

水稻种植管理和多元有害生物为害模式特点 及其与水稻产量的关系

董 坤, 王海龙, 陈 斌, 李正跃*

(云南农业大学农业生物多样性与病虫害控制教育部重点实验室, 云南农业大学植物保护学院, 云南昆明 650201)

摘要:调查了云南省水稻主产区沾益、寻甸两县(两试验点)106 块稻田水稻种植管理、有害生物为害(病虫草害)和产量等信息,并利用非参数多变量统计方法对数据进行了聚类分析和对应分析。主要结果:(1)确定了 6 种植管理模式(PR),其中 PR1 和 PR4 跨区域存在,其它模式是各试验点特有的;PR1、PR2 和 PR4 对应高产水平;从化肥、农药、水分供应、劳动力投入方面看,PR1 农业投入最高,PR2 农业投入较高,PR4 农业投入水平中等。(2)确定了 5 种有害生物为害模式(IN),其中 IN2 在两县同时存在,其它模式是各自特有的;IN3 整体为害水平最高,对应低产,IN1 整体为害水平最低,对应高产。(3)在区域水平上,种植管理模式和有害生物为害模式存在较强的关联性(χ^2 , $P < 0.0001$),二者能很好地解释水稻产量的变化诱因,多维列联表对应分析图提供了合成的观点,不仅反映了三者在区域之间的差异,同时说明了不同区域种植管理和有害生物为害模式的多样性,从产量增加路线可以看出寻甸县具有进一步提升水稻产量的潜力,为制定有害生物防治策略、提高区域稻作水平提供了理论依据。

关键词:水稻;有害生物为害;种植管理;产量;聚类分析;对应分析

文章编号:1000-0933(2009)03-1140-13 中图分类号:S435.11 文献标识码:A

Characterization of patterns of rice cropping practices and multiple pest injury profiles and relation with yield levels

DONG Kun, WANG Hai-Long, CHEN Bin, LI Zheng-Yue*

Key Laboratory of Agricultural Biodiversity for Pest Management, Ministry of Education, Yunnan Agricultural University, College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1140 ~ 1152.

Abstract: The rice cropping practices, pest injuries (due to pathogens, insects, and weeds) and yields were surveyed in 106 individual farmers' fields, in the main rice-producing area of Yunnan Province: Zhanyi and Xundian counties (two experimental sites). The characterization of patterns of rice cropping practices and multiple pest injury profiles and their relation with the rice yield were analyzed by using the nonparametric multivariate techniques: cluster analyses and correspondence analyses. The main results are: (1) six patterns of cropping practices (PR) are identified; PR1 and PR4 are common across sites, while others are site-specific; PR1, PR2 and PR4 are related with high yield levels; PR1 corresponds to the highest agricultural input, PR2 to the higher input and PR4 to the medium input from the view of mineral fertilizers, pesticides, water supply and labor input; (2) five pest injury profiles (IN) are determined; IN2 is common across sites, while others are site-specific; IN3 is the highest injury level of pest combinations in five profiles, related with the lowest yields in these profiles, while IN1 is the lowest injury level, associated with the highest yields; (3) patterns of

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2006CB100204)

收稿日期:2008-08-27; 修订日期:2008-12-18

致谢:本研究调查中得到了云南省沾益县、寻甸县植保站保民、谢德昌、胡英俊、迟旭春、赵旭同志的大力支持和帮助,云南农业大学植物保护学院 2003 级植物保护专业毕业实习同学张开粮、张滔参与了田间调查、产量测评工作;在数据分析中,还得到了法国国家农业研究所 Serge Savary 博士宝贵的建议和热情的帮助,在此,谨向他们致以衷心的感谢!

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lizhengyue@263.net

cropping practices and injury profiles are strongly associated at regional scale (χ^2 , $P < 0.0001$); both of them are available for a good description of the variation in actual yield; the plot of correspondence analyses on multi-dimension contingency table provides a framework that accurately reflects difference in cropping practices, pest injuries and yields between two sites, illustrates the diversity of patterns of cropping practices and injury profiles, and indicates the potential for increased productivity in Xundian from the path of increasing yield levels (Y1 — Y5). Results will provide some foundations for developing pest management strategies and improving rice production level at the regional scale.

Key Words: rice; pest injuries; cropping practices; yield; cluster analysis; correspondence analysis

稻田生态系统是一类不断受人类周期性生产活动干扰的开放型人工生态系统,随着水稻移栽、水肥管理、农药使用等农事操作,有害生物群落也相应地发生着周期性的变化^[1,2]。世界范围内的农业变革使各地区水稻生产技术得到了不同程度的提高,如灌溉、高产品种植、肥料管理、有害生物防治等对水稻起到了一定的增产效果,但其中的一些变化使稻田有害生物的流行频率大大提高,一些次要病虫害上升为主要病虫害^[3~5]。

这些变化早已引起许多学者的重视,并在理论和实践上对有害生物的防治进行了新的探索^[6~9],继有害生物综合治理之后,又提出稻田有害生物生态控制、持续控制等策略^[10~12]。但不管采取什么策略,要改善一个地方乃至一个地区稻田有害生物的治理,都必须先了解该地区稻田有害生物复合体(病、虫、草)的特点,以及影响该复合体的其他因素的特点^[13]。而了解其特点需要提供特定时间序列上的代表性田块数据,通常的方法是利用抽样调查的方法收集数据^[13,14]。然而水稻生产系统非常复杂,描述其特征需要很多变量,每个稻田应该被看作大量属性的独特组合。要利用这些信息更好地理解产量变化的原因,考虑的角度必须从单个田块的特点转移到具有共同特征的田块类群上^[13,15]。

本研究通过调查不同县份农户水稻种植管理情况和相应的稻田有害生物发生为害情况,利用聚类分析和对应分析寻找特定区域或跨区域水稻种植管理和有害生物为害模式,并探讨各种模式之间的联系及其对水稻产量的影响。

1 材料与方法

1.1 调查时间和地点

2006~2007年5~10月以云南省水稻主要产区中的寻甸县和沾益县为试验地点,对6个村庄共计106块水稻田种植管理和有害生物为害进行了调查。田块选择、田块取样和数据收集的方法参考了 Savary 等和 Du 等的方法^[15,16]。

两试验点属于滇东北高寒粳稻区,种植一季移栽中稻。寻甸县位于东经 102°41′~103°33′、北纬 25°20′~26°01′,海拔 1882m,年均降雨量为 1034mm,年均日照时数 2079.3h,年均温度 15.2℃;沾益县位于东经 103°29′~104°14′、北纬 25°31′~26°06′,海拔 1860m,年均降雨量为 1002mm,年均日照时数 2098h,年均气温 14.5℃。两县均属低纬高原季风气候,灌溉条件较好,前作为蚕豆,沾益县水稻主栽品种为楚粳 24 和楚粳 26,寻甸县水稻主栽品种为滇系 10、合系 41 和合系 22。

1.2 取样和数据收集

收集的数据资料包括定性信息和定量信息两类:(1)定性信息指不随时间变化的信息,如田块位置、前作、作物播种方式及栽植密度、水稻品种、化学投入(肥料和农药)、产量等;(2)定量信息指随时间变化的有关作物生长和有害生物(病、虫、草)为害水平的信息等。定性信息通过农民访谈及田间直接观察收集,而定量信息源于田间取样设计,通过对作物 4 个生育期(分蘖期、孕穗期、蜡熟期和成熟期)的田间调查得到。田间采用对角线调查路线,沿水稻田第 1 条对角线,初步了解水稻生育期、有害生物及其为害;沿第 2 条对角线,随机选定 10 丛水稻调查水稻生长状况(分蘖数、叶数和穗数等)和病虫害为害情况。除杂草外,为害水平指受害器官(分蘖、叶、穗)的数目相对于取样单位(每块田 10 丛)中对应器官数目的百分比;杂草为害水平是通过

对每块田 3 个点(每个点面积为 1m^2)的杂草情况的调查,在高于水稻冠层和低于水稻冠层两个水平上,以杂草覆盖地面的百分比来估计^[16]。

1.3 调查变量及其属性

调查变量分为种植管理措施、有害生物为害、实际产量估计 3 组(表 1)。其中化肥投入用化肥累计量

表 1 每个田块调查变量及其属性

Table 1 Variables and theirs attributes of describing individual fields surveyed

变量类型 Variable type	代表符号 Symbol	变量描述 Variable description	单位 Unit
种植管理 Cropping practices	DE	栽植密度 Density of hills per square meter	丛每平方米 hill·m ⁻²
	MT	水稻平均每丛分蘖数 Mean number of tillers per hill of rice crop	分蘖 tillers
	TD	水稻移栽日期 Planting date of rice crop	天数 d
	WS ^a	4 次调查平均水分状况级别 Mean water supply classes over 4 visits	级别 classes
	MF	化肥施用量 Total mineral fertilizer supply to rice crop	kg hm ⁻²
	HU	除草剂的使用次数 Herbicide use in number of application	次数 number
	IU	杀虫剂的使用次数 Insecticide use in number of application	次数 number
	FU	杀菌剂的使用次数 Fungicide use in number of application	次数 number
	LI	劳动力投入 Labor input	
为害 Injuries	BLB	白叶枯病 Bacterial leaf blight (<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>oryzae</i> (Ishiyama) Dye)	% dsu ^{b, c}
	LB	叶瘟病 Leaf blast (<i>Pyricularia oryzae</i> Cav. [<i>Magnaporthe griesa</i> Sacc.])	% dsu ^c
	BS	胡麻叶斑病 Brown spot (<i>Cochliobolus Miyabeanus</i> (Ito & Kubibay) Drechsler ex Dastur)	% dsu ^c
	RS	条纹叶枯病 Rice stripe (Rice stripe virus, RSV)	% dsu ^c
	NB	穗颈瘟病 Neck blast (<i>Pyricularia oryzae</i> Cav. [<i>Magnaporthe griesa</i> Sacc.])	% ^d
	RB	恶苗病 Rice bakanae (<i>Gibberella fujikuroi</i> (Sawada) Wollenworth)	% ^e
	FSM	稻曲病 False smut (<i>Ustilaginoidea virens</i> (Cooke) Tak.)	% ^d
	ShB	水稻纹枯病 Sheath blight (<i>Rhizoctonia solani</i> Kühn)	% ^e
	PH	飞虱 Plant hopper (<i>Nilaparvata lugens</i> (Stål), <i>Sogatella furcifera</i> (Horváth) and <i>Laodelphax striatellus</i> (Fallén))	number dsu ^f
	LH	叶蝉 Leaf hopper (<i>Nephotettix</i> spp.)	number dsu ^f
	AW	粘虫 Armyworm (<i>Mythimna</i> spp.)	number dsu ^f
	LF	稻纵卷叶螟 Leaf folder (<i>Cnaphalocrocis medinalis</i> Guénée)	% dsu ^c
	DH	枯心(蛀茎昆虫) Dead heart(stem borer)	% ^e
	WH	白穗(蛀茎昆虫) White head(stem borer)	% ^d
	WA	高于水稻冠层杂草 Weed above rice crop canopy	% dsu ^g
	WB	低于水稻冠层杂草 Weed below rice crop canopy	% dsu ^g
产量 Yield	Y	由 3 个 6m ² 的收获面积得到的估计产量(谷粒产量, 14% 的含水量) Estimated yield (grain yield, 14% moisture) from 3 crop cuts 6m ² each	t hm ⁻²
调查地点 Sites	ZY	云南曲靖市沾益县 Zhanyi county Qujing, Yunnan	
	XD	云南昆明市寻甸县 Xundian county Kunming, Yunnan	

^a调查时水分级别的定义, 1: 无水面土壤干燥, 2: 无水面土壤潮湿, 3: 水面少于 5cm, 4: 水面在 5–15cm 之间, 5: 水面高于 15cm; ^b dsu: 0 至 100 尺度上的发育阶段单位(10: 苗期, 20: 分蘖期, 30: 拔节期, 40: 孕穗期, 50: 抽穗期, 60: 扬花期, 70: 灌浆期, 80: 蜡熟期, 90: 黄熟期, 100: 完熟期); ^c 叶片受害率进展曲线下的面积; ^d 4 次调查中的最大穗受害率; ^e 4 次调查中的最大分蘖受害率; ^f 平均每丛或每个样方捕捉到的昆虫数量进展曲线下的面积; ^g 平均每个样方杂草覆盖地面百分比进展曲线下的面积 ^a Water supply class definition in survey, 1: without standing water and soil dry, 2: without standing water and soil wet, 3: with little standing water and water level lower than 5 cm, 4: with adequate water and water level between 5 and 15 cm, 5: with too much water and water level higher than 15 cm; ^b dsu: development stage units on a 0 to 100 scale (10: seedling, 20: tillering, 30: stem elongation, 40: booting, 50: heading, 60: flowering, 70: milk, 80: dough, 90: ripening, 100: fully mature); ^c Area under the progress curve of incidence of leaf affected; ^d Maximum incidence of panicles affected observed over 4 visits; ^e Maximum incidence of tillers affected observed over 4 visits; ^f Area under the progress curve of mean number of insects counted from catches per hill or quadrat; ^g Area under the progress curve of percent ground coverage of weed

(N,P,K)表示;劳动力投入的统计综合是否施用有机肥、是否追肥、是否人工除草 3 方面来表示;为害变量根据为害性质用为害进展曲线下的面积或 4 次观察中最高为害水平表示^[5]。

表 1 所列变量的单位不同,涉及的组织水平也不同:种植管理措施涉及水稻植株群体,为害涉及特定植株器官,产量代表一个田块系统的输出量。

1.4 分析方法和假说

观察和分析尺度是本研究的关键,尽管收集的信息只涉及单个田块,但数据分析应该放在与区域相关的结论上。第 1 个问题是种植管理模式与有害生物为害模式之间的联系是存在的、紧密的。因此要检验第 1 个无效假设 H_{01} :种植管理与有害生物为害之间没有任何联系。接下来探究种植管理模式、有害生物为害模式分别与水稻产量变化之间的联系,这样第 2 个无效假设 H_{02} :种植管理模式与产量变化之间没有任何联系,第 3 个无效假设 H_{03} :有害生物为害模式与产量变化之间没有任何联系。

数据分析包括以下步骤:首先,定量变量的分级(表 2)。通过分级,定量变量就成为有序的(如高、中、低)定性变量。表 2 说明了制定的级别和每个级别的数值界限。为了保证各变量级别均衡、有规则,对所有变量级别数要尽可能少;同时为了使每个级别都有比较匀称的田块数,要选择适当的数值界限,因为它决定了卡方检验中每个级别的期望值,是影响卡方检验有效性的先决条件^[17,18]。除水稻条纹叶枯病(RS)和穗瘟病(NB)外,所有种植管理和为害变量分为 3 级,产量分为 5 级,级别界限根据它们各自的频数分布确定的。

第 2 步,卡方检验。使用这些编码的分级信息,大多数变量都可以两两配对构成二维列联表频数资料,通过卡方检验说明变量之间的关联性。卡方检验既涉及同一组织水平(比如配对为害变量之间的关系),也涉及不同组织水平(比如种植管理和产量或者为害与产量之间的关系)。这里只做了其中一些变量之间的卡方检验。

第 3 步,聚类分析。首先用最长距离法和欧氏距离分别对两试验点(两县)的分级编码资料(子数据集)进行田块聚类分析,确定各自(两试验点内)的种植管理聚类和有害生物为害聚类,少于 3 个田块的聚类不再进行二次聚类。然后,分别考虑各试验点内种植管理和为害聚类类别的特征,各类别的特征用该类中所有田块的每个变量的众数(对于定性变量)或中位数(对于定量变量)表示。汇总两试验点的聚类类别,这样就产生两个新的衍生数据集:即种植管理聚类类别(数据集每个记录的编号格式:PR 试验地点类别编号,如 PRZY1)和有害生物为害聚类类别(数据集每个记录的编号格式:IN 试验地点类别编号,如 INXD3)。通过同样的方法,分别对两个新的衍生数据集作二次聚类,这样就产生了大的区域范围内种植管理模式(PR)和有害生物为害模式(IN),这些聚类模式可能是普遍的、跨区域的,也可能是某一县域所特有的,每个田块都属于这些聚类中的某一类别。

第 4 步,对应分析。首先根据种植管理模式(PR)、有害生物为害模式(IN)、水稻产量(Y)3 个变量两两交叉分类频数资料建立 3 个二维列联表 $[PR \times IN]$ (对应于 H_{01})、 $[PR \times Y]$ (对应于 H_{02})和 $[IN \times Y]$ (对应于 H_{03});然后对 3 个列联表分别进行卡方检验和对应分析^[18,19],阐明变量 PR、IN、Y 两两之间的关系;最后对多维列联表 $[IN \times PR, Y, \text{Site}]$ 进行对应分析,其中 IN 和 PR 作为有效变量,Y 和 Site(试验地点)作为附加变量,即将 IN 和 PR 看作确定公因子和坐标系的变量,同时将产量和试验地点变量投影在该坐标系,因此该对应分析将 PR 和 IN 看作解释性变量,Y 看作被解释的变量,提供了一个合成的观点。

2 结果与分析

2.1 有害生物发生流行和为害程度

两试验地点水稻主要有害生物发生流行和为害程度列于表 3。从各种水稻有害生物田块发生率看,在病原菌引起的为害中,稻曲病(FSM)流行水平最高,两试验点田块发生率均在 80% 以上;水稻穗颈瘟病(NB)在两试验点流行水平均较低,低于 25%;而水稻白叶枯病(BLB)和叶瘟病(LB)在寻甸县流行水平较高,恶苗病(RB)在沾益县田块发生率较高。虫害表现出比病害更高的流行水平,大多数害虫在两县田块发生率大于 80%,其中水稻飞虱(PH)和叶蝉(LH)在两县田块发生率均为 100%;而粘虫(AW)的田块发生率寻甸明显高

表 2 两试验点各变量分级

Table 2 Categorization of variables describing individual fields surveyed in two sites

变量类型 Variable type	代表符号 ^a Symbol	级别 Categories	级别的定义 Category definition
种植管理 Cropping practices			
	DE	DE1, DE2, DE3	DE1: $30 \leq DE \leq 45$ hills m^{-2} ; DE2: $45 < DE \leq 60$ hills m^{-2} ; DE3: $60 < DE \leq 75$ hills m^{-2}
	MT	MT1, MT2, MT3	MT1: $6 \leq MT \leq 8$ tillers; MT2: $8 < MT \leq 9$ tillers; MT3: $9 < MT \leq 12$ tillers
	TD ^b	TD1, TD2, TD3	TD1: 偏早; TD2: 正常; TD3: 偏晚 TD1: earlier than normal planting date; TD2: normal planting date; TD3: later than normal planting date
	WS	WS1, WS2, WS3	WS1: $1.5 \leq WS \leq 2.5$; WS2: $2.5 < WS \leq 3$; WS3: $3 < WS \leq 4$
	MF	MF1, MF2, MF3	MF1: $50 < MF \leq 200$ kg hm^{-2} ; MF2: $200 < MF \leq 350$ kg hm^{-2} ; MF3: $350 < MF \leq 600$ kg hm^{-2}
	HU	HU1, HU2, HU3	HU1: HU = 0; HU2: HU = 1; HU3: HU = 2
	IU	IU1, IU2, IU3	IU1: IU = 0; IU2: IU = 1; IU3: $1 < IU \leq 5$
	FU	FU1, FU2, FU3	FU1: FU = 0; FU2: FU = 1; FU3: $1 < FU \leq 4$
	LI ^c	LI1, LI2, LI3	LI1: $0 \leq LI \leq 1$; LI2: LI = 2; LI3: LI = 3
为害 Injuries			
	BLB	BLB1, BLB2, BLB3	BLB1: BLB = 0% dsu; BLB2: $0 < BLB \leq 90$ % dsu; BLB3: $90 < BLB \leq 800$ % dsu
	LB	LB1, LB2, LB3	LB1: LB = 0% dsu; LB2: $0 < LB \leq 80$ % dsu; LB3: $80 < LB \leq 1000$ % dsu
	BS	BS1, BS2, BS3	BS1: BS = 0% dsu; BS2: $0 < BS \leq 70$ % dsu; BS3: $100 < BS \leq 500$ % dsu
	RS	RS1, RS2	RS1: RS = 0% dsu; RS2: $0 < RS \leq 180$ % dsu
	NB	NB1, NB2	NB1: NB = 0%; NB2: $0 < NB \leq 10$ %
	RB	RB1, RB2, RB3	RB1: RB = 0%; RB2: $0 < RB \leq 3$ %; RB3: $3 < RB \leq 15$ %
	FSM	FSM1, FSM2, FSM3	FSM1: $0 \leq FSM \leq 3$ %; FSM2: $3 < FSM \leq 5$ %; FSM3: $5 < FSM \leq 15$ %
	ShB	ShB1, ShB2, ShB3	ShB1: ShB = 0%; ShB2: $0 < ShB \leq 5$ %; ShB3: $5 < ShB \leq 20$ %
	PH	PH1, PH2, PH3	PH1: $0 < PH \leq 50$ number dsu; PH2: $50 < PH \leq 70$ number dsu; PH3: $70 < PH \leq 350$ number dsu
	LH	LH1, LH2, LH3	LH1: $0 < LH \leq 120$ number dsu; LH2: $120 < LH \leq 360$ number dsu; LH3: $360 < LH \leq 1400$ number dsu
	AW	AW1, AW2, AW3	AW1: AW = 0 number dsu; AW2: $0 < AW \leq 9$ number dsu; AW3: $9 < AW \leq 30$ number dsu
	LF	LF1, LF2, LF3	LF1: $0 \leq LF \leq 10$ % dsu; LF2: $10 < LF \leq 25$ % dsu; LF3: $25 < LF \leq 150$ % dsu
	DH	DH1, DH2, DH3	DH1: $0 \leq DH \leq 2.5$ %; DH2: $2.5 < DH \leq 5$ %; DH3: $5 < DH \leq 15$ %
	WH	WH1, WH2, WH3	WH1: $0 \leq WH \leq 2.5$ %; WH2: $2.5 < WH \leq 5$ %; WH3: $5 < WH \leq 15$ %
	WA	WA1, WA2, WA3	WA1: $0 \leq WA \leq 900$ % dsu; WA2: $900 < WA \leq 2000$ % dsu; WA3: $2000 < WA \leq 5000$ % dsu
	WB	WB1, WB2, WB3	WB1: $0 \leq WB \leq 5000$ % dsu; WB2: $5000 < WB \leq 12000$ % dsu; WB3: $12000 < WB \leq 30000$ % dsu
产量 Yield			
	Y	Y1, Y2, Y3, Y4, Y5	Y1: $5.50 < Y \leq 7.75$ t hm^{-2} ; Y2: $7.75 < Y \leq 8.50$ t hm^{-2} ; Y3: $8.50 < Y \leq 9.25$ t hm^{-2} ; Y4: $9.25 < Y \leq 9.75$ t hm^{-2} ; Y5: $9.75 < Y \leq 11.0$ t hm^{-2}

^a所列变量见表 1; ^b对于某一品种,当实际移栽日期比正常情况早 5d 以上为 TD1, 正常情况(5d 内)为 TD2, 推迟 5d 以上为 TD3; ^c劳动力投入包括是否施用有机肥、是否追肥、是否人工除草三项(LI1: 三项都没做或只做其中一项, LI2: 做了其中两项, LI3: 三项都做了) ^a See Table 1 for list of variable; ^b TD1 TD2 and TD3 mean that actual planting date is earlier 5 days than normal planting date, equals to normal planting date (in 5 days), or is later 5 days than normal planting date, respectively when a given rice variety is considered; ^c Labor input includes manure application or no, top application or no, hand weeding or no(LI1: all 3 items were not done or only 1 item was done, LI2: 2 items were done, LI3: all 3 items were done)

于沾益。杂草的危害也是普遍存在的,高于水稻冠层和低于水稻冠层的杂草在两县田块发生率均超过 80%, 其中主要种类有稗草 *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv、紫背浮萍 *Spirodela polyrhiza*、慈姑 *Sagittaria sagittifolia* L.、眼子菜 *Potamogeton disinctus* A. Benn. 等。从两县水稻有害生物调查田块平均为害程度看,沾益水稻条纹

叶枯病(RS)、水稻恶苗病(RB)等病害发生相对严重;水稻飞虱(PH)发生相对严重,其它虫害的发生程度相对较轻;低于冠层杂草(WB)发生较严重。寻甸水稻白叶枯病(BLB)、叶瘟病(LB)、胡麻叶斑病(BS)发生相对严重,水稻叶蝉(LH)、粘虫(AM)、稻纵卷叶螟(LF)等为害相对严重;高于水稻冠层杂草(WA)发生较严重。

2.2 种植管理模式的特点

通过两次聚类分析,确定为6类种植管理模式(见表4),即PR1、PR2、PR3、PR4、PR5和PR6。PR1和PR4是两大类,包括田块数分别为38和20;PR2、PR3、PR5和PR6包括的田块数相对较少,分别为13、9、16和10。PR1特点:水稻移栽日期(TD)适中,移栽密度(DE)相对较低,平均每丛分蘖数(MT)最高;化肥投入量(MF)较高,劳动力(LI)投入多,水分管理(WS)较好,农药(除草剂HU、杀虫剂IU和杀菌剂FU)使用次数最高。PR2特点:移栽日期适中,栽植密度最低,约40丛/m²,分蘖中等;化肥投入量最高,劳动力投入多,水分供应充足,农药使用次数较高。PR3特点:移栽较迟,栽植密度中等,分蘖偏低;化肥施用量中等,水分供应充足,农药使用次数较低。PR4特点:移栽日期适中,栽植密度中等,分蘖较多;化肥投入量中等偏低,劳动力投入较少,农药使用次数较少。PR5特点:移栽最迟,栽植密度较高,分蘖偏低,化肥施用量中等,劳动力投入最少,水分供应相对较少,农药使用次数较高。PR6特点:栽植密度最高,约67丛/m²,移栽偏早,分蘖较少;化肥施用量最低,水分供应相对偏少,杀虫剂和杀菌剂使用很少。在这些聚类中,PR4和PR2属于高产模式,PR1和PR6属于中产模式,PR5和PR3属于低产模式(表4)。

2.3 有害生物为害模式特点

通过两次聚类分析产生了5种为害类型(见图1),其中3种为害类型(IN2、IN4、IN5)包含的田块数目相差不大,分别为12、14和13块田;IN1和IN3包含的田块数目较多,分别为39和28块田。图1也表明了5种为害类型16种为害相对为害程度。IN1特点:有害生物整体为害水平最低,其中水稻条纹叶枯病(RS)、恶苗病(RB)、稻飞虱(PH)、低于水稻冠层杂草(WB)发生水平相对高于其它为害模式,而水稻白叶枯病(BLB)、叶瘟病(LB)、白穗(WH)、粘虫(AW)、高于水稻冠层杂草(WA)发生水平相对低于其它为害模式。IN2特点:整体为害水平中等偏低,其中水稻条纹叶枯病、稻曲病(FSM)、高于水稻冠层杂草害发生水平相对较高,而水稻白叶枯病、纹枯病(ShB)、叶蝉(LH)、粘虫发生水平相对偏低。IN3特点:整体为害水平最高,其中稻瘟病(叶瘟LB和穗瘟NB)、胡麻叶斑病(BS)、稻纵卷叶螟(LF)、枯心(DH)发生最严重,纹枯病、粘虫、高于和低于水稻冠层杂草发生水平也较高。IN4特点:整体为害水平中等偏高,其中水稻纹枯病、粘虫、白穗、高于水稻冠层杂草发生水平最高,水稻白叶枯病、叶瘟病、低于水稻冠层杂草发生水平较高,恶苗病、胡麻叶斑病发生很低。IN5特点:整体为害水平中等,除了水稻白叶枯病、稻曲病发生最严重外,其它病害相对较轻,条纹叶枯病和恶苗病没有发生;粘虫、稻飞虱、叶蝉发生水平很高;杂草发生水平相对较低。为害模式1(IN1)稻谷平均产量最高(9.4 t hm⁻²);为害模式3(IN3)产量最低(8.0 t hm⁻²);为害模式2(IN2)、4(IN4)和5(IN5)产量分别

表3 两试验点水稻有害生物流行和为害程度

Table 3 Prevalence of rice pests and incidence of their injuries in two sites

变量 ^a Variable	流行程度(%) Mean percentage of fields infested in individual site		为害程度 ^b Mean incidence of pest injuries in individual site	
	沾益 ^c ZY	寻甸 ^d XD	沾益 ZY	寻甸 XD
BLB	17.8	93.4	9.1	170.9
LB	35.6	86.9	11.8	158.4
BS	13.1	33.3	8.4	67.3
RS	55.6	9.8	37.2	10.0
NB	22.2	23.0	0.9	1.9
RB	91.1	34.4	6.6	1.2
FSM	91.1	83.6	5.3	3.7
ShB	17.8	54.1	0.8	4.3
PH	100.0	100.0	80.3	64.6
LH	100.0	100.0	152.9	538.5
AW	8.9	86.9	0.7	9.0
LF	73.3	90.2	14.0	30.5
DH	91.1	88.5	3.6	4.9
WH	71.1	100.0	3.1	5.4
WA	84.4	93.4	1065.6	2210.2
WB	93.3	100.0	11310.0	9995.3

^a所列病害见表1; ^b各变量单位列于表1; ^c沾益调查45块田; ^d寻甸调查61块田 ^a See Table 1 for list of injuries; ^b Units of variables are listed in Table 1; ^c 45 fields surveyed in Zhanyi; ^d 61 fields surveyed in Xundian

为 8.3、8.4 t hm⁻² 和 8.9 t hm⁻²。

表 4 跨区域种植管理模式的特点

Table 4 Characteristics of patterns of cropping practices generated from cluster analyses across two sites in Yunnan

变量 ^a Variable	跨区域种植管理措施聚类 ^{b, c} (平均值 ± 标准误) Clusters of cropping practices across sites (Mean ± S. E.)					
	PR1 ^d (38)	PR2 ^e (13)	PR3 ^f (9)	PR4 ^g (20)	PR5 ^h (16)	PR6 ⁱ (10)
DE	49.7 ± 1.9	39.7 ± 1.5	58.2 ± 1.9	59.7 ± 3.8	65.8 ± 1.7	67.2 ± 2.8
MT	9.6 ± 0.1	8.4 ± 0.2	7.9 ± 0.2	9.3 ± 0.2	8.0 ± 0.2	7.7 ± 0.2
TD ^j	1.9 ± 0.1	2.0 ± 0.2	2.4 ± 0.3	2.0 ± 0.1	2.7 ± 0.2	1.1 ± 0.1
WS ^j	3.1 ± 0.1	3.3 ± 0.1	3.3 ± 0.1	2.9 ± 0.1	2.5 ± 0.1	2.7 ± 0.2
MF	333 ± 23	457 ± 58	238 ± 41	203 ± 14	228 ± 23	153 ± 27
HU	1.1 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.8 ± 0.2	1.1 ± 0.1	1.0 ± 0.1	0.9 ± 0.1
IU	1.9 ± 0.2	1.5 ± 0.2	1.6 ± 0.2	1.3 ± 0.2	1.4 ± 0.3	0.3 ± 0.2
FU	1.7 ± 0.2	1.2 ± 0.2	0.9 ± 0.3	0.8 ± 0.2	1.3 ± 0.3	0.2 ± 0.1
LI ^j	2.2 ± 0.1	2.2 ± 0.2	1.7 ± 0.2	1.6 ± 0.1	1.5 ± 0.1	1.6 ± 0.2
Y ^k	9.0 ± 0.1	9.3 ± 0.3	7.5 ± 0.4	9.3 ± 0.2	7.8 ± 0.2	8.3 ± 0.4

^a 所列各种种植管理见表 1; ^b 跨区域各聚类的名称后面是该聚类所包含的田块数; ^c ZY 代表沾益, XD 代表寻甸, 试验点内(区域内)聚类(标签格式 PR SITE no., 如 PRZY1)是初步聚类分析的结果, 这里没有显示; ^d PR1 包括 PRZY1, PRZY4 和 PRXD3 试验点内聚类, 分别包含 13, 12 和 13 块田; ^e PR2 包括 PRZY3 和 PRZY5 试验点内聚类, 分别包含 9 和 4 块田; ^f PR3 包括 PRXD1 和 PRXD2 试验点内聚类, 分别包含 5 和 4 块田; ^g PR4 包括 PRZY2 和 PRXD4 试验点内聚类, 分别包含 7 和 13 块田; ^h PR5 包括 PRXD5 和 PRXD7 试验点内聚类, 分别包含 12 和 4 块田; ⁱ PR6 包括 PRXD6 试验点内聚类, 包含 10 块田; ^j 平均级别; ^k 产量没有包含在聚类分析中 ^a See Table 1 for list of cropping practices; ^b Names of between-site clusters are followed by the total number of fields belonging to the clusters; ^c ZY: Zhanyi, XD: Xundian, Within-site clusters (labeled PR SITE no., e. g., PRZY1) generated from preliminary cluster analyses using the same procedure were not shown here; ^d PR1 includes the within-site clusters PRZY1, PRZY4 and PRXD3, having 13, 12, and 13 fields, respectively; ^e PR2 includes the within-site cluster PRZY3 and PRZY5, having 9 and 4 fields, respectively; ^f PR3 includes the within-site clusters PRXD1 and PRXD2, having 5 and 4 fields, respectively; ^g PR4 includes the within-site cluster PRZY2 and PRXD4, having 7 and 13 fields, respectively; ^h PR5 includes the within-site clusters PRXD5 and PRXD7, having 12 and 4 fields, respectively; ⁱ PR6 includes the within-site clusters PRXD6, having 10 fields; ^j Mean classes; ^k Yield were not included in the clustering

2.4 种植管理模式、有害生物为害模式的区域分布

种植管理模式(PR)和有害生物为害模式(IN)在区域分布上都有一定的特点,一些模式是跨区域(试验点)普遍存在的,而另外一些模式是区域内(试验点内)特有的(表 4, 图 1)。如 PR1 和 PR4 在两试验点普遍存在的(包含的田块数较多),而其它种植模式是试验点内特有的(PR2 只存在于沾益县, PR3、PR5 和 PR6 只存在于寻甸县,这也说明寻甸县在种植管理措施方面差异较大)。有害生物为害情况在两试验点差别较大,只有 IN2 在两试验点同时存在,且包含的田块数较少;其它为害模式是试验点内特有的,沾益县有害生物发生为害情况县域内同质性较高(IN1 只存在于沾益县,包含 39 块田,几乎占沾益县所调查田块数的 90%),而寻甸县有害生物发生为害情况县域内差异性较大(IN2、IN3、IN4 和 IN5 在寻甸县同时存在)。反过来说,寻甸县在种植管理和有害生物发生为害方面具有多样性,二者可能具有较高的相关性。

2.5 种植管理模式、有害生物为害模式和各产量水平之间的关联性

每一块稻田都对应特定的种植管理模式(PR)、有害生物为害模式(IN)和产量水平(Y),根据三者交叉分类频数分布建立了 3 个二维列联表,即:[IN × PR]、[PR × Y]和[IN × Y]。对 3 个列联表进行卡方检验,结果表明水稻有害生物为害模式和种植管理模式存在很强的联系($\chi^2, P < 0.0001$),水稻种植管理模式和产量水平($\chi^2, P = 0.0064$)及有害生物为害模式和产量水平($\chi^2, P = 0.0014$)之间也存在较强的联系,因此三者之间的频数分布并不是相互独立的,而是存在较强的关联性。

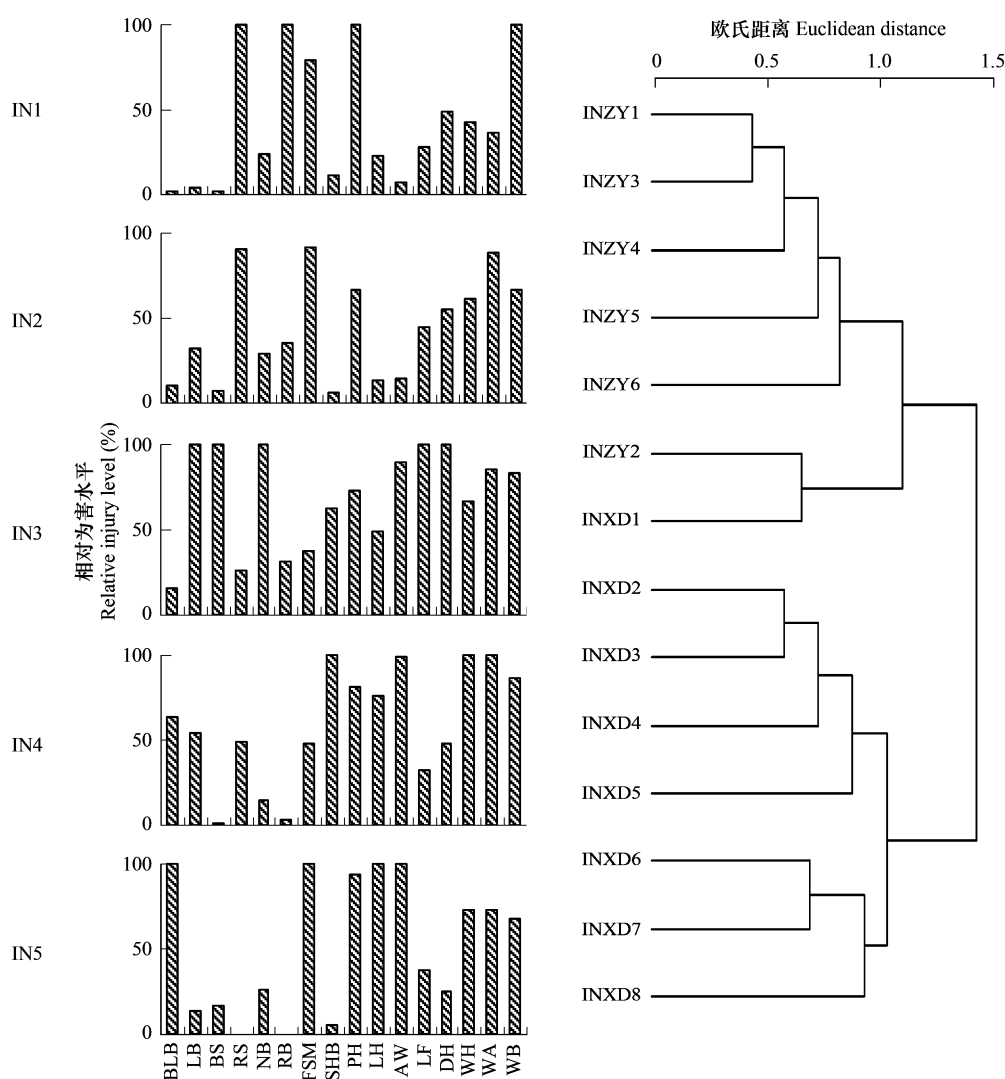


图1 水稻有害生物为害聚类图

Fig. 1 Cluster analysis of rice pest injuries

用最长距离法和欧氏距离对两试验点水稻有害生物为害进行聚类分析,得出5种聚类模式(IN1、IN2、IN3、IN4和IN5);该分析包含16个分级变量(表2),左侧柱形图显示了5种模式的特点(纵轴表示5种模式各为害相对为害水平);右侧为聚类图,给出了每一大类包含的试验点内(区域内)聚类(用同样的方法进行初步聚类分析,这里没有显示)的每一小类(标签格式IN SITE no.,例如INZY1),IN1包括INZY1、INZY3、INZY4、INZY5和INZY6试验点内聚类,分别包含10、9、7、7和6块田;IN2包括INZY2和INXD1试验点内聚类,均包含6块田;IN3包括INXD2、INXD3、INXD4和INXD5试验点内聚类,分别包含7、8、9和4块田;IN4包括INXD6和INXD7试验点内聚类,分别包含9和5块田;IN5包括INXD8试验点内聚类,包含13块田

Five injury profiles (IN1, IN2, IN3, IN4 and IN5) of rice pest are determined using Complete Method and Euclidean distance in two sites. The analysis involves 16 categorized variables (Table 2); Characteristics of injury profiles (IN) are indicated on the left (vertical axis represent injury levels made relative to the highest within-cluster mean level in 5 injury profiles); Cluster tree is on the right; Within-site clusters (labeled IN SITE no., e. g., INZY1) generated from preliminary cluster analyses (not shown) using the same procedure are indicated; IN1 includes the within-site clusters INZY1, INZY3, INZY4, INZY5 and INZY6, having 10, 9, 7, 7 and 6 fields, respectively; IN2 includes the within-site cluster INZY2 and INXD1, both having 6 fields, respectively; IN3 includes the within-site clusters INXD2, INXD3, INXD4 and INXD5, having 7, 8, 9 and 4 fields, respectively; IN4 includes the within-site cluster INXD6 and INXD7, having 9 and 5 fields, respectively; IN5 includes the within-site clusters INXD8, having 13 fields

2.6 限产因素和减产因素与产量变化的关联性

将种植管理和有害生物为害包含的变量分别看作水稻生产中的限产因素和减产因素,对每个变量与产量的列联表做卡方检验,研究各种限产、减产因素与产量变化的关联性(表5)。结果表明一些因素与产量显著

相关的,如化肥施用量(MF)、劳动力投入(LI)等限产因素和粘虫(AW)、白穗(WH)、白叶枯病(BLB)、叶瘟病(LB)、高于水稻冠层杂草(WA)等减产因素,它们是影响两县水稻产量的关键因素;一些因素对产量的影响不显著,如水分状况(WS)、稻曲病(FSM)、叶蝉(LH)等。

表5 限产因素和减产因素对产量影响的卡方检验

Table 5 Chi-square tests on the effects of yield-limiting and yield-reducing factors on variation of actual yield

变量类型 Variable type	变量 ^a Variable	卡方值 χ^2	自由度 df	概率 P	列联表检验评述 Remarks and comments derived from examination of contingency tables
种植管理(限产因素) Cropping practices(yield-limiting factors)					
	DE	27.4	8	0.0006	低 DE 对应高产 Low DE associated with higher yields
	MT	20.7	8	0.0079	高 MT 对应高产 High MT associated with higher yields
	TD	11.1	8	0.1956	关联性不显著 Linkage between TD and yield levels is not significant.
	WS	10.2	8	0.2517	关联性不显著 Linkage between WS and yield levels is not significant.
	MF	16.7	8	0.0338	化肥施用量高对应产量高 High MF associated with higher yields
	PU ^b	16.1	8	0.0405	中高使用次数对应于高产 Medium or high pesticide use associated with higher yields
	LI	20.0	8	0.0102	劳动力投入多对应于高产 High LI associated with higher yields
为害(减产因素) Injuries(yield-reducing factors)					
	BLB	19.8	8	0.0110	高 BLB 对应低产 High BLB associated with lower yields
	LB	21.0	8	0.0073	高 LB 对应低产 High LB associated with lower yields
	BS	19.8	8	0.0111	高 BS 对应低产 High BS associated with lower yields
	RS	9.9	4	0.0418	RS 不发生对应低产 Absence of RS associated with lower yields
	NB	1.9	4	0.7618	关联性不显著 Linkage between NB and yield levels is not significant.
	RB	15.1	8	0.0576	关联性不显著 Linkage between RB and yield levels is not significant.
	FSM	4.3	8	0.8269	关联性不显著 Linkage between FSM and yield levels is not significant.
	SHB	7.9	8	0.4472	关联性不显著 Linkage between SHB and yield levels is not significant.
	PH	4.7	8	0.7848	关联性不显著 Linkage between PH and yield levels is not significant.
	LH	3.3	8	0.9129	关联性不显著 Linkage between LH and yield levels is not significant.
	AW	34.8	8	<0.0001	高 AW 对应低产 Linkage between AW and yield levels is not significant.
	LF	12.9	8	0.1170	关联性不显著 Linkage between LF and yield levels is not significant.
	DH	10.1	8	0.2562	关联性不显著 Linkage between DH and yield levels is not significant.
	WH	17.8	8	0.0231	高 WH 对应低产 High WH associated with lower yields
	WA	21.2	8	0.0067	高 WA 对应低产 High WA associated with lower yields
	WB	7.7	8	0.4629	关联性不显著 Linkage between WS and yield levels is not significant.

^a所列变量见表1;^bPU代表农药使用次数,包括除草剂、杀虫剂和杀菌剂 ^a See Table 1 for variables list; ^bPU represent pesticide use in number of applications, including herbicide, insecticide and fungicide

2.7 二维列联表对应分析

对3个列联表[IN×PR]、[PR×Y]、[IN×Y]分别进行对应分析(IN为有害生物为害模式、PR为种植管理模式、Y为产量水平),在这3个对应分析中,前两个轴(公因子)所能解释的累积贡献率均超过90%,且以第一维度为主,图2显示了分析结果。

图2A([IN×PR])说明PR3、PR6与IN3、IN5联系紧密,PR2与IN1、PR5与IN4联系紧密,而PR1、PR4和IN2三者联系不够紧密。总体上,可以看出水稻种植管理模式与有害生物为害模式是紧密关联的。图2B([PR×Y])绘出了产量水平增加的路线。这条路线主要由轴1来解释,它说明了随着产量的增加种植模式由PR6到PR1和PR2,最后指向PR4的发展变化;PR3和PR5相对远离这条路线,但二者都与低产相联系;图

2B 也表明种植模式与产量之间存在很强的联系。图 2C([IN × Y]) 中产量水平增加的路线,也说明有害生物为害模式由 IN3 到 IN4 和 IN5,再到 IN2,最后指向 IN1 的发展变化,前者与低产相联系,后者与高产相联系。

2.8 多维列联表的对应分析

图 2A、B、C 所示的一系列关系可以用一个多维列联表[IN × PR, Y, SITE]来解释,实际上它包含多个列联表,在结构上类似于一个相关矩阵。对其进行对应分析时,有害生物为害模式(IN)和种植管理模式(PR)作为有效变量,产量(Y)和试验地点(SITE)作为附加变量,数值结果列于表 6。

对应分析产生的前两个轴的累积贡献率为 91.5%;PR2 和 IN1 是确定轴 1 的重要变量(对轴 1 贡献率最大的变量);PR5 和 IN4 是确定轴 2 的主要变量(表 6)。在轴 1 上 PR2 与 IN1 存在紧密联系,在轴 2 上 PR5 与 IN4 存在联系,并和另一组变量(PR3、PR6 与 IN3、IN5)的方向相反。这两轴能很好地解释两试验点 PR、IN 的变化,反过来说用这两套合成变量(PR 和 IN)也能对两试验点进行较好的描述(对寻甸 XD 和沾益 ZY 的累积贡献率均超过 99%)。这两个轴也对所有产量水平提供非常好的描述,尤其是 Y1 和 Y5(对 Y1 和 Y5 的累积贡献率分别为 95.33% 和 86.47%),而中间产量水平由于较接近于坐标的原点,因此,不可能有一个较大的贡献率,同时不同产量级别在两个轴上(尤其轴 1)的坐标也说明了两试验点存在较大的产量梯度。

该对应分析的图示结果见图 3,形成了有一定差异 4 组变量:

(i) 第 1 组,以 IN3 为中心,扩展到 Y1、IN5、PR3、PR6,对应于寻甸县。

(ii) 第 2 组,涉及 PR4、IN2、PR1、Y2、Y3、Y4,同时存在于寻甸和沾益县。

(iii) 第 3 组,包括 IN1、PR2、Y5,对应于沾益县。

(iv) 第 4 组,包括 PR5 和 IN4,也对应于寻甸县。

图 3 也绘出了产量水平增加的路线,这条路线说明了水稻产量从 PR6、PR3、IN5 和 IN3(第 1 组变量,对应于寻甸县)开始到 PR4、IN2 和 PR1(第 2 组变量,同时存在于寻甸和沾益县),再到 IN1 和 PR2(第 3 组变量,对应于沾益县)的有规律的增加。IN4 和 PR5(第 4 组的变量,对应于寻甸县)的位置偏离了产量水平增加路线,其相对位置也说明,这一组产量波动范围较大,与中低产相联系。

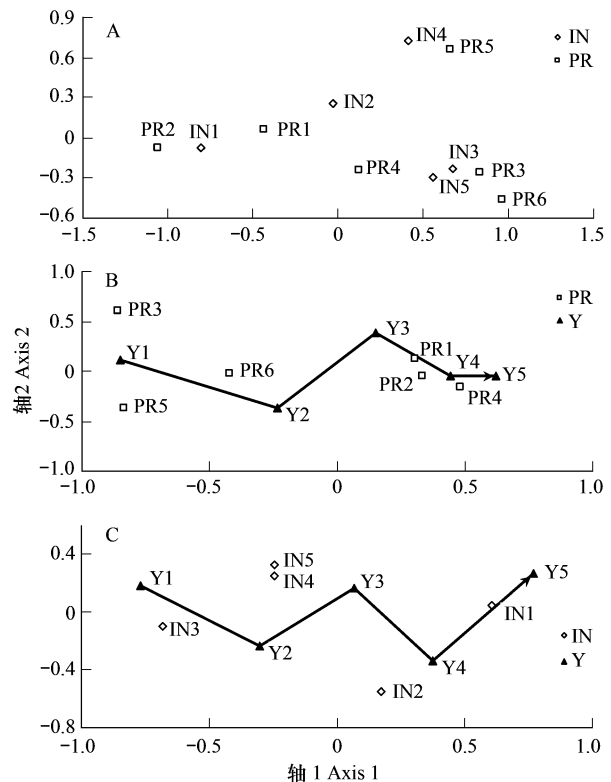


图 2 简单对应分析图

Fig. 2 Plots of three simple correspondence analyses

图 2 涉及 3 个对应分析,分别在各对应分析的前两个轴上绘出了各种水稻种植管理模式(PR)、有害生物为害模式(IN)和各产量水平(Y)位置;图 2A 是对[IN × PR]列联表的对应分析;图 2B 是对[PR × Y]列联表的对应分析,并显示了产量增加的路线;图 2C 是对[IN × Y]列联表的对应分析,并显示了产量增加的路线;在这 3 个对应分析图中,前两个轴所解释的信息均占总信息的 90% 以上

Figure 2 involves three correspondence analyses. Clusters of pattern of rice cropping practices (PR), clusters of injury profiles (IN), and yield levels (Y) are plotted on the two first axes of each analysis; Figure 2A: correspondence analysis pertaining to the [IN × PR] contingency table (injury profiles by patterns of cropping practices); Figure 2B: correspondence analysis pertaining to the [PR × Y] contingency table (patterns of cropping practices by actual yield); A path of increasing yield levels (Y1 to Y5) is indicated; Figure 2C: correspondence analysis pertaining to the [IN × Y] contingency table (injury profiles by actual yield); A path of increasing yield levels (Y1 to Y5) is indicated; In all three analyses, the factorial plane shown (i. e., two first axes) accounts for more than 90% of total inertia

表 6 多维列联表对应分析各变量相对权重及相对贡献率

Table 6 Relative weights and contribution to axes of variables in correspondence analysis of a multi-dimensions contingency table

变量和级别 Variables and classes	相对权重 Relative weight	轴 1 Axis 1			轴 2 Axis 2		
		坐标 Coordinate	相对贡献率 Contribution		坐标 Coordinate	相对贡献率 Contribution	
			对轴 1 To axis 1	对变量 To variables		对轴 2 To axis 2	对变量 To variables
行变量 Row variables							
IN1	0.3679	−0.8078	57.11	98.61	−0.0764	2.06	0.88
IN2	0.1132	−0.0290	0.02	0.37	0.2597	7.33	29.59
IN3	0.2642	0.6746	28.59	83.28	−0.2320	13.65	9.85
IN4	0.1321	0.4107	5.30	23.63	0.7261	66.86	73.85
IN5	0.1226	0.5549	8.98	57.39	−0.2928	10.09	15.98
列变量 Column variables							
PR1	0.3585	−0.4321	15.92	87.22	0.0612	1.29	1.75
PR2	0.1226	−1.0610	32.84	97.47	−0.0766	0.69	0.51
PR3	0.0849	0.8336	14.03	89.82	−0.2615	5.58	8.84
PR4	0.1887	0.1253	0.70	7.52	−0.2443	10.82	28.63
PR5	0.1509	0.6613	15.70	50.12	0.6566	62.49	49.42
PR6	0.0943	0.9628	20.80	73.75	−0.4596	19.13	16.81
附加变量 Additional classes							
Y1	—	0.7712	—	92.67	−0.1307	—	2.66
Y2	—	0.2413	—	29.85	−0.0153	—	0.12
Y3	—	−0.0378	—	2.69	0.1485	—	41.58
Y4	—	−0.3436	—	41.36	−0.0031	—	0.00
Y5	—	−0.7636	—	86.46	0.0092	—	0.01
XD	—	0.8009	—	98.35	0.0723	—	0.80
ZY	—	−1.0857	—	98.35	−0.0980	—	0.80
各轴所解释的信息量 Inertia accounted for by axes		73.3%			18.2%		

3 讨论

本研究以云南高原粳稻主产区为对象,调查对该系统生产力(水稻产量)有重要影响的农民种植管理、病虫害为害等情况,研究水稻种植管理和有害生物复合为害模式特点及其与产量的关系。它区别于国内以往只对某一或某几种栽培管理措施或病、虫、草害的调查及其对水稻产量影响的研究,本研究基于几十个变量上百块田块的综合调查,从更宏观的水平阐明了水稻种植管理模式(PR)、有害生物为害模式(IN)、产量(Y)三者之间的关系,克服了以往仅通过单一因素与产量损失间关系分析的偏颇性,研究结果将为因地制宜地根据当地农业特点,提高区域水稻平均产量提供理论基础。在分析方法上,针对多数变量数据资料非正态分布的特点(尤其是有害生物的发生为害),借鉴了国外在相关研究中采用的非参数多变量统计方法:聚类分析和对应分析,实现了对大宗数据的压缩与合成,使解释水稻种植管理模式、有害生物为害模式与产量三者之间的关系成为可能。

有害生物为害发生及其引起的产量损失的测定的信息对于评价某一为害重要性是非常必要的^[5,20]。本研究中所统计的一些有害生物为害在两县(试验点)普遍存在,如:稻飞虱(PH)、叶蝉(LH)、稻曲病(FSM)等,但这并不能完全代表它的重要性,本文卡方检验证实了这一点。而有些为害一旦发生或流行,即可导致相当大的减产,如水稻白叶枯病(BLB)、叶瘟病(LB)等^[20],与本文中的卡方检验结果一致。

在限产因素中,许多报道表明田间水分供应(WS)是一个重要因素^[21],但在本研究中由于两试验点雨水充足、农田排灌设施条件较好,水分对水稻产量的影响并不显著。而农药使用(除草剂HU、杀虫剂IU、杀菌剂FU)与产量间成正相关关系,其原因可能是:(1)农药通过控制有害生物为害保证了高产;(2)农药的使用与其它保证水稻高产的生产技术间存在一定的互作,如大面积单一种植高产品种导致的为害加剧^[22];(3)大量使用农药也是农民对良好的作物长势和高水平为害(农民个人认为)同时出现的一种心理反映。另外本研究

得出劳动力投入量(是否施用有机肥、追肥、人工除草等)与产量呈正相关,与其它研究报道一致^[21]。尤其是随着当今农村进城务工人员的增加,水稻生产中间管理环节的劳动力投入不足问题突现。

水稻产量的变化与种植管理多种措施和各种有害生物为害组合的综合作用是密不可分的。对众多变量构成的不同田块的聚类分析,得到了几种植植管理模式(PR)和有害生物为害组合类型(IN)。考察两种聚类之间的关系,第一个无效假设(种植模式与为害情况之间不存在任何联系)被拒绝($P < 0.0005$);另外,关于产量与种植模式、为害模式之间相互独立的两个无效假设也都被拒绝($P < 0.0005$),这两个检验进一步说明了种植模式和为害模式的聚类的确抓住了能解释产量变化的相关的信息量。图 2A 表明为害类型与种植模式之间的联系非常紧密(如:PR2 与 IN1;PR5 与 IN4),二者之间如此紧密的联系在前人的研究中也曾发现^[5,13];然而目前的结果反映了高海拔、跨区域的稻作情况,同时也进一步说明了前人的研究结果在更大的区域上也是正确的(即:在区域水平上种植模式是影响有害生物为害情况的关键性因素)。当分别考虑各种种植模式和为害模式与产量水平的联系时,都得到了一条产量变化的路线,表明了各种模式所对应的产量水平。

多维列联表的对应分析对最终结果提供了一个合成的信息。前两个轴对产量水平很高的相对贡献率说明该对应分析抓住了产量水平变化的大部分信息水平,也形成了一个很好的分析产量变化的框架,它包括种植管理、有害生物和试验地点几个方面,同时它表明运用现有的生产技术,通过稻田生态系统的优化调节,如加强田间管理(如施用有机肥、追肥、人工除草、有害生物防治等),特定区域(如寻甸县)水稻产量仍然有较大的提升空间。

References:

- [1] Zhang W Q, Gu D X, Zhang G R. The reestablishment of the arthropod community in short-term crop fields I: Concept and characteristics of the community reestablishment. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(6):286—290.
- [2] Timsina J, Connor D J. Productivity and management of rice wheat cropping systems: issues and challenges. *Field Crops Research*, 2001, 69:93—132.
- [3] Huang B C, Xiao H X, Zhang Y, *et al.* Effect of different nitrogen utilization on the occurrence of rice insect pest and diseases. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2006, (5):41—43.
- [4] Peng L N, Peng H X, Zhang X P, *et al.* Assessment of resistance of pesticides and fungicides to several pests and diseases of rice in Sichuan areas. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2003, 21(2):135—138.
- [5] Savary S, Willocquet L, Elazegui F A, *et al.* Rice pest constraints in tropical Asia: Characterization of injury profiles in relation to production situation. *Plant Disease*, 2000, 84:341—356.
- [6] Li Z Y. Mechanisms and importance of biodiversity to improve integrated pest insects management. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 1997, 10(4):115—123.
- [7] Wang B L, Liu X A, Wang S, *et al.* Optimum regulations of ecological system of paddy field. *Resources Science*, 2001, 23(6):36—40.
- [8] Liu E M, Zhu Y Y, Xiao F H, *et al.* Using genetic diversity of rice varieties for sustainable control of rice blast disease. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(2):164—168.
- [9] Wang H, Tang J J, Xie J, *et al.* Controlling effects of multiple species coexistence on rice diseases, pests and weeds in paddy field ecosystem.

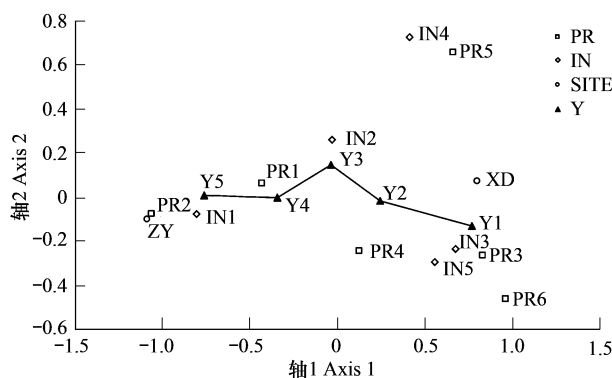


图 3 多维列联表对应分析图

Fig. 3 Graph of correspondence analysis of a multi-dimensions contingency table

多维列联表包含水稻有害生物为害模式(IN)和种植管理模式(PR)、试验地点(SITE:沾益ZY和寻甸XD)、产量(Y)的列联表,在对应分析中试验地点和产量作为附加变量;图中显示了产量增加的路线,对该图的解释见正文和表6 A multi-dimensions contingency table consists of contingency tables of injury profiles(IN) by patterns of cropping practices (PR), sites (SITE) and yields (Y); Additional variables are sites (SITE) and actual yield (Y) in the analysis; A path of increasing yield levels (Y1 to Y5) is indicated in the graph; See text and Table 6 for interpretation of the graph

- Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(5):1132—1136.
- [10] Shen J H, Nie Q, Huang D R, *et al.* Recent advances in controlling plant diseases and insect pests by mixture planting and inter-planting of crops. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2007, 34(2):209—216.
- [11] Li J Q, Zhao Z M, Hou J J. Ecological pest management in paddy fields. *Journal of Southwest Agricultural University*, 2000, 22(6):496—500.
- [12] He Z Q, Mao J H, Zhang Z T, *et al.* Research progress in sustainable management technology of major rice pests and diseases in China in recent years. *Plant Protection*, 2004, 30(2):23—27.
- [13] Savary S, Elazegui F A, Moody K, *et al.* Characterization of rice cropping practices and multiple pest systems in the Philippines. *Agricultural Systems*, 1994, 46:385—408.
- [14] Wei Y B, Zhao H Y. Studies on the overall investigation and forecast techniques of rice disease and pest. *Plant Protection Technology and Extension*, 2002, 22(2):3—5.
- [15] Savary S, Elazegui F A, Teng P S. A survey portfolio for the characterization of rice pest constraints. *IRRI Discussion Paper, Series 18 Los Banos, Philippines*, 1996.
- [16] Du P V, Savary S. A survey of rice constraints in the Mekong delta. *International Rice Research Notes*, 1997, 22:43—44.
- [17] Gibbons J D. *Non Parametric Methods for Quantitative Analysis*. Holt, Rinehart and Winston, New York, 1976.
- [18] Savary S, Madden L V, Zadoks J C, *et al.* Use of categorical information and correspondence analysis in plant disease epidemiology. *Advances in Botanical Research incorporating Advances in Plant Pathology*, 1995, 21:213—240.
- [19] Greenacre M J. *Theory and applications of correspondence analysis*. London: Academic Press, 1984.
- [20] Willocquet L, Savary S, Fernandez L, *et al.* Development and evaluation of a multiple-pest, production situation specific model to simulate yield losses of rice in tropical Asia. *Ecological Modelling*, 2000, 131:133—159.
- [21] Savary S, Castilla N P, Elazegui F A, *et al.* Multiple effects of two drivers of agricultural change, labor shortage and water scarcity, on rice pest profiles in tropical Asia. *Field Crops Research*, 2005, 91:263—271.
- [22] Zhu Y Y, Chen H R, Fan J H, *et al.* Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 2000, 406:718—722.

参考文献:

- [1] 张文庆, 古德祥, 张古忍. 论短期农作物生境中节肢动物群落的重建 I: 群落重建的概念和特性. *生态学报*, 2000, 20(6): 286~290.
- [3] 黄炳超, 肖汉祥, 张扬, 等. 不同施氮量对水稻病虫害发生的影响. *广东农业科学*, 2006, (5): 41~43.
- [4] 彭丽年, 彭化贤, 张小平, 等. 四川稻区几种重要病虫抗药性评估. *四川农业大学学报*, 2003, 21(2): 135~138.
- [6] 李正跃. 生物多样性在害虫综合防治中的机制及地位. *西南农业学报*, 1997, 10(4): 115~123.
- [7] 王伯伦, 刘新安, 王术, 等. 稻田生态系统的优化调节. *资源科学*, 2001, 23(6): 36~40.
- [8] 刘二明, 朱有勇, 肖放华, 等. 水稻品种多样性混栽持续控制稻瘟病研究. *中国农业科学*, 2003, 36(2): 164~168.
- [9] 王寒, 唐建军, 谢坚, 等. 稻田生态系统多个物种共存对病虫草害的控制. *应用生态学报*, 2007, 18(5): 1132~1136.
- [10] 沈君辉, 聂勤, 黄得润, 等. 作物混植和间作控制病虫害研究的新进展. *植物保护学报*, 2007, 34(2): 209~216.
- [11] 李剑泉, 赵志模, 侯建筠. 稻虫生态管理. *西南农业大学学报*, 2000, 22(6): 496~500.
- [12] 何忠全, 毛建辉, 张志涛, 等. 我国近年来水稻重大病虫害可持续控制技术重要研究进展——非化学控害技术研究. *植物保护*, 2004, 30(2): 23~27.
- [14] 韦永保, 赵厚印. 水稻病虫总体调查和预报技术探讨. *植保技术与推广*, 2002, 22(2): 3~5.