

农业生态系统分类依据及其方法论的探讨

以黄淮海平原及京郊地区为例

孙鸿良 顾武

(中国农业科学院作物育种栽培研究所)

陈敬峰 孙西铭 莫笛 朱新武

(新疆八一农学院)

一、问题的提出

农业生态系统类型学的研究国内外开展得较少,但这是一个重要的领域,在当前以多种经营为农业生产方针而农村出现丰富多采的五业结构类型的情况下,群众更尖锐地提出了分类引导以发挥更大生态经济效益的需求。我国是一个多山、人口密度大、手工业经营为主、生产经验丰富的特色优异的国家,加之农民中涌现了大批具有一定科技水平又勇于创新的生产能手,他们要求靠正确的决策来进一步调整、改善农业生产结构,以求调动功能潜力的更大发挥。为此,我们试进行以村或户为单位的农业生态系统类型解剖,从中找出某些规律性的东西,进而加以选优,以便为总结提高和推广提供依据。

用现代数学的方法可以使庞大复杂而多变的对象获得定量的数据,从而得出较客观的认识与评价。农业生态系统是一种生态经济系统,是一种多层次、多组份、多变量的综合体。仅靠人能够观察得到的形态进行分类显然是不得要领的,何况又不能排除人为因素的深刻影响。我们试运用了现在国外群落学分类上已广为应用的聚类分析方法,又根据功能所表现出

来的多种效率指标进行模糊综合评判分析,两种方法结合,效果比较好。

农业生态系统与一般生态系统一样,有一定结构、功能与信息表现。一般来说,生态组份的结构合理导致功能正常;功能效率高也在某种程度上意味着结构的优化。为此,在分类方法上我们着重结构上的分类,这样既便于识辨,而且调整起来也方便。调整生产结构是种决策行动,既省力又省钱,为此,进行以生态结构为基础的分类是农业生态系统分类的核心与主要依据。

二、农业生态系统分类的指标与体系

(一)特征与依据

农业生态系统与植物群落学分类有相似之处,那就是以结构形态的某些指标为分类指标。在植物群落类型学上,基本单位是群落,然后向上经群丛组、群系、群系纲到植被亚型、植被型皆以建群种(或特征种)与生活型的主要依据;农业生态系统不仅具独特形态,又是功能单位,故仅靠结构形态不足以客观反映其实质。虽然一般来说结构与功能是统一的,

收稿日期:1984年12月25日。

但有时也不一定完全一致。为此,我们首先按生态结构形态为分类依据,再层层分析功能;特别是其中的效率(如农田能是产投比、降水利用率等),有利于补充分类体系的内容。此外,自然条件与社会经济因素也应是分类的依据之一,如果脱离了这些因素,那么调整生态结构的方向与潜力便难以依循。过去国外曾有人用自然条件因素为农业生态系统分类依据,显然忽略了农业生产中人的影响,是片面的;后来又有人仅从经济学角度进行分类,仍然是不足的。就如目前仍然大多认为农业生产结构仅为经济学范畴的结构一样,是对农业生态系统片面的理解。为此,我们认定农业生态系统实质上是一种生态经济技术系统,具有生态、经济、技术三方面内容,因此三方面要素皆作为依据,只不过分别在不同分类级别上反映而已。

(二) 农业生态系统分类的指标选取

1. 结构指标

在农业生态系统中至少要探求下列几种结构:农田植物种群结构,种植业组份结构,农林牧土地结构,农林牧副渔组份结构。

其次,为了深入研究,还要补充劳动力结构,种植业中粮、经、油、饲料作物四大类结构以及粮食作物中夏粮、秋粮结构,各种作物结构;畜牧业中畜群结构等等。

2. 功能与效率指标

我们引用下列几个指标:农业生态系统中五业总能量生产力(人均),农田能量产投比、饲料能量、转化率、劳动生产率、土地报酬能量值、生物能资源利用效率、有机肥施用量、旱农降水利用率、农田投肥类型(有机能与无机能的比率),N素转化效率等。指标确定的依据略。

3. 技术因素

生产能手往往通过某些技术措施获取较高的生态经济效益,但技术内容丰富多采。归根结蒂是通过技术来提高效率、降低成本,达到生态效益与经济效益的统一。技术原因是种社会资源因素,对农业生态系统优劣常常起重大

作用,包括正确的决策与具体技术本身。在分类依据上技术因素很难与效率割裂开来。为此,我们不独立作为依据,仅在解剖分析类型及进行类型选优时加以对比分析。

(三) 农业生态系统分类的体系

1. 基本分类单位

以农户或村为范围进行五业结构不同类型为分类基本单位的划分比较适宜。而五业结构形式常反映在以某一业为主体上,虽然对五业生产结构调整方向来说,我们并不认为某业畸轻某业畸重可取,要求进行按比例协调发展;但为了最便于分类,我们通过实践证明以结构指标进行基本单位的分类比较可行,生态结构指标又围绕生产结构指标来进行为宜。

2. 分类系统

一级分类单位——气候带

二级分类单位——地貌类型(或平原区按土壤类型)

三级分类单位——土地结构(农林牧用地结构,或农林牧副渔用地与水面)

四级分类单位——五业结构(基本单位)

以下按功能指标划分,略。

三、农业生态系统分类方法讨论

(一) 用聚类分类法进行京郊十三陵农场17个大队的分类

聚类分析应用于生物学中的范例屡见不鲜,在群落学类型分析中已有几十年之久,有独特的方法、指标,发展比较完善。至于农业生态系统这个多输入多输出、多因素相互作用的大系统,如何进行分类是个不易解决的问题。除了有自然条件(如土壤、气候、水份等)决定该系统性质外,还有该系统中人的干预、控制和调节以及外界的社会、经济因素的干扰和影响。此外从一般生态系统角度考虑,我们认为还需加入其它两个方面的因子:生态关系的因子和系统整体因素。例如农业生态系统的结构及其功能、能量流动、物质循环指标,系统输入输出,对其它系统的影响等指标,都应

该考虑在内,才能更好地反映农业生态系统的特
特点。

考虑到数据收集困难及范围大小反映的特点,选用以大队为范围的行政区划作为分类基本单元。指标体系的选择是聚类分析中重要一项,由以上说明暂选以下指标(见表1),我们称它为综合指标体系。并分成农业生产自然条件指标组,农业生态结构和功能指标组,经济结构指标组。

表 1 农业生态系统综合指标系

农业生产自然条件指标组	农业生态结构和功能指标组	经济结构指标组
土壤质地指标	林地面积/农田面积	种植业收入比重
土壤有机质含量	复种指数	果林业收入比重
土壤碱解氮含量	饲养家畜数量	畜牧业收入比重
土壤速效磷含量	系统总产出	副业收入比重
每亩可利用水量	农田产投比	人均收入
耕地面积/土地总面积	林果覆盖率	
人均可利用土地	投入有机能/无机能	
果树面积/土地总面积	农田能量输入密度	
	农业机械化水平	

用所有这些指标(综合指标体系)进行聚类分系时,样本间距离选用欧氏距离,即式

$$D_{ik} = \sqrt{\sum_j (X_{ij} - X_{kj})^2}$$

其中 D_{ik} 表示第 i 与 k 样之间的欧氏距离, $X_{ij} - X_{kj}$ 分别表示第 i 与 k 样本对 j 指标的值。类之间的距离计算选用平方和增量法(Ward, 1963)。

分类结果,将十七个大队在相异性指标量50处分分成四个类型:山前平原类型(2个大队),过渡类型(6个大队),半山区类型(7个大队)和山区类型(2个大队),与区划分区一致且比区划反映得更加详细,反映出序列变化。

由于农业生态系统是人为控制和管理的、自然和社会相结合的复杂系统,人的干预结果可能形成稳定、高效、合理的良性循环系统,或反之则为不合理的退化系统,在聚类分析中

不能反映该类型的优劣,以及是否应该当作一个类型处理,这种不合理分类的形成仍是指标的选取的问题,按人为可控性将指标大致分为可控指标和不可控指标两类,可控指标定义为通过人的一般活动一般决策就可以改变的指标(虽然界限不明显,但对分析是有益的),这些指标可以衡量人的管理决策好坏,所以对于表1中自然条件、结构功能、经济结构指标分别聚类、将分类结果两两比较分析,分析中注意可控指标的合理性和系统优劣,反过来再调整综合分类结果,进一步完善分类结果。

1. 具体步骤

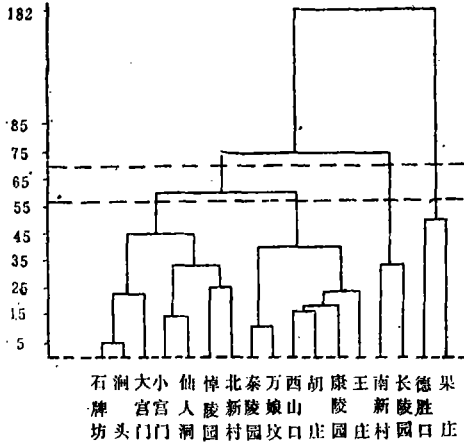
以大队作为样本,对22个指标进行主成分分析,得到贡献率累计在93%以上的前7个主成分。其中第一主成分上负荷较大的为土壤颗粒指标,果林面积比例,土壤有机质含量,每亩可利用土地牧畜(标准羊只)数,种植业收入比重,每亩可利用土地的系统总输入;第二主成分上负荷较大的有碱解氮含量,耕地面积占总土地面积的比例,人均耕地面积林木覆盖率。对以上指标的分析,不难看出,我们赖以分类的22个指标的数据正反映了各子系统的地貌、土壤和包括产投比在内的各生态结构指标的差异,而这些正是我们进行农业生态系统分类的依据。

2. 聚类分析的结果

我们将22个指标作为综合指标,采用系统聚类的离差平方和法对17个子系统进行分类,得如下聚类图。

以70作为阈值得到三类:果庄、德胜口为一类,主要属山区类型;南新村、长陵园为一类,属典型的山前冲积平原类型;其它全为第三类,属半山区类型。如再以60作为阈值,则第三类还可以进一步分为两类,即石牌坊、涧头、大宫门、小宫门、仙人洞、悼陵监、北新村等山前平原条件占优势的半山地类型和泰陵园、万娘坟、西山口、胡庄、康陵园、王庄等比较典型的半山地类型。

南新村	石牌坊	涧头	泰陵园	万娘坟	德胜口
长陵园	大宫门	小宫门	西山口	胡庄	果庄
山前平原类	仙人洞	悼陵园	康陵园	王庄	
	半山区类型				山区类型



我们进而分别以自然条件的 8 个指标、农业生态结构的 9 个指标及经济结构 5 个指标聚类，得如下的结果。

依自然条件指标分类结果

南新村	悼陵园	小宫门	西山口	万娘坟	果庄
长陵园	胡庄	涧头	石牌坊	泰陵园	
北新村	仙人洞	大宫门	王庄	康陵园	德胜口

依经济结构指标分类的结果

仙人洞	南新村	王庄	胡庄	万娘坟	泰陵园	果庄
大宫门	石牌坊	长陵园		小宫门		
涧头	北新村	西山口		悼陵园		
		康陵园		德胜口		

依生态指标分类结果

南新村	王庄	涧头	胡庄	万娘坟	泰陵园	果庄
	石牌坊	悼陵园		小宫门	康陵园	
	北新村	大宫门		西山口	仙人洞	德胜口

分析以上分类结果，不难看到：

(1) 十三陵农场地貌、土地土壤性质和水资源基本上决定了各大队的生产结构和农业生态系统的功能。所分山区、半山区、山前平原的类型中分别具有相适应的结构。

(2) 德胜口大队(属山区类型)、南新村大队(属平原类型)的结构与自然条件、自然资源不相适应，必须注意结构的调整。前者以林为宜，后者应果粮并举，适当降低种植业比例，发展多种经营。

(3) 处于平原区与半山区类型的过渡类型的小宫门、大宫门、仙人洞、北新村、石牌坊、涧头结构和功能不稳定，易调整，部分大队种植业比例过高，应适当加以调整。

(二) 用模糊综合评判对河北青县 80 个典型农户农业生产结构进行分类

农户实质上也应看作为一种农业生态经济系统。我们以各种典型户是否促进生态系统功能协调，是否合理利用自然资源与社会资源，是否做到生物能的多层次利用，是否改善了生态环境，促使生态系统良性循环；是否提高生态效益，获得较大的经济效益等作为依据，通过布置小型试验、实测与访问等手段对青县的 80 户农户进行调查，并将得来数据进行计算、综合，得到反映各户生态经济效益的 14 个指标的数据：总体输出生产力 X_1 ，农田能量产投比 X_2 ，饲料转化效率 X_3 ，劳动生产率 X_4 ，土地报酬能量值 X_5 ，生物能利用率 X_6 ，有机肥施用量 X_7 ，种植业结构中粮食作物的比例 X_8 ，林果覆盖率 X_9 ，农田生态系统中有机能无机能的比率 X_{10} ，降水利用率 X_{11} ，小麦氮素转化效率 X_{12} ，加工业与农副业商品收入占收入的百分比 X_{13} ，畜牧业收入占总收入的百分比 X_{14} 。

我们将整理得到的数据，应用基于模糊线性加权变换的模糊综合评判的方法，对农户进行分类，在此基础上求得不同生产水平农户各种生态、经济效益的差异，并用回归分析的方法来分分析造成各种效益优劣的原因，作为合理

调整生产结构的依据。

在对80户农户的调查的基础上,经综合计算得数据矩阵

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ X_{n1} & \dots & X_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{其中 } m = 14, n = 80$$

作隶属函数变换: $\underline{\mu} = \underline{\mu}_R(X) = (M_{ij})$

其中 $\underline{\mu}$ 为 $n \times m$ 的矩阵, $M_{ij} = \underline{\mu}_{Rj}(X_{ij})$, $\underline{\mu}_{Rj}(X)$ 为第 j 个评价因素的单一评判隶属函数, $j = 1, 2, \dots, m$ 。

根据各评价因素所反映的生态经济效益优劣的重要程度,引入模糊向量: $\underline{A} = (a_1, \dots, a_m)'$ 式中 a_i 为第 i 个评价因素的权重, $a_i \geq 0$, $\sum_{i=1}^m a_i = 1$

用普通的加法和乘法定义作线性变换,得

$$\underline{B} = \underline{M} \cdot \underline{A} = (b_1, \dots, b_n)'$$

其中 b_i ($i = 1, 2, \dots, 80$) 是第 i 户属于“优”集合的隶属度。取阈值 $y_1 = 0.67, y_2 = 0.55, y_3 = 0.42$, 将80户农户分为 A, B, C, D 四类。一般地说,对于取得的生态、经济效益, A 类为最优, D 类为最劣。

进而,以 X_1, X_2, \dots, X_5 作为因变量, X_6, X_7, \dots, X_{14} 作为自变量对 80 个样本的数据标准化后作回归分析,得偏回归系数矩阵 B, 即 $\hat{y} = \hat{B}X$, 其中 $\hat{y} = (\hat{X}_1, \hat{X}_2, \dots, \hat{X}_5)'$
 $X = (X_6, X_7, \dots, X_{14})'$

B \ X	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄
X ₁	0.07	0.353	0.151	0.210	0.077	0.128	0.188	-0.149	-0.008
X ₂	0.175	-0.281	-0.126	0.026	-0.035	0.389	-0.354	0.124	0.029
X ₃	-0.022	0.156	-0.094	-0.057	-0.227	-0.113	0.065	0.221	0.312
X ₄	0.064	0.322	0.004	0.131	0.023	0.089	-0.04	-0.249	-0.009
X ₅	-0.026	0.281	-0.169	0.110	0.037	0.580	-0.092	-0.072	-0.006

由回归结果不难发现, X_7, X_9, X_{11} 对整个向量 y 的贡献较重要, 此外 X_6 对于 X_2, X_{12} 对于 X_1, X_{14} 对于 X_3 也较重要。

对以上结果的分析, 有助于我们去寻找不同类型农户的生产力及生态经济效益上存在差距的原因, 调整好农业生产结构, 使农业生态系统内部各种转运关系更趋完善、合理。具体调整途径略。

(三) 用聚类分析与模糊线性综合评判相结合的方法对河南商丘治理区80个典型户进行分类

应当提出, 上述河北青县分类指标的选取上所用的14个指标, 由于未分级进行, 对不同指标的重要性差异仅用加权处理, 结果不属理想。原因是同时把结构指标、生态效率指标以及经济效益指标一起纳入同一级的分类单位, 在结

果上有所混乱不清。因为结构合理生态效率不一定高, 这里面还有技术原因在内; 经济效益与生态效益高低也不全统一, 因为副业的发展常可获取占产值比60%的收益, 而生态效益低似一时也看不出制约作用; 在类似的自然、社会经济条件下常常是结构类似(例如山区以果林为主), 但收入相差很大, 如此等等。由于未提炼出一组组一对对可对比状态的类型, 易被交杂在一起的多因素所迷惑。尤其主要的是, 分类目的是为了选优与提出改进方向, 上述方法常带来困难, 有时看不清在经济、生态、技术这三种原因中究以何种为主的问题。

为此, 我们又对河南商丘地区运用了先聚类, 后模糊综合评判的办法, 效果令人满意。亦即以6种结构指标进行聚类分析(林果覆盖

(下转第16页)

接受的太阳辐射值相比)。这与第5个要素的理由是一样的。

一般来说,对于北半球的中高纬地理区域,每年越接近冬至日,或这些日子里越远离中午时刻,所遮蔽的地区面积越大。但对于每日来说,在太阳高度小于 12° 以前,计算遮阴面积的意义不大,因为那时的太阳辐射强度很低,其生物学意义相对就很小。

由上可以看出,为了计算出遮阴面积和辐射增强面积,也就是在方程(4)的应用中,需要有太阳高度角或太阳天顶角动态变化的基本知识,而这对于特定的地域和特定的时间,均可以从特制的图表中查得。在计算中所用的时间均为太阳时。

一旦上述六个基本要素被确定,就可以利用公式(4)和公式(8)解算出起伏地形下,太阳辐射强度的空间分布特征。倘若太阳高度角为 12° ,此时的正切值为0.213,则具有213米相对高度的地形——障碍,应该有水平距离达1,000米的遮阴部分,而后沿着地形在东西方向上的积分,即可获得遮阴的面积。于是针对一个区域,作出系列的地貌遮阴(或增强)的变化图,再根据由计算所得到的减弱比率和增强比率,即可得到太阳辐射能输入的地理效应图。

在太阳辐射能地理空间分布的制图中,首先应在底图上确定坡面的顶峰点,作为对其北部方向的遮阴起始点(ESO)_i,并在图上加以标注。在一个地域中这种遮阴起始点的数目

i 取决于地形在东西方向上的复杂程度,在1:25,000比例尺的图上,在这样的东西方向横剖面上,一般每隔0.25至0.50厘米之间,标注出一个起始点,便可以认为是充分的。这样,遮阴起始点的高程,即(ESO)_i,可以很好地确定出来。其次在起始点(ESO)_i的北坡,应当从地貌图上确定其坡度值,倘若此时的坡面(背阴坡)值大于太阳入射角 α ,即可断定为遮阴区,如果等于或小于太阳入射角 α ,便被排除遮阴的可能。第三,确定图中的EST,即遮阴与向阳的分界点。这个临界点的确定十分复杂,一方面由于实际的地形并非一个单一的木杆,另一方面由于该点具有动态变化的特征。在这种情况下,只有经过逐次逼近的试配方法,才可以确定,同时依据太阳入射角的变化范围,可以划出EST沿坡面前后变化的范围,由此定出遮阴距离(PSL)_i的消长幅度;第四,确定下一个山坡顶点的高程(ESO)_j,作出其水平投影点,从而确定太阳辐射增强地段(PSL)_i,或者应用(ESO)_i与(ESO)_j之间的水平距离长度,减去(PSL)_i,亦可得到(PSL)_j,如果同时测出向阳坡的坡度,按照公式(1),可以近似地确定该地段上的太阳辐射能增强状况(须注意,公式1假定太阳入射射线垂直于向阳坡面,事实上并不确定如此)。

以上我们简介了太阳辐射能输入的地理效应及其研究方法,这里省略了所作的个例分析。参考文献也不列入。

(上接第21页)

率、副业收入占总收入%、畜牧业收入占总收入%、小麦播种面积占总播面%、玉米占播面%、棉花占播面%),结果得出5大类型:五业结构中以畜牧业为主体类型及以副业为主体类型;种植业结构中以粮食作物为主体及以棉花为主体类型;果林覆盖率达65%的类型(仅一户)。这5类可作为农户分类的基本分类单位处理。

然后在同一类内用前述多种生态指标进行模糊线性综合评判(或有的加权),得出了一系列令人满意的结论,无疑对生产实践具有重要指导意义。表现为可比状态合理而清晰,找出的差距原因易于识辨并能量化,用于选优及提出改进方向也明确可靠。

至于各种效率指标的概念与标准另文讨论。以上仅为农业生态系统分类方法初探,工作也是初步的,供大家讨论。