

DOI: 10.5846/stxb201301280183

董坤,董艳,王海龙,陈斌,张立敏,咎庆安,李正跃.水稻多元有害生物为害特征及产量损失量化.生态学报,2014,34(21):6124-6136.

Dong K, Dong Y, Wang H L, Chen B, Zhang L M, Zan Q A, Li Z Y. A characterization of rice multiple-pest injuries and quantification of yield losses. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(21): 6124-6136.

水稻多元有害生物为害特征及产量损失量化

董坤^{1,2,*}, 董艳³, 王海龙⁴, 陈斌¹, 张立敏^{1,5}, 咎庆安¹, 李正跃¹

(1. 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, 云南农业大学农业生物多样性国家工程中心, 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201; 2. 云南农业大学食品科技学院, 昆明 650201; 3. 云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201; 4. 黑龙江农业经济职业学院农学院, 牡丹江 157041; 5. 云南农业大学基础与信息学院, 昆明 650201)

摘要: 收集了云南粳稻主产区沾益、寻甸两县 106 块稻田水稻有害生物为害和产量等信息, 并用两种方法对其分析。第一种方法应用聚类分析和对应分析描述水稻有害生物为害类型和产量水平之间的关系, 第二种方法应用主成分分析和多元逐步回归估计各为害的产量损失。聚类分析确定了 7 种有害生物为害类型, 其中 IN1、IN2 和 IN3 为害水平较低, 而 IN5、IN6 和 IN7 为害水平较高。有害生物为害类型和水稻产量水平之间的对应分析, 在前两个轴构成的因子空间内绘出了各为害类型和产量水平的位置, 并给出了一条与为害类型紧密联系的产量水平增加路线。该分析暗示与位于该因子平面右边的有害生物为害类型 (IN1、IN2 和 IN3) 相比, 位于左边的为害类型 (IN5、IN6 和 IN7) 将引起水稻更大的产量损失。主成分多元回归分析评估了水稻各种病、虫、草害所造成的减产及其相对重要性。分析结果表明, 高于水稻冠层杂草、蛀茎害虫 (白穗)、稻纵卷叶螟、白叶枯病、粘虫、叶瘟病和稻飞虱是该稻作区对水稻产量影响较大的为害因子。

关键词: 多元有害生物系统; 为害类型; 产量损失估计; 对应分析; 多元回归分析

A characterization of rice multiple-pest injuries and quantification of yield losses

DONG Kun^{1,2,*}, DONG Yan³, WANG Hailong⁴, CHEN Bin¹, ZHANG Limin^{1,5}, ZAN Qingan¹, LI Zhengyue¹

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

2 College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China

3 College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China

4 College of Agriculture, Heilongjiang Agricultural Economy Vocational College, Mudanjiang 157041, China

5 College of Basic Science and Information Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China

Abstract: A total of 106 individual farmers' fields were surveyed in Zhanyi and Xundian counties (the main japonica-rice-producing areas of the Yunnan plateau) of Yunnan province. The data pertaining to pest injuries and yields was collected and analyzed using two analytical approaches. The first approach was intended to characterize relationships between injury profiles and yield levels using cluster and correspondence analyses, while the second approach was aimed at generating yield loss estimates using combinations of principal components and step-wise multiple regressions. Seven pest injury profiles (abbreviated as IN) were determined using cluster analysis; IN1, IN2, and IN3 were lower injury levels of pest combinations in seven profiles, while IN5, IN6, and IN7 were higher injury levels. Clusters of injury profiles (IN1—IN7) and yield levels (Y1—Y5) are plotted on the two first axes of correspondence analysis between patterns of injury profiles

基金项目: 云南省自然科学基金 (2011FB051); 云南省教育厅重点基金 (2011Z037, 2011Y449); 国家自然科学基金 (31060277, 31160363); 国家重大基础研究计划 (973) 项目 (2011CB100404)

收稿日期: 2013-01-28; **网络出版日期:** 2014-03-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dongkun19722004@aliyun.com

(IN) and yield levels (Y). The correspondence analysis yielded a path of increasing yield levels (Y1 to Y5) associated with varying combinations of injuries in the plane defined by axes 1 and 2. This would suggest that injury profiles (IN5, IN6 and IN7) located on the left in the factorial plane may cause more considerable damage than others (IN1, IN2 and IN3) located on the right. The principal component analysis with multiple regressions generated estimates of yield reductions due to rice diseases, insects and weeds. The results showed that injuries caused by weeds above rice canopy, stem borers (white heads), leaf folder, bacterial leaf blight, army worms, leaf blast and plant hoppers were the most damaging factors in this region. Results of this study will provide some foundations for developing pest management strategies and improving rice production level at the regional scale.

Key Words: multiple pest system; injury profiles; yield loss assessment; correspondence analysis; multiple regression analysis

近年来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、高产品种使用、肥料管理、有害生物防治等对水稻产量起到了一定的增产效果,但其中的一些变化也使稻田有害生物流行频率大大提高,一些次要病虫害上升为主要病虫害^[1-4]。因此,任何水稻种植区都面临着改善稻田有害生物的治理以适应本地区农业的变革。但要改善一个地区稻田有害生物的治理,确定相应的防治策略,就必须先了解该地区稻田有害生物复合体(病、虫、草)的特点,确定多元有害生物复合为害对水稻产量的影响^[5]。因此,现代农业生产中多元有害生物复合为害特点及其造成的作物产量损失分析已成为农田生态系统研究的重要领域^[6-7]。

稻田生态系统中水稻有害生物,就病、虫、草而言,种类繁多。病虫害的发生往往不是单一的,而是多种有害生物同时发生复合为害。因此确定稻田有害生物复合为害特点就需要在特定时间序列上利用抽样调查的方法收集代表性田块的相关数据^[5,8]。首先根据病、虫、草的为害方式和机制(抑制光合作用、加速组织衰老、取食植物组织、吸食性为害、竞争性为害等),制定详细的调查方案,然后在水稻生长季节调查大量的田块,最后利用这些信息解释产量变化的原因还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^[8-9]。

有害生物为害与作物产量损失的关系十分复杂。就水稻而言,同样的受害程度,产量损失还与水稻受害的生育期、水稻的受害器官和受害部位、受害时的环境条件、有害生物的为害方式等相关。但在这些因素中,为害程度与产量损失的关系最密切,产量损失的大小是水稻与病虫害相互竞争、相互作用

的最终结果^[10-11]。从目前水稻有害生物为害程度及其产量损失的研究来看,虽然对有害生物为害及其减产机制有了深入认识,但往往就病论病,就虫论虫,多集中在单一的病、虫、草害上,往往夸大单一有害生物造成的产量损失,成为农药滥用的原因之一^[12-13];而对水稻生态系统中多种有害生物(病、虫、草)共存条件下的为害减产效应研究较少^[7]。

本研究以云南粳稻主产区作为调查地点,系统评估了农户田间水稻多元有害生物发生为害情况,确定了有害生物复合为害类型及其特点,阐明了有害生物为害类型和产量水平之间的对应关系,量化了各种为害所造成的产量损失及其相对重要性,为本地区有害生物防治策略的制定提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 调查时间和地点

2006—2007年连续两年在云南粳稻主产区沾益、寻甸两地调查了106块稻田水稻有害生物为害和产量等信息。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℃;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℃。两地区均属低纬高原季风气候,灌溉条件较好,种植一季移栽中稻,前作均为蚕豆,水稻主栽品种为楚粳24、楚粳26、滇系10、合系41和合系22,其中楚粳24、楚粳26为中抗稻瘟病品种,合系41为高抗稻瘟病品种,滇系10和合系22为中抗稻瘟病品种,但相对易感稻曲病。

1.2 取样和数据收集

田块选择、田间取样和数据收集的方法参考了 Savary 等和 Du 等的方法^[8,14]。每个县所选村庄在该县稻作生产中具有较好的代表性,每个村选择 7—10 块田以体现该村稻作环境条件和种植管理措施(包括有害生物防治措施、肥料施用等)的多样性,同时记录样本田块的基本信息(前作、土壤质地、灌溉条件、水稻品种及其抗性、水稻播种方式及栽植密度、化肥施用量、农药使用时间和次数)。

每块稻田调查 4 次,分别于水稻的分蘖期、孕穗期、蜡熟期和成熟期各进行 1 次。田间采用对角线调查路线,沿水稻田第一条对角线,初步了解水稻生育期、长势及有害生物发生种类;沿第二条对角线,

随机选定 10 丛水稻分别调查水稻生长状况(分蘖数、叶数和穗数等)和病虫害为害情况,同时在已选定 10 丛水稻中随机选择 3 丛,分别调查围绕这 3 丛水稻 1m²区域内的草害情况。病虫害类别主要是基于有害生物的种类及其为害状,而草害分为高于水稻冠层杂草、低于水稻冠层杂草两大类。病虫害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 3 个样方内杂草情况的调查,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^[14]。水稻成熟期,每块田随机选择 3 个 6m²的具有代表性的区域分别进行收获测产。每块田收集的数据资料列于表 1。

表 1 每个田块调查变量及其属性列表

Table 1 List of variables and attributes describing individual survey fields

变量类型 Variable type	代表符号 Symbol	变量描述 Variable description	单位 Unit
为害 Injuries	BLB	水稻白叶枯病 Bacterial leaf blight	% dsu ^{a,b}
	LB	水稻叶瘟病 Leaf blast	% dsu ^{a,b}
	BS	水稻胡麻斑病 Brown spot	% dsu ^{a,b}
	RS	水稻条纹叶枯病 Rice stripe	% dsu ^{a,b}
	ShR	水稻叶鞘腐败病 Sheath rot	% ^c
	NB	水稻穗颈瘟病 Neck blast	% ^d
	RB	水稻恶苗病 Rice bakanae	% ^c
	FSM	水稻稻曲病 False smut	% ^d
	ShB	水稻纹枯病 Sheath blight	% ^c
	PH	飞虱 Plant hopper	number dsu ^{a,e}
	LH	叶蝉 Leaf hopper	number dsu ^{a,e}
	AW	粘虫 Armyworm	number dsu ^{a,e}
	LF	稻纵卷叶螟 Leaf folder	% dsu ^{a,b}
	DH	枯心(蛀茎害虫) Dead heart(stem borer)	% ^c
	WH	白穗(蛀茎害虫) White head(stem borer)	% ^d
	WA	高于水稻冠层杂草 Weed above rice crop canopy	% dsu ^{a,f}
	WB	低于水稻冠层杂草 Weed below rice crop canopy	% dsu ^{a,f}
	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, 6 m ² each

a: dsu(水稻所处的发育阶段单位 Rice development stage units): 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: 成熟期), % dsu 和 number dsu: 是两个复合单位, 分别为有害生物引起的水稻受害率(%)和水稻发育阶段单位(dsu)、单位样方内害虫数量(number)和水稻发育阶段单位(dsu), 它们均表示为害进展曲线下的面积; b: 叶片受害率进展曲线下的面积; c: 4 次调查中的最大的分蘖受害率; d: 4 次调查中的最大的穗受害率; e: 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; f: 平均每个样方杂草覆盖地面百分比进展曲线下的面积

本研究的主要目的是考虑水稻整个生育期多元有害生物的特征(组成、为害水平)及其减产效应。根据各种为害的性质采用两种为害指数: 为害进展

曲线下的面积或 4 次调查中最高为害水平表示各种有害生物在水稻整个生育期的为害程度^[9](表 1)。为害进展下的面积(AUIPC)计算公示如下^[15]:

$$\text{AUIPC} = \sum_1^n 1/2(X_i + X_{i-1})(T_i - T_{i-1}) \quad (1)$$

式中, X_i 表示第 i 次调查时水稻有害生物(如叶瘟病、稻纵卷叶螟)导致的受害叶、受害分蘖、受害穗的比例, 单位样方内害虫的数量(如稻飞虱、叶蝉), 或单位样方内杂草冠层覆盖地面的百分比; T_i 表示第 i 次调查时水稻所处的发育阶段单位(rice development stage units: dsu, 即 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); n 表示总的调查次数。

1.3 分析方法

1.3.1 水稻有害生物为害类型特征及各为害类型与水稻产量水平之间关系

该分析应用非参数多元统计技术: 主要包括 4 步骤: 第一步, 参照 Savary 等^[16] 和 Gibbons^[17] 的方法对定量变量进行分级(表 2)。表 2 说明了制定的级别和每个级别的数值界限。除了条纹叶枯病(RS)和穗瘟病(NB), 所有为害变量分为 3 级, 级别界限根据它们各自的频数分布确定。为了较好的分析实际产量的变化, 产量分为 5 级, 从低产(Y1)到高产(Y5)。

表 2 描述调查田块的各变量的分级

Table 2 Categorization of variables describing individual survey fields

变量类型 Variable type	符号 Symbol	级别 Categories	级别的定义 Category definition
为害 Injuries	BLB	BLB1, BLB2, BLB3	BLB1: BLB = 0% dsu; BLB2: 0 < BLB ≤ 90% dsu; BLB3: BLB > 90% dsu
	LB	LB1, LB2, LB3	LB1: LB = 0% dsu; LB2: 0 < LB ≤ 80% dsu; LB3: LB > 80% dsu
	BS	BS1, BS2, BS3	BS1: BS = 0% dsu; BS2: 0 < BS ≤ 70% dsu; BS3: BS > 70% dsu
	RS	RS1, RS2	RS1: RS = 0% dsu; RS2: RS > 0% dsu
	ShR	ShR1, ShR2, ShR3	ShR1: 0 ≤ ShR ≤ 15%; ShR2: 15 < ShR ≤ 30%; ShR3: ShR > 30%
	NB	NB1, NB2	NB1: NB = 0%; NB2: NB > 0%
	RB	RB1, RB2, RB3	RB1: RB = 0%; RB2: 0 < RB ≤ 3%; RB3: RB > 3%
	FSM	FSM1, FSM2, FSM3	FSM1: 0 ≤ FSM ≤ 3%; FSM2: 3 < FSM ≤ 5%; FSM3: FSM > 5%
	ShB	ShB1, ShB2, ShB3	ShB1: ShB = 0%; ShB2: 0 < ShB ≤ 5%; ShB3: ShB > 5%
	PH	PH1, PH2, PH3	PH1: 0 < PH ≤ 50 number dsu; PH2: 50 < PH ≤ 70 number dsu; PH3: PH > 70 number dsu
	LH	LH1, LH2, LH3	LH1: 0 < LH ≤ 120 number dsu; LH2: 120 < LH ≤ 360 number dsu; LH3: LH > 360 number dsu
	AW	AW1, AW2, AW3	AW1: AW = 0 number dsu; AW2: 0 < AW ≤ 9 number dsu; AW3: AW > 9 number dsu
	LF	LF1, LF2, LF3	LF1: 0 ≤ LF ≤ 10% dsu; LF2: 10 < LF ≤ 25% dsu; LF3: LF > 25% dsu
	DH	DH1, DH2, DH3	DH1: 0 ≤ DH ≤ 2.5%; DH2: 2.5 < DH ≤ 5%; DH3: DH > 5%
	WH	WH1, WH2, WH3	WH1: 0 ≤ WH ≤ 2.5%; WH2: 2.5 < WH ≤ 5%; WH3: WH > 5%
WA	WA1, WA2, WA3	WA1: 0 ≤ WA ≤ 90% dsu; WA2: 90 < WA ≤ 200% dsu; WA3: WA > 200% dsu	
WB	WB1, WB2, WB3	WB1: 0 ≤ WB ≤ 500% dsu; WB2: 500 < WB ≤ 1200% dsu; WB3: WB > 1200% dsu	
产量 Yield	Y	Y1, Y2, Y3, Y4, Y5	Y1: 5.50 < Y ≤ 7.75 t/hm ² ; Y2: 7.75 < Y ≤ 8.50 t/hm ² ; Y3: 8.50 < Y ≤ 9.25 t/hm ² ; Y4: 9.25 < Y ≤ 9.75 t/hm ² ; Y5: 9.75 < Y ≤ 11.0 t/hm ²

第二步, 聚类分析。用最长距离法和卡方距离对分级编码资料(不包括产量信息)进行田块聚类分析^[5], 目的是确定具有相同为害特点的田块类别。这些具有相同为害特征的田块类别又可以看作一个新的、合成变量: 水稻有害生物为害类型(patterns of

injury profile), 用 IN 来表示。

第三步, 建立列联表。根据有害生物为害类型和产量水平交叉分类频数资料建立 1 个二维列联表 [Y × IN], 表中行用为害类型表示, 列用产量水平表示。然后对该列联表进行卡方检验, 阐明列联表的

行变量和列变量之间的关联性,即有害生物为害类型和产量频数分布之间的独立性。如果二者的分布是有关联的,还需要进行对应分析,进一步明确变量各级别之间的对应关系。

第四步,参照 Greenacre 的方法进行对应分析^[18],在二维空间中(轴 1 与轴 2 构成的空间)展示有害生物为害类型和产量水平之间的关联程度。

1.3.2 估计各种为害造成的损失

该分析应用参数多元统计技术对各为害产量损失进行量化,参照 Savary 等的方法^[19]。首先,将原始数据进行标准化,然后对为害变量进行主成分分析。主成分分析得到的各因子是对原始变量的线性组合,将这些因子作为产量多元逐步回归分析中的自变量进行回归分析。利用得到的回归模型,通过对各因子中为害变量进行赋值就可以进行产量估计^[8,19]。当所有为害变量都设定为最小值时得到的产量看作可实现产量 Y_a ,即假定水稻没有受到为害(病、虫、草)时的产量^[20]。然后单独考虑各个为害的情况,得到各为害达到平均为害水平或最大为害

水平的产量 Y_i ,即假定水稻只受到某种为害(病、虫、草)时的产量。某种为害的平均产量损失或最大产量损失就等于 $Y_a - Y_i$ 。

2 结果与分析

2.1 水稻有害生物为害情况和水稻产量变化

表 3 显示了水稻有害生物为害程度和流行程度及水稻产量变化。水稻产量的变化幅度较大,从 5.56 t/hm² 至 11.12 t/hm²,平均产量为 8.73 t/hm²。这可能反映了该区域农业生产状况的差异(如:水稻品种、土壤肥力、栽培管理措施和有害生物为害等)。就病害而言,水稻白叶枯病(BLB)、叶瘟病(LB)、叶鞘腐败病(ShR)、恶苗病(RB)和稻曲病(FSM)流行水平较高,田块发生率都超过 50%。虫害流行水平高于病害,大多数虫害普遍存在,田块发生率超过 80%,其中水稻飞虱和叶蝉的发生率均为 100%。草害(高于水稻冠层和低于水稻冠层杂草)也普遍存在。

表 3 为害和产量变量的统计

Table 3 Statistics for all variables: injuries and yield

变量 Variable	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	流行水平* / % Prevalence *
BLB 白叶枯病	0.0	1464	102.2	192.6	61.3
LB 叶瘟病	0.0	867	96.1	152.4	65.1
BS 胡麻斑病	0.0	652	54.1	110.8	38.7
RS 条纹叶枯病	0.0	180	8.8	30.5	29.2
ShR 叶鞘腐败病	0.0	55.3	23.8	12.8	96.2
NB 穗颈瘟病	0.0	39.5	1.5	4.5	22.6
RB 恶苗病	0.0	31.2	3.5	5.4	59.4
FSM 稻曲病	0.0	18.6	4.4	3.6	86.8
ShB 纹枯病	0.0	20.0	2.8	4.8	38.7
PH 飞虱	2.5	339	71.3	48.2	100.0
LH 叶蝉	4.0	6588	374.8	682.7	100.0
AW 粘虫	0.0	33	5.5	7.2	53.8
LF 稻纵卷叶螟	0.0	226	23.5	28.9	83.0
DH 枯心(蛀茎害虫)	0.0	28.8	4.4	3.8	89.6
WH 白穗(蛀茎害虫)	0.0	31.2	4.4	4.2	87.7
WA 高于冠层杂草	0.0	3000	173	162	89.6
WB 低于冠层杂草	0.0	3500	1055	805	97.2
Y 水稻产量	5.65	11.12	8.73	1.15	—

b 调查田块受害百分比

2.2 为害类型的特点

聚类分析确定了 7 种有害生物为害类型(IN1—IN7)。图 1 显示了各为害类型的特点,每种为害用

其相对为害程度表示(相对于 7 种为害类型最高的为害水平)。每种为害类型各种有害生物为害程度见表 4。IN1 特点:水稻条纹叶枯病(RS)、叶鞘腐败病(ShR)、恶苗病(RB)和稻曲病(FSM)为害水平较高;水稻白叶枯病(BLB)、叶瘟病(LB)、胡麻叶斑病(BS)、叶蝉(LH)、粘虫(AW)、枯心(DH)和高于水稻冠层杂草(WA)为害水平较低;水稻纹枯病(ShB)未发生。该为害类型包括 18 块田。IN2 特点:水稻胡麻叶斑病(BS),叶鞘腐败病(ShR)、稻飞虱(PH)和低于水稻冠层杂草(WB)为害水平较高;水稻白叶枯病(BLB)、叶瘟病(LB)、穗颈瘟病(NB)、纹枯病(ShB)、稻纵卷叶螟(LF)和高于水稻冠层杂草为害较低。该为害类型有 19 块田。IN3 特点:水稻胡麻叶斑病(BS)和枯心(DH)为害水平较高;穗颈瘟病(NB)、叶蝉(LH)、粘虫(AW)、稻纵卷叶螟(LF)、白穗(WH)和低于水稻冠层杂草(WB)为害较低。该为害类型包括 8 块田。IN4 特点:叶瘟病(LB)和穗颈瘟病(NB)为害水平较高,胡麻叶斑病(BS)和纹枯病(ShB)为害水平较低,条纹叶枯病(RS)未发生;该类型所有虫害为害程度处于中等或较高水平;高于和低于水稻冠层杂草(WA 和 WB)为害水平较高。该为害类型田块数为 8。IN5 特点:水稻纹枯病(ShB)、稻纵卷叶螟(LF)、枯心(DH)、白穗(WH)和高于水稻冠层杂草(WA)为害水平较高;胡麻叶斑病(BS)和稻曲病(FSM)为害水平较低;穗颈瘟病(NB)未发生。该类型包括 13 块田。IN6 特点:水稻白叶枯病(BLB)、叶瘟病(LB)、纹枯病(ShB)、叶蝉(LH)、粘虫(AW)和白穗(WH)为害水平较高;胡麻叶斑病(BS)和恶苗病(RB)为害水平较低。该为害类型包括 21 块田。IN7 特点:水稻白叶枯病(BLB)、叶瘟病(LB)、纹枯病(ShB)和白穗(WH)为害水平较高;稻飞虱(PH)、叶蝉(LH)、粘虫(AW)、稻纵卷叶螟(LF)、枯心(DH)、高于水稻冠层杂草(WA)和低于水稻冠层杂草(WB)为害水平中等。该类型包括 19 块田。从多元有害生物复合为害情况来看,IN1、IN2 和 IN3 整体为害水平较低,而 IN4 整体为害水平中等,IN5、IN6 和 IN7 整体为害水平较高。IN5、IN6 和 IN7 所对应的田块产量较低(平均产量分别为 8.11、8.03 和 8.23 t/hm²,表 4),而 IN1、IN2 和 IN3 所对应的田块产量较高(平均产量分别为 9.58、9.28 和 9.29 t/hm²,表 4)。

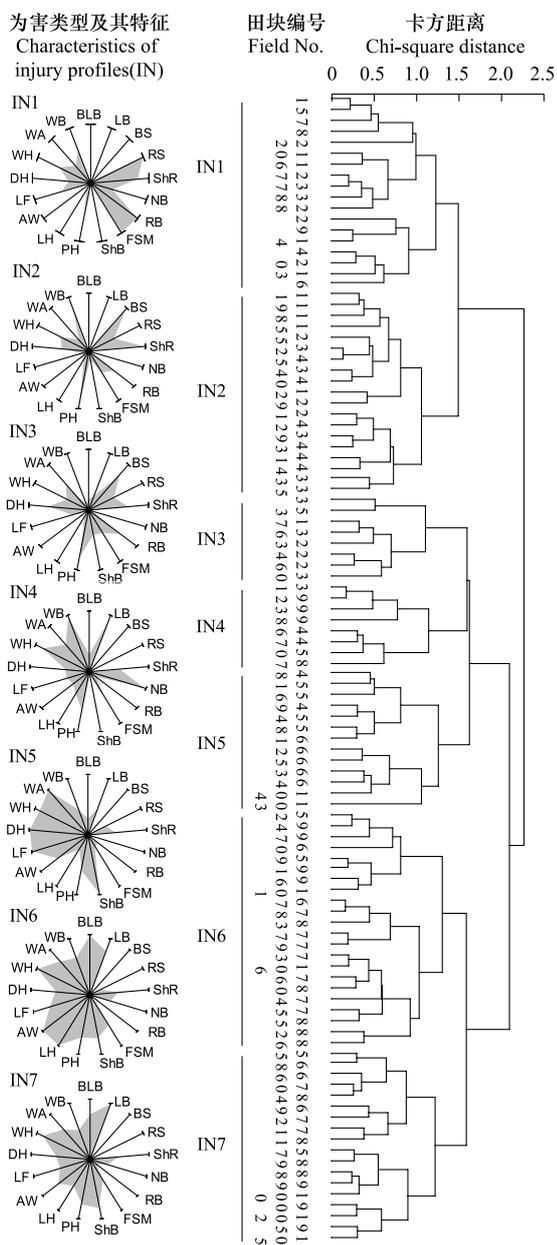


图 1 水稻有害生物为害聚类图及相应为害类型星形图

Fig.1 Cluster dendrogram of rice pest injuries and the star-shaped graphs of each injury profiles generated from cluster analyses

聚类分析得到云南粳稻区水稻有害生物 7 种为害类型(IN),涉及 106 块稻田(Field No.) 17 个分级编码的为害变量(表 2),右边为聚类图。左边为星形图,星形图表示了各为害类型的特点,图中的各辐条长度代表相应为害的相对为害水平。如,IN1 主要表现为水稻条纹叶枯病(RS)、恶苗病(RB)、稻曲病(FSM)、稻飞虱(PH)、蛀茎害虫(白穗 WH)和低于水稻冠层杂草(WB)为害水平较高;变量列表见表 1

表 4 云南粳稻区水稻有害生物为害类型的特点

Table 4 Characteristics of injury profiles of rice crops generated from cluster analyses in the japonica rice zone of Yunnan

变量 ^a Variable	为害类型各有害生物为害程度 ^b (平均值±标准误)						
	Injury levels of rice pests for clusters of injury profiles (Mean ± S.E.)						
	IN1(18)	IN2(19)	IN3(8)	IN4(8)	IN5(13)	IN6(21)	IN7(19)
BLB	9 ± 3	4 ± 4	48 ± 31	76 ± 43	69 ± 18	247 ± 44	187 ± 75
LB	10 ± 4	4 ± 3	48 ± 17	184 ± 64	95 ± 23	152 ± 47	192 ± 40
BS	18 ± 6	184 ± 37	149 ± 63	4 ± 3	3 ± 3	11 ± 7	3 ± 2
RS	53 ± 9	27 ± 8	25 ± 13	0 ± 0	19 ± 13	13 ± 9	5 ± 4
ShR	30 ± 3	36 ± 2	25 ± 3	19 ± 4	17 ± 4	18 ± 2	19 ± 3
NB	2.1 ± 0.7	0.1 ± 0.1	0.4 ± 0.4	5.3 ± 4.9	0.0 ± 0.0	2.0 ± 0.8	1.7 ± 0.7
RB	8.6 ± 1.7	4.9 ± 1.6	5.9 ± 1.8	1.4 ± 0.4	1.9 ± 0.5	0.6 ± 0.3	1.3 ± 0.7
FSM	8.0 ± 1.0	3.5 ± 0.7	3.7 ± 0.8	3.9 ± 1.1	1.9 ± 0.7	4.8 ± 0.7	3.4 ± 0.5
ShB	0.0 ± 0.0	1.0 ± 0.4	2.5 ± 1.3	0.4 ± 0.4	5.8 ± 1.7	4.3 ± 1.4	4.8 ± 1.1
PH	71 ± 14	91 ± 17	75 ± 18	61 ± 6	57 ± 7	66 ± 12	71 ± 4
LH	129 ± 35	176 ± 33	144 ± 40	379 ± 140	252 ± 71	851 ± 298	461 ± 70
AW	0.1 ± 0.1	1.6 ± 1.0	0.6 ± 0.6	4.2 ± 1.7	7.8 ± 1.5	12.0 ± 2.1	8.3 ± 1.3
LF	24 ± 3	7 ± 2	13 ± 4	18 ± 4	45 ± 10	32 ± 10	24 ± 4
DH	2.9 ± 0.5	3.6 ± 0.5	5.3 ± 0.7	3.1 ± 0.8	7.5 ± 1.9	4.4 ± 0.9	4.4 ± 0.8
WH	3.5 ± 0.6	3.2 ± 1.6	2.3 ± 0.9	5.0 ± 0.6	5.2 ± 1.0	5.6 ± 0.8	5.1 ± 0.6
WA	115 ± 28	81 ± 15	165 ± 24	176 ± 31	286 ± 68	218 ± 36	193 ± 44
WB	1062 ± 224	1472 ± 202	213 ± 50	1658 ± 305	758 ± 192	1100 ± 158	888 ± 102
Y ^c	9.58 ± 0.17	9.28 ± 0.20	9.29 ± 0.28	8.78 ± 0.45	8.11 ± 0.21	8.04 ± 0.31	8.27 ± 0.19

a 变量及其单位同表 1; b 各聚类名称后面的数字是该类型所包含的田块数; c 产量没有包含在聚类分析中

2.3 对应分析

建立产量(Y)和有害生物为害类型(IN)列联表:[Y×IN],产量水平作为列联表的列,为害类型作为列联表的行。[Y×IN]显示田块数按该两变量交叉频数分布及二者之间的总体联系。对该列联表进行卡方检验,卡方值为 56.1($P=0.0002$),表明产量变化和为害类型存在很强的关联性。对应分析产生了两个重要的轴,第一个轴占列联矩阵[Y×IN]总信息的 52.9%,第二个轴占 26.1%(表 5);产生的其它轴分别占总信息的 17.8%和 3.2%。由于前两个轴能解释包含在列联表中的大部分信息(79.0%),所以只保留前两个轴用于进一步的解释。

轴 1 代表了产量增加的梯度,因为对该轴贡献最大的是两个极端产量水平(Y1 和 Y5:贡献率分别为 46.06%和 40.33%),分别位于轴 1 的左右两端(在轴 1 上 Y1 的坐标值为负,Y5 的坐标值为正)(表 5 和图 2)。除了 Y1 和 Y5 外,轴 1 的确定还取决于有害生物为害类型 IN1(在轴 1 上坐标值为正),因为它对该轴的贡献很大(贡献率为 40.96%),且在轴

1 上的位置与其它几种为害类型相反(即 IN5、IN6 和 IN7,它们在轴 1 上坐标值为负)。Y2 和 IN5 对轴 2 的贡献很大,并在该轴上与 Y4 和 IN6 的方向相反。

通过轴 1 对 IN1、IN2 和 IN7 几种为害类型的贡献值可以看出(分别为 81.07%、80.73%和 61.04%),轴 1 对描述这几种为害类型提供了很大贡献值,因此能很好地解释它们之间的差异;通过轴 2 对 IN4 和 Y2 的贡献值也可以看出,轴 2 为它们提供了更多的信息。

对产量水平的描述前两个轴也提供了最大的贡献值。总体上看,除了 Y3,对所有产量水平这两个轴都提供了非常好的描述(提供的信息从对 Y4 的 68.2%到对 Y1 的 88.9%);Y3 属于中等产量水平,由于其位置非常接近坐标系(轴 1 和轴 2)的原点,因此对其描述这两个轴不能提供较多的信息(只占该产量水平信息的 12.2%)。从轴 1 上的坐标值可以看出从低产(Y1)到高产(Y5)逐渐增大,因此也说明轴 1 代表了水稻产量水平的增加梯度(表 5)。

表 5 对应分析各变量的相对权重及贡献率

Table 5 Relative weights and contribution to axes of variables in correspondence analysis

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 To axis	对变量 To variables		对轴 To axis	对变量 To variables
列变量 Column variables							
Y1	0.208	-0.792	46.06	81.87	0.232	8.01	7.02
Y2	0.217	-0.265	5.38	14.20	-0.577	51.84	67.43
Y3	0.198	0.061	0.26	4.36	0.082	0.94	7.88
Y4	0.198	0.338	7.98	22.00	0.489	34.02	46.20
Y5	0.179	0.798	40.33	76.57	-0.201	5.18	4.85
行变量 Rows variables							
IN1	0.170	0.826	40.96	81.07	-0.174	3.68	3.59
IN2	0.179	0.417	11.00	61.04	0.204	5.36	14.66
IN3	0.076	0.395	4.16	21.75	0.229	2.84	7.31
IN4	0.076	0.031	0.02	0.24	-0.582	18.34	87.36
IN5	0.123	-0.602	15.73	42.41	-0.666	39.02	51.82
IN6	0.198	-0.448	14.04	38.54	0.462	30.38	41.09
IN7	0.179	-0.471	14.08	80.73	0.054	0.37	1.05
各轴所解释的信息量 Inertia accounted for by axes		52.9%			26.1%		

图 2 显示了各变量级别在轴 1 和轴 2 构成的坐标系中的投影。在图 2 中, IN6 和 IN7 接近 Y1, 而 IN4 和 IN5 接近 Y2, IN2 和 IN3 对应于 Y3 和 Y4, IN1 对应于 Y5, 这表明一些为害类型对应着高产水平, 另外一些为害类型对应着低产水平, 说明水稻有害生物为害类型和产量水平存在紧密联系。根据有序变量 Y(产量)可以绘出产量水平的增加路线, 该路线与轴 1(水平轴)的方向一致, 从左到右, 从为害类型 IN7(或 IN6 和 IN5)到 IN4, 再到 IN2 和 IN3, 最后

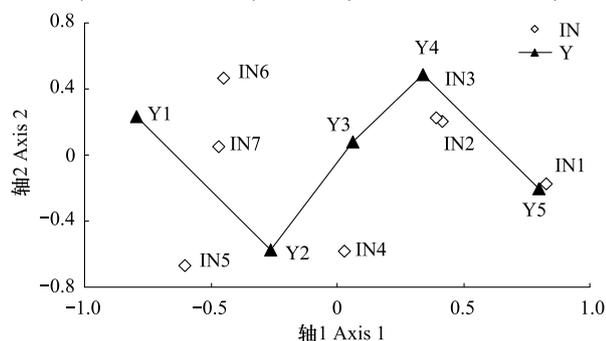


图 2 水稻有害生物为害类型与产量水平之间的对应分析

Fig.2 Correspondence analysis between patterns of rice pest injury profiles and yield levels

对水稻产量水平和有害生物为害类型列表[Y×IN]进行分析, 在前两个轴构成的空间内绘出了各为害类型和产量水平的位置, 并显示了产量水平的增加路线。在该分析中, 所显示的因子平面(即前两个轴构成的坐标系)能解释总信息的 79%

指向 IN1。表明位于图 2 左边的为害类型(IN5、IN6 和 IN7)比右边为害类型(IN1、IN2 和 IN3)导致的水稻产量损失更大, 为害类型 IN5、IN6 和 IN7 包含的水稻田块可能比为害类型 IN1、IN2 和 IN3 的田块发生的有害生物种类更多, 或者这些田块发生的有害生物对水稻产量的损失更大。

2.4 变量间的相关性

对本研究中所涉及的变量进行相关分析, 皮尔森相关系数列于表 6(列出了与产量相关性达到显著水平的为害, 穗颈瘟病 NB 除外)。从表 6 看出, 尽管许多变量是显著相关的, 但相关系数较小, 不能提供有关变量之间关系的全部信息。然而各变量与产量的相关性暗示水稻白叶枯病(BLB)、叶瘟病(LB)、恶苗病(RB)、纹枯病(ShB)、稻飞虱(PH)、粘虫(AW)、稻纵卷叶螟(LF)、蛀茎害虫(白穗 WH)和杂草(高于水稻冠层杂草 WA 和低于水稻冠层杂草 WB)有显著的减产效应。

2.5 初步的主成分分析和回归分析

为了更好地阐述产量与为害变量之间的关系, 首先对为害变量(经过标准化的数据)进行初步主成分分析, 然后将得到的各主成分用于对产量的多元逐步回归分析。4 个主成分(1、9、15、16)被保留在回归模型中, 该模型能解释产量变化信息的 34.6%

表 6 各变量间的皮尔森相关系数

Table 6 Pearson correlation coefficient matrix among quantitative variables

变量 Variable	Y	WB	WA	WH	LF	AW	PH	ShB	RB	NB	LB	BLB
BLB 白叶枯病	-0.38**	0.03	0.20*	0.27**	0.15	0.29**	-0.04	0.14	0.01	-0.13	0.06	1
LB 叶瘟病	-0.42**	0.30**	0.33**	0.26**	0.14	0.29**	-0.04	0.13	0.09	0.54**	1	
NB 穗颈瘟病	-0.15	0.18	0.08	0.07	0.10	0.11	0.02	0.02	0.10	1		
RB 恶苗病	-0.27**	0.17	0.19*	0.18	0.17	0.14	0.12	-0.27**	1			
ShB 纹枯病	-0.24*	-0.17	0.12	0.01	0.21*	0.27**	-0.08	1				
PH 稻飞虱	-0.28**	0.04	-0.08	0.03	0.08	0.04	1					
AW 粘虫	-0.45**	0.20*	0.30**	0.14	0.13	1						
LF 稻纵卷叶螟	-0.32**	0.05	0.23*	0.24*	1							
WH 白穗(蛀茎害虫)	-0.41**	0.24*	0.26**	1								
WA 高于冠层杂草	-0.40**	0.15	1									
WB 低于冠层杂草	-0.24*	1										
Y 水稻产量	1											

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上达到显著性

($n=106$, $F=13.4$, $P<0.0001$)。在这 4 个为害主成分中,主成分 1 对产量变化的描述有最大的贡献率($T=-6.44$, $P<0.0001$),能解释产量变化信息的 26.9%。主成分 1 在回归模型中的系数为负,根据其特征向量,可以写出主成分 1 的得分(即经过标准化的为害变量的线性组合):

$$F(1) = 0.28BLB' + 0.40LB' + 0.09BS' + 0.01RS' - 0.13ShR' + 0.20NB' + 0.15RB' + 0.04FSM' + 0.13ShB' + 0.27PH' + 0.02LH' + 0.45AW' + 0.30LF' + 0.12DH' + 0.31WH' + 0.35WA' + 0.23WB' \quad (2)$$

2.6 为害变量的选择

用于最终主成分分析和回归分析的为害变量的选择有两个标准^[19]:(1)与产量呈显著负相关的变量(表 6)或(2)初步主成分分析中对主成分 1 有较大贡献的为害变量(公式 2),因为用为害变量的主成分作为自变量描述产量的变化时(初步回归分析),主成分 1 对水稻减产作用贡献最大。综合以上

两个标准,选择以下为害变量用于最终的主成分分析和回归分析:水稻白叶枯病(BLB)、叶瘟病(LB)、穗颈瘟病(NB)、恶苗病(RB)、纹枯病(ShB)、稻飞虱(PH)、粘虫(AW)、稻纵卷叶螟(LF)、蛀茎害虫(白穗 WH)、高于水稻冠层杂草(WA)和低于水稻冠层杂草(WB)。

2.7 最终的主成分分析和回归分析

对选择的变量进行主成分分析得到的前 5 个主成分的因子载荷列于表 7,它们对有害生物为害信息的累积贡献率超过 75%。用这 5 个主成分作为自变量对水稻产量进行逐步多元回归分析,得到的回归方程如下:

$$Y = 8.73 - 0.42F(1) + 0.03F(2) + 0.04F(3) - 0.09F(4) - 0.04F(5) \quad (3)$$

该回归模型可以解释产量变化信息的 61.9%($n=106$, $F=18.3$, $P<0.0001$),其中截距和 $F(1)$ 对该模型的贡献率达到显著水平($P<0.0001$)。

表 7 水稻有害生物为害的主成分分析前 5 个主成分的因子载荷

Table 7 Component loadings of the five first principal components (PC) of a principal component analysis of rice pest injuries

变量 Variables	各主成分的因子载荷 Component loadings of each principal component (PC)				
	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3	主成分 4 PC4	主成分 5 PC5
BLB 白叶枯病	0.303	-0.421	-0.312	-0.133	0.109
LB 叶瘟病	0.392	0.268	0.332	-0.148	0.031
NB 穗颈瘟病	0.204	0.426	0.374	-0.319	-0.013
RB 恶苗病	0.151	0.359	-0.436	0.286	-0.348
ShB 纹枯病	0.131	-0.366	0.542	0.116	0.118

续表

变量 Variables	各主成分的因子载荷 Component loadings of each principal component (PC)				
	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3	主成分 4 PC4	主成分 5 PC5
PH 稻飞虱	0.300	-0.282	-0.119	-0.502	-0.294
AW 粘虫	0.460	-0.197	-0.008	-0.014	-0.245
LF 稻纵卷叶螟	0.290	0.016	0.192	0.572	0.151
WH 白穗(蛀茎害虫)	0.326	-0.007	-0.308	0.052	0.718
WA 高于冠层杂草	0.351	-0.005	0.009	0.369	-0.363
WB 低于冠层杂草	0.240	0.434	-0.150	-0.212	0.187
各主成分的贡献率/% Proportion of contribution by each principal component	28.19	15.73	11.99	10.91	8.68

2.8 产量损失估计

根据所涉及的每种为害的平均为害水平或最大为害水平,用上述回归模型(公式 3)可以估计每种为害的平均产量损失和最大产量损失(表 8)。从平均产量损失看,减产作用最大的为害是蛀茎害虫(白穗)(WH:产量损失为 0.30t/hm²),占可实现产量的 2.99%,接下来是高于水稻冠层杂草(WA)、稻纵卷叶螟(LF)、粘虫(AW)、叶瘟病(LB)、低于水稻冠层杂草(WB)和白叶枯病(BLB)。与平均产量损失相比,各种为害的最大产量损失都比较大,相对损失超

过 10%所对应的为害是:白叶枯病(BLB)、稻纵卷叶螟(LF)、蛀茎害虫(白穗 WH)和高于水稻冠层杂草(WA);相对损失介于 5%—10%所对应的为害是:叶瘟病(LB)、稻飞虱(PH)和粘虫(AW);相对损失小于 5%所对应的为害是:穗颈瘟病(NB)、恶苗病(RB)、纹枯病(ShB)和低于水稻冠层杂草(WB)。当同时考虑所有为害并将为害水平都设为平均值时,估计产量损失为 1.3t/hm²,占可实现产量的 12.95%。

表 8 所选为害的产量损失估计

Table 8 Yield loss estimates for selected injuries

为害 Injuries	平均为害水平时产量损失 ^a Mean yield losses		最大为害水平时产量损失 Maximum yield losses	
	绝对损失 Absolute /(t/hm ²)	相对损失率/% Relative	绝对损失 Absolute /(t/hm ²)	相对损失率/% Relative
	BLB 白叶枯病	0.12 ± 0.04	1.20 ± 0.39	1.11
LB 叶瘟病	0.15 ± 0.04	1.50 ± 0.35	0.78	7.78
NB 穗颈瘟病	0.02 ± 0.01	0.20 ± 0.07	0.24	2.39
RB 恶苗病	0.07 ± 0.02	0.70 ± 0.22	0.47	4.69
ShB 纹枯病	0.05 ± 0.02	0.50 ± 0.16	0.25	2.49
PH 稻飞虱	0.11 ± 0.02	1.10 ± 0.22	0.55	5.48
AW 粘虫	0.18 ± 0.05	1.79 ± 0.51	0.87	8.67
LF 稻纵卷叶螟	0.21 ± 0.05	2.09 ± 0.46	1.36	13.56
WH 白穗(蛀茎害虫)	0.30 ± 0.05	2.99 ± 0.50	1.43	14.26
WA 高于冠层杂草	0.28 ± 0.05	2.79 ± 0.45	1.07	10.67
WB 低于冠层杂草	0.15 ± 0.02	1.50 ± 0.22	0.36	3.59
复合为害产量损失 Yield loss caused by all combined injuries	1.30 ± 0.36	12.95 ± 3.58	-	-

^a 估计值后面的数字是 0.05 水平下的置信区间

3 讨论

云南独特的地理气候环境形成了多样的稻作生态环境,从稻作区划来看,云南可划分为 3 类稻作

区:籼稻地区、籼粳稻交错地区和粳稻区^[21]。沾益县和寻甸县位于云南粳稻区,也是粳稻的主产区。表 3 中的为害数据反映了目前农户有害生物治理水平下田间有害生物为害的实际情况。一些为害流行

水平较高(田块发生率),如:水稻白叶枯病(BLB)、叶瘟病(LB)、叶鞘腐败病(ShR)、恶苗病(RB)、稻曲病(FSM)、稻飞虱(PH)、叶蝉(LH)、粘虫(AW)、稻纵卷叶螟(LF)、枯心(DH)、白穗(WH)、高于水稻冠层杂草(WA)和低于水稻冠层杂草(WB),而另外一些为害流行水平较低,如:胡麻叶斑病(BS)、条纹叶枯病(RS)、穗颈瘟病(NB)和纹枯病(ShB)。小型或迁飞性的害虫为害几乎普遍存在,如:稻飞虱(PH)、叶蝉(LH)和稻纵卷叶螟(LF);本地害虫的发生为害水平也在攀升,如:钻蛀性害虫为害(DH和WH)和粘虫为害(AW);这一状况与我国水稻害虫的演替趋势是一致的^[4]。

本文聚类分析确定了7种为害类型(图1),它们代表了不同的为害组合,同时也反映了云南粳稻区各有害生物为害程度之间的差异。卡方检验表明产量水平与为害类型之间联系是显著的,对应分析以图示的方式概括了二者之间关系(图2)。高产水平对应于一些为害类型,其特点:要么发生的为害较少,为害水平不高(IN3);要么发生的为害对产量影响较小(IN1和IN2)。产量水平增加路线取决于水平轴,且在水平轴方向上穿越了多数为害类型,从IN7(低产)到IN4(中低产),然后到IN2和IN3(中高产),再到IN1(高产),揭示了有害生物为害类型及其为害水平对水稻产量的影响。

聚类分析和对应分析都取决于频数分布,属于非参数多变量分析方法。尽管这些分析技术对于描述不同类型变量之间(如有害生物为害类型和产量水平)的关系非常方便,但不能提供变量之间的定量关系,而多变量参数分析方法可以描述变量之间的定量关系^[19]。因此,本研究应用主成分分析和回归分析,进一步评估了每种为害对水稻产量损失的影响。在主成分分析基础上得到的回归模型能解释产量变化的大部分信息,为准确估计为害造成的产量损失提供了必要的保证。这里应该强调的是产量并没有作为主成分分析中的一个变量,因此主成分分析得到的特征向量可以看作新的、合成的自变量,可以用于对产量的多元回归分析中,表7中所列的因子载荷阐述了产量的解释性变量之间的关系。

本研究表明白穗(WH)对水稻产量的影响较大,而枯心(DH)对水稻产量的影响不显著(表6,表8)。从表3来看,二者的平均为害水平是相等的,二

者减产效应的差异可能由于水稻通过分蘖对枯心为害有一定的补偿作用。本研究的结果与前人研究的结果是一致的,Litsinger等和Rubia等认为当钻蛀性害虫引起的枯心发生率小于10%时,不会造成产量的损失^[22-23]。

根据本研究调查的全部田块多元有害生物平均为害水平,利用回归方程计算得出有害生物平均为害损失占水稻可实现产量的12.95%。该损失率远远低于Savary等所报道的平均为害损失率(分别为28.5%,37.2%)^[6,19]。针对这种差异,通过比较,我们给出两点解释:(1)近10年来随着稻作水平提高,每种为害(杂草除外)造成的绝对产量损失并没有明显下降,只是水稻可实现产量有了显著提高;(2)这种差异在一定程度上由于杂草为害损失率不同造成的。本研究中杂草(高于水稻冠层杂草和低于水稻冠层杂草)为害损失率(4.29%)远远低于Savary等所报道的草害损失率(10%—20%)^[6,19],主要因为本研究调查的粳稻区均为移栽稻,同时使用除草剂并进行人工除草。基于单一为害所造成的最大产量损失,高于水稻冠层杂草(WA)、蛀茎害虫(白穗WH)、稻纵卷叶螟(LF)、白叶枯病(BLB)、粘虫(AW)、叶瘟病(LB)和稻飞虱(PH)是这一区域水稻潜在的、减产效应较大的有害生物限制因子。

值得一提的是本研究中水稻多元有害生物复合为害损失小于各种有害生物单独为害产量损失累加值(表8)。这说明为害之间存在互作,为害组合(整体)的减产效应小于单一为害减产效应之和。这一结果与前人的研究是一致的,农田中各种为害存在复杂互作关系看起来是多元有害生物系统的一个普遍特征^[20,24-25]。

水稻有害生物为害程度和产量损失大小是在特定稻田生态系统中作物与病虫害相互作用、竞争抑制的最终结果^[5]。然而生产中人们采用的耕作制度、水稻品种、水肥管理、农药防治、播种与收获等种植管理措施均对稻田生态系统中水稻、有害生物、天敌、土壤、田间小气候等生物因子和非生物因子造成直接或间接的影响,对水稻有害生物为害特点起着决定性作用^[4,16]。因此,不同稻作区种植管理措施及其对有害生物和稻谷产量的影响越来越受到人们的关注。各种种植管理措施变量与各种水稻有害物为害变量之间的相关分析表明(未发表),农药使用

次数与多数病虫害为害程度呈显著正相关,其原因可能是:(1)农药使用次数多的田块,有害生物的为害一般较严重;(2)部分田块农药防治适期不当,一些有害生物的为害程度已超过允许经济为害水平才开始防治,导致农药使用多而防治效果差。水稻品种病虫害抗性强弱与病虫害为害程度呈显著负相关,说明水稻品种抗性相对稳定。另外目前农户化肥施用量、稻株群体密度(涉及移栽密度和每丛平均分蘖数)、水分供应状况等也与多个为害变量显著相关,如移栽密度与纹枯病为害程度显著负相关,施肥量与稻纵卷叶螟、稻飞虱、稻瘟病、纹枯病为害程度显著正相关,平均每丛分蘖数与枯心率显著负相关,深水灌溉或淹水时间过长稻飞虱、白叶枯病发生为害严重。前期已通过 7 个水稻种植管理措施变量(移栽日期、移栽密度、分蘖数、田间水分状况、化肥施用量、农药使用次数和劳动力投入)对沾益县和寻甸县调查的 106 块稻田进行聚类分析,确定了 6 种农户水稻种植管理模式,并在区域水平上阐明了水稻种植管理模式和有害生物为害类型间存在较强的关联性,二者能很好地解释水稻产量的变化诱因^[3],增强了利用种植管理措施调控有害生物为害的信心。本文基于目前农民水稻种植管理水平下研究了田间有害生物对水稻产量的限制特点。总体上农民对稻田生态系统管理水平还有待提高,很难协调配合使用各种种植管理措施,如稻田养分资源的管理、合理灌排、群体密度控制、有害生物防治等。因此,要提升区域范围内稻作水平和有害生物综合治理水平,必须基于各地区生产条件为农民建立智能型水稻生产管理决策支持系统,提高稻农综合应用各种种植管理措施能力,以达到增产控害目的。

致谢:法国国家农业研究所 Serge Savary 博士数据分析给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Timsina J, Connor D J. Productivity and management of rice-wheat cropping systems: issues and challenges. *Field Crops Research*, 2001, 69(2): 93-132.
- [2] Savary S, Castilla N P, Elazegui F A, Teng P S. Multiple effects of two drivers of agricultural change, labour shortage and water scarcity, on rice pest profiles in tropical Asia. *Field Crops Research*, 2005, 91(2/3): 263-271.
- [3] Dong K, Wang H L, Chen B, Li Z Y. Characterization of patterns of rice cropping practices and multiple pest injury profiles and relation with yield levels. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1140-1152.
- [4] Cheng S H, Li J. *Modern Chinese Rice*. Beijing: Golden Shield Press, 2007: 210-225.
- [5] Savary S, Elazegui F A, Moody K, Litsinger J A, Teng P S. Characterization of rice cropping practices and multiple pest systems in the Philippines. *Agricultural Systems*, 1994, 46(4): 385-408.
- [6] Savary S, Willocquet L, Elazegui F A, Castilla N P, Teng P S. Rice pest constraints in tropical Asia: quantification of yield losses due to rice pests in a range of production situations. *Plant Disease*, 2000, 84(3): 357-369.
- [7] Willocquet L, Elazegui F A, Castilla N, Fernandez L, Fischer K S, Peng S B, Teng P S, Srivastava R K, Singh H M, Zhu D F, Savary S. Research priorities for rice pest management in tropical Asia: A simulation analysis of yield losses and management efficiencies. *Phytopathology*, 2004, 94(7): 672-682.
- [8] Savary S, Elazegui F A, Teng P S. A Survey Portfolio for the Characterization of Rice Pest Constraints. *IRRI Discussion Paper Series, Series 18 Los Baños, Philippines*, 1996: 1-30.
- [9] Savary S, Willocquet L, Elazegui F A, Teng P S, van Du P V, Zhu D F, Tang Q Y, Huang S W, Lin X Q, Singh H M, Srivastava R K. Rice pest constraints in tropical Asia: characterization of injury profiles in relation to production situations. *Plant Disease*, 2000, 84(3): 341-356.
- [10] Gaunt R E. The relationship between plant disease severity and yield. *Annual Review of Phytopathology*, 1995, 33(1): 119-144.
- [11] Andow D A, Hidaka K. Yield loss in conventional and natural rice farming systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1998, 70(2/3): 151-158.
- [12] Willocquet L, Savary S, Fernandez L, Elazegui F, Teng P. Development and evaluation of a multiple-pest, production situation specific model to simulate yield losses of rice in tropical Asia. *Ecological Modelling*, 2000, 131(2/3): 133-159.
- [13] Wilson C, Tisdell C. Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. *Ecological Economics*, 2001, 39(3): 449-462.
- [14] Du P V, Savary S, Elazegui F A. A survey of rice constraints in the Mekong delta. *International Rice Research Notes*, 1997, 221: 43-44.
- [15] Campbell C L, Madden L V. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. New York: John Wiley & Sons, 1990: 26-36.
- [16] Savary S, Madden L V, Zadoks J C, Klein-Gebbinck H W. Use of categorical information and correspondence analysis in plant disease epidemiology. *Advances in Botanical Research*, 1995, 21: 213-240.
- [17] Gibbons J D. *Nonparametric Methods for Quantitative Analysis*.

- 3rd ed. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1976: 65-78.
- [18] Greenacre M J. Theory and Applications of Correspondence Analysis. London: Academic Press, 1984: 21-39.
- [19] Savary S, Srivastava R K, Singh H M, Elazegui F A. A characterisation of rice pests and quantification of yield losses in the rice-wheat system of India. *Crop Protection*, 1997, 16(4): 387-397.
- [20] Zadoks J C, Schein R D. *Epidemiology and Plant Disease Management*. New York: Oxford University Press, 1979: 1-15.
- [21] Yang Z Y, Lu Y X, Cao Y S. *Studies on Ecological and Geographic Distribution of Rice Germplasm in Yunnan*. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2007: 13-16.
- [22] Litsinger J A, Canapi B L, Bandong J P, Dela Cruz C G, Apostol R F, Pantua P C, Lumaban M D, Alviola A L III, Raymundo F, Libertario E M, Loevinsohn M E, Joshi R C. Rice crop loss from insect pests in wetland and dryland environments of Asia with emphasis on the Philippines. *International Journal of Tropical Insect Science*, 1987, 8(4/6): 677-692.
- [23] Rubia E G, Shepard B M, Yambao E B, Ingram K T, Arida G S, Penning de Vries F. Stem borer damage and grain yield of flooded rice. *Journal of Plant Protection in the Tropics*, 1989, 6(3): 205-211.
- [24] Johnson K B, Radcliffe E B, Teng P S. Effects of interacting populations of *Alternaria solani*, *Verticillium dahliae* and the potato leafhopper (*Empoasca fabae*) on potato yield. *Phytopathology*, 1986, 76(10): 1046-1052.
- [25] McRoberts N, Hughes G, Savary S. Integrated approaches to understanding and control of diseases and pests in field crops. *Australasian Plant Pathology*, 2003, 32(2): 167-180.

参考文献:

- [3] 董坤, 王海龙, 陈斌, 李正跃. 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. *生态学报*, 2009, 29(3): 1140-1152.
- [4] 程式华, 李建. *现代中国水稻*. 北京: 金盾出版社, 2007: 210-225.
- [21] 杨忠义, 卢义宣, 曹永生. *云南稻种资源生态地理分布研究*. 昆明: 云南科技出版社, 2007: 13-16.