

农户风险偏好的实验经济学研究进展

高艺玮, 金建君*, 王晓敏 (北京师范大学, 北京 100875)

摘要 农户风险偏好是影响农户生产决策的一个重要因素。随着实验经济学的发展, 实验方法在研究农户风险偏好领域的成果不断丰富, 并给传统理论带来强烈冲击。该研究在梳理现有文献的基础上, 对国内外有关农户风险偏好的实验经济学理论和测度方法进行了系统评述, 并对进一步的研究方向进行了展望。

关键词 农户; 风险偏好; 实验经济学; 研究进展

中图分类号 S-9 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)18-236-04

The Experimental Economics Studies of Farmers' Risk Preferences

GAO Yi-wei, JIN Jian-jun*, WANG Xiao-min (Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract Farmers' risk preference is a vital factor on their production decision-making. With the development of experimental economics, experimental methods make great progress in the study of farmers' risk preference. This paper summarizes the existing studies on measurement of farmers' risk preference and puts forward some potential directions of further study.

Key words Farmers; Risk preference; Experimental economics; Research progress

经济活动中充满各种风险, 风险和不确定性在个体的经济决策中扮演着重要的角色, 理解和预测经济行为离不开对个体风险偏好的了解。风险决策和个体风险偏好研究是实验经济学的一个重要领域。农业是一个典型的风险行业^[1], 农业生产和经营过程中, 农户会面临来自自然、农业市场、农业制度、农业技术、农业信贷等各方各面的不确定性^[2-3]。大量研究表明, 农民的风险偏好对其农业生产和投入行为有着显著的影响^[4]。在实际的政策制定中, 需要预估农民在应对风险决策行为时, 能够度量、预测而且随时间变化不太容易改变的农民的个体风险偏好。传统的实证方法难以收集测度个体风险偏好所需要的数据, 而田野实验却为其提供了一种可行的方法。因此, 运用实验经济学的方法研究农户的风险偏好, 提高农户应对风险的能力, 目前已经成为经济学和相关学科研究的热点之一。笔者在梳理文献的基础上, 介绍了农户风险偏好的实验经济学最新研究进展。

1 农户风险偏好对农业生产决策或行为的影响

在涉及风险与不确定性的决策中, 不同个体会做出不同的选择, 而同一个体在不同任务中的决策行为有一定的一致性, 因此通常认为个体的决策行为会受其风险偏好的影响^[5]。根据决策者的风险偏好不同, 可以将决策者大致分为3种类型: 风险规避者、风险中立者和风险喜爱者。风险偏好一定程度上是一种具有稳定性的个体体质, 与个体的心理特征、知识、决策内容等有较大关系^[6]。

当面临各种农业风险时, 农户的风险偏好是影响农户生产决策和行为的一个重要因素。现有关于农户风险偏好对农户生产决策影响的研究主要集中在以下两方面。

1.1 对农业生产要素投入的影响 例如使用新品种、使用农药、投资新的生产项目及参与农业金融的行为。发展中国

家的风险厌恶型农户倾向于增加控制风险的投入^[7], 例如采用村内已种植的主流玉米品种而不愿意引进新品种^[4]。风险规避型农户会使用更多的农药, 而损失厌恶型农户则会选择使用更少的农药^[8-9]。一些研究发现风险偏好和收入共同影响了农户对生产项目的投资: 收入仅能维持温饱生活的农户表现出强烈的风险厌恶, 其决策的首要目标是维持一定的收入, 因此会规避风险较大的生产项目; 但农户的风险厌恶会随收入的增加而减弱, 因此资金充足的农户更可能是风险追逐型并更可能投资高风险高收益的生产项目^[10-14]; 风险追逐型农户会更积极参与农业信贷和保险互联, 增强自身应对农业生产风险和运用金融资本增加收入的能力^[15]。这类研究多关注发展中国家的农户, 普遍得出如下结论: 农户厌恶风险的程度越高, 增加降低风险投入的可能性越大, 主动做出改变行为的可能性越小。这种保守行为的主要目的是回避风险和保证收入的稳定, 生产决策往往会偏离经济最优, 不仅使得这些风险规避行为的有效性有限^[16], 而且阻碍了新技术和品种的推广, 是导致一些发展中国家农民陷入贫困的重要原因。

1.2 对农户生产行为是否遵从法律的影响 在南非, 风险厌恶更强烈的农户进行非法捕鱼或者过度捕捞的活动的可能性更低; 而相对于男性, 女性通常表现出更强烈的风险厌恶, 因此捕鱼权利更多地向女性开放会有利于保护海洋渔业资源的合理分配和可持续利用^[17]。

2 农户风险偏好测度的理论研究

2.1 期望效用模型 在经济学中, 研究个体风险偏好问题最普遍使用的理论是期望效用模型(Expected Utility, EU), 这一理论建立了VNM预期效用函数, 认为在不确定性条件下, 理性人追求最大化的效用水平, 这一水平是通过预期效用函数中各个损益结果与它们出现的概率加权得到的期望值, 效用函数的形状可以表示个体的风险偏好。这一理论的优越性在于把效用函数引入到偏好模型中, 证明了效用函数在最终损益空间上的存在性和期望值的大小与排序的一致性^[18]。

作者简介 高艺玮(1989-), 女, 山东青岛人, 硕士研究生, 研究方向: 风险偏好和农业保险。*通讯作者, 副教授, 硕士生导师, 从事农业风险研究。

收稿日期 2015-04-30

2.2 前景理论 期望效用理论凭借其简洁性成为应用领域的一个强大而易于处理的建模工具,但后来一系列实验发现了偏好反转和框架效应等,这些现象都不能通过期望效用模型进行解释。因此,1980年前后,出现了前景理论、后悔理论、决策规则选择理论、成长偏好假说等模型,对期望效用模型进行替代和修正^[18]。这些理论中,影响力最大的是前景理论(Prospect Theory, PT)。

Kahneman 和 Tversky 在大量心理学实验的基础上,提出用价值函数和决策权重函数的模型代替期望效用理论的价值函数和各种可能性发生的概率^[19],其表达式为:

$$V = \sum_{i=1}^n w(p_i) v(x_i)$$

式中,期望价值 V 是由价值函数 $v(x)$ 与权重函数 $w(p)$ 共同决定。 $v(x_i)$ 是决策者主观感受形成的价值函数,表示价值相对于参考点发生的变化量,这是个体做出决策的依据,即人们根据价值的变化而不是价值的现有状况来分析决策。这体现了前景理论的一个核心概念——“框架效应”,即编辑方式形成了对相同决策问题的不同“构架”,从而产生偏好和选择方面的各种不一致现象。 $w(p_i)$ 是决策权重函数,它将单一事件发生的概率转化成决策权重,是渗透了个体价值感性因素的主观概率的函数,它表明实际决策中个体对概率的估计并非是符合贝叶斯法则的。根据前景理论,人们根据价值的变化而不是价值现有的状况来分析决策,面临收益时人们往往倾向于避险,而面临损失时人们往往倾向于冒险,而且人们对风险发生的概率并不能准确地认识,可能高估较小的概率而低估较高的概率。

前景理论从心理学的角度分析不确定风险时的决策问题,充分考虑了心理因素对人的决策的影响,其核心是人在面对未来的不确定性进行决策时总是有限理性的。区别于传统的公理性推导,前景理论是描述性的,是从实证检验中归纳总结的,更适合于描述实际行为,尤其是短期的实际行为。值得一提的是, Bocqueho 等使用同一组实验数据比较了 EU 和 PT 2 种理论解释农户行为的有效性,认为 PT 能够更加具体和准确地描述农户的风险偏好^[20]。

3 农户风险偏好测度的方法和实证研究

3.1 测度方法分类 个体决策者风险偏好的测度有多种方法,按照测度方式可以分为风险偏好的直接测量、与风险有关的人格特质的测量和风险偏好的行为测量 3 类^[21]。第一类风险偏好的直接测量即使用自我报告式问卷直接让受访者判断自己的风险偏好^[22-26],这类方法时间和资源成本很低,而且便于受访者理解调查意图,方便采集数据,但这一方法易受个体对自身认识偏差的影响,较为主观,难以保证受访者真实的风险偏好得到了充分的体现,而且个体或群体相互之间难以客观比较。第二类与风险有关的人格特质的测量即通过受访者对自己的一些有关风险承担和风险规避的人格特质(如冲动、刺激寻求和恐惧等),进行自我报告来评估风险偏好^[27-28],这类方法不仅在保证心理量表的信度和效度上有一定困难,而且由于是间接地推断风险偏好,这些个人特质与个体风险偏好之间的关系也会产生一定的误差

且难以消除。由于个体风险偏好并非单一稳定的变量,而是通常受到决策任务特征影响的^[6],所以上述 2 类方法在经济决策领域的应用比较受限。第三类风险偏好的行为测量即从假想和真实的场景中通过个体在特定情景中的实际选择行为来推断个体的风险偏好,例如 Slovic 设计的魔鬼任务(Devil's Task)和单一任务的彩票决策实验^[29-31]等。这类方法根据决策者在实验中的选择行为来度量其风险偏好,能够弥补前 2 类方法的主观性和难以应用于经济决策领域等弊端。

3.2 相关实证研究 在研究农户风险偏好对农业生产决策及行为的影响时,传统经济学多使用 2 类方法测度农户风险偏好:第一类是建立目标函数,使用计量方法计算出符合某一假设的风险偏好并与实际行为做对比,通过两者是否相符来判断被试者的风险态度^[32]。例如,农户做出并不符合获利最大化原则的行为时,就认为这是由于他是风险厌恶的。但这种方法中效用函数的形式和对被试者所做的引导容易导致偏差^[33]。第二类是用财富数量作为风险偏好的代表^[34],但这种方法中财富数量可能干扰风险偏好的显示^[34]。

随着实验经济学的发展,实验发展经济学家通过使用上述第三类测量方法即设计田野实验对农户风险偏好进行了探究。这类实验多基于期望效用理论(EU)或前景理论(PT)等风险决策理论设计,通过被试者对财产增减选项的偏好推断其风险偏好。具体又分为 3 种形式:彩票序列,投标行为和简易彩票的买进卖出定价。应用最为广泛的是多元价格序列法(Multiple Price List, MPL)。

MPL 法最早由 Binswanger 用来在有真实货币支付的情景下测度风险偏好^[35]。它基于 EU 建立效用函数,使用彩票序列形式完成。通常向被试者展示一系列不同收益的彩票,每个组合中都包括确定性收益和数额逐渐增加的风险性收益,询问受访者在风险性收益增加到哪个水平时,受访者将放弃确定性收益而选择冒险,尝试更高的风险性收益,根据受访者的回答得知个体的财富效用函数中的一些散点,进行拟合即可获得个体的财富效用函数,从而判断决策者的风险偏好^[36-38]。

MPL 法的优点是实施简便,使被试者容易理解并且显露出真实的风险偏好;但也有明显的缺点:第一,该方法得到的只是风险偏好的一个数值区间,而不是具体的值;第二,被试者可能发生“跳转”,即在选择风险性收益选项后再次回到选择确定性收益,表现出前后不一致的风险偏好;第三,结果可能受到彩票排列顺序带来的框架效应的影响。

由于 EU 具有一定的局限性,前景理论(PT)进行了一定修正, Tanaka 等在前景理论的基础上,构造了包含风险厌恶系数,损失厌恶系数和非线性决策权重系数在内的价值函数,设计了由 3 个部分 35 组成对的彩票选项组成的彩票决策实验^[39]。根据 3 位作者名字的首字母,这一实验方法被命名为 TCN 法,与 MPL 法相比,同样采用彩票序列的方式,但根据 PT 而不是 EU 构造了新的价值函数,并且增加了风险性损失以及概率的变化。Liu 和 Huang 利用 TCN 法研究了

我国农户风险偏好对 Bt 转基因抗虫棉花品种选择和生产的影响^[9]。Bocqueho 等也使用了 TCN 法验证了 PT 在引出和描述风险偏好方面的有效性^[20]。

近年来,MPL 法和 TCN 在国内外都得到了较广泛的关注。这 2 种方法都适用于经济决策领域,在真实的支付场景中都能较为准确地引出受访者的风险偏好,它们在实验设计上各有利弊:MPL 实验设计较为简单,受访者更容易理解,但其理论基础 EU 具有一定局限性;TCN 法的理论基础 PT 更能体现个体对收益和损失的不同风险偏好,但实验设计较为复杂,不容易被受访者理解。

由于缺乏较好的微观数据和不易测度农户风险偏好等因素的限制,国内有关农户风险偏好对农业生产决策影响的研究还较少,使用实验方法采集数据并对农户风险偏好进行定量描述的研究更少。Liu 和 Huang 使用 TCN 法研究了风险偏好对 Bt 转基因抗虫棉花品种选择和生产的影响,发现即使在使用了抗虫品种的情况下,风险规避程度高的农户依然会施用更多甚至超量的农药^[9]。侯麟科等则使用 MPL 法分析了农户风险偏好对农户玉米品种选择的影响,结果证实,风险规避型农户倾向于选择低风险农作物品种,且大农户受到风险规避程度的影响更加明显^[4]。

4 研究评述

从现有的文献来看,应用实验经济学的理论和方法研究农户风险偏好已经经历了近 10 年时间,取得了较为丰富的研究成果,对于指导农户农业生产决策和策略具有很好的指导意义。

从方法论上来说,MPL 和 TCN 法在国外都有较好的实证研究,被认为是能揭示个体风险偏好的有效办法。但以往的实验多集中于个体风险偏好的研究,并且对风险情景的建立多仅限于实验收益的不确定性。而现实的农业生产环境普遍存在着群体决策行为,农户的决策目标也是多元化的,如何将 2 种方法的使用范围拓展到更加真实的情境,是提高其测度农户风险偏好和预测生产决策的有效性的的重要途径。

从方法的本地化应用上看,我国农民的社会经济特征和资源禀赋等与国外农民差异较大,应用实验方法时需要根据我国农民的特征科学设计实验以更有效地揭示出我国农民的真实偏好,如尽量简化实验方案和实验说明,保证被试农户对实验内容的完全、充分理解。虽然已经有 MPL 和 TCN 2 种方法有效性的对比研究,但是国内目前还没有研究关注这 2 种方法在测度农户风险偏好方面的适用性。严格控制统一的实验条件并进行 2 种方法测度结果的对比,将有助于找到更加准确测度农户风险偏好的方法。

参考文献

- [1] 董智汉. 建立我国农业风险管理体系[J]. 中南财经大学学报,1999(2):69-71,118.
- [2] 乔桂明. 论我国农业风险与农业保险的变革[J]. 农业现代化研究,2002(5):386-389.
- [3] 孙良媛,张岳恒. 转型期农业风险的特点与风险管理[J]. 农业经济问题,2001(8):20-26.
- [4] 侯麟科,仇焕广,白军飞,等. 农户风险偏好对农业生产要素投入的影响——以农户玉米品种选择为例[J]. 农业技术经济,2014(5):21-29.
- [5] AJZEN I, FISHBEIN M. Attitude-behavior relations: A theoretical analysis

- and review of empirical research[J]. Psychological Bulletin,1977,84(5):888.
- [6] 何贵兵. 决策任务特征对风险态度的影响[J]. 人类工效学,1996,2(2):12-16.
- [7] JUST R E. Distinguishing preferences from perceptions for meaningful policy analysis [J]. American Journal of Agricultural Economics,2008,90(5):1165-1175.
- [8] 黄季焜,齐亮,陈瑞剑. 技术信息知识、风险偏好与农民施用农药[J]. 管理世界,2008(5):71-76.
- [9] LIU E M, HUANG J. Risk preferences and pesticide use by cotton farmers in China [J]. Journal of Development Economics,2013,103:202-215.
- [10] ROSENZWEIG M R, BINSWANGER H P. Wealth, weather risk and the composition and profitability of agricultural investments[J]. The Economic Journal,1993,103(416):56-78.
- [11] 杨慕义. 风险决策模型在农户决策研究中的应用——庆阳农户养兔及种草行为分析[J]. 草业学报,1997,6(4):57-63.
- [12] 杨慕义. 草地农业系统研究中的农户决策行为分析:农户期望值-基尼均差风险决策模型[J]. 草业学报,1999,8(1):73-80.
- [13] 西爱琴. 农业生产经营风险决策与管理对策研究[D]. 杭州:浙江大学,2006.
- [14] 蔡荣,韩洪云. 农户参与合作社的行为决策及其影响因素分析——以山东省苹果种植户为例[J]. 中国农村观察,2012(5):32-40,95.
- [15] 许承明,张建军. 社会资本、异质性风险偏好影响农户信贷与保险互选研究. 财贸经济,2012(12):63-70.
- [16] 陈欢,周宏,王全忠,等. 农户感知与适应气候变化的有效性分析——来自江苏省水稻种植户的调查研究[J]. 农林经济管理学报,2014(5):467-474.
- [17] BRICK K, VISSER M, BURNS J. Risk aversion: experimental evidence from South African fishing communities [J]. American Journal of Agricultural Economics,2012,94(1):133-152.
- [18] 李延喜,付洁,李鹏峰,等. 风险偏好实验研究综述[J]. 科技与管理,2009(5):34-37.
- [19] KAHNEMAN D, TVERSKY A. Prospect theory: An analysis of decision under risk[J]. Econometrica: Journal of the Econometric Society,1979,47(2):263-291.
- [20] BOCQUEHO G, JACQUET F, REYNAUD A. Expected utility or prospect theory maximizers? Results from a structural model based on field-experiment data [C]//XIIIth Congress of the European Association of Agricultural Economists. Zurich (Switzerland), 2011.
- [21] APPELT K C, MILCH K F, HANDGRAAF M J J, et al. The Decision Making Individual Differences Inventory and guidelines for the study of individual differences in judgment and decision-making research [J]. Judgment and Decision Making,2011,6(3):252-262.
- [22] KOGAN N, WALLACH M A. Risk taking: A study in cognition and personality[M]. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1964.
- [23] FROMME K, KATZ E C, RIVET K. Outcome expectancies and risk-taking behavior[J]. Cognitive Therapy and Research,1997,21(4):421-442.
- [24] ZALESKIEWICZ T. Beyond risk seeking and risk aversion: Personality and the dual nature of economic risk taking[J]. European Journal of Personality,2001,15(S1):105-122.
- [25] WEBER E U, BLAIS A R, BETZ N E. A domain-specific risk-attitude scale: Measuring risk perceptions and risk behaviors[J]. Journal of Behavioral Decision Making,2002,15(4):263-290.
- [26] KEINAN R, BEREBY-MEYER Y. "Leaving it to chance"—Passive risk taking in everyday life[J]. Judgment and Decision Making,2012,7(6):705-715.
- [27] OREG S. Resistance to change: developing an individual differences measure[J]. Journal of applied Psychology,2003,88(4):680.
- [28] FIGNER B, MACKINLAY R J, WILKENING F, et al. Affective and deliberative processes in risky choice: Age differences in risk taking in the Columbia Card Task [J]. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition,2009,35(3):709.
- [29] REYNA V F, ELLIS S C. Fuzzy-trace theory and framing effects in children's risky decision making[J]. Psychological Science,1994,5(5):275-279.
- [30] LAURIOLA M, LEVIN I P, HART S S. Common and distinct factors in decision making under ambiguity and risk: A psychometric study of individual differences [J]. Organizational Behavior and Human Decision Processes,2007,104(2):130-149.
- [31] FIGNER B, SCHAUB S. Development of adaptive risky decision making: Risk sensitivity in judgment and choice[C]//Meeting of the Society for

- Judgment and Decision Making. Chicago, USA, 2008.
- [32] CHAVAS J P, HOLT M T. Economic behavior under uncertainty: A joint analysis of risk preferences and technology[J]. The Review of Economics and Statistics, 1996, 78: 329–335.
- [33] JUST D R, LYBBERT T J. Risk averters that love risk? Marginal risk aversion in comparison to a reference gamble[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2009, 91(3): 612–626.
- [34] BELLEMARE M F, BROWN Z S. On the (mis)use of wealth as a proxy for risk aversion[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2009, 92(1): 273–282.
- [35] BINSWANGER H P. Attitudes toward risk: Experimental measurement in rural India[J]. American Journal of Agricultural Economics, 1980, 62(3):

395–407.

- [36] HOLT C A, LAURY S K. Risk aversion and incentive effects [J]. American Economic Review, 2002, 92(5): 1644–1655.
- [37] ECKEL C C, GROSSMAN P J. Sex differences and statistical stereotyping in attitudes toward financial risk [J]. Evolution and human behavior, 2002, 23(4): 281–295.
- [38] HARRISON G W, LAU M I, RUTSTRÖM E E, et al. Eliciting risk and time preferences using field experiments: Some methodological issues [J]. Field experiments in economics, 2005, 10: 125–218.
- [39] TANAKA T, CAMERER C F, NGUYEN Q. Risk and time preferences: Linking experimental and household survey data from Vietnam [J]. American Economic Review, 2010, 100(1): 557–571.

(上接第 222 页)

平均法计算作业影响区面平均降雨量为 1.73 mm, 则平均增雨量 = 面平均降雨量 × 增雨效率系数 = 1.73 mm × 0.28 = 0.48 mm, 增加降水总量 = 平均增雨量 × 影响区面积 = 0.48 mm × 1 476 km² = 715 000 m³。

益阳地区暖云催化的效果检验采用简单的直观对比法。暖云催化仅出现了 0.1 mm 降水, 其上风方向对比区无降水, 所以增加降水总量 = 0.1 mm × 504 km² = 50 400 m³。

综上所述, 此次飞机增雨作业影响区面积为 3 456 km², 浓积云、层状冷云、层状暖云催化平均增雨量分别为 4.00、0.48、0.10 mm, 增加降水总量为 666.94 万 t。

3.2.2.2 雷达回波分析。采用天气雷达检验人工增雨效果很有实用价值, 我国许多省市已经使用新一代天气雷达开展相应研究^[11–14]。使用长沙 CINRAD-SA 多普勒天气雷达产品对此次飞机增雨效果进行分析, 具有重要参考价值。

(1) 层状云雷达回波分析。长沙雷达显示在益阳、桃江有大范围层状云系, RHI 产品显示回波高度一般在 600 ~ 3 200 m, 回波强度为 5 ~ 10 dBZ, 属于层状暖云(图 4)。飞机增雨作业播撒暖云催化剂以后仅出现了 0.1 mm 降水, 未播撒暖云催化剂的对比区没有降水, 播撒前后雷达回波无明显变化。

(2) 积层混合云雷达回波分析。从飞机增雨对沅陵县上空浓积云进行绕飞和擦边播撒催化作业前后的雷达回波对比分析(图 5)可以看出, 大剂量播撒冷云催化剂 12 min 后, 处于降水天气系统后部的浓积云回波面积扩大、强度增强, 对应地面降雨量增大, 说明增雨作业有效。

4 小结与讨论

(1) 湖南秋季开展飞机人工增雨作业的主要云系是四类, 包括 Fn Scop、Fn Asop、Cb 和 Actra 等。在秋季开展飞机人工增雨作业时间越往后气象条件越安全, 原因是积云和对流活动逐步减少; 另一方面是季节越往后作业机会会逐步减

少, 因为有云日、降雨日数均逐步减少。

(2) 湖南秋季飞机人工增雨作业对冷云和暖云均进行催化作业, 分别使用碘化银和暖云焰条。初步实践表明, 对积层混合云系中的积状云播撒冷云催化剂, 可以取得较好的人工增雨效果, 对其中的层状冷云进行冷云催化效果次之; 而对状态稳定、维持时间较长的层状暖云进行暖云催化剂播撒作业仅可以降毛毛雨。

(3) 2011 年 9 月 8 日一次飞机人工增雨作业飞行时间为 148 min, 飞行总距离为 1 038 km, 其中播撒总距离为 576 km, 共播撒碘化银 750 g、暖云催化剂 4 kg, 作业影响区面积为 3 456 km², 浓积云、层状冷云、层状暖云催化平均增雨量分别为 4.00、0.48、0.10 mm, 增加降水总量为 666.94 万 t。

参考文献

- [1] 马培民, 孙奕敏, 赵瑞华, 等. 1963 年夏季湖南盐粉催化浓积云降水试验效果的分析[J]. 气象学报, 1965, 35(3): 280–291.
- [2] 胡志晋. 层状云人工增雨机制、条件和方法的探讨[J]. 应用气象学报, 2001, 12(S1): 10–13.
- [3] 韩嗣炎, 熊华南. 湖南省夏秋季积云可播度探讨[J]. 气象, 1993, 19(3): 13–16.
- [4] 盛裴轩, 毛节泰, 李建国, 等. 大气物理学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003: 344.
- [5] 黄美元. 云和降水物理[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 227.
- [6] 郭学良, 杨军, 章澄昌. 大气物理与人工影响天气[M]. 北京: 气象出版社, 2011: 361.
- [7] 余兴, 戴进. 层状云中飞机人工增雨作业间距的研究[J]. 大气科学, 2005, 129(13): 465–474.
- [8] 苏正军, 郑国光, 鄧大雄. 吸湿性物质催化云雨的研究进展[J]. 高原气象, 2009, 28(1): 227–232.
- [9] 王以琳. 山东人工增雨宏观条件分析[J]. 应用气象学报, 2001, 12(S1): 164–168.
- [10] 刘耀宗, 王治平, 陈历舒. 湖南单块积云高炮增雨随机化试验效果的分析[J]. 气象, 1999, 25(8): 16–21.
- [11] 唐仁茂, 袁正腾, 向玉春, 等. 依据雷达回波自动选取对比云进行人工增雨效果检验的方法[J]. 气象, 2010, 36(4): 96–100.
- [12] 张瑞波, 刘丽君, 钟小英, 等. 利用新一代天气雷达资料分析飞机人工增雨作业效果[J]. 气象, 2010, 36(2): 70–75.
- [13] 辛乐, 姚展予. 一次积层混合云飞机播云对云微物理过程影响效应的分析[J]. 气象, 2011, 37(2): 194–202.
- [14] 刘晴, 姚展予. 飞机增雨作业物理检验方法探究及个例分析[J]. 气象, 2013, 39(10): 1359–1368.