

政府介入农业有害生物风险防控的博弈分析

郑思宁 赵家豪

(福建农林大学 公共管理学院, 福州 350002)

摘要 为探究有效防控农业有害生物的思路,从有害生物风险防控主体入手,将政府介入作为研究重点,运用博弈分析方法,探讨政府、外包公司、农户间的利益关系。首先,本研究分别对三方主体的两两博弈行为进行研究;而后,将三方主体置于一个框架进行分析,探究政府介入有害生物风险防控体系的重要性。结果表明:1)非政府参与下,外包公司与农户的调节速度相对较慢,难以达到理想状态,有必要引入政府规制;2)政府可以通过规制手段,补贴或惩罚外包企业,使其形成符合有害生物防控规范的市场行为;3)政府需要通过对农户培训、对生物农药的宣传,提升农户使用现代化防控措施的积极性;4)在三方共同博弈的前提下,各方的防控成本同时下降。最后,本研究提出了完善农业有害生物防控中的政府规制模式的政策建议。

关键词 有害生物风险防控; 政府; 企业; 农户; 博弈

中图分类号 F302.2

文章编号 1007-4333(2021)07-0233-12

文献标志码 A

Game analysis of government intervention in agricultural pest risk prevention and control

ZHENG Sining, ZHAO Jiahao

(College of Public Affairs, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract To provide ideas for the effective prevention and control of agricultural pests, this research starts with the main bodies of pest risk prevention and control, takes government elements as the research focus, and uses game theory to explore the interest relationship between the government, outsourcing companies, and farmers. This research firstly studies the pairwise game behavior of the three bodies and then puts the three bodies into a framework to explore the importance of government intervention in the pest risk prevention and control system. The results show that: 1) With non-government participation, the adjustment speed of outsourcing companies and farmers is relatively slow, and it is difficult to reach the ideal state. It is necessary to introduce government supervision; 2) The government can subsidize or punish outsourcing companies through regulatory means to make them form Market behavior in compliance with pest prevention and control regulations; 3) The government needs to raise farmers' enthusiasm in using modern prevention and control measures through training on farmers and the promotion of biological pesticides; 4) The costs of prevention and control of all parties on the premise of a joint game between the three parties have also fallen. In conclusion, this research puts forward policy recommendations to improve the government regulation model in the prevention and control of agricultural pests.

Keywords pest risk prevention and control; government; enterprise; farmer; game

近年来,随着人口增长、全球气候变化等因素, 沙漠蝗虫灾害等生物灾害深刻影响着全球经济发展
世界生物灾害频发,2020年的人类新冠疫情、非洲 乃至世界格局走向。我国农业病虫害频发,逐年呈

收稿日期: 2020-10-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(71703023,71804024);福建省自然科学基金(面上)项目(2020 J01583);教育部国别和区域研究专项资金(2020-G02);福建省教育科学“十三五”规划年度课题(FJJKCG20-174);福建省科技厅农业引导性(重点)项目(2018 N0070);福建农林大学科技创新专项基金项目(CXZX2019036, CXZX2017373, CXZX2017587)

第一作者: 郑思宁,副教授,主要从事渔业政策与科技管理、环境与生态管理研究, E-mail: sereneman@126.com

快速增长之势。近10年,我国农业有害生物总体处于严重发生状态,2006—2015年各类病虫害年均发生面积在4.6035亿~5.0753亿 hm^2 次,是1980—1989年10年均值的2.84倍,年均损失量高达1.2亿 $\text{t}^{[1-2]}$,影响我国粮食安全。特别近年来,如,2017年的非洲猪瘟^[3]和2020年草地贪夜蛾等严重影响我国农业生产和人们生活水平的提升^[4]。农业有害生物繁殖很快,随着种群的积累,爆发迅速,大部分关键有害生物还有着很强的迁移能力。不仅如此,随着食品安全、环境污染等问题越来越被政府、社会和消费者关注,采用诸如释放寄生蜂、使用生物农药等现代化防控措施势在必行,这就使得对有害生物的“统防统治”尤为重要^[5]。然而据基层工作者的反馈,“统防统治”面临着统一调度和监管困难等问题^[6]。可见,有害生物作为一种公共品,难以完全依靠市场机制防控,政府介入(规制)是必要的^[7-8]。为此,如何让现代化防控措施在农业有害生物风险防控中得以有效应用,构建一个政府、外包公司和农户“三位一体”的有害生物防控体系,成为现阶段我国有害生物风险管理的关键,而政府介入的模式选择则为有害生物防控体系的核心。

自从1972年有害生物综合治理(Integrated pest management, IPM)概念提出以来,不断有研究从经济学角度考察有害生物风险管理的社会化服务问题,并取得了一定的研究进展,认为IPM耗时复杂、农民与农药公司的利益问题、农户自身的价值衡量等问题阻碍着IPM技术的推广^[9-12]。基于此,一些研究认为,有害生物是一种公共品,政府作为介入方研究是新型研究范式^[13],区别于传统以集中阐述有害生物防控专业化组织在防控中发挥作用的地方性治理案例为主的研究范式,新型研究范式其特别之处在于将有害生物防控归为公共服务,强调各组织以政府为统筹核心协调多部门开展有害生物监测、技术指导监督等一系列公共服务。突出了政府的介入性与社会性^[14]。

从防控体系看,我国关于有害生物风险管理的社会学和社会学的研究主要在近十五年陆续展开^[2,15]。曹海林^[16]曾在研究中指出农业的风险已经不仅仅是自然风险,而是农业体制改革中出现的更多的社会风险。因此在防控有害生物的过程中应在社会风险中给予更多的投入^[17-18]。于翔^[19]在对林业有害生物防控中首次提出了要以公共服务防控体制治理有害生物,不断加强政府职能改革。陈华

等^[20]在对消费与市场保险体系的道德风险预防中指出,政府应当介入起到规范,防止消费者产生利益损失而造成逆向选择的情况。基于此,学界的关注点由灾害管理本身转向防控治理体系完善的研究,防控体系的研究多建立在以第三方组织为代表的综合治理框架的构建上,包括非盈利组织^[21-22]和第三方组织^[23-25]的参与路径研究。周利敏^[26]认为现代灾害预防与减少需要政府将减灾手段由结构式转变为非结构式,即通过非工程和非技术层面规划、教育等途径进行减灾。但仅仅依靠非结构式减灾会出现难以预测、成本高等问题,因此复合型减灾是趋势^[27]。

从防控的主体看,随着社会化服务的发展,有害生物防控主体趋于多元化,在有害生物综合治理中外包公司逐渐成为防控的重要参与者。有害生物风险防控的主体由政府日趋转向全主体参与^[28]。这些主体主要包括除政府以外的非盈利组织、外包公司以及农户自身^[29]。有害生物风险属于共担性风险,农户受其自身认知与社会责任选择其风险防控的具体方式^[30]。研究认为,农户对于共担风险的厌恶度并不高。农户家庭通过保险机制进行农业灾害的风险防控^[31-33]。另外,Mengistie等^[34]认为大部分农户在应对风险时往往出于自身利益,只有一部分人会自觉选择降低环境风险的耕作方法,而政府可以通过公共干预手段,引导和激励大部分农户改用生态防控的方法,以降低农药使用量、减少环境污染、实现社会效益最大化。在关于外包公司风险防控的研究上,学者们更加关注的是市场风险的治理。刘圻^[35]提到外包公司风险防控的主途径是规避风险、减少风险、共担风险和接受风险四类。其中,农业保险合作社是防范农业灾害风险的有效组织方式^[36]。储成兵等^[37]就以IPM技术手段的推广与使用采用博弈分析研究,通过收益矩阵最终结果也证实了上述的观点,即在有害生物风险防控的过程中,是否采纳合理的防控措施,起关键作用的是农户自身,农户作为经济人只关注自身利益,对于其滥用药物产生的负外部性几乎漠视。但随着社会发展,农户的认知水准不断提升,简单将农户归为经济人研究显然不符合实际,因此,运用有限理性人的假设将农户认为是愿意为社会效益承担一部分责任,愿意使用新型药剂的主体,最终的研究对象就转变为农户的防控成本确定与如何减少其付出成本。

虽然国内外在灾害防控的问题上有着较多的研

究,但是将政府作为介入主体开展有害生物防控主体间的利益分析以及博弈的量化研究还未见到,本研究的着眼点在于研判政府介入农业有害生物风险管理体系,如何减少投入成本,让现代化防控措施在农村得以有效应用。基于此,本研究对有害生物风险防控中的各方利益进行剥离再结合,区别于传统的博弈研究:第一,作为新型研究范式,本研究尝试性应用博弈的研究方法,试图揭示各主体间的利益关系;第二,通过函数推导,探析主体间的博弈行为,区别于传统博弈,政府作为联系农户和外包公司的中介者起关键的调节作用;第三,研究视角由两两博弈到三方主体共同博弈,全面分析各主体方的利益选择。从而探讨如何实现主体间的利益最优化选择,实现有害生物的可持续防控。

1 非政府参与下农户与外包公司博弈分析

为深入考察政府参与博弈的影响,首先应该将政府主体剔除,单独考察农户与外包公司之间的博弈关系。

1.1 模型假定

外包公司在防控的过程中会存在两种防控策略,积极防控以及消极防控,农户也可以选择接受外

包公司的防控措施,其行为会影响外包公司的防控策略^[38],在模型分析时,提出如下假定:

1)外包公司在提供病虫害防控服务的过程中可以是提供有效的防控措施,以及无效的防控措施,这些措施包括防控人员、技术以及防控药物等;

2)外包公司在博弈的过程中提供的防控措施有效与无效的概率各为 $q, 1-q$ 。农户选择接受和不接受的概率为 $u, 1-u$;

3)若外包公司提供无效措施的成本为 c ,那么提供的措施效益为 0 ,若提供有效的防控措施为成本在原来基础上增加了 b ,为 $c+b$,防控后的效益为 $Z(Z > c+b)$;

4)农户可以根据自己的实际接受外包公司防控,也可以拒绝其提供的防控措施,不接受继而依靠自身能力防控所需要承担的成本为 d ,若接受成本额外需要增加 e ,即 $d+e$;

5)若外包公司提供有效的防控手段,农户接受则外包公司收益为 W_1 ,农户收益为 W_2 ,如果农户不接受外包公司有害生物防控或者外包公司提供的无效的防控措施,则双方收益都为 0 。

为此,根据行为选择构建农户与外包公司的博弈矩阵如表 1 所示:

表 1 非政府参与下农户—外包公司博弈矩阵

Table 1 Farmer-outsourcing company game matrix with non-government participation

外包公司策略 Company strategy	农户策略 Farmer strategy	
	接受概率 u	不接受概率 $1-u$
有效防控概率 q	$e-c-b+\omega_1, Z-e-d+\omega_2$	$-c-d, -d$
无效防控概率 $1-q$	$e-c-b, -e-d$	$-c, -d$

1.2 模型求解

根据表 1 的矩阵,可以设外包公司在进行有效防控时的期望收益为:

$$F_1 = u(W_1 + e - c - b) + (1 - u)(-c - b) \quad (1)$$

提供无效防控的期望收益为:

$$F_2 = u(e - c - b) + (1 - u)(-c),$$

$$\text{那么 } F = qF_1 + (1 - q)F_2 \quad (2)$$

同理农户接受外包公司防控时的期望收益为:

$$G_1 = q(Z - e - d - W_2) + (1 - q)(-e - d) \quad (3)$$

选择不接受外包公司防控时的期望收益:

$$G_2 = q(-d) + (1 - q)(-d);$$

$$G = uG_1 + (1 - u)G_2 \quad (4)$$

外包公司提供有效防控防控的方程为:

$$\frac{\partial F}{\partial q} = q(F_1 - F) = q(1 - q)(uW_1 - b) \quad (5)$$

农户选择接受外包公司提供的有害生物防控的方程为:

$$\frac{\partial G}{\partial u} = u(G_1 - G) = u(1 - u)[q(Z + W_2) - e] \quad (6)$$

1.3 模型分析

对于外包公司来说:

当 $u = \frac{b}{W_1}, \frac{\partial F}{\partial q} = 0$ 时,为稳定状态,外包公司在提供防控措施时,策略不改变。

$u < \frac{b}{W_1}$ 时, $q=0$ 或 $q=1$,当存在部分的外包公司去提供有效的防控服务,此时会有越来越多的外包公司涌入行业提供有效的现代化有害生物防控措施,导致所有外包企业都进行防控。

$u > \frac{b}{W_1}$ 时, $q=0$ 或 $q=1$,此时会有越来越多的外包公司离开行业拒绝提供现代化有害生物防控措施,最终导致所有的外包公司均拒绝提供现代化防控措施。因此农户是否去选择外包公司防控直接影响了企业是否提供有效的防控措施。

同理, $q = \frac{e}{Z+W_2}$ 时,农户保持原来的策略不变, $q > \frac{e}{Z+W_2}$ 时, $u=0$ 或 $u=1$,实际收益会大于期望收益,因此,会有越来越多的农户选择外包公司进行有害生物防控,最终所有的农户都会接受外包公司防控。

$q < \frac{e}{Z+W_2}$ 时,实际收益小于期望收益,因此会有越来越多的农户不选择外包公司进行有害生物防控,最终所有的农户都拒绝接受外包公司防控。

所以结合以上的分析,当 $v > \frac{b}{W_1}$ 时,外包公司提供有效的防控措施 ($q=1$),此时农户应选择接受外包公司提供的防控措施 ($\frac{e}{Z+W_2} < 1 = q$)。此时,外包公司选择提供有效的现代化防控,农户选择接受。

同理当 $v < \frac{b}{W_1}$ 时,外包公司提供的防控手段无效、低效或成本过高 ($q=0$),此时农户选择不接受 ($\frac{e}{Z+W_2} > 0 = q$)。

1.4 模型讨论

根据以上分析可知:

第一,在政府不介入的情况下,农户与外包企业在防控措施中有两种平衡策略(外包公司有效现代化防控,农户接受;外包公司无效、低效或成本过高防控,农户不接受);

第二,当外包公司有效的进行防控且农户接受时,社会总收益大于外包公司的防控成本;当外包公司选择现代化防控,并且农户不接受时,双方的收益为0,社会总收益为负;

第三,应该最大化的促进外包公司与农户的合作,提升有害生物防控效率,降低农业病虫害防控成本,实现帕累托最优以及社会效益最大化。

可见,在非政府参与的纯市场经济模型下分析农户与外包公司的博弈可以发现,要达到外包公司进行有效防控且农户接受外包公司的防控措施的积极状态,需要实现外包公司与农户的总收益提升,同时降低防控投入成本,关键点是需要外包公司主动提高防控效率。在此博弈方式下,双方的调节速度相对较慢,因为技术进步使得成本降低,再到农户接受需要一个过程。为此,政府作为调节主体的介入是必要的。

2 政府与外包公司的博弈

政府对于外包公司的规制行为包括:1)惩罚外包公司传统的不良防控行为;2)补贴外包公司现代化的有害生物风险防控行为(即,约束性规制和激励性规制)^[39]。这是两种截然相反的行为,涉及到规制的复杂性,其规制成本随着手段的不同而产生差异,期望收益也随之改变;另外,值得注意的是,相对于广大农户,政府更易于对公司进行规制。为此,有必要对两种规制行为分开讨论。

2.1 政府约束性规制下政府与外包公司的博弈

2.1.1 模型假定

1)在约束性规制下,政府可以选择是否惩罚外包公司,外包公司可以选择是否积极防控。

2)设政府进行惩罚的概率为 x ,不进行惩罚的概率为 $1-x$ ($0 \leq x \leq 1$),外包公司积极防控的概率为 y ,消极防控的概率为 $1-y$ ($0 \leq y \leq 1$);

3)设政府约束性规制的成本为 C_1 、罚款为 F ;外包公司积极防控的成本为 C_2 ,收益为 S_1 ,不积极防控的声誉损失为 R_2 ;

4)若政府没有对消极防控行为进行惩罚而导致政府声誉败坏从而造成损失为 R_1 。

为此,根据行为选择构建政府惩罚下政府—外包公司博弈矩阵(表2):

2.1.2 模型求解

根据表1的博弈矩阵,设外包公司的期望收益为 $E_{外}$,政府的期望效用为 $E_{政}$:

表 2 政府约束性规制下政府—外包公司博弈矩阵

Table 2 Government-outsourcing company game matrix under government punishment

外包公司策略 Company strategy Item	政府策略 Government strategy	
	惩罚概率 x	不惩罚概率 $1-x$
积极防控概率 y	$-C_2 + S_1 - F, -C_1 + F$	$-C_2 + S_1, -C_1$
消极防控概率 $1-y$	$-R_2 - F, F - C_1$	$-R_2, -R_1 - C_1$

$$E_{外} = y[x(-C_2 + S_1 - F) + (1-x)(-C_2 + S_1)] + (1-y)[x(-R_2 - F) + (1-x)(-R_2)] \quad (7)$$

$$E_{政} = x[y(-C_1 + F) + (1-y)(F - C_1)] + (1-x)[y \times (-C_1) + (1-y)(-R_1 - C_1)] \quad (8)$$

对 x 与 y 求偏导,令偏导为 0,得:

$$\frac{\partial E_{政}}{\partial x} = S_1 - C_2 - F + R_2 + yF = 0;$$

$$\frac{\partial E_{外}}{\partial y} = F - C_1 + R_2 + xF = 0 \quad (9)$$

$$x' = \frac{C_2 - S_1 - R_2}{F + R_1}; y' = \frac{F - C_1 + R_1}{F + R_1} \quad (10)$$

式(10)中: x', y' 为政府与外包公司的各自纳什均衡策略。

2.1.3 模型分析

第一:当政府采取惩罚措施的概率大于 x' 时,外包公司会积极进行防控,反之则消极防控。

第二:当外包公司不积极防控的概率大于 y' 时,政府会采取不惩罚措施,反之则采取惩罚措施。

第三:处在纳什均衡解上时,政府和外包公司采取任何一种策略的效果都一样。对于 x' 来说,政府

惩罚力度越大,外包公司进行有害生物防控的收益越高,外包公司进行有害生物防控的积极性就越强;对于 y' 来说,政府罚款所得和声誉提升的综合效益越大、规制成本越小,政府采取约束性规制措施的积极性就越强。

2.2 政府激励性规制下政府与外包公司的博弈

2.2.1 模型假定

1)在激励性规制下,政府可以选择是否补贴外包公司,外包公司可以选择是否积极防控。

2)设政府进行补贴外包公司的概率为 a ,不进行补贴的概率为 $1-a(0 \leq a \leq 1)$,外包公司积极防控的概率为 b ,消极防控的概率为 $1-b(0 \leq b \leq 1)$;

3)设政府补贴外包公司中的规制成本仍为 C_1 ;外包公司积极防控的成本为 C_2 ,外包公司的收益为 S_1 ,政府补贴为 S_2 ;

4)若政府不对外包公司消极防控行为进行规制而导致政府声誉造成损失为 R_1 ,外包公司不积极防控外包公司的声誉损失 R_2 。

为此,根据行为选择,构建政府补贴下政府—外包公司博弈矩阵(表 3):

表 3 政府激励性规制下政府—外包公司博弈矩阵

Table 3 Government-outsourcing company game matrix under government subsidies

外包公司策略 Company strategy	政府策略 Government strategy	
	补贴概率 a	不补贴概率 $1-a$
积极防控概率 b	$-C_2 + S_1 + S_2, -C_1 - S_2$	$-C_2 + S_1, -C_1$
消极防控概率 $1-b$	$-R_2 + S_2, -C_1 - S_2$	$-R_2, -R_1 - C_1$

2.2.2 模型求解

根据表 3 的矩阵,可以推导出政府激励性规制视角下,政府—外包公司博弈模型:

$$E_{外} = b[a(-C_2 + S_1 + S_2) + (1-a)(-C_2 + S_1)] + (1-b)[a(-R_2 + S_2) + (1-a)(-R_2)] \quad (11)$$

$$E_{政} = a[b(-C_1 - S_2) + (1-b)(-C_1)] + (1-a)[b \times (-R_2) + (1-b)(-R_1 - C_1)] \quad (12)$$

同理对 a, b 求偏导,并令偏导数为 0,得:

$$\frac{\partial E_{政}}{\partial a} = bS_2 - C_2 + S_2 + R_2 = 0;$$

$$\frac{\partial E_{外}}{\partial b} = -aS_2 - C_1 + aR_1 + R_1 = 0 \quad (13)$$

$$a' = \frac{R_1 - C_1}{R_1 + S_2}; b' = \frac{C_2 - S_1 - R_2}{S_2} \quad (14)$$

2.2.3 模型分析

第一:当政府采取补贴措施的概率大于 a' 时,外包公司会进行积极防控,反之则消极防控。

第二:当外包公司不积极防控的概率大于 b' 时,政府不选择采取补贴措施,反之则采取补贴措施。

第三:在纳什均衡时,政府和外包公司采取任何一种策略的效果均相同。对于 a' 来说,政府补贴力度越大、外包公司进行有害生物防控的收益越高,外包公司进行有害生物防控积极性就越强;对于 b' 来说,政府补贴所得的公众认知的综合效益越大、规制成本越小,政府采取补贴措施的积极性就越高。

2.3 讨论

在上述政府与外包公司的博弈过程中,政府作为规制者对外包公司实施相应的惩罚与补贴措施(即,约束性规制和引导性规制),政府是否补贴与惩罚均取决于外包公司是否采取积极措施帮助农户获得理想收益。为此,政府需要在初期对外包公司的行为进行一系列的规制措施,补贴外包公司使用新技术,并约束其不规范防控行为,从而降低 x' 、 a' ,提升 y' 、 b' 的值。在期望收益相对平衡时,逐步减少规制,形成良好的防控局面。

3 政府与农户的博弈

政府与农户在进行有害生物防控的合作中,政府是有害生物防控的主体,而农户属于有害生物防控的受益者,实际调研中发现政府会选择的规制行为包括:1)推广现代化防控措施的技术培训(引导性规制)^[40-41];2)通过惩罚等措施(约束性规制)约束农户的施药行为。然而调研中发现,由于农户数量众

多,政府约束性规制的成本太大,为此,政府大多采取推广现代化防控措施的技术培训等引导性规制手段,在此过程中,农户可以决定是否需要政府的帮助使用新型生物农药与新施药技术等现代化防控措施。此外,需要说明的是,在政府与农户博弈行为的研究中,由于农户数量众多,政府只需统一对农户的行为进行规制,其付出成本可以在一个博弈框架中进行研究,该部分研究也为政府、外包公司和农户的三方博弈分析框架提供基础。基于以上原因,故可以将技术培训和惩罚两种规制方式合并研究。

3.1 模型假定

1) 博弈双方为农户(P)与地方政府(G);且双方处于完全信息状态下,其策略选择分别为:农户策略集: $S_f = \{\text{使用新技术, 不使用新技术}\}$; 地方政府策略集: $S_g = \{\text{规制, 不规制}\}$, 各概率与前述设置相似;

2) 农户的传统的防控成本为 C_1 , 假设其所获的收益为 R_{pt} ; 此外, 为鼓励农户放弃使用传统防控行为, 生物技术厂商往往会让利给农户, 农户这部分所获收益为 R_{png} , 同时, 农户从有害生物风险防控中还将得到部分收益 R_{pnm} , 但农户为此需支成本 C_{pn} ; 而滥用传统农药一旦被查获, 所付出成本为 M_p , 显然: $M_p \geq R_{pt} \geq 0, C_1 < C_{pn}$;

3) 对地方政府而言, 无论是否使用现代化防控措施, 都要付出规制成本 C_g ; 同时, 如果地方政府规制不力, 还会受到上级部门的处罚以及名誉损失, 假设其货币化成本为 F_{gn} ; 农户所缴罚款 M_p 应成为地方政府的收益。基于以上假设, 可以得到农户与地方政府博弈的支付矩阵。

为此, 在参考现有研究的基础上^[42], 本研究构建政府规制下政府—农户博弈矩阵(表4):

表4 政府—农户博弈矩阵

Table 4 Government-farmer game matrix

农户策略 Farmer strategy	政府策略 Government strategy	
	规制概率 q	不规制概率 $1-q$
不使用概率 p	$R_{pt} - C_1 - M_p, M_p - C_g$	$R_{pt} - C_1, -F_{gn}$
使用概率 $1-p$	$(R_{png} + R_{pnm}) - C_{pn}, -C_g$	$(R_{png} + R_{pnm}) - C_{pn}, -F_{gn}$

3.2 模型求解

因此, 农户的期望收益函数为:

$$E_p = p[q(R_{pt} - M_p) + (1-q)(R_{pt} - C_1)] +$$

$$(1-p)\{q[(R_{png} + R_{pnm}) - C_{pn}] + (1-q)[(R_{png} + R_{pnm}) - C_{pn}]\} \quad (15)$$

同样, 政府的期望收益函数为:

$$Eg = q[p(Mp - Cg) + (1 - p)(-Cg)] + (1 - q)\{p[-(Fgn)] + (1 - p)(-Fgn)\} \quad (16)$$

在式(15)和(16)中分别对 p 及 q 求偏导并令求导结果为零,得到最优解,有如下结果:

$$q^* = \frac{Rpt - C_1 - (Rpng + Rpnm - Cpn)}{Mp} \quad (17)$$

$$p^* = \frac{Cg - Fgnx}{Mp} \quad (18)$$

则此时的混合纳什均衡为:

$$D =$$

$$\left(\frac{Cg - Fgn}{Mp}, \frac{Rpt - C_1 - (Rpng + Rpnm - Cpn)}{Mp} \right) \quad (19)$$

3.3 模型分析

由上述结果可以看出当 $Rpt - C_1 - (Rpng + Rpnm - Cpn) > 0$ 时,即农户使用现代化防控措施所获收益不足以弥补使用传统防控措施所获收益时,无论政府采取何种措施严格管理,农户仍然会选择使用传统防控措施;只有当 $Rpt - C_1 - (Rpng + Rpnm - Cpn) < 0$ 时,即农户使用现代化防控措施所获收益大于使用传统防控措施所获收益时,农户才会选择现代化措施,而不论政府是否规制。由式(19)可知,为使 $Rpt - C_1 - (Rpng + Rpnm - Cpn) < 0$,则有:

$$Cpn < (Rpng + Rpnm) - (Rpt - C_1) \quad (20)$$

农户可接受的放弃传统的成本 Cpn 必须小于使用现代化防控措施所得收益 $(Rpng + Rpnm)$ 与直接使用传统防控措施 $Rpt - C_1$ 收益的差额,此即为农户放弃传统防控措施所能够承受的成本上限。从式(20)可知,为了让农户提高主动放弃传统防控措施的概率,应让农户从使用新型防控措施中尽可能多的获取到利润,由此将更可能满足式(20)的要求。

3.4 模型讨论

由以上分析可知:

1)为了达到政府农户全部使用使用传统防控措施的目的,在博弈的过程中,政府需足够的资金对农户进行规制,但由于农户数量众多,政府会陷入财政赤字,为此,现实中,政府通常采取对农户进行定期集中培训的方式进行引导性规制。

2)为了使政府减少规制成本,并达到农户自愿使用新型生物农药的目的,即 $Rpt - C_1 - (Rpng + Rpnm - Cpn) < 0$,需要在政府培训费用固定的前

提下,提升 $Rpnm$,即提升农户使用生物农药防控有害生物所带来的收益。

4 基于政府、外包公司和农户的三方博弈

经过以上分析可以看出,在有害生物风险防控问题上,如果作为主导方的政府采取措施得当,是有可能形成农户、企业以及政府三方进行合作博弈局面的,而此三方合作博弈能否形成稳定的局面涉及其成本利益的均衡分配。

4.1 模型设定

在三方共同博弈的基础上,作如下假设:农户、外包公司、政府三方就有害生物风险防控问题形成一个集合 $N = \{1, 2, 3\}$; N 的非空子集 $S (S \in N)$ 为联盟, N 为总体联盟(三方同时参与),空集记作 φ 。按照合作博弈的基本要求,有如下关系:

1) $V(\varphi)$, 即没有任何局中人的联盟收入为 0;

2) $V(N) \leq \sum_{i \in N} V_i$, V 为特征函数(此处为成本);

3)此博弈记作 $G = [N, V]$ 。三方合作博弈 $G = [N, V]$ 的特征函数如下:

$$V(\varphi) \quad (21)$$

$$V(P) = Cp; V(E) = Ce; V(G) = Cg \quad (22)$$

$$V(P, E) = Cpe; V(P, G) = Cpg; V(E, G) = Ceg \quad (23)$$

$$V(N) = Cn \quad (24)$$

式(22)~(24)中: $V(P)$ 、 $V(E)$ 、 $V(G)$ 分别为农户、外包公司、政府独立进行有害生物风险防控所付出的成本; $V(P, G)$ 为农户与外包公司合作使用其提供的现代化防控措施所付出的成本, $V(P, G)$ 为农户与政府合作所付出成本, $V(E, G)$ 为企业与政府合作所付出成本; $V(N)$ 为三方合作进行有害生物风险防控所付出成本。上述成本之间的数量关系满足关系(16)的要求,三方进行合作博弈。

4.2 模型求解

显然,满足关系(2)的成本分配方案不唯一,为后续讨论方便,此处采用 Shapley 方法进行求解,以求出该博弈 $G = [N, V]$ 的 Shapley 值。按照 Shapley 方法,任一局中主体 i 在该博弈的各分配方案中的平均边际贡献为:

$$\varphi_i(v) = \frac{\sum_{s \in N} (n - |S|)! (|S| - 1)! [v(S) - v(S \setminus \{i\})]}{n!} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (25)$$

其中 $|S|$ 表示联盟 S 中具有局中主体的个数, $(n-|S|)!$ 表示联盟的排列个数, $(|S|-1)!$ 表示不包含局中主体的联盟个数, $n!$ 表示 n 个局中主体可形成的排列个数, $v(S) - v(S \setminus i)$ 表示局中主体 i 对联盟的边际贡献。将式(21)~(24)代入式(25), 有农户、外包公司以及政府三方主体就有害生物防控的成本分配方案:

农户承担成本:

$$\underline{p}(v) = \frac{2Cp + (Cpe - Ce) + (Cpg - Cg) + 2(Cn - Ceg)}{6} \quad (26)$$

外包公司承担成本:

$$\underline{e}(v) = \frac{2Ce + (Cpe - Cp) + (Ceg - Cg) + 2(Cn - Cpg)}{6} \quad (27)$$

政府承担成本:

$$\underline{g}(v) = \frac{2Cg + (Cpg - Cp) + (Ceg - Ce) + 2(Cn - Cpe)}{6} \quad (28)$$

4.3 模型分析

由于条件 $V(N) \leq \sum_{i \in N} V(i)$ 的存在, 式(12)中, $Cpe - Ce$ 、 $Cpg - Cg$ 以及 $Cn - Ceg$ 均小于0, 由此可看出, 在三方博弈的前提下, 农户所承担的有害生物防控的成本将大幅下降为不足原来自己进行防控的1/3。同样, 由式(27)和(28)可看出, 外包公司与政府所承担成本也同样下降为原来的1/3, 这显然是一个多赢的局面。

4.4 模型讨论

通过上面的分析可知, 政府、外包公司以及农户三方进行博弈后, 各方在防控成本上均大幅下降。但最终能否政府趋近于不监督, 农户主动使用现代化防控措施, 其关键点仍然是保证农户所承担成本必须小于使用现代化防控措施所得收益 ($R_{png} + R_{pnm}$) 与使用传统防控措施所得收益 $R_{pt} - C_1$ 的差额。为此, 在现代化防控措施使用的过程中, 中间的成本来源于农户的学习成本, 因此, 作为新技术的推广方政府规制部门, 可以利用外包公司的媒介作用, 主动对农户进行使用生物农药等现代化防控措施的推广、教育与培训。这与曹峥林^[43]的研究相符。

5 结论与对策

5.1 主要结论

本研究的视角聚焦于政府对有害生物风险防控起的调节作用, 得出以下结论:

1) 在政府不参与的情况下, 农户与外包公司博弈的关键点在于需要外包公司主动提高防控效率; 这种情况下, 农户与外包公司的调节速度相对较慢, 缺乏调节主体。

2) 政府与外包企业博弈过程中, 政府在初期可以通过规制手段, 补贴或惩罚外包企业, 使其形成符合现代化有害生物防控规范的市场行为。

3) 政府与农户博弈过程中, 为了达到农户使用新型防控技术的目的, 政府需要不断投入规制成本, 政府负担不断加剧, 农户在收益得不到明显提升的情况下, 会无视政府的规制措施。

4) 由政府、外包公司、农户的三方博弈可知, 三方进行博弈后, 各方在防控成本上均大幅下降; 农户是否会真正采用生物农药技术完全取决于农户所使用该防控方式的成本与收益, 若农户采用现代化防控措施所带来的收益大于使用传统农药所带来的收益, 农户会转向使用新型防控技术, 形成三方合作共赢的状态。

5.2 对策建议

基于以上结论, 提出如下几点对策建议:

第一, 政府同时使用激励和惩罚的措施规制病虫害外包公司

外包公司的行为监督以及效果评测是政府工作的重中之重。研究的结果表明, 政府可以同时采用补贴和惩罚的激励性和约束性措施来规制病虫害外包公司, 使其在初期就符合有害生物防控规范的市场行为。为此, 政府需要发挥“守夜人”的角色^[44]。优化政府监督体系, 大力保障外包公司提供服务的优质性, 对于考核不达标的外包公司, 采取限期整改, 罚款等措施, 更严重者可给予吊销市场准入资格的处罚, 公开曝光违规企业, 使其社会声誉下降。形成强有力的政治保障措施。另外, 放宽市场准入资格, 通过税收以及奖励启动金等补贴激励措施, 鼓励更多的外包公司进入市场, 增加外包公司的收益,

调动有害生物风险防控的积极性。

第二,加大农户施药技术的教育和培训

研究表明,由于农户在防控过程中缺乏相应的经验与知识储备,农户的教育问题成为博弈中最大的成本。大量的文献以及实证表明,政府对农户进行防控资金补贴时农户会继续选择加大传统化学农药的滥用,鲜有寻求新的防控途径,这对于虫害风险防控极为不利^[45]。因此政府应该将资金使用的重点放在现代化防控措施的宣传,可成立专门的宣传小组,定期走访虫害严重的地区,制作宣传海报,发放科普书籍,并结合农户科普宣讲、新技术培训等实质性措施。在进行教育的过程中,政府补贴可以实质性的用于农户的误工费补贴上,为农户教育顺利开展做好保障。不管政府是被动提供防控技术还是主动提供防控技术,最终在博弈过程中都会主动提供新型防控技术,从而实现政府效益最大化,最终农户的效益也会达到最大化,达到双方最优。

第三,建立病虫害防治的示范基地、打造病虫害生物防治试点

研究结果表明,在现代化防控措施使用的过程中,中间的成本来源于农户的学习成本。为此,在加强农民培训的同时,可以通过建立农业科研试验基地、示范展示基地以及典型试点主体,开展新型农药与技术示范推广,以点带面,让农户切身感受到新型防治方法带来的效益,完善“农业科研试验基地+区域示范展示基地+基层农技推广站点+新型农业经营主体”的链条式技术推广服务模式。

第四,加大农产品品牌建设和农产品溯源制度、提高农产品价格

研究结果表明,农户主动使用现代化防控措施,其关键点仍然是保证农户所承担成本必须小于使用现代化防控措施所得收益与使用传统防控所得收益的差额。并且政府的引导与惩罚措施在一定的程度上无疑会加大政府的支出成本,且政府对农户的规制成本无法完全抵消农户使用新型防控技术的成本,为此,通过品牌建设和农产品溯源制度的建设可以提高农产品价格,让农户在生产过程中真正感受到使用无公害手段所带来的农作物收益,真正实现治理手段的持续可循环,最大化避免“劣币驱逐良币”的现象。

第五,通过外包公司,实现对农户的培训、服务和监管,以达到有害生物的可持续防控

三方博弈的研究结果表明,政府介入公司与农

户的博弈可大大降低各方成本,提高防控效率。为此,政府可以通过约束性规制规范外包公司的有害生物防控行为,通过对外包公司补贴的方式,提供培训和信息服务平台,加大对广大农户的集中培训和信息服务,达到有害生物的可持续防控。在我国地广人稀的新疆地区,这方面的模式已经相对比较成熟。以昌吉州为例,政府以农机合作社和农药企业为媒介,宣传、培训农户,让农户对有害生物有深刻的认识;通过补贴、鼓励等激励性规制手段,帮助农机合作社和农药企业构建“昌吉州农机合作服务平台”,通过物联网+农机信息化管理服务平台,以农机合作社(企业)为核心、以信息化为手段,在病虫害放生的高峰期集中进行“统防统治”,大大降低了成本、提高了有害生物防控效率,2020年该模式推广面积超过13.34万hm²。

参考文献 References

- [1] 刘万才,刘振东,黄冲,陆明红,刘杰,杨清坡.近10年农作物主要病虫害发生危害情况的统计和分析[J].植物保护,2016,42(5):1-9
Liu W C, Liu Z D, Huang C, Lu M H, Liu J, Yang Q P. Statistics and analysis of crop yield losses caused by main diseases and insect pests in recent 10 year [J]. *Plant Protection*, 2016, 42(5): 1-9 (in Chinese)
- [2] 郑思宁,魏炜,郑逸芳.农业组织与有害生物风险管理研究综述[J].生态学报,2019,39(2):460-473
Zheng S N, Wei W, Zheng Y F. A review of agricultural management organization and harmful organism risk management[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(2): 460-473 (in Chinese)
- [3] 中华人民共和国农业农村部.农业农村部关于印发《2020年全国草地贪夜蛾防控预案》的通知[EB/OL].(2020-02-21)[2020-08-16].http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/202002/t20200221_6337551.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Notice of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs on Printing and Distributing the National Plan for Prevention and Control of *Spodoptera frugiperda* in 2020 [EB/OL]. (2020-02-21)[2020-08-16]. http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/202002/t20200221_6337551.htm (in Chinese)
- [4] 中华人民共和国农业农村部.农业部关于印发《非洲猪瘟疫情应急预案》的通知[EB/OL].(2017-10-20)[2020-08-16].http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/202002/t20200221_6337551.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Notice of the Ministry of Agriculture on Printing and Distributing the "African Swine Fever Epidemic

- Emergency Plan"[EB/OL]. (2017-10-20)[2020-08-16]. http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/202002/t20200221_6337551.htm (in Chinese)
- [5] 郑思宁, 黄居昌, 叶光禄, 陈家骅. 应用寄生蜂和不育雄虫防控田间橘小实蝇[J]. 生态学报, 2013, 33(6): 1784-1790
Zheng S N, Huang J C, Ye G L, Chen J H. The field control of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) with parasitoid and sterile male[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(6): 1784-1790 (in Chinese)
- [6] 张东艳. 大力发展植保合作社是实现统防统治的必由之路. 基层农技推广, 2014, 2(5): 43-44
Zhang D Y. Vigorously developing plant protection cooperatives is the only way to realize the rule of unified defense [J]. *Primary Agricultural Technology Extension*, 2014, 2(5): 43-44 (in Chinese)
- [7] 张克诚. 有害生物持续治理理论、模式和方法[C]//提高全民科学素质、建设创新型国家: 2006中国科协年会论文集(下册). 北京: 中国科学技术协会, 2006: 549-552
Zhang K C. Theories, models and methods of sustainable pest management[C]. In: *Improving the scientific quality of the whole people and building an innovative country: Proceedings of 2006 annual meeting of China (Volume II)*. Beijing: China Association for science and technology, 2006: 549-552 (in Chinese)
- [8] 罗国亮. 灾害应对与中国政府治理方式变革研究[D]. 天津: 南开大学, 2010
Luo G L. A research about the impact of the disaster-mitigation requirement on the changes of chinese government governance pattern[D]. Tianjin: Nankai University, 2010 (in Chinese)
- [9] Barfield C S, Swisher M E. Integrated pest management: Ready for export[J]. *Food Reviews International*, 1994, 10(2): 215-267
- [10] National Research Council. *Ecologically Based Pest Management: New Solutions for A New Century* [M]. Washington: The National Academies Press, 1996
- [11] Ehler L E, Bottrell D G. The illusion of integrated pest management[J]. *Issues in Science and Technology*, 2000, 16(3): 61-64
- [12] Swinton S M, Day E. Economics in the design, assessment, adoption, and policy analysis of I P M[J]. Staff Paper Series 11789, Michigan State University, Department of Agricultural, Food, and Resource Economics. DOI: 10.22004/ag.econ.11789
- [13] Lefebvre M, Langrell S R H, Gomez-Y-Paloma S. Incentives and policies for integrated pest management in Europe: A review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2015, 35(1): 27-45
- [14] 詹祖仁. 试论林业有害生物防治公共服务与政府职责[J]. 林业经济问题, 2013, 33(5): 433-437
Zhan Z R. Discussion on the public service of forestry harmful creature control and responsibility of government[J]. *Issues of Forestry Economics*, 2013, 33(5): 433-437 (in Chinese)
- [15] 葛晶, 陈连军. 关于农业有害生物防控的经济学分析与思考[J]. 农业科技管理, 2009, 28(3): 41-43
Ge J, Chen L J. Economic analysis and considerations on prevention of genetically modified organism[J]. *Management of Agricultural Science and Technology*. 2009, 28(3): 41-43 (in Chinese)
- [16] 曹海林. 农业灾害管理中的政府责任及其战略安排[J]. 中国行政管理, 2010(11): 41-44
Cao H L. Government accountability and strategic arrangement in the agricultural disaster management [J]. *Chinese Public Administration*, 2010(11): 41-44 (in Chinese)
- [17] 赵紫华. 从害虫“综合治理”到“生态调控”[J]. 科学通报, 2016, 61(18): 2027-2034
Zhao Z H. From “integrated pest management” to “ecologically based pest management”[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2016, 61(18): 2027-2034 (in Chinese)
- [18] 徐浩, 张永理. 灾害救援中非营利组织的自合作趋势及其行动逻辑[J]. 中国行政管理, 2014(10): 64-68
Xu H, Zhang Y L. The Trend and action logic of ngos self-organizing cooperation in disaster relief [J]. *Chinese Public Administration*, 2014(10): 64-68 (in Chinese)
- [19] 于翔. 浅析林业有害生物防治公共服务与政府职责[J]. 南方农业, 2018, 12(23): 76-77
Yu X. Analysis on public service and government responsibility of forestry pest control[J]. *South China Agriculture*, 2018, 12(23): 76-77 (in Chinese)
- [20] 陈华, 王玉红. 保险消费者保护: 市场失灵、政府介入与道德风险防范[J]. 保险研究, 2012(10): 14-19
Chen H, Wang Y H. Insurance consumer protection: market failure, government intervention and prevention of moral hazards[J]. *Insurance Studies*, 2012(10): 14-19
- [21] 董天美, 张鸣. 灾害救助中中国政府与非营利组织互动模式研究[J]. 求是学刊, 2017, 44(5): 67-75
Dong T M, Zhang M. Study on the interactive pattern between Chinese government and non-profitable organization in relief of disaster[J]. *Seeking Truth*, 2017, 44(5): 67-75 (in Chinese)
- [22] 李红艳. 非政府组织参与突发水灾害事件应急管理的路径分析[J]. 工业安全与环保, 2017, 43(8): 47-49
Li H Y. Analysis of the path of non-governmental organizations participating in sudden water disaster emergency management [J]. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2017, 43(8): 47-49 (in Chinese)
- [23] 孙燕娜, 谢恬恬, 王玉海. 社区灾害风险管理中政府与社会组织的博弈与合作途径初探[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2016, 52(5): 616-621
Sun Y N, Xie T T, Wang Y H. On the game of government and NGO in risk management of community disaster and relief to promote cooperation [J]. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2016, 52(5): 616-621 (in

- Chinese)
- [24] 翟富炜. 企业参与灾害管理的方式与路径研究[D]. 徐州: 江苏师范大学, 2017
- Zhai F W. Research on the Way and Approach of Enterprise's Participation in Disaster Management [D]. Xuzhou: Jiangsu Normal University, 2017 (in Chinese)
- [25] 杨安华, 许珂玮. 论企业参与灾害治理的政府责任和作用[J]. 武汉科技大学学报: 社会科学版, 2018, 20(4): 387-394
- Yang A H, Xu K W. Government responsibility and functions of enterprises in Disaster management [J]. *Journal of Wuhan University of Science and Technology: Social Science Edition*, 2018, 20(4): 387-394 (in Chinese)
- [26] 周利敏. 从结构式减灾到非结构式减灾: 国际减灾政策的新动向[J]. 中国行政管理, 2013(12): 94-100
- Zhou L M. From structural mitigation to non-structural mitigation: An important transition of international mitigation strategy and its self-examination in China [J]. *Chinese Public Administration*, 2013(12): 94-100 (in Chinese)
- [27] Rose A, Porter K, Dash N, Bouabid J. Benefit cost analysis of FEMA hazard mitigation grants [J]. *Natural Hazards Review*, 2007, 8(4): 97-111
- [28] 李尧远, 曹蓉. 全面风险治理: 灾害防控模式的理想形态: 兼论总体国家安全观的学术启示[J]. 中国行政管理, 2018(2): 109-113
- Li Y Y, Cao R. Comprehensive risk governance: The ideal form of disaster prevention and control mode: Academic enlightenment of the overall national security concept [J]. *Chinese Public Administration*, 2018 (2): 109-113 (in Chinese)
- [29] 叶明华, 汪荣明, 吴莘. 风险认知、保险意识与农户的风险承担能力: 基于苏、皖、川3省1554户农户的问卷调查[J]. 中国农村观察, 2014(6): 37-48, 95
- Ye M H, Wang R M, Wu P. Risk perception, insurance awareness and crop producers' ability of risk taking: Empirical study based on 1554 questionnaire from crop producers in Anhui, Jiangsu and Sichuan Provinces [J]. *China Rural Survey*, 2014(6): 37-48, 95 (in Chinese)
- [30] 罗岚, 李桦, 许贝贝. 绿色认知、现实情景与农户生物农药施用行为: 对意愿与行为悖离的现象解释[J]. 农业现代化研究, 2020, 41(4): 649-658
- Luo L, Li H, Xu B B. Green cognition, reality, and farmers' biological pesticide application behaviors: Explaining the deviation between farmers' willingness and their behaviors [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2020, 41(4): 649-658 (in Chinese)
- [31] 张广胜, 周娟, 周密. 农民对专业合作社需求的影响因素分析: 基于沈阳市200个村的调查[J]. 农业经济问题, 2007(11): 68-73, 111
- Zhang G S, Zhou J, Zhou M. The analysis of the factors impacting farmers demand for professional cooperatives: Based on the survey of 200 villages in Shenyang [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2007(11): 68-73, 111 (in Chinese)
- [32] 王宏州, 黄季焜. 农民的风险和共担风险偏好研究[J]. 农业经济问题, 2016, 37(11): 86-94, 112
- Wang H Z, Huang J K. Farmers' risk and pooling risk preferences [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2016, 37(11): 86-94, 112 (in Chinese)
- [33] Attanasio O, Barr A, Cardenas J C, Garance G, Mehgir C. Risk pooling, risk preferences, and social networks [J]. *American Economic Journal Applied Economics*, 2012, 4(2): 134-167
- [34] Mengistie B T, Arthur P J M, Oosterveer P. Private environmental governance in the ethiopian pesticide supply chain: Importation, distribution and use [J]. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 2016, 76: 65-73
- [35] 刘圻. 农业企业风险的整合治理研究: 基于 COSO 报告的风险管理框架[J]. 农业经济问题, 2008(4): 88-92, 109-110
- Liu Q. Research on the risk management of agricultural enterprises: Based on COSO-ERM [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2008(4): 88-92, 109-110 (in Chinese)
- [36] 陈金, 冯百侠, 刘思琪. 农业保险合作社是防范农业灾害风险的有效组织方式[J]. 河北联合大学学报: 社会科学版, 2013, 13(1): 46-48
- Chen J, Feng B X, Liu S Q. The agricultural insurance cooperatives: The effective organization of preventing agricultural disaster risks [J]. *Journal of North China University of Science and Technology: Social Science Edition*, 2013, 13(1): 46-48 (in Chinese)
- [37] 储成兵, 李平. 农户病虫害综合防治技术采纳意愿实证分析: 以安徽省402个农户的调查数据为例[J]. 财贸研究, 2014, 25(3): 57-65
- Chu C B, Li P. Analysis of farmers' adoption willingness of IPM: Using 402 farmers in Anhui Province as an example [J]. *Finance and Trade Research*, 2014, 25(3): 57-65 (in Chinese)
- [38] 周荣, 喻登科, 涂国平. “公司+农户”型农业技术扩散中农户知识行为分析[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(8): 387-392
- Zhou R, Yu D K, Tu G P. Farmers' knowledge behaviors in the agriculture technology diffusion process of “corporation & farmer” mode [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43(8): 387-392 (in Chinese)
- [39] 费凯, 王小环, 朱晓婧, 黄长伟, 耿爽. 基于演化博弈的水利工程建设市场主体政府规制模式研究[J]. 水利经济, 2019, 37(4): 56-63, 78
- Fei K, Wang X H, Zhu X J, Huang C W, Geng S. Government supervision modes for market entities of construction of water conservancy projects based on evolutionary game theory [J]. *Journal of Economics of Water Resources*, 2019, 37(4): 56-63, 78 (in Chinese)
- [40] 季凯文. 中国生物农业三阶段效率测度及其提升路径研究[D]. 南昌: 江西财经大学, 2015
- Ji K W. Calculation on three-stage efficiency and research on

- improving path of biological agriculture in China [D]. Nanchang: Jiangxi University of Finance and Economics, 2015 (in Chinese)
- [41] 娄博杰, 宋敏, 韩洁. 农户农药使用行为特征及规范化建议: 基于东部6省调研数据[J]. 中国农学通报, 2014, 23: 124-128
- Lou B J, Song M, Han J. Characteristics of farmer's pesticides application behavior and standardization recommendation: Based on the investigation data in six provinces of eastern China[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 23: 124-128 (in Chinese)
- [42] 盛锦. 基于政府、农户、企业三方合作博弈的秸秆焚烧管理问题研究[J]. 中国农业资源与区划, 2015, 36(4): 48-53
- Sheng J. The crops straw opening burning control research based on the government-farmer-enterprise cooperation game [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2015, 36(4): 48-53 (in Chinese)
- [43] 曹峥林. 农业生产环节服务外包对规模经济的实现机理研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2019
- Cao Z L. Study on implementation mechanism of agricultural production processes outsourcing on agricultural economies of scale [D]. Chongqing: Southwest University, 2019 (in Chinese)
- [44] 陶鹏, 童星. 危机与利维坦: 政府规模增长的灾害危机研究视角[J]. 中国行政管理, 2013(6): 110-114
- Tao P, Tong X. Crisis and Leviathan: Research on government growth from the perspective of disaster crisis [J]. *Chinese Public Administration*, 2013(6): 110-114 (in Chinese)
- [45] 刘艳红. 农业有害生物的防治技术与策略[J]. 现代农村科技, 2010(11): 27-28
- Liu Y H. Prevention and control technology and strategy of agricultural pests[J]. *Modern Rural Science and Technology*, 2010(11): 27-28 (in Chinese)

责任编辑: 王岩