DOI:10.13758/j.cnki.tr.1985.02.006

模糊数学与土壤研究*

杨艳生

（中国科学院南京土壤研究所）

当科学中的许多精确问题研究得十分成功而又出现一些难题无法解决的时候，FUZZY①数学才出现创生的条件。计算机科学的发展，计算机技术的应用，奇迹般的解决了许多科学难题但是计算机进一步发展，很难只靠提高运算速度、增加庞大的记忆力去解决，因而计算机的人工智能、模拟人脑的思维活动也难以实现。著名美国的控制论专家L．A．Zadeh。多年来回旋于“人脑思维”、“计算机”与“大系统”之间，为解决上述问题，于1965年发表了题为《FUZZY Sets》的论文，标志着模糊数学的诞生[1]。

一、模糊数学的根本思想

科学的发展面临着这样一对矛盾：一方面科学的发展迫切要求数学化（定量化、规范化）和定理化；另方面研究的深入又带来研究对象的复杂化。由于许多研究对象包含相当复杂的系统因而使得对它的研究非但不能达到数学化、定理化，而且成了数学应用的“禁区”。Zadeh对复，杂系统作了透彻的分析，他说：当系统的复杂性日益增加时，我们作出系统特性的精确而有意义的描述的能力将相应降低，直至达到这样一个阈值，一旦超过它，精确性和有意义性变成两个相互排斥的特性②。这是因为复杂性意味着因子繁多，使得人们不得不在压缩了的低维空间上去观察问题，这样就会使本身明确的概念变得模糊；复杂性还意味着深度的延伸，一个复杂过程常需成千上万个方程去描述它，也会使模糊性逐渐累积起来。因此客观事物的复杂性和研究工作要求的精确性就存在着突出的矛盾。为了剖析这一矛盾和阐述模糊数学的根本思想，先从经典数学普通集合论谈起。

从经典数学的观点看，对简单事物，如一个人，要么是张三，要么不是张三，二者必居其一。对复杂事物，例如土壤，要么是红壤，要么不是红壤，亦非此即彼。用数学语言表示就是：设U是某一论域（就是所讨论对象的全体），A是U中的一个子集（即讨论对象的某一部分），今在论域中取出一个元素X（即某一研究对象）属于或不属于A，可用其特征函数$\mu_A(x)$来表征：

$$\mu_A(x)=\begin{cases}1 & x\in A\\ 0 & x\notin A\end{cases}$$

$\mu_A(x)=1$表示x属于A（$x\in A$）；$\mu_A(x)=0$表示x不属于A（$x\notin A$）。比如有甲、乙两组各5块地作产量对比试验，各组产量（千斤）如下：

甲组：0.75　0.85　0.90　0.95　1.05　　平均　0.90

乙组：0.55　0.65　0.70　0.75　0.85　　平均　0.70

如果认为1000斤以上属高产，从平均产量看，两块地均不属高产；如果700斤以上为高产，那两块地均属高产。不管怎么规定，属不属高产，表示高产的特征函数（$\mu_{高}(x)$）值总是非0则1，

---

* 本文蒙王浩清同志提出宝贵意见，特此感谢。

① 在该学科学术性文章中，“模糊”皆用FUZZY一词。

② 见华中工学院编：模糊数学简介序言部分。

反映不出属于还是不属于高产的程度。可以想见，在经典教学里，如果以1000斤为界，1000斤以上称为高产，那么990斤甚至999斤仍然不能称为高产，它与700斤乃至更小的产量同等对待，可见是很不合理的。为了把产量的真实情况更加客观的反映出来，可以这样来考虑：规定1000斤以上为高产，700斤以下则为低产，再把700—1000斤之间不同产量属于高产的程度表达出来，可构造出如下的函数：

$$\mu_{高}(x)=\begin{cases}1 & x\geqslant 1000\\ (x-700)/300 & 700<x<1000\\ 0 & x\leqslant 700\end{cases}\qquad(1)$$

其中$\mu_{高}(x)$表征产量隶属于高产的程度，并称它为隶属函数。低产的隶属函数可写成$\mu_{低}(x)=1-\mu_{高}(x)$。这样就把经典数学中特征函数值作了扩展。经典数学中特征函数值或为0，或为1，而现在隶属函数值则扩展到整个[0，1]区间。因而利用合适的隶属函数就能更好的反映客观真实情况，这也就是模糊数学的根本思想[2]。如果利用式(1)，将上述两试验地的产量的隶属函数值算出(表1)，可以看到950斤属于高产的程度是0.83，属于低产的程度即为0.17；而850斤属于高产或属于低产的程度都为0.5，可以说这一产量既不高也不低。可见经典数学描述的是清晰的事物，扬弃了事物的模糊性，如产量要么高、要么低，对产量较高(较低)、不高不低等等是无能为力的，而模糊数学则可将整个变化情况加以描述。因此说，模糊数学并不是要让数学不精确，而是要让数学打入模糊现象的禁区，数学的应用将做出一些具有高度真理性，但不一定是普遍的或无所不包的真理性的结论。

表1　产量与所计算的隶属函数值

甲组产量(千斤)	0.75	0.85	0.90	0.95	1.05	0.90(平均)
$\mu_{高}(x)$	0.17	0.50	0.67	0.83	1	0.67
乙组产量(千斤)	0.55	0.65	0.70	0.75	0.85	0.70(平均)
$\mu_{高}(x)$	0	0	0	0.17	0.50	0
$\mu_{低}(x)$	1	1	1	0.83	0.50	1

还有一种情况也易为人们所理解：以人做比方，对简单事物，例如一个人，其高度是清晰的，它有确定的量度值；但同是一个人，假定其高度一米，现由100人去量其高度，结果是多数人的量值为一米，但也有少数人量出是0.98米，0.99米，1.01米等等，这样就使本来是清晰的事物变得模糊了。对于复杂事物，例如平均高度是一米的100人的身高，用经典数学如何去表述呢？一般用平均数表示，说这100人平均身高为1米，可是可能这100人中一个一米高的人也没有，于是又有用数值距间表示的，如这100人最高者为2米，最低者0.5米，这些人身高为0.5—2.0米。这样表示时，如果2米的人只有一个，其它人都在1.5米以下，这样表示也不恰当。

长期来人们受到传统(经典)数学的影响，在思想上总认为一个数值，如果取小数点后的位数越多，它就越精确。对只有整数部分的数值或距间值，就总认为不精确、不可靠。其实不能一概而论。对简单事物，其量测值一般是小数点后的位数越多越准确的，如圆周率$\pi=3.14159\cdots\cdots$，小数后加一位，其精度就提高一步。但对复杂事物就不一样，如测定一块地土壤有机质的含量，第一次取样测得结果是2%，以后九次取样，其结果均在1.9—2.1%间。这一数值区间则是完全反映了该地块有机质的含量。如果取第一次测定结果2%，这时就可能只会有几次测定得出这个数值；如果取第一次测定结果为2.1%，其它九次测定结果就可能没有一个结果是2.1%。若小数位再增加，重复出现同一测定值的可能性就会越小，因而其代表性也越小。这就是说对复杂事物，如果超过了一定数值界限，常常数值取得越精确，与实际情况就相距越远，这也是精确性与有意义性相斥的情况。一般说，为了描述一个复杂事物，用一个单一数值是很难完全实现的，如前述十次采土测有机质，不管取样如何标准，其结果不会十次都一样。但是人们在描述事

物时，常常都习惯于用一个数值来反映某一事物某方面的性质，对于复杂事物，这一数值并不是完全确定的，而只表示这一数值较其它数值出现的可能性大。假定上述十次测定结果是：1.8，1.9，2.0，2.0，2.0，2.0，2.0，2.0，1.9，1.7。若用分母表示测定值，用分子表示出现的可能性时，可用下述集合形式表示其结果：$\left\{\frac{0.6}{2.0}, \frac{0.2}{1.9}, \frac{0.1}{1.8}, \frac{0.1}{1.8}\right\}$。由于含量2.0%出现的可能性最大，因而就说该块地有机质含量是2%，并称这一数值为模糊数。可见用模糊数学方法，可将量测某一事物性质的数值大小及其可能程度反映出来，从而可对事物描述得更加准确。可见模糊数学的根本思想也可说是要用数学方法更确切的表述出复杂研究对象量测数值的大小，及由于事物的复杂性而导致同一量测值的变化的各种可能程度和处理方法。

二、土壤研究中一些概念的模糊性

在日常生活中，人们常将一些事物(或概念)区分为清晰和模糊两类。对清晰事物并不是绝对清晰，而只是模糊程度较小，论述它时就忽略了其模糊性。清晰是有条件的、相对的，而事物的模糊性则具有普遍的意义。所谓模糊性是指客观事物在其中介过渡区呈现的亦此亦彼性[3,4]。为什么会出现模糊性？一是由事物本身性质所决定；一是由于人们对事物认识的差别。

客观事物有的简单有的复杂，简单事物之间由于其相互联系较松疏，它们间的关系较疏远，所以模糊性也就较不明显；而复杂事物之间，或者说复杂系统内的事物之间，有千丝万缕的联系，关系也相当密切，所以模糊性就较突出。例如土壤作为一类客观物质，不考虑其与时间、条件的纵横关系，它就是独立客体，这时它就是简单事物。一个土壤剖面、一个土壤样品决不会成为两个或一个半，它们是清清楚楚的。但是如果将土壤作为一个系统看待，它就要包括土壤分布范围内与之有关的生物、地形、气候等等，这个土壤系统就相当复杂。土壤剖面反映出它的形成过程和条件，由于土壤形成条件千变万化，形成过程不同，由土壤特性反映出的土壤剖面代表的土壤类型就不相同，这样人们对土壤剖面代表的土壤类型的认识，模糊性就突出。一个土壤剖面有的人认为应属这一土壤类型，另一些人认为应属别一土壤类型；一个土壤样品有人认为能代表某一土壤剖面(如诊断层样品)，有人认为不能。对土壤颜色也有类似的情况，同一土壤颜色有人认为是红色，有人认为是棕红色，也有人认为是棕色。再如土壤粘粒矿物类型，光靠剖面观测、环境条件分析，常常就不清晰，而用X光或在电子显微镜下分析，矿物类型就清晰无疑了。所以简单事物较清晰是由于人对该事物认识的过程较短，复杂事物模糊性较突出是由于人对它的认识要经历较长的过程，或还缺乏认识的手段，一旦获得了认识的手段，复杂事物的模糊性也就消失，这就是模糊性向清晰的转化。同样，简单事物的清晰性也会向模糊性转化，例如研究某一区域的土壤，各种土类是清晰的，没有争议，但这一土壤该属那一亚类？这时模糊性就突出了。尤如二百米外站着一个人是清清楚楚的，但站着的那个人是谁？模糊性也就产生了。这就是对简单事物作一般了解时是清晰的，随着对简单事物研究的深入，其模糊性也愈加明显。反之，对复杂事物如果只作肤浅了解，它也会变得清晰。比如土壤分类本来是很复杂的事，要确定一个土壤的土类，模糊性很突出，但如果只根据单个指标，如只考虑成土母质或只考虑硅铝率作指标时，模糊性就可能消失，土类的确定也就无可争议。

土壤研究中还有一类模糊性，需要专门研究，就是任意两事物(或两概念)之间并没有突变的界限，而只有连续的渐变性，就如同人的年龄那样，如果不确定以周年为单位，那是每时每秒都不同的。比如两相邻地带性土类就是如此。由于土壤的形成条件中，经度的变化、纬度的

变化、垂直高度的变化都是连续性的，因而也影响到气候的变化，还有地形、植被等等的影响，情况就更加复杂，如果承认地带性土类是受这些条件所影响，由这些条件所决定的，那两相邻土类的变化也是逐步的。这样在中介过渡区的一事物，就必然具有两相邻事物的特性，因而模糊性的有无就不是认识的问题，而是客观存在。南方的红壤和黄壤就是这种情况。所以在中介过渡区的一种土壤有人认为是红壤，有人认为是黄壤是很自然的，因为它具有显著的模糊性。如果有人企图在其中去寻找完全清晰的划分指标也将是徒劳的。对这类模糊性的处理曾采用中心概念(或典型模型)的方法去解决。比如可在红壤和黄壤分布的中心区，找出典型的红壤和黄壤，并以此为准，其它土壤均与之相比较，如果与红壤更相似属红壤，与黄壤更相似属黄壤。这种解决方法也需要用到模糊数学理论。根据《中国土壤》[5]，红壤(胶体)硅铝率约2.0—2.2，黄壤约2.5。分类时，若以硅铝率作指标并用中心概念来处理，硅铝率2.1时为典型红壤，2.5时为典型黄壤，2.3为这两土类的中介值。当处于中介值时，一土壤属于红壤和属于黄壤的可能性各占一半(只考虑两个土类时)。当硅铝率从2.1到2.3属于红壤的可能性大于黄壤，并逐步的减小，反之从2.3到2.5，属于黄壤的可能性逐步增大，其可能程度都大于0.5。所属这两土类的可能程度可用正态型曲线来描述(图1)，构造出的隶属函数可表示为：

$$\mu_{红}(x)=e^{-\left(\frac{x-2.1}{0.24}\right)^2}$$

$$\mu_{黄}(x)=e^{-\left(\frac{x-2.5}{0.24}\right)^2}$$

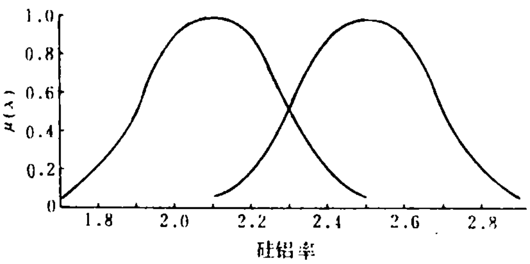

图1　两类土壤分布的正态曲线表示

方程中$\mu_{红}(x)$、$\mu_{黄}(x)$分别是红壤和黄壤的隶属函数，某一土壤可根据这两方程算出隶属于红壤或黄壤的可能程度；其中的x是土壤胶体的硅铝率。根据方程可以算出不同硅铝率时，两土壤的隶属函数值(表2)。如果典型红壤硅铝率不是单一值而是数值区间，如为2.0—2.2，这时也可构造出红壤的隶属函数：

表2　不同硅铝率计算的相应隶属函数值

x	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
$\mu_{红}(x)$	0.21	0.50	0.84	1	0.84	0.50	0.21	0.06
x	02.1	02.2	02.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8
$\mu_{黄}(x)$	0.06	0.21	0.50	0.84	1	0.84	0.50	0.21

$$\mu_{红}(x)=\begin{cases}\{1+[3.472(2.0-x)]^{2.63}\}^{-1} & x<2.0\\ 1 & 2.0\leqslant x\leqslant 2.2\\ \{1+[3.472(x-2.2)]^{2.63}\}^{-1} & x>2.2\end{cases}$$

其图形表示如图2。

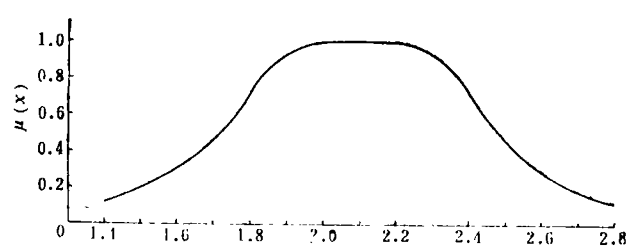

图2　不同硅铝率时所属土类的隶属函数

由于土壤作为一个研究的系统是非常杂复的，所以模糊性概念几乎处处皆是，例如土壤肥力高、低，土壤质量好、坏，土壤分布面积的大、小，等等。处理模糊性问题，只有用模糊数学才能得到较好的解决。

三、模糊数学在土壤研究中的应用说明

模糊数学在土壤研究中可以有广泛的应用，下面作些应用说明：

1．等级评分的数值转化 在土地分级、土壤资源评价的研究中，常常要进行产量和肥力分级。在《农业技术经济学》一书中[6]，各级产量和相应的分值可用图3表示。也就是进行农业生产方案选择时，首先要进行项目指标的评分。如产量共分六级：<1，1—1.3，1.3—1.6，1.6—1.9，1.9—2.2，>2.2（千斤），其相应分值分别记为：0，1，2，3，4，5。由于这一分级方法是阶梯式的，这就必然使得两相邻级别边缘的产量相差很小（如999与1001斤），而分值相差为1；可是1001与1299相差298斤，分值却没有变化。如果根据模糊数学原理，作出产量与其隶属函数的关系图象（图4）[6]，这样实际上就是将分值转换成[0，1]区间的数值，这一转换不但不会影响数值处理结果，而且由于它是连续的直线图象，很容易用一具体的$y=a+bx$方程去描述它，从而克服了传统的阶梯式分级记分的不合理性。这也是模糊数学处理方法优于传统数学的例子之一。

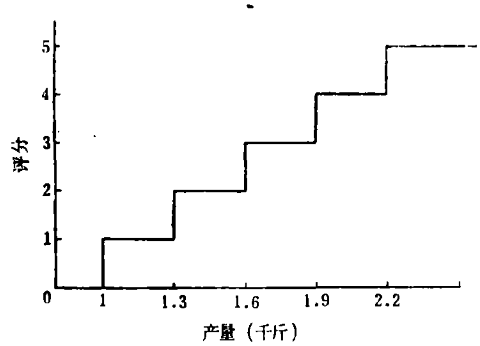

图3　不同产量时的阶梯式等级评分

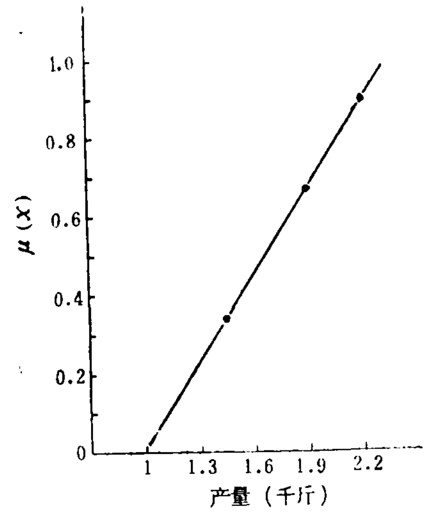

图4　不同产量时的隶属函数的图形表示

2．最大隶属原则的应用 假定现有红壤A和与A同域分布的其它B、C、D等土壤，现在要判定B、C、D是不是红壤。对土壤B来说，可能既具有红壤A的性质，也还可能具有土壤C、土壤D的某些性质。若土壤B属于土壤A、C、D的隶属函数值分别是0.8，0.7，0.3时，根据最大隶属原则[2]，土壤B应归属于隶属函数值最大的那一土类。可见B应归属于A土类，但同时也可从隶属函数值看，B隶属于C土类的可能性也较大，或土壤B还具有较多土壤C的某些属性。最大隶属原则的处理方法，与多元分析中的判别分析相类似，但除前述的优点外，应用最大隶属原则去解决类型归属时，其运算处理要比判别分析要简便得多。

3．似然推理的应用 在描述情况或讨论问题时，常常要用到推理句，如土壤肥力高，作物产量也高，现在是土壤肥力较高，作物产量该如何？这里肥力和产量并非同类事物或称分属两个论域。似然推理是从某一条件，推出某一结果，这在土壤研究中，应用也很普遍：土壤分布

的条件优越，土壤资源的质量高；地面坡度大，土壤侵蚀严重；海拔低(对某地区、某土类)，土类典型等等。这些都是似然推理的前半句，陈述的是客观情况，据此要推出后半句即未知结果来。再以作物产量与土壤肥力为例，如某生产队，土壤肥力分：高、较高、中、低四级，相对于作物生长不受限制、少限制、受限制、限制严重为其指标。假定其它养分都不缺乏，氮肥是限制因子时，氮肥施用量相应为50，40，20，10(斤)。对产量高、肥力高、肥力较高的定义如下：

$$[\text{产 量 高}]=\frac{0.3}{500\text{斤}}+\frac{0.6}{700\text{斤}}+\frac{0.8}{900\text{斤}}+\frac{1}{1000\text{斤}}$$

$$[\text{肥 力 高}]=\frac{0.1}{10\text{斤}}+\frac{0.4}{20\text{斤}}+\frac{0.8}{40\text{斤}}+\frac{1}{50\text{斤}}$$

$$[\text{肥力较高}]=\frac{0.2}{10\text{斤}}+\frac{0.6}{20\text{斤}}+\frac{1}{40\text{斤}}+\frac{0}{50\text{斤}}$$

[产量高]的意义是：某试验出现亩产千斤的可能性若为1，出现900斤的可能性为0.8，出现700斤的可能性为0.6，出现500斤的可能性为0.3；比如人们在某高产区共布置27块小区试验，试验结果，各小区的产量不会都一样，若有10个小区1000斤，8个小区900斤，6个小区700斤，3个小区500斤，就是上述定义的实际含义。[肥力高]的定义是：在高产区取土23个，分析结果表明有10个样品点每亩有氮肥50斤，8个样品点40斤，4个样品点20斤，1个样品点10斤，并表达成前述的数学形式。对[肥力较高]含义与[肥力高]类似，只是在取18个土样分析中，没有一个样点氮肥量达到每亩50斤。根据似然推理的运算公式[2]：

$$\begin{aligned}&[\text{若肥力U高则产量V高}](u,v)\\&=[\text{肥高}(u)\wedge\text{产量高}(v)]\vee[1-\text{肥高}(u)]\end{aligned}$$

计算出矩阵R：

$$\begin{pmatrix}0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9\\0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6\\0.3 & 0.6 & 0.8 & 0.8\\0.3 & 0.6 & 0.8 & 0.1\end{pmatrix}$$

[肥力较高]$\circ$[若肥力高则产量高]=(0.2，0.6，1，0)$\circ$R。得出肥力较高时产量的模糊子集：

$$\frac{0.6}{500\text{斤}}+\frac{0.6}{700\text{斤}}+\frac{0.8}{900\text{斤}}+\frac{0.8}{1000\text{斤}}$$

即根据似然推理的结果表明，在土壤肥力较高时，出现亩产1000斤的可能性是0.8；出现亩产900斤的可能性亦为0.8；出现亩产700斤和500斤的可能性均为0.6。由此可见当肥力较高时，和肥力高时相比，亩产达900斤以上的可能性变小，而达700斤以下的可能性变大。

似然推理的应用，也为文字资料的数值化提供了可能途径。

4．综合评判方法的应用[7,8] 评价一个研究对象，如果只考虑单个因子，一般易得出评价结果，如同前述各例那样。若考虑多因子，问题就变得相当复杂，用综合评判法就比较简便。以土壤评价为例：当只考虑水利条件、养分状况、土层深度三项因子，可先得出单项因子的评价(表3)。表3中数字是某土壤级别从该因子进行评价的结果。如水利条件对于好的土壤来说评价结果为0.6，指的是有60%的人认为

表3　三项因子的单项评价

评价因子＼土壤级别	好	较好	中等	差
水利条件	0.6	0.2	0.2	0
养分状况	0.4	0.4	0.1	0.1
土层深度	0.3	0.4	0.2	0.1

该土壤的水利条件好(符合好地标准)，或者该土壤分布区内有60%的面积，水利条件符合好地标准等等。作出单项因子评价后，现在要进行三项因子的综合评价。在进行综合评价前，人们自然要问：你对这三项因子是等量齐观，看作同等重要，还是其重要性各不相同呢？也就是要首先确定各因子的权数分配。显然不同地区，不同评价目的，各因子的权系数是不同的。今假定水利条件较重要，养分与土层深度均次于水利条件，重要性相等，这时权数分配是：(0.4，0.3，0.3)。评判结果是：

$$(0.4,\ 0.3,\ 0.3)\circ\begin{pmatrix} 0.6 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \end{pmatrix}=(0.45\ 0.32\ 0.17\ 0.06)$$

即从三项因子综合的进行评价时，有45%是好地，较好、中等和差地各分别占32%，17%，6%。综合评判的思想方法较符合客观实际，运算简便，结果合理，因而有广泛的用处。

模糊数学创立至今时间不长，但应用广泛[9]，发展迅速，并在许多模糊性突出的一些领域取得了显著的成果，在难于应用数学的中医诊断、天气预报等部门，应用成果尤为突出。当然模糊数学只是作为数学的一个分枝，有它较为适用的领域，但同时也不否定经典数学的应用，而是要合理选用相得益彰。从模糊数学在其它领域广泛的被采用的发展势头看，在土壤领域也会逐步被采用则是肯定的。

参 考 文 献

〔1〕H.J.齐默曼，《模糊数学》创刊贺词。模糊数学，第1期，1981。

〔2〕中央气象局气象科学研究院天气气候研究所编，模糊数学在气象中的应用，19—53页，山西省气象科学研究所出版，1981。

〔3〕唐旭章，FUZZY性的存在及其含义。模糊数学，第1期，121—124页，1982。

〔4〕吴望名等，FUZZY集及其应用浅谈。模糊数学，第2期，109—112页，1982。

〔5〕中国科学院南京土壤研究所主编，中国土壤，495—520页，科学出版社，1978。

〔6〕付宁等，综合评判法在农业经济中的应用。模糊数学，第4期，79—84页，1982。

〔7〕陈永义等，综合评判的数学模型。模糊数学，第1期，61—69页，1983。

〔8〕武汉，教学过程中的综合评判问题。模糊数学，第1期，117—120页，1982。

〔9〕杨艳生等，FUZZY关系方程在土壤侵蚀预报中的应用尝试。模糊数学，第3期，79—82页，1981。

(上接第89页)

此实践证明：油菜秸秆还田用量以300斤为宜，大致为一亩还一亩。

2．配合底施化学氮肥　油菜秸秆还田因秸秆C/N比例较大，必须配施一定数量的化学氮肥，以满足微生物活动的需要，加速秸秆腐熟，以及促进稻苗早发。据沙河东陵大田对比试验，每亩用300斤油菜秸秆还田，配合35斤碳铵作底肥的亩产893斤，比对照田757斤增产18%。这与其他大田对比试验结果是吻合的。

3．秸秆还田的沤制　在同样施足面肥的条件下，油菜秸秆还田上水沤制6—7天后，浅耕整田栽秧的比随还田随上水浅耕整田栽秧的发棵早、产量高。据上沛、周城等四个乡农科站考察结果平均，上水沤制一星期的比随还田随上水栽秧的增产9.2%。

4．油菜秸秆还田的水浆管理　油菜秸秆还田的稻田，栽秧后五、六天要放水落干二、三天，以利扎根、通气供氧、水气协调，促进稻苗早发高产。据沙河扬庄、马垫等农科站统计：对25.5亩油菜秸秆还田的杂交水稻示范田调查，其中18亩采取栽后五、六天落干措施的稻苗发棵较快，平均亩产915斤，比还田后未及时落干的7.5亩杂交水稻亩产863斤增产6%。