

节肢动物群落稳定性分析灰典型相关模型及其应用

陈超英

福建农林大学计算机与信息学院, 福州 350002

摘要 稳定性是生态系统最重要的特征之一。根据累加生成可增强两单调增序列线性相关性原理,应用典型相关分析方法,以比值 m_n/m_p (m_p 为害虫个体数, m_n 为天敌个体数) 为测度群落稳定性的指数,构建群落稳定性分析灰典型相关模型。具体做法是: ① 将各种群的数量序列按害虫各次总数量的递增顺序进行重排,用各种群数量序列的极差去除该序列,将其无量纲化,然后对各序列进行累加生成; ② 以害虫各种群为一组变量,天敌各种群为另一组变量,应用典型相关分析的方法,求出各对典型变量。对达到线性拟合要求的典型变量对,以害虫为自变量,天敌为因变量建立回归方程,并对这些方程中的变量进行累减还原; ③ 对这些方程进行线性组合,合并成一个方程,组合系数是使这些害虫典型变量的线性组合与害虫总数量序列的线性相关值达到最大; ④ 引进转换系数的概念,建立天敌、害虫总量相互转换模型,该模型称之为灰典型相关模型,通过模型可分析各种群在群落稳定性中的作用。将模型应用于福州金山茶园节肢动物群落的稳定性分析,所得结果与实际基本相符,表明建立的灰典型相关模型是可行的。

关键词 节肢动物群落 累加生成 典型相关 稳定性分析 茶园

文章编号 1000-0933 (2007)08-3370-09 中图分类号 Q141, Q968.1 文献标识码 A

A grey canonical correlation model for analyzing the stability of arthropod community and its application in the tea plantation of Jinshan, Fuzhou, Fujian Province

CHEN Chao-Ying

Faculty of Computer and Information, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (8): 3370 ~ 3378.

Abstract : Stability is one of the most important characteristics in ecosystems. Based on the principle that the accumulative generation can enhance the linear correlation of two monotone incremental sequences and the methods of canonical correlation analysis, a grey canonical correlation model is developed for analyzing the effect of population on the stability of community, and the ratio of m_n/m_p (where m_p is the total individual numbers of pests and m_n their natural enemies) used as a stability index of community. The modeling procedure consists of the following steps: ① the individual number sequences of populations are rearranged according to increasing sequence of total individual numbers of pests in the community, and the sequences divided by the differences of various populations for dimensionless transform and accumulative generation; ② the canonical variables are determined by the canonical correlation analysis of pests and their enemies, the pests and their natural enemies used as independent and dependent variables, and regression equations

基金项目 福建省科技三项费用资助项目 (03014); 福建省自然科学基金资助项目 (0516014)

收稿日期 2006-08-18; **修订日期** 2007-07-16

作者简介 陈超英 (1958 ~), 男, 福建仙游人, 博士, 副教授, 主要从事生物数学、灰色系统理论和昆虫生态研究. E-mail: chency86@sohu.com

Foundation item The project was financially supported by three Items of Expenditure on Science and Technology of Fujian Province (No. 03014) and Natural Science Foundation of Fujian Province (No. Z0516014)

Received date 2006-08-18; **Accepted date** 2007-07-16

Biography CHEN Chao-Ying, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in biomathematics, grey system theory and insect ecology. E-mail: chency86@sohu.com

established based on the canonical variable pairs which meet the demand of linear fitting and inverse operation of accumulative generation ; 6) the equations are linearly combined with a set of coefficients to ensure that the linear combination of canonical variable of pests in regression equations has the greatest correlation coefficients with the sequence of total individual numbers of pests in the model ;and 4) a model of mutual conversion of total individual numbers between the pests and their natural enemies is developed by introducing the concept of conversion coefficient , which is called a grey canonical correlation model and can be used to analyze the effect of populations on the stability of community. The model has also been employed to analyze the stability of arthropod community in the tea plantation of Jinshan , Fuzhou , Fujian Province. The results is basically consistent with the data obtained from the field study , which well indicates that the model is feasible and applicable.

Key Words : arthropod community ; accumulative generation ; canonical correlation ; stability analysis ; tea plantation

稳定性是生态系统最重要的特征之一,生态系统稳定性研究不仅在理论上而且在实践中都有重大的意义。由于生态系统在结构、功能上的复杂性及在时空上的动态变化,加上稳定性表达的多样化,使得生态系统稳定性的度量变得非常困难,至今还没有一个统一的指标来表达生态系统的稳定性^[1]。对于节肢动物群落的稳定性测度,高宝嘉等用 S_s/S_l (S_s 为物种数, S_l 为个体数) 及 S_n/S_p (S_n 为天敌种数, S_p 为植食性昆虫种数) 两指数来反映群落的稳定性^[2] ;丛建国用同一年中多样性的变异系数 (D_s/D_m) 来描述群落稳定性,其中 D_s 为标准差, D_m 为平均值^[3] ;陈超英采用 S_s/S_l 和 m_n/m_p (m_p 为害虫个体数, m_n 为天敌个体数) 两指数反映群落稳定性,并应用这两指数建立群落稳定性测度模型^[4]。这些指数或模型对群落稳定性的量化研究具有重要的意义,但也还存在一些不足,无法有效地评价群落中的各种群对群落稳定性的影响。

生物群落是多种种群的耦合体,是一个具有一定结构和功能的系统。种群作为组成群落的基本单位之一,在群落中发挥着特定的作用,具有无法替代的功能^[5]。种群间的相互关系是各个种群在不同环境中相互影响相互作用形成的,其中每一物种同生境中的其它物种相互作用、相互影响,并表现为某种种间关系,如竞争、共生、寄生、捕食。自然天敌是影响害虫种群数量变动的最重要的生物因子^[6],要在群落水平上了解生态系统的稳定机制,就有必要了解害虫各种群作为一个整体与天敌各种群作为另一个整体相互间的内在联系。研究一个整体与另一个整体之间内在联系的有效方法是典型相关分析。但典型相关分析是基于各变量间的关系是线性的,如果关系不是线性的,典型相关分析将不能测量到这种关系^[7]。在害虫-天敌群落中,害虫各种群作为一个整体与天敌各种群作为另一个整体,其线性关系并不显著,原因在于一种害虫可能只被一个或几个种的天敌捕食或寄生 ;一种天敌只对一个或几个种的害虫进行捕食或寄生,而且一些主要害虫,在高峰期是指数增长的。另外,典型相关分析中的变量是经过中心化处理,无法直接体现各种群间关系。由累加生成可增强两单调增序列间的线性相关性^[8],同时累减还原可消除序列中的常数项。为此,本文拟应用灰色系统理论中的一些方法和原理,对原有的典型相关分析方法加以改进,建立灰典型相关模型。并在此基础上以天敌个体数与害虫个体数之比为群落稳定性指数,构建群落稳定性分析模型,探讨群落中各种群在群落稳定性中的作用。

1 群落稳定性分析模型

1.1 数据处理

设害虫各种群数量序列为 $x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})^T$ ($j = 1, 2, \dots, k$), 构成的矩阵记为 $X = (x_1, x_2, \dots, x_k)$

害虫总数量序列记为 $mp = (mp_1, mp_2, \dots, mp_n)^T$, 其中 $mp_i = \sum_{j=1}^k x_{ij}$ ($i = 1, 2, \dots, n$)

天敌各种群数量序列为 $y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{lj})^T$ ($j = 1, 2, \dots, l$), 构成的矩阵记为 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_l)$

天敌总数量序列记为 $mn = (mn_1, mn_2, \dots, mn_n)^T$, 其中 $mn_i = \sum_{j=1}^l y_{ij}$ ($i = 1, 2, \dots, n$)

根据累加生成可增强两单调增加序列的线性相关性原理,将害虫总数量序列 m_p 调整为单调增加序列,其余各种群数量序列的顺序作相应调整,调整后的序列记号不变。由于害虫总数量序列是各害虫种群数量的综合,因而各害虫种群数量序列具有一定的单调增趋势。而天敌具有一定的“跟随”现象,天敌各种群数量序列也具有一定的单调增趋势^[1]。另外,由于害虫、天敌它们所占的空间、所消耗的资源量不相同,为了消除量纲不同可能带来的一些不合理的影响,需对数据进行无量纲化处理。为减缓数据的波动,采用各序列的极差去除所在序列,使其无量纲化。即:

$$x_{ij}^{(0)} = \frac{x_{ij}}{\max \{x_j\} - \min \{x_j\}}, \quad i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, k \tag{1}$$

和

$$y_{ij}^{(0)} = \frac{y_{ij}}{\max \{y_j\} - \min \{y_j\}}, \quad i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, l \tag{2}$$

无量纲化后的害虫、天敌的数量矩阵分别记为 $X^{(0)} = (x_{ij}^{(0)})$ 和 $Y^{(0)} = (y_{ij}^{(0)})$ 。

为了增强各种群数量序列间的线性相关性,对各序列进行累加生成,即:

$$x_{ij}^{(1)} = \sum_{r=1}^i x_{rj}^{(0)}, \quad i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, k \tag{3}$$

$$y_{ij}^{(1)} = \sum_{r=1}^i y_{rj}^{(0)}, \quad i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, l \tag{4}$$

累加生成后的害虫、天敌的数量矩阵分别记为 $X^{(1)} = (x_{ij}^{(1)})$ 和 $Y^{(1)} = (y_{ij}^{(1)})$ 。

1.2 典型相关分析

为应用典型相关分析,对害虫、天敌数量矩阵 $X^{(1)}$ 、 $Y^{(1)}$ 进行中心化,即矩阵中的各列数据减去所在列的平均值,使各列变换后的平均值均为零。为方便起见,中心化后的数量矩阵仍记为 $X^{(1)}$ 、 $Y^{(1)}$ 。然后根据典型相关分析的方法^[1],应用 Matlab 软件编程求出以害虫、天敌为变量的典型向量和典型变量。具体做法如下:

先由已中心化的样本矩阵 $X^{(1)}$ 、 $Y^{(1)}$ 求出协方差矩阵 S 并将其分为 4 块:

$$S = \frac{1}{n} \begin{bmatrix} X^{(1)T} X^{(1)} & X^{(1)T} Y^{(1)} \\ X^{(1)T} X^{(1)} & Y^{(1)T} Y^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \tag{5}$$

式中, $S_{11} = \frac{1}{n} X^{(1)T} X^{(1)}$, $S_{22} = \frac{1}{n} Y^{(1)T} Y^{(1)}$, 分别为 $X^{(1)}$ 和 $Y^{(1)}$ 的协方差阵, $S_{12} = \frac{1}{n} X^{(1)T} Y^{(1)} = S_{21}^T$ 是 $X^{(1)}$ 与 $Y^{(1)}$ 的互协方差阵。系数 $1/n$ 只是个形式,在后续的计算中不受影响。

令 $K = S_{11}^{-\frac{1}{2}} S_{12}^{-\frac{1}{2}} S_{22}^{-\frac{1}{2}}$, $N_1 = K K^T$ 、 $N_2 = K^T K$ 计算 N_1 、 N_2 的非零特征值 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_t$, 以及对应的标准正交特征向量 $\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_t$ 和 $\beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_t$ 。然后求得典型向量:

$$a_j = (a_{1j}, a_{2j}, \cdots, a_{tj})^T = S_{11}^{-\frac{1}{2}} \alpha_j, \quad j = 1, 2, \cdots, t \tag{6}$$

$$b_j = (b_{1j}, b_{2j}, \cdots, b_{tj})^T = S_{22}^{-\frac{1}{2}} \beta_j, \quad j = 1, 2, \cdots, t \tag{7}$$

和典型变量:

$$\psi_j^{(1)} = X^{(1)} a_j, \quad \varphi_j^{(1)} = Y^{(1)} b_j, \quad j = 1, 2, \cdots, t \tag{8}$$

而 $\sqrt{\lambda_1} \geq \sqrt{\lambda_2} \geq \cdots \geq \sqrt{\lambda_t}$ 为所求的典型相关系数,其中特征向量符号的选择应使 $a_j^T S_{12} b_j > 0$, $j = 1, 2, \cdots, t$ 。

对线性相关显著的典型变量对 (不妨设有 t 对),以害虫为自变量、天敌为因变量,利用最小二乘法构建线性回归方程。注意到 $X^{(1)}$ 、 $Y^{(1)}$ 中的列向量均值均为零,由文 [8] 知:

$$\varphi_j^{(1)} = \sqrt{\lambda_j} \psi_j^{(1)}, \quad j = 1, 2, \cdots, t \tag{9}$$

上式累减还原后为:

$$\varphi_j^{(0)} = \sqrt{\lambda_j} \psi_j^{(0)}, \quad j = 1, 2, \cdots, t \tag{10}$$

式中, $\psi_j^{(0)} = X^{(0)} a_j$, $\varphi_j^{(0)} = Y^{(0)} b_j$, ($j = 1, 2, \cdots, t$), $X^{(0)}$ 、 $Y^{(0)}$ 分别为 $X^{(1)}$ 、 $Y^{(1)}$ 去掉第 1 行后构成的矩阵。

一般情况下每个典型变量主要反映其中的一两个变量,为了更好地获取各典型变量所含的信息,对 (0) 中的 t 个方程进行线性组合,其组合系数向量 $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_t)^T$ 是使 $mp_1^{(0)}$ 与 $\psi^{(0)}\gamma$ 的相关系数达到最大,其中序列 $mp_1^{(0)}$ 是由害虫总量序列 mp 经无量纲化并去掉第一项后构成,而 $\psi^{(0)} = (\psi_1^{(0)}, \psi_2^{(0)}, \dots, \psi_t^{(0)})$ 。由文 [8] 知,所求组合系数为:

$$\gamma = (\psi^{(0)T} H \psi^{(0)})^{-1} \psi^{(0)T} H m p_1^{(0)} \tag{1}$$

其中 $H = I - \frac{1}{n} l l^T$, I 是 $n-1$ 阶单位矩阵, l 是元素均为 1 的 $n-1$ 维列向量。

对 (0) 中的 t 个方程进行线性组合,即用 γ_i 乘第 i 个方程 ($i = 1, 2, \dots, t$), 累加整理得组合后的近似等式为:

$$d_1 y_{i1} + d_2 y_{i2} + \dots + d_l y_{il} = c_1 x_{i1} + c_2 x_{i2} + \dots + c_k x_{ik}, \quad i = 2, 3, \dots, n \tag{2}$$

其中,系数 $c_i = \frac{\sum_{j=1}^t \gamma_j a_{ij} \sqrt{\lambda_j}}{\max(x_i) - \min(x_i)}$, $i = 1, 2, \dots, k$; $d_i = \frac{\sum_{j=1}^t \gamma_j b_{ij}}{\max(y_i) - \min(y_i)}$, $i = 1, 2, \dots, l$

上述组合过程均为恒等变换,因而不会减弱两组合典型变量间的线性相关性,即等式 (2) 两边的组合变量仍具有显著的线性相关性。记 $c = (c_1, c_2, \dots, c_k)^T$, $d = (d_1, d_2, \dots, d_l)^T$, $X_1 = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1k})$, $Y_1 = (y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1l})$, 其中 x_{1j} ($j = 1, 2, \dots, k$)、 y_{1j} ($j = 1, 2, \dots, l$) 分别为相应的 x_j 、 y_j 去掉第 1 个分量后构成的 $n-1$ 维向量,即 X_1 、 Y_1 分别为 X 、 Y 去掉第一行后构成的矩阵,称 $P = X_1 c$ 和 $N = Y_1 d$ 即 (2) 式两边的组合变量分别为害虫、天敌变量组的组合典型变量。

1.3 构建群落稳定性分析模型

式 (2) 表示害虫、天敌的数量经过加权后处于一种相对平衡的状态,即相对稳定的状态,生态意义不很显著。前面提到害虫、天敌它们所占有的空间、所消耗的资源量并不相同,所以当它们处于一种相对稳定状态时,它们之间的数量需按一定的当量进行转换,才能处于一种相对对等的状态。转换系数在 Lotka - Volterra 模型中称之为竞争系数 [9],反映了在同一环境中一物种对另一物种的竞争抑制效应。在一个群落中,一种害虫往往有多种天敌,而一种天敌往往捕食、或寄生多种害虫。因此,在群落中可考虑一对多的转换关系。设第 j 种害虫、天敌在第 i 次分别与天敌、害虫总量的转换系数为 μ_{ij} 、 ρ_{ij} ,即:

$$x_{ij} = \mu_{ij} m n_i, \quad i = 2, 3, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, k \tag{3}$$

$$y_{ij} = \rho_{ij} m p_i, \quad i = 2, 3, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, l \tag{4}$$

不妨取 $\mu_{ij} = \frac{x_{ij}}{m n_i}$, $i = 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k$ 。其值愈小,表明害虫受天敌的抑制影响愈大。同理,可取 $\rho_{ij} = \frac{y_{ij}}{m p_i}$, $i = 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, \dots, l$ 。其值愈大,表明天敌对害虫的抑制能力愈强。这样等式 (2) 可转化为:

$$(\mu_1 \frac{y_{i1}}{m p_i} + d_2 \frac{y_{i2}}{m p_i} + \dots + d_l \frac{y_{il}}{m p_i}) m p_i = (c_1 \frac{x_{i1}}{m n_i} + c_2 \frac{x_{i2}}{m n_i} + \dots + c_k \frac{x_{ik}}{m n_i}) m n_i, \quad i = 2, 3, \dots, n \tag{5}$$

其中 $c_1 \frac{x_{i1}}{m p_i} + c_2 \frac{x_{i2}}{m p_i} + \dots + c_k \frac{x_{ik}}{m p_i}$ 、 $d_1 \frac{y_{i1}}{m n_i} + d_2 \frac{y_{i2}}{m n_i} + \dots + d_l \frac{y_{il}}{m n_i}$ ($i = 2, 3, \dots, n$) 不妨称为 害虫、天敌的第 i 次总量加权转换系数 ($i = 2, 3, \dots, n$)。 (5) 式表明各种群经过相互作用转换后,其数量处于相对稳定的状态,转换过程中各种群所起的作用在转换系数中予以体现,这样式 (5) 就具有显著的生态意义,是天敌、害虫总量的相互转换模型。

从式 (5) 可以看出,天敌、害虫的第 i 次总量转换系数之比恰好是天敌、害虫的第 i 次总量之比,而天敌、害虫的总量之比可作为测度群落稳定性的一个指标 [9],所以式 (5) 可作为群落稳定性分析的一个模型,通过转换系数中各种群变量的权值 c_i ($i = 1, 2, \dots, k$)、 d_j ($j = 1, 2, \dots, l$) 或各种群在转换系数中所占的比值分析各种群对群落稳定性的作用和影响,比值的定义及计算见后面 (7) 式。模型 (5) 是通过应用灰色系统理论中

的数据处理方法和多元统计分析中的典型相关分析方法而得,故不妨称之为灰典型相关模型。

了解各种群在转换系数中所起的作用,也可通过各种群在总量转换系数中所占比值的情况获得一个大概的了解。将 (2) 中的 $n-1$ 个等式相加,然后两边分别乘除第 2 至第 m 次的害虫总数量和天敌总数量,即:

$$Q_1 \frac{sy_1}{sp} + d_2 \frac{sy_2}{sp} + \cdots + d_l \frac{sy_l}{sp} sp = (c_1 \frac{sx_1}{sn} + c_2 \frac{sx_2}{sn} + \cdots + c_k \frac{sx_k}{sn}) sn \tag{6}$$

其中 $sx_j = \sum_{i=2}^n x_{ij}$, $j = 1, 2, \cdots, k$; $sy_j = \sum_{i=2}^n y_{ij}$, $j = 1, 2, \cdots, l$ 分别表示第 j 种害虫或天敌在第 2 至第 m 次中的总数量; $sp = \sum_{j=1}^k \sum_{i=2}^n x_{ij}$, $sn = \sum_{j=1}^l \sum_{i=2}^n y_{ij}$ 分别表示害虫或天敌在第 2 至第 m 次中的总数量。

记:

$$bx_j = \frac{c_j sx_j}{\sum_{j=1}^k c_j sx_j}, j = 1, 2, \cdots, k; by_j = \frac{d_j sy_j}{\sum_{j=1}^l d_j sy_j}, j = 1, 2, \cdots, l \tag{7}$$

分别表示第 j 种害虫或天敌在各自总数量转换系数中的比值,该比值是一个带符号的比率值,符号说明作用的方式,其绝对值和为 1。

2 应用实例

茶树是一种多年生常绿灌木植物,茶园是一类远比一般农田稳定的生态系统,昆虫是其重要的组成成分^[1]。以茶园节肢动物群落的稳定性分析研究作为灰典型相关模型的应用实例是恰当的。

2.1 材料与方法

2.1.1 调查地自然概况

本文采用 2002 ~ 2003 年在福州金山茶园调查所获得的数据作为应用实例。福州金山茶园是福建农林大学园艺学院教学实验茶园,位于福州金山校园南面的小山坡上,园内种有铁观音、黄旦、毛蟹、梅占、武夷肉桂、福鼎大白茶、福云六号等 8 个品种。茶园东西南面为灌木、松树林、小竹类及铁芒萁等,植被较为丰富。北面是住宅区。茶园除少量采摘、修剪、锄草和施肥等农事活动外,基本上没有使用化学农药,接近自然生长状态。

2.1.2 调查方法

采用在树冠上扫网的方法采集样本。捕虫网口径 30cm,按平行跳跃法选取 30 个点。采样时间为 2002 年 10 月至 2003 年 10 月,每月 1 次,间隔相对固定。夏秋季,8 00 ~ 10 00;冬春季,9 00 ~ 11 00。每点扫 50 网,扫集的标本装入小塑料袋内用少量酒精毒杀,然后带回实验室分类鉴定,并统计数量。

2.2 结果与分析

2.2.1 福州金山茶园害虫、天敌在各月的数量调查结果列于表 1、表 2。

从表 1、表 2 可知,在该群落中,主要害虫和天敌分别是假眼小绿叶蝉和蜘蛛,其数量在各自的亚群落中均占绝对优势,具体结果参见表 3。事实上,它们也是目前茶园中的主要害虫和天敌^[1,12]。

2.2.2 群落稳定性分析

应用上述灰典型相关模型,计算得知 10 个非零特征值均为 1,即 10 对典型变量均线性相关极显著,由此计算出模型 (5)、(6) 中各种群变量在各次及全年天敌与害虫总量转换系数中的权值和比值。为简单起见,本文只列出各种群在全年 (共 12 次) 总量转换系数中的权值和比值,即由 (6)、(7) 式所得结果。同时为了更好地进行对比分析,将害虫、天敌各种群的数量占害虫或天敌总数量的比率一并列入表中,结果见表 3。

应用模型 (6) 计算群落的稳定性指数即天敌与害虫的总量之比为 0.4774,表明该群落处于较稳定的状态。该指数值会略小于实际值,主要是模型 (6) 不含偶发性种类所致,具体原因将在后面讨论中叙述,但这对种群的作用分析影响不大。从表 3 可知,在害虫亚群落中,各种群的权值均为正数,表明各种群在总量转换过程中作用是一致的,只是作用的大小不同而已。事实上,害虫各种群与害虫变量组的组合典型变量全是正相关。种群数量排在前三位的假眼小绿叶蝉、蓟马类、粉虱类,它们的权值均较小,倒数 1、2 在总量转换系数中的比值也只在平均水平或低于平均水平,均小于它们在害虫总数量的比值,表明这 3 类主要害虫的干扰性

表 1 福州金山茶园害虫在各月的数量

Table 1 The quantities of pests in Jinshan tea plantation in every month, Fuzhou

种类 Species	时间 (年-月) Time (Year-Month)												
	2002 -10	2002 -11	2002 -12	2003 -01	2003 -02	2003 -03	2003 -04	2003 -05	2003 -06	2003 -07	2003 -08	2003 -09	2003 -10
假眼小绿叶蝉 <i>Empoasca vitis</i>	380	294	43	29	139	156	326	1052	1170	4	42	544	694
蚜虫类 Aphids	67	59	5	14	11	168	62	52	10	2	51	286	58
粉虱类 Whiteflies	139	10	1	0	1	415	97	136	60	52	192	222	299
蓟马类 Thrips	165	74	190	108	24	39	89	42	59	6	197	1143	331
螨类 Mites	96	35	6	12	10	51	92	4	50	1	93	369	216
其它叶蝉类 Other leafhoppers	27	27	1	5	11	8	7	10	48	3	10	20	20
象甲类 Weevils	9	7	6	15	10	21	21	5	10	12	18	27	14
盲蝽类 Plant bugs	28	11	9	1	2	0	3	3	7	1	42	31	22
鳞翅目幼虫 Lepidopteral larvae	11	2	0	1	2	2	3	0	6	5	28	22	7
啮虫类 Psocids	1	0	1	1	1	3	2	3	10	1	5	9	15

表 2 福州金山茶园天敌在各月的数量

Table 2 The quantities of natural enemies in Jinshan tea plantation in every month, Fuzhou

种类 Species	时间 (年-月) Time (Year-Month)												
	2002 -10	2002 -11	2002 -12	2003 -01	2003 -02	2003 -03	2003 -04	2003 -05	2003 -06	2003 -07	2003 -08	2003 -09	2003 -10
蜘蛛类 Spiders	206	72	35	41	66	62	98	119	163	235	129	257	332
鼎突黑刺蚁 <i>Polyrhachis vicina</i>	24	21	3	2	2	4	6	6	0	4	24	232	48
小蚂蚁类 Ants	62	32	1	1	4	15	69	52	91	71	44	396	196
蚜茧蜂科 Aphidiidae	2	17	3	0	4	11	14	10	8	2	2	18	13
小蜂类 Chalcids	108	91	15	45	28	45	50	57	63	25	29	133	210
蚜小蜂科 Aphelinidae	51	60	1	6	3	2	14	5	0	2	5	8	59
缨小蜂科 Mymaridae	89	9	0	5	2	6	6	49	37	4	60	52	72
赤眼蜂科 Trichogrammatidae	5	36	1	1	0	1	104	4	2	0	4	1	24
缘腹卵蜂科 Scelionidae	31	8	1	2	6	2	15	2	7	10	14	14	23
细蜂类 Serphidae	35	8	2	6	13	8	10	11	3	10	18	328	127
瘿蜂类 Cynipids	1	6	1	2	3	13	6	3	2	2	2	3	2
锤角细蜂类 Diapriid wasps	2	22	0	3	3	2	2	2	0	3	1	1	6

受到了一定的抑制,即群落的抗干扰能力较强,说明该群落的稳定性处于较好的状态。而从表 3 知蜘蛛类在群落的稳定性中起了主要作用,蜘蛛类在总量转换系数中的比值大大高于其它天敌种群,为 0.3061 ,比其占天敌总数的比值还高。这一结果与实际是一致的,蜘蛛是茶园的主要天敌,一般占茶园害虫捕食性天敌数量的 90% 以上,它们在控制假眼小绿叶蝉等茶园主要害虫方面起着关键作用^[3]。对于寄生类天敌,有几个变量的权值为负数,但这些变量与天敌变量组的组合典型变量是正相关 而有些变量的权值虽然是正的,如赤眼蜂科、瘿蜂类、锤角细蜂类,但它们与天敌变量组的组合典型变量却是负相关。从统计学的观点看,这些变量是校正 (或抑制) 变量^[4]。从生物学的角度看,茶园许多寄生蜂能在多种寄主害虫或中间寄主上转换寄生,并有重寄生现象,使茶园害虫与天敌之间的关系复杂化,因而有上述情形出现。从结果看,在该群落稳定性中起主要作用的是 3 类捕食性天敌。

表 3 各种群变量在害虫或天敌总量转换系数中的权值和比值及各种群数量占害虫或天敌总量的比率
Table 3 The weights and quotients of the populations in the conversion coefficients of total individual numbers between pests and natural enemies and the ratios of them to quanta of their respective subcommunities

害虫 Insect pests					天敌 Natural enemies				
序号 <i>j</i>	种类 Species	权值 Weights	<i>bx_j</i>	<i>sx_j/sp</i>	序号 <i>j</i>	种类 Species	权值 Weights	<i>by_j</i>	<i>sy_j/sn</i>
1	假眼小绿叶蝉 <i>Empoasca vitis</i>	0.0009	0.1110	0.4260	1	蜘蛛类 Spiders	0.0602	0.3061	0.2895
2	蚜虫类 Aphids	0.0035	0.0789	0.0738	2	鼎突黑刺蚁 <i>Polyrhachis vicina</i>	0.0733	0.0878	0.0682
3	粉虱类 Whiteflies	0.0024	0.1007	0.1375	3	小蚂蚁类 Ants	0.0126	0.0392	0.1765
4	蓟马类 Thrips	0.0009	0.0575	0.2153	4	蚜茧蜂科 Aphidiidae	-0.3504	-0.1150	0.0187
5	螨类 Mites	0.0027	0.0747	0.0905	5	小蜂类 Chalcids	-0.0464	-0.1304	0.1602
6	其它叶蝉类 Other leafhoppers	0.0213	0.1097	0.0170	6	蚜小蜂科 Aphelinidae	0.0689	0.0474	0.0392
7	象甲类 Weevils	0.0455	0.1969	0.0143	7	缨小蜂科 Mymaridae	-0.0158	-0.0197	0.0709
8	盲蝽类 Plant bugs	0.0238	0.1006	0.0139	8	赤眼蜂科 Trichogrammatidae	0.0263	0.0155	0.0335
9	鳞翅目幼虫 Lepidopteral larvae	0.0357	0.0797	0.0073	9	缘腹卵蜂科 Scelionidae	-0.2223	-0.0895	0.0229
10	啮虫类 Psocids	0.0667	0.0904	0.0045	10	细蜂类 Serphidae	-0.0463	-0.0848	0.1043
					11	瘿蜂类 Cynipids	0.4406	0.0624	0.0081
					12	锤角细蜂类 Diapriid wasps	0.0152	0.0022	0.0081

2.2.3 精度分析

在典型相关分析中,从两组变量分别提取的两个典型成分首先要求相关程度最大,同时也希望每个典型成分解释各组变差的百分比也尽可能的大。百分比的多少反映由每组变量提取的用于典型相关分析的变差的多少。以一变量与另一变量相关系数的平方测度该变量解释另一变量的变差^[4]。记

$$R_d(\mathbb{X}_1,P) = \frac{1}{t} \sum_{j=1}^t r^2(\mathbb{X}_{1_j},P), R_d(\mathbb{Y}_1,N) = \frac{1}{t} \sum_{j=1}^t r^2(\mathbb{Y}_{1_j},N), t = \min(l,k) \tag{8}$$

并称 $R_d(\mathbb{X}_1,P)$ 、 $R_d(\mathbb{Y}_1,N)$ 分别为害虫、天敌变量组的组合典型变量 P 、 N 解释本组变量 X_1 或 Y_1 总变差的百分比。

应用 (8) 式计算得害虫、天敌变量组的组合典型变量解释本组变量总变差的百分比分别为 47% 和 35% ,

害虫、天敌变量组的单个典型变量解释本组变量总变差的百分比的最大值分别为 19% 和 20% ,说明组合典型变量所提取的信息大大高于单个典型变量。害虫变量组的组合典型变量解释本组变量总变差的百分比增幅高于天敌变量组的组合典型变量,主要在于组合系数是基于害虫变量组考虑的。从单个种群看,害虫各种群与害虫变量组的组合典型变量的相关系数,除假眼小绿叶蝉、其它叶蝉类为 0.35 和 0.38 外,其余均在 0.63 以上,分别为 0.75、0.63、0.80、0.92、0.65、0.68、0.75、0.75,说明害虫变量组的组合典型变量提取了大部分害虫的信息。假眼小绿叶蝉与害虫变量组的组合典型变量的相关系数较小,原因在于假眼小绿叶蝉的种群动态的非线性较强,一年有两个高峰期,而其它叶蝉类与假眼小绿叶蝉的相关度较大,这同时也说明假眼小绿叶蝉是需主要控制的害虫种类。在天敌亚群落中,3 类捕食性天敌与天敌变量组的组合典型变量的相关系数均在 0.81 以上,分别为 0.82、0.81、0.90,说明天敌变量组的组合典型变量提取了主要天敌的信息,表明前面有关稳定性分析的结果是可信的。事实上,47% 和 35% 这两个值还是较大的,因害虫、天敌的种群数量并不完全是种群相互作用的结果,还受气温、湿度、光照等生态因子及农事活动的影响。当然,各典型变量的组合方式还有待于进一步改进。

3 讨论

3.1 早在 1955 年,Macarther 就发现一些群落的物种保持恒定,而另一些群落物种变化很大。他把前者称为稳定群落,而把后者称为不稳定的群落,并认为群落的稳定性取决于物种的多少和种间相互作用大小两个因素,其中起主要作用的是物种多少,种间相互作用只起补充作用,并用 Shannon-Weaver 指数来描述营养水平多样性作为稳定性的度量 [5]。但他并没有给出稳定性的确切定义,也没有证明营养水平多样性与稳定性的关系。实际上,他讲的稳定性是指抵抗性,他解释的稳定性机制是捕食者对猎物的转换行为 [6]。在这方面灰典型相关模型与其是一致的,也是基于抵抗性来考虑群落的稳定性,用群落在干扰前后种群密度的变化来表达群落的稳定性,即以天敌数量与害虫数量之比作为群落稳定性的度量。但灰典型相关模型还刻画了各种群在这转换过程中作用的大小,使群落稳定性的量化研究又前进了一步。

3.2 从灰典型相关模型的构建过程中可看出,转换系数是通过多对线性相关显著的典型变量线性组合获得,这表明模型中需有多对线性相关性显著的典型变量,计算出的转换系数所含群落的信息量才高,才能更真实地反映各种群的相互作用。但正如前面所述,在害虫-天敌群落中,害虫各种群作为一个整体与天敌各种群作为另一个整体,其线性相关性并不显著,直接应用典型相关分析法难以获得多对线性相关显著的典型变量对。例如,在前面应用实例中,直接应用典型相关分析法无法获得线性相关显著的典型变量对,说明提高各种群数据序列间的线性相关性的处理即累加生成是必要的。

3.3 灰典型相关模型也有一些不足的地方,例如,前面应用实例中提到该模型不含偶发性种类,即群落中一些偶发性种类无法作为变量直接参与建模。灰典型相关模型是建立在典型相关分析的基础之上,典型相关分析要求样本协方差阵是正定的,变量序列中 0 的个数不宜太多,否则将出现虚数特征值,导致建模失败。这就给模型的应用带来一定的局限性,因为建模的样本容量不宜太小,否则难以揭示种群的动态规律,而在有些节肢动物群落中很多种类是偶发性的。例如邓欣等在对衡山生态控制茶园的系统调查中,全年 12 个月 44 种害虫、害螨的 0 数据占 40% ,48 种天敌的 0 数据占 35% [2]。所以,群落中不是所有种类都可直接作为变量参与建模,而需根据它们的生物特性进行适当的合并归类。

References :

[1] Ma F Y Research advances on ecosystem stability. Journal of Desert Research, 2002 ,22 (4) 401—407.
[2] Gao B J, Zhang Z Z, Li Z Y. Studies on the influence of the closed forest on the structure, diversity and stability of insect community. Acta Ecologica Sinica, 1992,12 (1) 1—7.
[3] Cong J G. Study on the community of spider in Chinese arborvitae forest of Shandong central mountains, China. Acta Arachnologica Sinica, 1997, 6 (1) 26—30.
[4] Chen C Y. A grey model for measuring the stability of arthropod community and its application. Acta Ecologica Sinica, 2005,25 (11) 3112

—3116.

[5] Li J F, Tian M Y, Gu D J. Interspecific covariant among ten main species groups of arthropods on Kudzu *Pueraria lobata*. Journal of Huazhong Agricultural University, 2003, 22 (4) :126—129.

[6] Zhang W Q, Zhang G R, Gu D X. On some aspects of community ecology associated with the preservation and utilization of farmland natural enemies. Acta Phytophylacica Sinica, 1996,23 (4) 363—367.

[7] He X Q. Multivariate statistical analysis. Beijing :China Renmin University Press,2004. 220—243.

[8] Hu G D, Zhang R C. Methods of multivariate data analysis :purely algebraically processing. Tianjing :Nankai University Press, 1990. 213—230, 139—141.

[9] Shang Y C. General ecology. Beijing :Peking university Press, 2002. 156—179.

[10] Han B Y. Mechanism on the stability of insect community in tea garden. Journal of Tea Science, 2000,20 (1) 3—4.

[11] Tan J C, Deng X,Zhang J W. Cummunity succession tendency of pest in tea plantations in Hunan and the control measures. Journal of Hunan Agricultural University, 2001,27 (5) 370—373.

[12] Deng X, Tan J C. The seasonal dynamics of species and quantities of insect pests and natural enemies in tea plantations under ecological control. Acta Ecologica Sinica,2002,22 (1) :1166—1172.

[13] Hou B H, Tan J C, Zhang R J. A discussion on ecological control of tea pests. Ecologic Science, 2004,23 (5) 261—264.

[14] Gao H X. Applied multivariate statistical analysis. Beijing :Peking university Press, 2005. 341—365.

[15] MacArthur R. Fluctuations of animal populations, and a measure of community stability. Ecology, 1955, 36 :533—537.

[16] Ma J M, Li K. Current situation of research and prospects on forest ecosystem stability. World Forestry Research, 2004,17 (1) 15—19.

参考文献：

[1] 马风云. 生态系统稳定性若干问题研究评述. 中国沙漠, 2002, 22 (4) 401~407.

[2] 高宝嘉,张执中,李镇宇. 封山育林对昆虫群落结构及多样性稳定性影响的研究. 生态学报, 1992,12 (1) 3~7.

[3] 丛建国. 鲁中山地侧柏林区蜘蛛群落的研究. 蜘蛛学报,1997,6 (1) 26~30

[4] 陈超英. 节肢动物群落稳定性测度的灰色模型及其应用. 生态学报,2005,25 (1) 3112~3116.

[5] 李建丰,田明义,古德就,等. 葛藤主要节肢动物种群间协变的研究. 华中农业大学学报,2003,22 (1) 126~129.

[6] 张文庆,张古忍,古德祥. 保护利用农田天敌的群落问题探讨. 植物保护学报,1996,23 (4) 363~367.

[7] 何晓群. 多元统计分析. 北京 中国人民大学出版社,2004. 220~243.

[8] 胡国定,张润楚. 多元数据分析方法——纯代数处理. 天津 南开大学出版社,1990. 213~230, 139~141.

[9] 尚玉昌. 普通生态学. 北京 北京大学出版社,2002. 156~179

[10] 韩宝瑜. 茶园昆虫群落稳定性机制. 茶叶科学,2000,20 (1) 3~4

[11] 谭济才,邓欣,张觉晚. 湖南省茶园害虫群落演替趋势与防治对策. 湖南农业大学学报,2001,27 (5) 370~373.

[12] 邓欣,谭济才. 生态控制茶园内害虫、天敌种类及数量的季节变化规律. 生态学报,2002,22 (1) 1166~1172.

[13] 侯柏华,谭济才,张润杰. 茶园害虫生态控制若干问题的探讨 生态科学,2004,23 (5) 261~264.

[14] 高惠璇. 应用多元统计分析. 北京 北京大学出版社,2005. 341~365.

[16] 马姜明,李昆. 森林生态系统稳定性研究的现状与趋势. 世界林业研究,2004,17 (1) 15~19.