

基于贝叶斯网络的 农业生产者农药施用行为风险评估

王建华 刘 茁 浦徐进*

摘要:为较好地反映农业生产者农药施用行为风险因素,相对精准地预测农业生产者农药施用行为的概率,本文基于贝叶斯网络的相关理论,对农业生产者农药施用行为风险因素进行识别,构建朴素贝叶斯网络模型,运用全国986个样本数据进行模型构建和验证,计算出农业生产者农药施用行为的后验概率并评估施用行为的风险。结果表明,农业生产者农药施用行为具有普遍性,农业生产者在农业生产经营类型、农业生产土地规模以及农产品用途等风险因素分别既定的情况下,不考虑施药间隔期的风险概率较大;农业生产者在产品预售价、农药价格等风险因素既定的情况下,对农药残留的在意程度出现波动,且农药价格是造成农业生产者农药残留意识淡薄风险的重要因素;另外,农产品预售价对农业生产者过量施用农药风险也有较大影响。因此,政府应有针对性地开展农业生产者农药施用培训,积极引导农业生产者合理施用农药,强化农产品安全风险的事前监管。

关键词: 农药施用;风险评估;贝叶斯网络

一、问题的提出

农业生产过程中的农药施用对预防农作物病虫害、提高粮食产量有着极为重要的作用(Lynn and Susan, 2003),对缓解因世界范围内人口的迅速增长所带来的粮食需求压力也具有深远的意义,但接触化学农药或食用带有农药残留的农产品会对人体健康带来巨大威胁(Abhilash and Singh, 2009)。这其中,引发农产品安全风险的最直接原因之一不外乎农业生产者不当的农药施用行为(Van Asselt et al., 2010),特别是对于以农业为主要产业的发展中国家来说,农药施用行为的风险评估及相关风险认知更为迫切(Khan et al., 2015)。

农业生产者的不当农药施用行为引发的农产品风险问题与人们追求高品质、安全、健康的生活方式产生了突出矛盾,农药施用风险可能会危害到民众健康并引起人们对食品安全

*王建华,江南大学江苏省食品安全研究基地、江南大学食品安全与营养协同创新中心、江南大学商学院,邮政编码:214122,电子信箱:wiwth_99@163.com;刘茁,江南大学商学院,邮政编码:214122,电子信箱:strob@sina.com;浦徐进,江南大学江苏省食品安全研究基地、江南大学食品安全与营养协同创新中心、江南大学商学院,邮政编码:214122,电子信箱:puyiwei@ustc.edu。

本文的研究得到国家社科基金重大项目“食品安全风险社会共治研究”(项目编号:14ZDA0690)、江苏高校哲学社会科学优秀创新团队建设项目“中国食品安全风险防控研究”(项目编号:2013-011)、国家自然科学基金项目“病死猪流入市场的生猪养殖户行为实验及政策研究”(项目编号:71540008)的资助。作者感谢匿名审稿人的建议,文责自负。

问题的担忧与恐慌。在中国,由于农业生产者对农药施用缺乏正确认知,使用方法与剂量不当,高毒、劣质农药滥用现象严重,我国多地农业生产者施用多灭灵(甲胺磷)、克百威(呋喃丹)等巨毒药剂,对农村地区的生态环境、农作物质量与食品安全造成严重的负面影响(乔立娟等,2014)。国内外学者对农药施用风险也进行了一些深入研究。Khan 等(2015)在巴基斯坦棉花种植地区随机抽取 318 个农业生产者用于研究农业生产者施药行为风险成因,发现受过良好教育的农业生产者过量施用农药的风险要远低于受教育水平较低的农业生产者。Catherine 等(2014)认为农药施用行为造成的风险既包括农作物中农药残留对人体造成的威胁,还包括对施药农业生产者自身的伤害,提出加强对施药者的相关培训是降低农业生产者过量施药、施用高毒农药风险的有效途径。王建华等(2015)认为农业生产者的知识能力和心理认知水平、外部环境和经济条件水平是造成其过量施药、施用高毒农药的重要风险因素。Morris 和 Doss(2001)发现女性农业生产者由于文化水平较低和施药经验较少,其施药过量的风险比男性农业生产者要高。Elaine 和 Jikun(2013)评估中国棉农对抗虫棉的施药风险时发现,由于农业生产者缺少相关的知识培训,尽管了解所种棉花品种为抗虫型,但为了避免产量损失,农业生产者过量施用农药的风险仍处于较高水平。

在诸多研究农业生产者施药行为风险评估的文献中,贝叶斯网络是一种可视化的概率知识表达与推理模型,能在有限、不完整、不确定的信息条件下进行学习和推理(王双成,2010)。贝叶斯网络可以保留发生概率较小的影响因素,对造成农业生产者施药行为风险因素的分析更敏感,能更为合理地对不确定性因素进行处理,做出可靠性更高的评估结果。因此,本文结合已有研究结果和全国 986 个样本农业生产者的实证调查数据,采用分类贝叶斯方法探究农业生产者的主要特征因素对其农药施用行为的影响,并利用贝叶斯网络分类器评估农业生产者施药行为风险,为引导农业生产者规范合理地施用农药、针对性地开展农产品安全监督管理提供理论支撑和经验借鉴。

二、相关文献梳理及其综述

(一)造成农业生产者农药施用行为风险的个体特征因素

围绕造成农业生产者农药施用行为风险的个体特征因素,学者们展开了多角度、多层次、多维度的研究,发现农业生产者的性别、年龄等个体特征决定了农业生产者会根据自身对化学农药的认知情况以及行为习惯做出是否施用农药、施用何种农药的决策,是农业生产者施药风险行为评估的重要内部因素(王建华等,2014)。农业生产者年龄可能是农药施用行为风险因素,Ntow 等(2006)对加纳地区的 137 位农业生产者进行访谈,对其农药施用行为进行了实地调查,发现 45 岁以下的农业生产者由于种植与施药经验有限,比 45 岁以上的农业生产者更易造成在单位面积内过量施用农药的风险。农业生产者受教育程度较低导致施药认知偏差可能造成农药施用风险,童霞等(2011)基于江苏省三个不同地区的农业生产者调研数据分析了分散农业生产者农药施用的主要行为特征,发现农业生产者的受教育年限是造成其农药施用行为风险的显著影响因素。王建华等(2014)采用 PSM 方法对七种农药施用技能教育培训进行评估,结果表明这七种不同的农药施用技术对减少农药施用过量风险均具有正面影响。蔡书凯和李靖(2011)认为农业生产者的户主年龄、文化程度以及家庭经营特征是评估农药施用强度的主要风险因素。Cheryl 和 Morris(2001)研究加纳农业生产者在玉米种植过程中农药施用行为与种植者性别的关系时发现,户主的性别是评估农药

施用风险状况的重要因素,女性农业生产者明显更易于造成农药施用行为风险。农业生产者的婚姻状况是农药施用风险因素之一。未婚农业生产者对施药的认知仅限于父辈和自己的经验,而已婚农业生产者的施药行为可能受到更大范围家庭成员的影响(王永强,2012),因此本文假设农业生产者的婚姻状况是影响其施药行为风险的评估因素之一。农业生产者是否打工对其施药行为可能有一定影响。农业生产者进城务工已成趋势,其打工经历也是一种经验的积累,会对其施药行为产生积极影响,农药施用风险可能会有所降低(王建华等,2014)。

(二)造成农业生产者农药施用行为风险的生产特征因素

从农业生产者的生产基本特征来看,产品价格、土地规模和农产品主要用途等是形成农业生产者施药行为风险的关键因素。农药价格上涨,农业生产者会考虑减少农药的施用;而施药农产品价格上涨,则农业生产者为了提高产量而可能加大过量施药的风险发生概率。侯建昀等(2014)认为,税收、补贴等可以影响农产品价格及农药价格的措施,对降低农业生产者不合理选择农药类型和用量的风险有一定的改善作用。王常伟和顾海英(2013)通过建立 damage-abatement 生产函数及计量模型对农药施用风险进行评估,也指出农药对蔬菜潜在的价格变动是造成农业生产者农药施用量过大风险的主要因素。农业生产者的农业生产经营分为农业生产专营和农业生产兼营,而农业生产者的家庭生产经营类型会影响农药施用行为风险的大小。黄祖辉等(2012)利用中国5个省的农业生产者数据分析了农业生产者家庭劳动供给情况,研究发现,2004-2008年,只从事农业生产的农业生产者家庭比例约为18%;既从事农业生产又从事本村非农就业的农业生产者比例从25%下降到16%;而既从事农业生产,又从事外出打工的农业生产者家庭比例从30%上升到37%。农业生产专营户可能对农药施用有更丰富的经验,而农业生产兼营户由于其他生产经验,对购买和使用农药的知识获取来源也更为广泛(Ntow et al.,2006),因此农业生产者生产经营类型的差异可能对农药施用风险有一定的影响,是农业生产者施药行为风险评估的主要衡量指标之一。孔祥智等(2005)研究认为,农业生产者家庭收入比例是其农药施用行为风险的重要评估因素,农业生产者家庭种植规模减小而造成农药施用不良行为的风险概率较低。因此,农业生产者的农业收入比重应作为施药行为风险评估因素。农业生产者所生产出的农产品主要有自用和市场贸易两种用途,董帮应(2014)发现,在市场经济条件下,由于收入最大化目标的支配,农业生产者会自觉地社会化配置其生产的农产品,不同用途的农产品的农药施用行为也会有所差异。为了满足农产品自用或增加收入的目标,市场贸易农产品的农药施用风险可能会高于农业生产者自用农产品的施药风险,因而农产品用途是评估农业生产者施药行为风险的因素之一。

(三)造成农业生产者农药施用行为风险的认知特征因素

农业生产者施药的行为风险认知特征因素主要考虑农业生产者在农业生产中是否施用化学农药、农业生产者对农药安全间隔期的认知、农业生产者对农药残留的认知以及农业生产者在实际农业生产中是否过量施用农药等方面。Polidoro等(2008)采用访谈方法评估哥斯达黎加各地区香蕉种植的农药施用风险时发现,超过60%的调查参与者使用过或正在使用化学农药。张夕林等(2009)明确提出,农药施用间隔期越短,大米中的农药残留量超标的风险越大。Isin和Yildirim(2007)在土耳其部分地区评估果农对农药的认知对其施药行为风险的影响时发现,被调查果农对农药残留仍然缺乏正确认识,这种认知缺失是引起农药施

用量远远超出推荐用量风险的直接原因。

根据已有研究,造成农业生产者农药施用行为风险的主要有农业生产者个体特征因素、农业生产特征因素以及认知特征因素。农业生产者个体特征因素包括农业生产者的年龄、婚姻状况、受教育程度和打工经历,农业生产者农业生产特征因素有产品价格和农药价格、农业生产经营类型、农业生产土地规模、农业生产收入比例和农产品主要用途。农业生产者施药行为风险认知特征因素通过农业生产者在农业生产中是否施用化学农药、对农药安全间隔期的认知、对农药残留的认知以及在实际农业生产中是否过量使用农药等四种生产行为进行评估。

国内外学者围绕农业生产者施用农药的行为风险评估进行了大量研究,但现有研究仍存在一些不足:(1)已有研究考虑的风险因素不够全面,仅从农业生产者个体因素或农业生产因素单方面考虑;(2)对农药施用的风险评估仅涉及农药自身或农药器械的危害性,较少从农业生产者的角度评估其施药行为风险;(3)研究数据代表性不够明显,多为某一地区的个案研究,较难反映农业生产者施药风险的普遍状况。针对以上问题,本研究从农业生产者个体特征因素与其农业生产行为因素两方面综合考虑,在已有研究基础上总结和筛选出更全面、更易于观察和量化的评估指标,使得评估结果更全面而具有代表性;并从农业生产者的行为认知角度出发评估其施药风险,可为有关部门对农业生产者施药行为的监管提供更直观的理论指导借鉴,对于农药施用问题更具有现实指导意义。因此,本研究选取河南、山东、江苏、浙江、黑龙江五个典型农业生产省份的100个行政村986个农业生产者的样本调查数据,结合已有研究筛选出农业生产者农药施用行为风险因素,并构建贝叶斯网络模型,对农业生产者施药风险行为进行评估。

三、方法选择及其模型构建

(一) 方法选择

贝叶斯网络是贝叶斯规则的拓展,是一种概率专家系统,可运用通过定性方法得出的贝叶斯网络结构和通过定量方法确定的参数对农业生产者农药施用行为风险因素及其影响大小进行不确定性推理计算。贝叶斯网络推理可充分利用变量之间的条件独立信息提高分析、计算问题的效率(王双成,2010)。贝叶斯网络分类器可利用已分类完成的风险评估数据集进行训练,从而优化分类器自身,再利用优化的分类器对未分类的农业生产者施药行为数据进行分类验证,但其训练需要大量数据、泛化能力差、参数运算复杂程度高。因此,对农业生产者农药施用行为的风险评估选用了简单、高效、泛化能力良好的朴素贝叶斯分类器进行分析,从而可以很好地保持最大概率值的特征,具有较高的分类准确性。

在农业生产者农药施用行为风险评估的以往研究中,对样本数据大多要求正态分布,虽然能在一定程度上反映风险因素,但由于统计数据不能完全满足研究分析的需要,分析结果或出现较大偏差,导致研究结论可靠性不足。而贝叶斯网络是一种可视化的概率知识表达与推理模型,对样本数据的分布形态并没有特殊要求。另外,样本数据的收集与分析过程中总是存在着一些不可避免的不确定性因素,如陈述性偏好(SP)数据中的意向与样本结果不一致、数据失真、数据缺失等。贝叶斯模型能够将知识表示与知识推理相结合、将先验知识与样本信息相结合,对不确定性数据的处理较之其他研究模型具有较强优势。

贝叶斯规则主要描述了农业生产者农药施用行为风险评估的先验概率、条件独立概率

和后验概率之间的关系。贝叶斯公式如(1)式所示:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

在农业生产者施药行为风险评估数据分类的应用中, $P(A)$ 为农业生产者施药行为的先验概率; $P(B)$ 为农业生产者施药行为样本数据的基础概率,也作归一化因子; $P(B|A)$ 是未分类农业生产者施药行为样本数据 B 的似然函数; $P(A|B)$ 是 B 发生条件下 A 发生的概率,也作后验概率。简言之,贝叶斯公式通过计算农业生产者施药行为未知分类数据的条件概率分布,从而实现对农业生产者农药施用行为风险评估数据的贝叶斯统计推断。

(二) 模型构建

根据上述农业生产者农药施用行为风险因素和农业生产者农药施用风险行为的识别, A 表示农业生产者农药施用风险行为, B 表示农业生产者农药施用行为风险因素,农业生产者施药行为风险评估的贝叶斯公式为:

$$P(A|B) = \frac{P(A)P(B|A)}{\sum_{i=1}^n B_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$P(A_j|B_i) = \frac{P(A_j)P(B_i|A_j)}{\sum_{i=1}^{10} B_i} \quad (i = 1, 2, \dots, 10; j = 1, 2, 3, 4) \quad (3)$$

(3)式中; $j=1$ 时,表示评估农业生产者是否施用农药的风险因素; $j=2$ 时,表示评估农业生产者是否考虑农药施用的风险因素; $j=3$ 时,表示评估农业生产者是否在意农产品农药残留的风险因素; $j=4$ 时,表示评估农业生产者是否会过量使用农药的风险因素。

四、数据来源及其特征分析

围绕农业生产者农药施用风险行为以及农业生产者农药施用行为的因素,本文选取2013年986组调研数据进行实证分析。该调研采用分区域与分类别相结合、分层设计与随机抽样相结合的方法,围绕农业生产者行为认知对农产品安全状况,特别是对农药施用风险的影响状况进行调查。首先选取河南、山东、江苏、浙江、黑龙江五个典型农业生产省份作为第一阶段抽样地区,从每个省份选取4个具有代表性的农业生产县(市、区)作为第二阶段的抽样地区,最后从每一个县(市)选择平均收入很高、较高、中等、较低、很低的5个主要行政村作为第三阶段的抽样地区,共对全国100个行政村986个农业生产者进行了调查。调查中共发放问卷1000份(山东省190份,河南省200份,江苏省200份,浙江省200份,黑龙江省210份),回收问卷993份,剔除无效问卷7份,得到有效问卷986份。

综合已有研究成果,并考虑到指标选取的全面性、可操作性和量化性相结合,构成农业生产者农药施用行为风险影响因素与农业生产者农药施用的风险行为如表1所示。

从农业生产者个人特征来看,被调查农业生产者的年龄与受教育程度情况基本符合正态分布,被调查者90%以上为已婚,近70%有过打工经历。从农业生产者生产特征来看,农业生产者所生产的农产品预售价多为上涨或上下波动,纯农户与农业兼营户所占比重差异极小。样本中农业生产者的生产规模平均分布于从1~2亩至6亩以上的四个分段中,但拥有3~6亩农业生产土地的农业生产者相对较多,样本中农业生产收入占家庭总收入50%以

下的农业生产者占九成以上。

表 1 农业生产者农药施用行为风险因素及风险行为的评估参数

变量类别	变量编号	变量	评估参数	频数	频率
风险因素	B1	年龄	<18	9	0.91%
			18-25	75	7.61%
			26-45	351	35.60%
			45-60	410	41.58%
			>60	141	14.30%
	B2	婚姻状况	未婚	55	5.58%
			已婚	931	94.42%
	B3	受教育程度	小学及以下	295	29.92%
			初中	483	48.99%
			高中	153	15.52%
			大专	26	2.64%
			本科及以上	29	2.93%
	B4	打工经历	打工	689	69.88%
			没有打工	297	30.12%
	B5	农产品预售价	上涨	347	35.19%
			下跌	167	16.94%
			来回涨跌	340	34.48%
			基本没变	132	13.39%
	B6	农业生产经营类型	纯农业生产者	489	49.59%
			农业兼营户	497	50.41%
	B7	农业生产土地规模	1~2 亩	201	20.39%
			2~3 亩	252	25.56%
			3~6 亩	287	29.11%
			6 亩以上	246	24.94%
	B8	农业生产收入占总收入比例	<20%	371	37.64%
			21%~30%	171	17.34%
			31%~40%	107	10.85%
			41%~50%	95	9.63%
			51%~60%	73	7.40%
			>60%	169	17.14%
	B9	农产品主要用途	满足家庭需要	291	29.52%
			进入市场	129	13.08%
			两者皆有	566	57.40%
	B10	农药价格	非常低	44	4.46%
			偏低	69	7.00%
			适中	637	64.60%
			偏高	201	20.39%
			非常高	35	3.55%

五、实证结果分析

对数据进行处理,对于缺失数据,研究采用热卡插补法和均值插补法进行预处理^①,之后应用 Matlab 软件进行建模,得出先验概率如表 2 所示。

①热卡插补法:在数据库中找到一个与存在缺失值最相似的样本对象,用这个相似对象的对应值来进行填充。如果该最相似样本对象也存在同样的缺失值,则采取均值插补法,即根据众数原理,用该变量在其他所有对象的取值次数最多的值补齐该缺失。

表 2 农业生产者农药施用风险行为的先验概率

变量编号	变量	参数编号	评估参数	概率
A1	是否施用农药	A11	会	0.9434
		A12	不会	0.0566
A2	是否考虑农药安全间隔期	A21	完全不	0.0627
		A22	很少	0.1241
		A23	偶尔	0.2009
		A24	经常	0.3747
		A25	一定	0.2376
A3	对农产品农药残留的态度	A31	完全不	0.0247
		A32	很少	0.1649
		A33	偶尔	0.2945
		A34	经常	0.4264
		A35	一定	0.0895
A4	是否会过量使用农药	A41	完全不	0.0802
		A42	很少	0.2936
		A43	偶尔	0.3656
		A44	经常	0.2335
		A45	一定	0.0271

计算农业生产者农药施用行为风险的条件概率,即分别计算农业生产者施用农药与否条件下,农业生产者农药施用行为风险因素的概率分布(见表3);农业生产者考虑农药安全间隔期与否条件下,农业生产者农药施用行为风险因素的概率分布(见表4);农业生产者对农产品农药残留态度不同的情况下,农业生产者农药施用行为风险因素的概率分布(见表5);农业生产者过量使用农药与否条件下,农业生产者农药施用行为风险因素的概率分布(见表6)。利用朴素贝叶斯公式求出农业生产者农药施用行为风险的后验概率。

表3中数据体现出对施药和不施药两种农业生产者的特征可能出现的概率,以此来反映施药农业生产者与不施药农业生产者群体的差异性特征。数据显示,施用农药概率较大的多为26~59周岁的农业生产者、已婚农业生产者以及没有打工经历的农业生产者,而农业生产者生产特征因素在农业生产者施药与否条件下对农业生产者施药风险的影响并不十分明显。

表 3 农业生产者施药与否条件下风险因素的条件概率

变量编号	变量	参数编号	评估参数	P(Bi A11)	P(Bi A12)
B1	年龄	B11	<18	0.0088	0.0209
		B12	18~25	0.0838	0.1458
		B13	26~45	0.3812	0.3333
		B14	45~60	0.3912	0.3333
		B15	>60	0.1350	0.1667
B2	婚姻状况	B21	未婚	0.0625	0.1042
		B22	已婚	0.9375	0.8958
B3	教育程度	B31	小学及以下	0.2913	0.2292
		B32	初中	0.4913	0.5208
		B33	高中	0.1550	0.1667
		B34	大专	0.0274	0.0625
		B35	本科及以上	0.0350	0.0208
B4	打工经历	B41	打工	0.3100	0.4167
		B42	没有打工	0.6900	0.5833
B5	产品预售价	B51	上涨	0.3375	0.2708
		B52	下跌	0.1425	0.3958
		B53	来回涨跌	0.3713	0.2500
		B54	基本没变	0.1487	0.0834

续表 3 农业生产者施药与否条件下风险因素的条件概率

变量编号	变量	参数编号	评估参数	$P(B_i A11)$	$P(B_i A12)$
B6	农业生产经营类型	B61	纯农业生产者	0.4912	0.5000
		B62	农业兼营户	0.5088	0.5000
B7	农业生产土地规模	B71	1~2 亩	0.1913	0.1875
		B72	2~3 亩	0.2750	0.2708
		B73	3~6 亩	0.2637	0.2292
		B74	6 亩以上	0.2700	0.3125
B8	农业生产收入占总收入比例	B81	<20%	0.3538	0.3125
		B82	21%~30%	0.1775	0.1458
		B83	31%~40%	0.0950	0.1875
		B84	41%~50%	0.0938	0.1875
		B85	51%~60%	0.0749	0.0833
		B86	>60%	0.2050	0.0834
B9	农产品主要用途	B91	满足家庭需要	0.2662	0.4167
		B92	进入市场	0.1551	0.2500
		B93	两者皆有	0.5787	0.3333
B10	农药价格	B101	非常低	0.0512	0.1458
		B102	偏低	0.0688	0.1667
		B103	适中	0.6775	0.5833
		B104	偏高	0.1775	0.0625
		B105	非常高	0.0250	0.0417

表 4 表示农业生产者考虑施药安全期频率不同的条件下,农业生产者农药施用行为风险因素的概率分布。农业生产者对于施药安全期有五种程度的行为表现,即完全不考虑(A21)、很少考虑(A22)、偶尔考虑(A23)、经常考虑(A24)和一定会考虑(A25)。表中数据体现出对施药安全期有不同程度考虑农业生产者的特征可能出现的概率,反映出施药安全期不同考虑频率的农业生产者群体间的差异性特征。其中,考虑施药安全期概率较高的农业生产者多为中青年农业生产者和已婚农业生产者;农业生产者考虑施药安全期概率高的条件下,农产品预售价的特征为上涨;农业生产者考虑施药安全期概率低的条件下,农产品用途为流入市场,而农业生产者考虑施药安全期概率高的条件下,农产品主要用于满足家庭需要。

表 4 农业生产者考虑施药安全间隔期条件下风险因素的条件概率

变量编号	变量	参数编号	评估参数	$P(B_i A21)$	$P(B_i A22)$	$P(B_i A23)$	$P(B_i A24)$	$P(B_i A25)$
B1	年龄	B11	<18	0.0565	0.0095	0.0059	0.0031	0.0100
		B12	18~25	0.1698	0.1048	0.1176	0.0757	0.0497
		B13	26~45	0.3208	0.4762	0.3765	0.3565	0.3781
		B14	45~60	0.3774	0.2857	0.3882	0.4101	0.4080
		B15	>60	0.0755	0.1238	0.1118	0.1546	0.1542
B2	婚姻状况	B21	未婚	0.1887	0.0857	0.0647	0.0536	0.0398
		B22	已婚	0.8113	0.9143	0.9353	0.9464	0.9602
B3	受教育程度	B31	小学及以下	0.2453	0.2857	0.2706	0.3312	0.2438
		B32	初中	0.5472	0.4857	0.4824	0.4637	0.5373
		B33	高中	0.0943	0.1429	0.1529	0.1451	0.1990
		B34	大专	0.0189	0.0095	0.0471	0.0379	0.0149
		B35	本科及以上	0.0943	0.0762	0.0470	0.0221	0.0050
B4	打工经历	B41	打工	0.4528	0.3143	0.2941	0.3470	0.2488
		B42	没有打工	0.5472	0.6857	0.7059	0.6530	0.7512
B5	产品预售价	B51	上涨	0.0943	0.1810	0.2765	0.3407	0.5174
		B52	下跌	0.2642	0.2762	0.2118	0.1356	0.0896
		B53	来回涨跌	0.5472	0.3714	0.3706	0.3754	0.2935
		B54	基本没变	0.0943	0.1714	0.1411	0.1483	0.0995

续表 4 农业生产者考虑施药安全间隔期条件下风险因素的条件概率

变量编号	变量	参数编号	评估参数	P(Bi A21)	P(Bi A22)	P(Bi A23)	P(Bi A24)	P(Bi A25)
B6	农业生产 经营类型	B61	纯农业生产者	0.4906	0.6190	0.4647	0.4259	0.5473
		B62	农业兼营户	0.5094	0.3810	0.5353	0.5741	0.4527
B7	农业生产 土地规模	B71	1~2 亩	0.2075	0.1619	0.2059	0.2114	0.1592
		B72	2~3 亩	0.4906	0.2286	0.2882	0.3123	0.1741
		B73	3~6 亩	0.1509	0.2381	0.2235	0.2650	0.3284
		B74	6 亩以上	0.1510	0.3714	0.2824	0.2113	0.3383
B8	农业生产 收入占总 收入比例	B81	<20%	0.1887	0.3238	0.4118	0.3849	0.3085
		B82	21%~30%	0.0755	0.1333	0.2235	0.1956	0.1493
		B83	31%~40%	0.0566	0.1143	0.1000	0.1041	0.0995
		B84	41%~50%	0.1887	0.0762	0.0588	0.1199	0.0896
		B85	51%~60%	0.2075	0.0667	0.0530	0.0567	0.0894
		B86	>60%	0.2830	0.2857	0.1529	0.1388	0.2637
B9	农产品主 要用途	B91	满足家庭需要	0.1321	0.2857	0.3118	0.3060	0.2289
		B92	进入市场	0.5283	0.2762	0.1882	0.0946	0.0746
		B93	两者皆有	0.3396	0.4381	0.5000	0.5994	0.6965
B10	农药价格	B101	非常低	0.1131	0.1524	0.0412	0.0410	0.0199
		B102	偏低	0.2642	0.0571	0.0824	0.0599	0.0498
		B103	适中	0.4906	0.6190	0.7059	0.6530	0.7562
		B104	偏高	0.1321	0.1429	0.1529	0.2177	0.1393
		B105	非常高	0.0000	0.0286	0.0176	0.0284	0.0348

表 5 表示农业生产者考虑农产品农药残留程度不同的条件下,农业生产者农药施用行为风险因素的概率分布。农业生产者对于农产品农药残留有完全不注意是否有农药残留至非常注意并尽量减少农药残留五种程度的行为表现。表中数据体现出对农产品农药残留有不同程度考虑农业生产者的特征可能出现的概率,反映农产品农药残留不同考虑程度的农业生产者群体间的差异性特征。其中,农业生产者偶尔、经常和一定会考虑农药残留的条件下,农药价格为适中的概率都在 0.6 以上;而农药价格偏高或非常高的概率不到 0.06,表明农业生产者考虑农产品农药残留不同程度条件下农药价格对其风险的影响较大。

表 5 农业生产者对农药残留态度条件下风险因素的条件概率

变量编号	变量	参数编号	评估参数	P(Bi A31)	P(Bi A32)	P(Bi A33)	P(Bi A34)	P(Bi A35)
B1	年龄	B11	<18	0	0.0215	0.0080	0.0055	0.0132
		B12	18~25	0.0952	0.0714	0.1000	0.0829	0.0921
		B13	26~45	0.3333	0.3429	0.4480	0.3536	0.3421
		B14	45~60	0.3810	0.3571	0.3480	0.4309	0.3684
		B15	>60	0.1905	0.2071	0.0960	0.1271	0.1842
B2	婚姻状况	B21	未婚	0.0952	0.0714	0.0640	0.0663	0.0526
		B22	已婚	0.9048	0.9286	0.9360	0.9337	0.9474
B3	受教育程度	B31	小学及以下	0.3810	0.4429	0.2680	0.2652	0.1579
		B32	初中	0.4286	0.4214	0.5080	0.5166	0.4737
		B33	高中	0.0476	0.1000	0.1440	0.1575	0.3158
		B34	大专	0.0952	0.0071	0.0400	0.0304	0.0131
		B35	本科及以上	0.0476	0.0286	0.0400	0.0303	0.0395
B4	打工经历	B41	打工	0.5714	0.3429	0.3320	0.3039	0.2105
		B42	没有打工	0.4286	0.6571	0.6680	0.6961	0.7895
B5	产品预售价	B51	上涨	0.1428	0.1357	0.2800	0.4309	0.4737
		B52	下跌	0.3810	0.2786	0.1400	0.1492	0.1052
		B53	来回涨跌	0.2857	0.4571	0.4600	0.2873	0.2632
		B54	基本没变	0.1905	0.1286	0.1200	0.1326	0.1579
B6	农业生产 经营类型	B61	纯农业生产者	0.4762	0.5000	0.4600	0.4751	0.6711
		B62	农业兼营户	0.5238	0.5000	0.5400	0.5249	0.3289

续表 5 农业生产者对农药残留态度条件下风险因素的条件概率

变量编号	变量	参数编号	评估参数	P(Bi A31)	P(Bi A32)	P(Bi A33)	P(Bi A34)	P(Bi A35)
B7	农业生产 土地规模	B71	1~2 亩	0.1429	0.1500	0.1760	0.1961	0.3026
		B72	2~3 亩	0.3333	0.3643	0.2960	0.2238	0.2763
		B73	3~6 亩	0.3333	0.1786	0.2560	0.3011	0.2237
		B74	6 亩以上	0.1905	0.3071	0.2720	0.2790	0.1974
B8	农业生产 收入占总 收入比例	B81	<20%	0.3333	0.2643	0.3120	0.3867	0.4738
		B82	21%~30%	0.2381	0.0929	0.2040	0.1878	0.1579
		B83	31%~40%	0.0476	0.1000	0.1600	0.0746	0.0526
		B84	41%~50%	0.1429	0.1071	0.1400	0.0691	0.0789
		B85	51%~60%	0.0952	0.1214	0.0640	0.0691	0.0526
		B86	>60%	0.1429	0.3143	0.1200	0.2127	0.1842
B9	农产品主 要用途	B91	满足家庭需要	0.1905	0.2786	0.2600	0.2514	0.4605
		B92	进入市场	0.2857	0.3000	0.1400	0.0829	0.1184
		B93	两者皆有	0.5238	0.4214	0.6000	0.6657	0.4211
B10	农药价格	B101	非常低	0.0952	0.1214	0.0480	0.0249	0.0263
		B102	偏低	0.3333	0.1000	0.0840	0.0525	0.0263
		B103	适中	0.4287	0.6501	0.7120	0.6822	0.6843
		B104	偏高	0.0952	0.1071	0.1560	0.2017	0.2105
		B105	非常高	0.0476	0.0214	0	0.0387	0.0526

表 6 表示农业生产者过量施用农药频率不同的条件下,农业生产者农药施用行为风险因素的概率分布。农业生产者对于过量施用农药有完全不过量施用农药至一定会过量施用农药五种频率的行为表现。表中数据体现出对农产品农药残留有不同频率施用情况的农业生产者的特征可能出现的概率,反映过量施用农药不同考虑频率的农业生产者个体与农业生产特征。从表中可以看出,在农业生产者过量施用农药不同频率条件下,农业生产者个体特征风险因素以及农产品预售价、农业生产收入比重等生产风险因素的条件概率波动都相对较大。

表 6 农业生产者过量施用农药与否条件下风险因素的条件概率

变量编号	变量	参数编号	评估参数	P(Bi A41)	P(Bi A42)	P(Bi A43)	P(Bi A44)	P(Bi A45)
B1	年龄	B11	<18	0.0147	0.0161	0.0096	0	0
		B12	18~25	0.1029	0.0643	0.1000	0.1010	0
		B13	26~45	0.2647	0.3534	0.3452	0.4950	0.4348
		B14	45~60	0.4559	0.4056	0.3871	0.3232	0.5652
		B15	>60	0.1618	0.1606	0.1581	0.0808	0
B2	婚姻状况	B21	未婚	0.0588	0.0562	0.0742	0.0606	0
		B22	已婚	0.9412	0.9438	0.9258	0.9394	1.0000
B3	受教育程度	B31	小学及以下	0.2353	0.2851	0.2935	0.2980	0.3043
		B32	初中	0.4706	0.5101	0.4613	0.5354	0.4348
		B33	高中	0.2059	0.1566	0.1774	0.0960	0.2174
		B34	大专	0.0588	0.0161	0.0226	0.0455	0.0435
		B35	本科及以上	0.0294	0.0321	0.0452	0.0251	0
B4	打工经历	B41	打工	0.2206	0.2771	0.3484	0.3131	0.4348
		B42	没有打工	0.7794	0.7229	0.6516	0.6869	0.5652
B5	产品预售价	B51	上涨	0.3529	0.4498	0.3258	0.2222	0.2174
		B52	下跌	0.0294	0.1647	0.1581	0.1869	0.1739
		B53	来回涨跌	0.3971	0.2610	0.3742	0.4899	0.4783
		B54	基本没变	0.1608	0.1245	0.1419	0.1010	0.1304
B6	农业生产 经营类型	B61	纯农业生产者	0.3971	0.4779	0.4677	0.5505	0.4348
		B62	农业兼营户	0.6029	0.5221	0.5323	0.4495	0.5652
B7	农业生产 土地规模	B71	1~2 亩	0.2794	0.1807	0.2064	0.1464	0.2174
		B72	2~3 亩	0.2206	0.2450	0.3000	0.2980	0.2174
		B73	3~6 亩	0.2500	0.3012	0.2613	0.2172	0.2609
		B74	6 亩以上	0.2500	0.2731	0.2323	0.3384	0.3043

续表 6 农业生产者过量施用农药与否条件下风险因素的条件概率

变量编号	变量	参数编号	评估参数	$P(B_i A41)$	$P(B_i A42)$	$P(B_i A43)$	$P(B_i A44)$	$P(B_i A45)$
B8	农业生产收入占总收入比例	B81	<20%	0.4560	0.3574	0.3807	0.2727	0.2609
		B82	21%~30%	0.0882	0.1928	0.1645	0.1768	0.3913
		B83	31%~40%	0.0441	0.1044	0.1129	0.1010	0.0435
		B84	41%~50%	0.0882	0.0442	0.0903	0.1869	0.0870
		B85	51%~60%	0.0588	0.0602	0.0871	0.0858	0.0434
		B86	>60%	0.2647	0.2410	0.1645	0.1768	0.1739
B9	农产品主要用途	B91	满足家庭需要	0.3529	0.2691	0.2742	0.2475	0.3478
		B92	进入市场	0.0441	0.1285	0.1452	0.1970	0.1304
		B93	两者皆有	0.6030	0.6024	0.5806	0.5505	0.5128
B10	农药价格	B101	非常低	0.0882	0.0602	0.0387	0.0455	0
		B102	偏低	0.0294	0.0522	0.1032	0.0758	0.0434
		B103	适中	0.5736	0.7109	0.6677	0.6818	0.6522
		B104	偏高	0.2647	0.1486	0.1581	0.1768	0.2609
		B105	非常高	0.0441	0.0281	0.0226	0.0201	0.0435

使用 850 组样本数据对构造出的农业生产者农药施用行为风险朴素贝叶斯评估模型进行训练,用剩余的 136 组数据对评估模型的后验概率进行计算,并对训练后的模型进行验证,得出分析结果如图 1 所示。

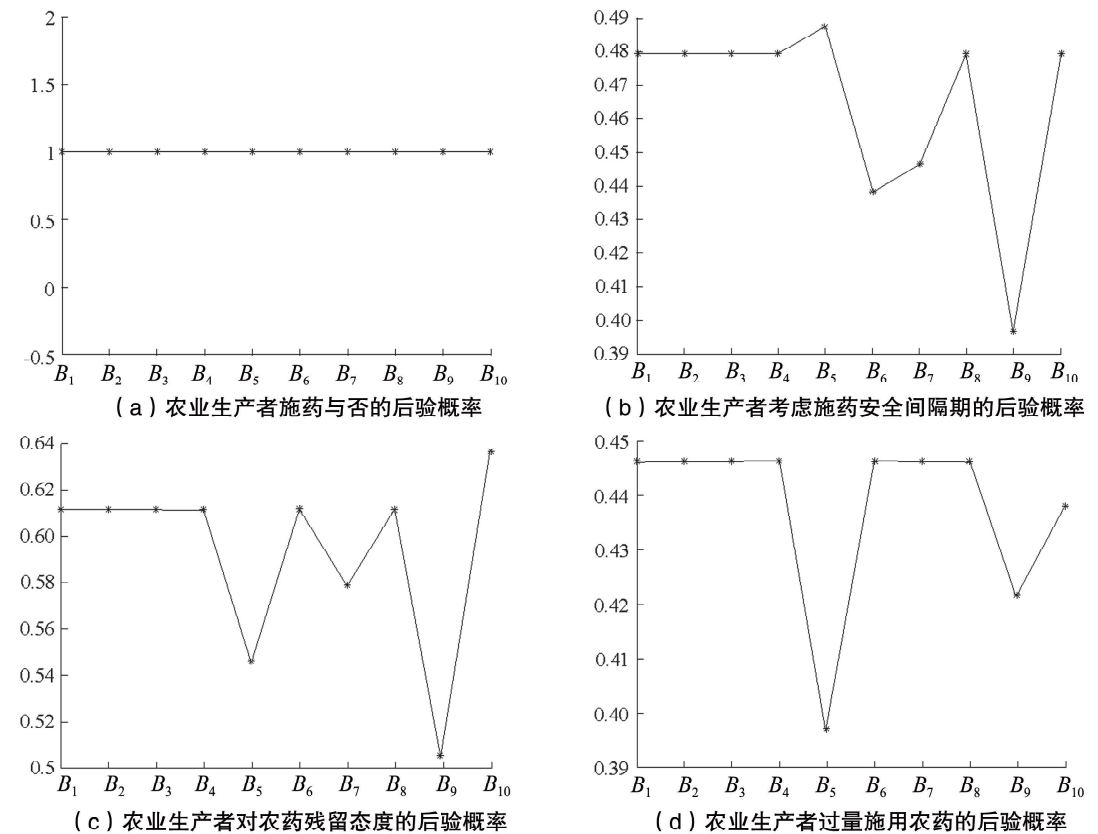


图 1 农业生产者农药施用行为风险的后验概率分析结果

图 1 表示已知农业生产者施药行为风险因素条件下的农业生产者施药行为风险的后验概率。(a)、(b)、(c)、(d) 四幅图中的横坐标均表示 10 个农业生产者施药行为风险因素,纵坐标分别表示农业生产者农药施用行为风险的后验概率值。

图 1(a) 显示在风险因素条件影响下农业生产者施药与否的后验概率。可以看出,在所有 10 个风险因素特征已知的情况下,农业生产者在农业生产中施用农药的概率为 1,而农业生产者不施用农药的可能性几乎为零,意味着农业生产者农药施用行为已经非常普遍,对农业生产者施药行为进行风险评估研究具有较好的现实意义。从图 1(b)、(c)、(d) 看出,农业生产者的年龄(B1)、婚姻状况(B2)、受教育程度(B3)、打工经历(B4)、农业生产收入比例(B8)和农药价格(B10)等因素作用于各农业生产者农药施用行为的风险概率水平较高且较为稳定,表明这些因素对农业生产者农药施用行为风险有较大的影响,是农业生产者农药施用行为风险评估的重要因素。

对比四类农业生产者农药施用行为的风险后验概率图可以看出,农产品预售价(B5)对四种农业生产者农药施用行为风险的影响具有较大差异。农产品预售价影响农户施药间隔期的概率较高,而对于农业生产者农药残留的在意程度和过量使用农药的风险概率较低。农产品预售价因素对农业生产者农药施用行为风险概率影响不一致性的成因可能较为复杂,一方面,由于农产品农药残留量超标等品质指标不合格可能会影响到农产品预售价的降低;另一方面,产品预售价的上涨也可能会引导农业生产者更加重视农产品的各项品质指标合格率,如农产品农药残留量等。

农业生产经营类型(B6)、农业生产土地规模(B7)和农产品主要用途(B9)对四种农业生产者农药施用行为风险的影响有一定差异性,影响机制也比较复杂。从农业生产经营类型来看,纯农户与农业兼营户的农药施用行为可能存在差异。纯农户虽然有更多的时间和精力从事农业生产,农产品农药残留过量等风险发生的概率可能不高,但农业兼营户除农业生产外的生产活动可能带来更多的信息或技术来促进农产品安全生产。农业生产土地规模因素对于农业生产者不在意施药安全间隔期的行为风险概率相对其他因素并不高,但基本稳定在 0.5 左右,对于农业生产者农药施用行为的风险评估具有比较重要的意义。农产品主要用途因素对于农业生产者农药施用的四种行为风险概率皆处于较高水平,主要原因可能是农产品若用于进入市场获得收入,农业生产者更注重增加产量从而频繁施药;若农产品用于满足家庭需要,农业生产者会更注重产品的品质,减少农药残留过量或施用频率过高的行为风险。

六、主要结论与政策建议

(一) 研究结论

本文利用全国 986 个样本数据对建立的朴素贝叶斯网络模型进行训练和验证,从而对农业生产者农药施用行为进行了风险评估。结果表明:不论主要影响因素如何,农业生产者的农药施用行为已经非常普遍,影响农业生产者农药施用行为的风险因素是多方面的;在农业生产者施药行为的风险因素中,农产品主要用途对农业生产者不考虑施药安全间隔期的风险行为影响较大,且农产品主要用途和农产品预售价对农业生产者对于农药残留和农药过量施用的认知存在较大影响。即除农业生产者年龄、婚姻状况、受教育程度、打工经历以及农业生产经营类型、农业生产土地规模外,农产品主要用途和农产品预售价等因素均是导致农业生产者过量施用农药和对农药残留认知不足等行为风险的关键因素。

(二) 政策建议

其一,利用市场机制合理调控农药价格,降低农药施用量。农药价格是造成农业生产者施药风险的重要影响因素,其原因是农业生产者现仍可以较低价格买到高毒、剧毒农药,而

经国家批准使用的农药价格也较为低廉,促使农业生产者为了提高农产品产量而过量施用农药,甚至施用已被国家明令禁止的高毒剧毒农药。若适当提高农药价格,农业生产者可能会考虑到成本的提高而减少农药施用;若高毒剧毒农药的价格高于农业生产者所能接受的价格范围,农业生产中的此类施药风险可能随之降低。对于在生产期间严格遵守施药安全间隔期和施药用量的农产品可给予适当的价格补贴,鼓励农业生产者规范施药行为,从而降低农业生产者农药施用风险,提高农产品质量。

其二,鼓励农业生产者兼业经营,带动农药合理施用。研究结果表明,农业兼营户的发生农药施用风险概率低于纯农户的发生农药施用风险概率。这是因为农业以外的生产活动中得到的经验知识促进了农业生产者在进行农业生产期间更注重合理施用农药,一方面可能是由于所了解到的更广泛的信息使得农业生产者认为安全的农药施用可获得更好的经济效益;另一方面可能由于农业生产者的生产活动提高了其自身素质,促使农业生产者更愿意选择安全的农药施用行为。另外,农业生产与其他模式的生产经营相结合,如近几年兴起的“农家乐”,将农业生产与乡村旅游相结合实现农业生产与餐饮旅游业的内部良性循环,可以创造更好的经济效益。因此,鼓励农业生产者兼营生产,可引导农业生产者合理施用农药,进而可提高农业生产质量。

其三,扩大监管范围,建立公私并举的监管网络。研究发现,农业生产者对满足家庭需要的农产品不当施药的风险明显低于对贸易农产品不当施药的风险。对于满足家庭需要的农产品,农业生产者出于对自身及家庭成员的健康考虑不施用或极少施用农药;而为了提高贸易农产品产量,增加收益,农业生产者在利益的驱使下往往会过量施用农药,较少考虑到农药的施用安全间隔期,可视为农业生产者施用农药的道德风险。有关部门应建立相应的农业生产者农药合理施用激励监管机制,倡导农业生产者的农药施用行为符合国家相关标准,鼓励农业生产者对贸易农产品采取合理施药行为。对农业生产者在保证产量的情况下尽量减少农药施用量或尽量延长施药间隔期的行为给予适当补贴,提高农业生产者对贸易农产品合理施药的积极性,从源头上保证农产品安全,降低农药施用风险。

参考文献:

1. 蔡书凯、李靖,2011:《水稻农药施用强度及其影响因素研究——基于粮食主产区农户调研数据》,《中国农业科学》第11期。
2. 董帮应,2014:《基于规模经营视角的农户经营主体的变迁》,安徽大学博士学位论文。
3. 侯建昀、刘军弟、霍学喜,2014:《区域异质性视角下农户农药施用行为研究——基于非线性面板数据的实证分析》,《华中农业大学学报(社会科学版)》第4期。
4. 黄祖辉、杨进、彭超,2012:《中国农户家庭的劳动供给演变:人口、土地和工资》,《中国人口科学》第6期。
5. 孔祥智、庞晓鹏、马九杰,2005:《西部地区农业技术应用的效果、安全性及影响因素研究》,中国农业出版社。
6. 乔立娟、王健、李兴,2014:《农户农药使用风险认知与规避意愿影响因素分析》,《贵州农业科学》第3期。
7. 童霞、吴林海、山丽杰,2011:《影响农药施用行为的农户特征研究》,《农业技术经济》第11期。
8. 王常伟、顾海英,2013:《市场 VS 政府,什么力量影响了我国菜农农药用量的选择?》,《管理世界》第11期。
9. 王建华、马玉婷、晁慢璐,2014:《农户农药残留认知及其行为意愿影响因素研究——基于全国五省986个农户的调查数据》,《软科学》第9期。
10. 王建华、马玉婷、李俏,2015:《农业生产者农药施用行为选择与农产品安全》,《公共管理学报》第1期。
11. 王建华、马玉婷、王晓莉,2014:《农产品安全生产:农户农药施用知识与技能培训》,《中国人口·资源与环境》第4期。
12. 王双成,2010:《贝叶斯网络学习、推理与应用》,立信会计出版社。
13. 王永强,2012:《苹果种植农户使用农药行为及其控制研究》,西北农林科技大学博士学位论文。
14. 张夕林、丁晓丽、钱允辉,2009:《水稻穗期前后施用农药对稻米中农药残留影响的研究》,《安徽农学通报》第5期。

15. Abhilash, P.C., and N. Singh. 2009. "Pesticide Use and Application; An Indian Scenario." *Journal of Hazardous Materials* 165(1): 1–12.
16. Catherine, E., Le Prevost, J.F. Storm, C.R. Asuaje, C. Arellano, and W.G. Cope. 2014. "Assessing the Effectiveness of the Pesticides and Farmworker Health Toolkit: A Curriculum for Enhancing Farmworkers' Understanding of Pesticide Safety Concepts." *Journal of Agromedicine* 19(2): 96–102.
17. Cheryl, R.D., and M.L. Morris. 2001. "How Does Gender Affect the Adoption of Agricultural Innovations? The Case of Improved Maize Technology in Ghana." *Agricultural Economics* 25(1): 27–29.
18. Elaine, M., and H. Jikun. 2013. "Risk Preferences and Pesticide Use by Cotton Farmers in China." *Journal of Development Economics* 103: 202–215.
19. Isin, S., and I. Yildirim. 2007. "Fruit-growers' Perceptions on the Harmful Effects of Pesticides and Their Reflection on Practices: The Case of Kemalpaşa, Turkey." *Crop Protection* 7: 917–922.
20. Khan, M., H.Z. Mahmood, and C.A. Damalas. 2015. "Pesticide Use and Risk Perceptions among Farmers in the Cotton Belt of Punjab, Pakistan." *Crop Protection* 67: 184–190.
21. Lynn, E., and B. Susan. 2003. "Patterns of Pesticide Use in California and the Implications for Strategies for Reduction of Pesticides." *Annual Review of Phytopathology* 41(4): 351–375.
22. Morris, M.L., and C.R. Doss. 2001. "How Does Gender Affect the Adoption of Agricultural Innovations? The Case of Improved Maize Technology in Ghana." *Agricultural Economics* 25(5): 27–39.
23. Ntow, W.J., H.J. Gijzen, P. Kelderman, and D. Pay. 2006. "Farmer Perceptions and Pesticide Use Practices in Vegetable Production in Ghana." *Pest Management Science* 62(4): 356–365.
24. Polidoro, B.A., R.M. Dahlquist, C. Luisa, M.J. Matthew, E. Somarriba, and B.A. Nilsa. 2008. "Pesticide Application Practices, Pest Knowledge, and Cost – benefits of Plantain Production in the Bribri – Cabécar Indigenous Territories, Costa Rica." *Environmental Research* 108(1): 98–106.
25. Van Asselt, E.D., M.P.M. Meuwissen, and H.J.T. Van der Fels Klerx. 2010. "Selection of Critical Factors for Identifying Emerging Food Safety Risks in Dynamic Food Production Chains." *Food Control* 21(6): 919–926.

Risk Assessment of Agricultural Pesticide Application Based on Bayesian Network

Wang Jianhua^{1,2,3}, Liu Zhuo³ and Pu Xujin³

(1: Jiangsu Food Safety Research Center, Jiangnan University; 2: Synergetic Innovation Center of Food Safety and Nutrition, Jiangnan University; 3: School of Business, Jiangnan University)

Abstract: In order to reasonably reflect risk factors of farmers pesticide behavior and accurately predict the probability of farmers pesticide application behavior, this article identifies the behavior risk factors of farmers pesticides application, based on a naive Bayesian network model. Applying data of 986 samples in China, after training and validating the model, this article calculates the posterior probabilities of farmers pesticides application behavior and assesses risk of this behavior. The results show that almost all of the farmers use pesticides. Given the agricultural production type, agricultural land scale, and products usage, the risk of unplanned spraying intervals probability would be greater. If pre-sale price of products and the pesticides price are established respectively, the fluctuation appears on how farmers mind pesticide residues. Low price of pesticides is the main reason why farmers ignore pesticide residues. In addition, the pre-sale price of agricultural products has a great impact to excessive use of pesticides. Therefore, pesticides application training should be considered. And the authority should guide and encourage farmers using pesticides reasonably. The government should strengthen the proactive regulation and supervision of the agricultural products also.

Keywords: Pesticide Application, Risk Assessment, Bayesian Network

JEL Classification: Q19

(责任编辑:赵锐、彭爽)