用华尧南[2]基于广义 Fuzzy 模型所提出的 Fuzzy 相关分析综合决策模型。

## 结果与讨论

### （一）数据处理

39 份湖南辣椒地方品种苗期抗病毒病鉴定和田间自然发病观察结果见表 1。本研究选取 3 个评判因子：①苗期接 TMV 病指（$X_1$）；②苗期接 CMV 病指（$X_2$）；③混合接 TMV 和 CMV 病指（$X_3$）。以上述三个评判因子评判辣椒田间抗病性（$Y$）。

根据发病程度将抗病性分为 5 级：即抗病、耐病、接近耐病、感病和高感。采用等差分级法将评判因子划分为 5 级，然后按分级尺度，将各品种评判因子的数值代换为分级值(表 2)。

由评判因子分级值组建 $X_1$、$X_2$ 和 $X_3$ 的 $5\times5$ 列联表(表 3)。

### （二）模糊向量 $X$ 评判矩阵 $R$ 的建立

模糊综合评判法，对每个评判因子 $X_i = X_1, X_2, X_3$ 赋于权重，组成模糊向量 $\underset{\sim}{X}$，变量间的相关联的程度不同，意味着因子所起作用的大小，因此，每个评判因子 $X_1, X_2, X_3$ 与评

表1 辣椒品种对病毒病抗性鉴定结果

| 评价对象 | | 大田自然发病病指(%) | 温室接种 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 评判因子 | | | TMV 病指(%) | CMV 病指(%) | TMV + CMV 病指(%) |
| | | Y | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ |
| 1 | 伏地尖 | 42.36 | 64.25 | 48.53 | 46.27 |
| 2 | 樟树港早辣椒 | 57.35 | 51.69 | 44.53 | 38.60 |
| 3 | 安江六十早 | 45.65 | 37.67 | 32.92 | 32.06 |
| 4 | 乾州早辣椒 | 63.33 | 73.03 | 50.59 | 62.68 |
| 5 | 21号牛角椒 | 42.50 | 29.41 | 38.12 | 41.84 |
| 6 | 吉首大颗椒 | 53.89 | 46.67 | 43.98 | 40.16 |
| 7 | 湘晚13号 | 54.17 | 36.11 | 38.66 | 35.46 |
| 8 | 辰溪菜辣子 | 50.00 | 52.31 | 38.39 | 25.22 |
| 9 | 浦市菜辣子 | 37.86 | 52.10 | 38.32 | 53.12 |
| 10 | 祁阳牛角 | 37.88 | 54.10 | 40.15 | 44.41 |
| 11 | 来阳牛角 | 55.30 | 43.35 | 23.44 | 29.94 |
| 12 | 常德迟耙齿 | 46.07 | 54.72 | 48.44 | 37.22 |
| 13 | 常德迟强齿 | 59.29 | 55.90 | 35.40 | 31.55 |
| 14 | 汉寿迟辣椒 | 44.79 | 37.79 | 33.02 | 29.83 |
| 15 | 鲇市大辣椒 | 38.64 | 24.07 | 27.09 | 22.68 |
| 16 | 衡阳大红椒 | 41.23 | 20.11 | 21.76 | 27.75 |
| 17 | 汉寿六月红 | 43.10 | 66.67 | 39.99 | 42.62 |
| 18 | 辰溪灯笼椒 | 57.35 | 61.10 | 22.90 | 42.28 |
| 19 | 安江灯笼椒 | 50.47 | 47.50 | 95.00 | 39.55 |
| 20 | 临澧大红袍 | 53.26 | 33.90 | 39.24 | 26.21 |
| 21 | 浏阳菜辣椒 | 56.08 | 38.85 | 20.00 | 32.27 |
| 22 | 长沙灯笼椒 | 56.52 | 48.24 | 42.40 | 51.87 |
| 23 | 湘潭迟番椒 | 39.13 | 29.52 | 18.80 | 33.93 |
| 24 | 华容迟辣子 | 42.95 | 75.00 | 44.11 | 42.54 |
| 25 | 金甲岭大辣子 | 54.35 | 50.54 | 48.26 | 45.63 |
| 26 | 郴州鸡心椒 | 64.74 | 63.67 | 59.21 | 59.00 |
| 27 | 衡阳黄皮椒 | 48.52 | 44.09 | 51.40 | 55.53 |
| 28 | 沅陵七姨妹 | 64.84 | 56.86 | 51.30 | 55.94 |
| 29 | 窑咀线椒 | 45.83 | 49.20 | 52.78 | 30.95 |
| 30 | 吊把小椒 | 53.57 | 43.84 | 53.31 | 46.21 |
| 31 | 常德小尖椒 | 56.25 | 45.30 | 35.42 | 47.47 |
| 32 | 桂东牛角 | 54.17 | 42.29 | 63.28 | 78.33 |
| 33 | 临湘牛角 | 62.50 | 54.88 | 66.35 | 63.10 |
| 34 | 临湘迟辣子 | 51.51 | 38.38 | 46.43 | 43.20 |
| 35 | 梅城泡椒 | 54.17 | 39.09 | 39.59 | 36.84 |
| 36 | 湘潭广中椒 | 46.88 | 45.11 | 46.15 | 61.77 |
| 37 | 窑咀大辣椒 | 56.43 | 53.55 | 70.70 | 39.29 |
| 38 | 鲤鱼池大辣子 | 45.19 | 50.84 | 54.17 | 11.53 |
| 39 | 沅陵大辣子 | 58.09 | 52.08 | 46.77 | 36.12 |

判对象 $Y$ 分级值的相关系数，可作为因子的权重系数，于是给出模糊向量 $\underset{\sim}{X}=(X_1, X_2, \cdots, X_m)$ 这里 $X_1=r_{X_1Y}$，$X_2=r_{X_2Y}$，$\cdots$，$X_m=r_{X_mY}$ 可用 $X_i$ 与 $Y$ 两个变量的分级值代入简单相关系数公式求得：

表 2　评判因子分级值

| 品种编号 \ 评判因子 | Y | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | 品种编号 \ 评判因子 | Y | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | 品种编号 \ 评判因子 | Y | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 4 | 2 | 2 | 14 | 2 | 1 | 1 | 1 | 27 | 2 | 3 | 4 | 3 |
| 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 15 | 2 | 1 | 1 | 1 | 28 | 2 | 3 | 4 | 3 |
| 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 16 | 2 | 1 | 1 | 1 | 29 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 17 | 2 | 4 | 2 | 2 | 30 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 1 | 2 | 18 | 3 | 4 | 1 | 2 | 31 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| 6 | 3 | 1 | 1 | 2 | 19 | 3 | 2 | 5 | 2 | 32 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| 7 | 3 | 1 | 1 | 2 | 20 | 3 | 1 | 2 | 1 | 33 | 3 | 2 | 4 | 5 |
| 8 | 3 | 3 | 1 | 1 | 21 | 3 | 1 | 1 | 1 | 34 | 4 | 3 | 4 | 4 |
| 9 | 2 | 3 | 1 | 3 | 22 | 3 | 2 | 2 | 3 | 35 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| 10 | 2 | 3 | 1 | 2 | 23 | 2 | 1 | 1 | 1 | 36 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| 11 | 3 | 2 | 1 | 1 | 24 | 2 | 5 | 2 | 2 | 37 | 3 | 3 | 5 | 2 |
| 12 | 2 | 3 | 2 | 1 | 25 | 3 | 3 | 2 | 2 | 38 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 13 | 3 | 3 | 1 | 1 | 26 | 4 | 4 | 3 | 3 | 39 | 3 | 3 | 2 | 1 |

表 3　$X_1$, $X_2$, $X_3$ 列联表

| | k \ l | Y 1 | Y 2 | Y 3 | Y 4 | Y 5 | $n_{k\cdot}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $X_1$ | 1 | 0 | 6 | 5 | 0 | 0 | 11 |
| | 2 | 0 | 2 | 7 | 0 | 0 | 9 |
| | 3 | 0 | 5 | 6 | 2 | 0 | 13 |
| | 4 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 4 |
| | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| $n_{\cdot 1}$ | | 0 | 16 | 19 | 3 | 1 | 39 |

| | k \ l | Y 1 | Y 2 | Y 3 | Y 4 | Y 5 | $n_{k\cdot}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $X_2$ | 1 | 0 | 8 | 8 | 0 | 0 | 16 |
| | 2 | 0 | 4 | 7 | 0 | 0 | 11 |
| | 3 | 0 | 2 | 1 | 2 | 0 | 5 |
| | 4 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| | 5 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| $n_{\cdot 1}$ | | 0 | 16 | 19 | 3 | 1 | 39 |

| | k \ l | Y 1 | Y 2 | Y 3 | Y 4 | Y 5 | $n_{k\cdot}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $X_3$ | 1 | 0 | 8 | 8 | 0 | 0 | 16 |
| | 2 | 0 | 5 | 9 | 0 | 0 | 14 |
| | 3 | 0 | 3 | 1 | 2 | 0 | 6 |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| $n_{\cdot 1}$ | | 0 | 16 | 19 | 3 | 1 | 39 |

$$r_{X_iY} = \left\{\sum X_iY - \frac{(\sum X_i)(\sum Y)}{n}\right\} \Big/ \sqrt{\left[X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}\right]\left[\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}\right]} \quad (1)$$

$\sum_{i=1}^{m} r_{X_iY} \neq 1$，需进行归一化处理，

$$X_i = \frac{r^2_{X_iY}}{\sum_{i=1}^{m} r^2_{X_iY}} \quad (2)$$

将表 2 分级值数据代入（1）式求得各评判因子 $r_{X_i}$ 与评判对象（Y）的相关系数为 $r_{X_1Y} = 0.6610$，$r_{X_2Y} = 0.3332$，$r_{X_3Y} = 0.4231$，按(2)式进行归一化处理，建立模糊向量

$$\underset{\sim}{X} = (0.20\ \ 0.30\ \ 0.50)$$

评判矩阵 $\underset{\sim}{R}$ 由 $X_1$，$X_2$ 和 $X_3$ 列联表（表3)，按 $P^i_{ik} = \frac{n_{k1}}{n_{k\cdot}}$ 公式给出的条件概率组成。

### （三）评判结果与检验

根据以上求得 $\underset{\sim}{X}$ 和 $\underset{\sim}{R}$，用华氏广义 Fuzzy 模型进行综合评判。

$$\underset{\sim}{Y} = \underset{\sim}{X} \circ \underset{\sim}{R}$$

$$[Y_1, Y_2, \cdots, Y_n] = [X_1, X_2, \cdots, X_m] \times \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} \cdots r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} \cdots r_{2n} \\ \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} \cdots r_{mn} \end{bmatrix}$$

华氏广义 Fuzzy 模型由下列公式组成：

**表4 辣椒抗病性 Fuzzy 相关综合评判结果**

| 品种序号 | Fuzzy 相关综合评判 | | | 品种序号 | Fuzzy 相关综合评判 | | | 品种序号 | Fuzzy 相关综合评判 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 评判 ($M_5$) | 实际 (Y) | 符合 | | 评判 ($M_5$) | 实际(Y) | 符合 | | 评判 ($M_5$) | 实际(Y) | 符合 |
| 1 | 3 | 2 | × | 14 | 2 | 2 | ✓ | 27 | 2 | 2 | ✓ |
| 2 | 3 | 3 | ✓ | 15 | 2 | 2 | ✓ | 28 | 2 | 2 | ✓ |
| 3 | 2 | 2 | ✓ | 16 | 2 | 2 | ✓ | 29 | 2 | 4 | × |
| 4 | 5 | 5 | ✓ | 17 | 2 | 2 | ✓ | 30 | 2 | 2 | ✓ |
| 5 | 2 | 2 | ✓ | 18 | 3 | 3 | ✓ | 31 | 3 | 3 | ✓ |
| 6 | 3 | 3 | ✓ | 19 | 3 | 3 | ✓ | 32 | 3 | 3 | ✓ |
| 7 | 3 | 3 | ✓ | 20 | 3 | 3 | ✓ | 33 | 3 | 3 | ✓ |
| 8 | 3 | 3 | ✓ | 21 | 3 | 3 | ✓ | 34 | 4 | 4 | ✓ |
| 9 | 2 | 2 | ✓ | 22 | 3 | 2 | × | 35 | 3 | 3 | ✓ |
| 10 | 2 | 2 | ✓ | 23 | 2 | 2 | ✓ | 36 | 3 | 3 | ✓ |
| 11 | 3 | 3 | ✓ | 24 | 2 | 2 | ✓ | 37 | 3 | 3 | ✓ |
| 12 | 2 | 2 | ✓ | 25 | 3 | 3 | ✓ | 38 | 2 | 2 | ✓ |
| 13 | 3 | 3 | ✓ | 26 | 4 | 4 | ✓ | 39 | 3 | 3 | ✓ |
| 实际符合率(%) | 92.31 | | | | | | | | | | |

1.主要因素决定型

$$Y_j = \bigvee_{i=1}^{m} (X_i \wedge r_{ij})$$

简记 $M_1 = (\wedge, \vee)$ 模型 I

2.主要因素突出型

$$Y_j = \bigvee_{i=1}^{m} (X_i \cdot r_{ij})$$

简记 $M_2 = (\underset{\cdot}{\wedge}, \vee)$ 模型II

3.因素求和型

$$Y_j = \sum_{i=1}^{m} (X_i \wedge r_{ij})$$

简记 $M_3 = (\wedge, \underset{+}{\wedge})$ 模型 III

4.加权平均型

$$Y_j = \sum_{i=1}^{m} (X_i \cdot r_{ij})$$

简记 $M_4 = (\underset{\cdot}{\wedge}, \underset{+}{\wedge})$ 模型 IV

$(j = 1, 2, \cdots, n)$ $(i = 1, 2, \cdots, m)$

5.综合决策型

$$Y_j = \frac{1}{4}(Y_j M_1 + Y_j M_2 + Y_j M_3 + Y_j M_4)$$

$$= \frac{1}{4}\left(\sum_{i=1}^{4} M_i Y_j\right)$$

简记 $M_5 = \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{4} M_i$ 模型 V

最后运算结果，取 $Y_j$ 中 max 值来判断属于哪一级。

由模型 I、II、III、IV 和V对 39 份湖南辣椒地方品种的抗病毒性进行评判，结果见表 4，并根据评判值与田间实际表现的误差，检验评判效果，然后计算与实际的符合率。评判与检验结果表明：有 36 份品种评判结果与田间表现相符合，其实际符合率为 92.31%。

植物抗病性鉴定一般需要经过苗期抗病性鉴定和田间抗病性观察，最后才能确定品种是否抗病以及抗病性级别。如何根据苗期鉴定结果来预测田间抗病性表现，是植物抗病性早期快速鉴定和抗病品种选育的关键。本研究结果初步表明：应用 Fuzzy 相关综合评判法，用辣椒苗期鉴定结果评判田间抗病毒性表现的实际符合率为 92.31%，说明 Fuzzy 相关综合评判法用于作物品种抗病性早期快速鉴定是一个很有前途的分析方法。关于该方法在抗病性早期快速鉴定中应用的准确性，以及在其它作物抗病性鉴定中的应用还需进一步研究和验证。

## 参 考 文 献


[1] 汪培庄编：模糊集合论及其应用，上海科学技术出版社，P.1 1983。

[2] 华艳南：植物保护学报，14(1)：15—20，1987。