

蜂农授粉对油菜产量的技术经济影响 及其区域差异

冷博峰¹,李谷成²,冯中朝^{1*}

(1.华中农业大学 经济管理学院/湖北农村发展研究中心,湖北 武汉 430070;
2.华中农业大学 经济管理学院/现代农业产业经济研究院,湖北 武汉 430070)



摘要 采用国家油菜产业技术体系农户固定观测点 2016—2019 年 15 个省 1069 个油菜种植户 2890 个样本的非平衡面板数据,建立超越对数生产函数模型,测算了蜂农授粉外部性效果对油菜产量的产出弹性和要素贡献率,并分析了其在平原地区和丘陵山区之间的区域差异。结果表明:蜂农授粉对油菜年产量有显著正向影响,在样本均值处的产出弹性为 0.136,仅次于土地(0.861),高于劳动力(-0.009)、化肥(0.043)和其他生产投入(0.076),期间对油菜产量增长贡献为 2.885%;各因素对油菜年产量增长的贡献率差异较大,由大到小依次为土地、其他生产投入、化肥、蜂农授粉、劳动力;蜂农授粉对油菜年产量的影响存在明显的区域差异,在平原县表现出更高的产出弹性和贡献率。因此,未来应将农业补贴资金适度向蜂业倾斜,加强蜂业知识宣传,引导种植业与养蜂业建立紧密型合作关系。

关键词 油菜;蜂农授粉;产出弹性;贡献率

中图分类号:F 326.12 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-3456(2021)03-0118-10

DOI 编码:10.13300/j.cnki.hnwkxb.2021.03.013

近年来,资源环境压力约束了农业生产发展,推行绿色生产方式、增强农业可持续发展能力是当前现实需要^[1]。油菜作为中国种植面积最大的油料作物,对保障粮油安全具有重要战略意义^[2]。但目前油菜生产面临着发展方式转型压力,劳动力和化肥等传统生产要素的影响已经减弱^[3-5],且存在生产成本上升、化肥过量施用、进口油菜籽竞争和政策支持力度减弱等问题^[2,6-7]。在多方面的压力和约束下,促进油菜生产可持续发展、保持产业兴旺,需要转换发展动能^[8],寻找新的增产措施。

油菜是异花授粉作物,虫媒是其主要传粉方式,但野生授粉者的数量过于稀少,无法完成充分授粉^[9]。油菜也是蜜源作物^[2],在花期,与自然授粉相比,蜂农携带蜜蜂在田间采蜜可以提高昆虫密度、增加授粉数量(简称“蜂农授粉”),从而提高油菜籽粒产量。蜂农和蜜蜂是农业生态系统功能和可持续发展的重要组成部分^[10-12],中国各地区多个油菜田间蜜蜂授粉试验显示蜜蜂授粉增产作用显著^[13-15],且不会明显增加面源污染、人力成本和碳排放等资源环境压力。完善蜂农授粉发展机制,引导种植户和蜂农建立紧密型合作关系,大幅提高蜂农授粉普及率,充分发挥蜜蜂授粉替代劳动力、提高农产品产量和品质的作用,在促进农业绿色发展、节本增效和保护生物多样性方面具有重要意义^[16]。

对蜂农授粉效果的监测、研究和评估是联合国粮农组织和生物多样性公约缔约方大会通过的《国际授粉媒介倡议 2018—2030 行动计划》中的重要组成部分^[17]。2016 年发表于《Science》的一篇文章认为,目前除北美和欧洲之外全球其他地区的授粉效果有效性评估还存在巨大的知识空白,需要对授粉效果进行长期、广泛的监测^[18]。目前对授粉的技术经济效果测算多集中于宏观分析,且学界目前对分析授粉经济价值的方法上依然存在较多争论^[19],主要有显示性偏好法(revealed preferences approach, RP)、陈述性偏好法(stated preferences approach, SP)和生产要素法(factor of production

收稿日期:2020-09-18

基金项目:国家社会科学基金重大项目“新形势下我国农业全要素生产率提升战略研究”(18ZDA072)。

* 为通讯作者。

method,FP)等。Gallai 等认为包括蜜蜂在内的全部授粉昆虫的授粉价值为 1530 亿欧元,占世界农业总产值 9.5%^[20];刘朋飞等认为蜜蜂授粉对中国农业生产经济价值为 3042.20 亿元,占全国农业总产值 12.30%,其中对油菜经济价值为 164.82 亿元^[21];赵芝俊认为中国蜜蜂授粉的宏观经济价值为 2548.90 亿元,占中国农业总产值 9.09%,蜜蜂群数对中国农业总产值的要素产出弹性为 0.226^[22]。总体来看,从养蜂业角度上多侧重于对其整体经济价值影响测算,从种植业角度上多侧重于其对于农作物的增产效果的测算。

虽然蜜蜂授粉增产效果明显,但由于中国农户的生产规模较小,当前中国农户鲜见向蜂农购买授粉服务,主要依赖蜂农采蜜时对作物进行授粉^[23-25]。由于基本无交易,不存在授粉市场,较难分析授粉市场价值。因此,为简化分析,该研究仅将其视为一种增产措施,从种植业角度上考察其对油菜产量的影响。

测算授粉增产效果的方法主要有两类:一类是农学上的田间试验,测算方法为在农作物花期携带蜂群至试验田块进行授粉,同时在同一地区选择接受自然状态下野生蜂群授粉的田块(简称“自然授粉”)以及用细纱网等隔离设施封闭无法接受任何昆虫授粉的田块(简称“隔离无蜂授粉”)分别作为对照组,待农作物收获后对比试验组与对照组的产量差异^[13-15];另一类是技术经济分析中使用的生产要素法,蜜蜂授粉属于生产资料范畴^[19,26],将其作为一项农业生产过程中的投入要素,与劳动力、土地、资本、生产费用等要素共同纳入农业生产函数进行分析,是一种在技术经济分析中广泛使用的估算方法^[19,22,27]。参考同类文献,本文也将使用生产要素法进行分析。

目前对中国蜂农授粉效果的研究存在以下局限。第一,数据类型问题。技术经济效果文献以使用宏观统计数据为主,缺乏微观层面农户个体数据。蜜蜂授粉效果油菜田间试验虽然是微观数据,但多为单一地区效果汇报,缺乏多地区汇总研究,而且,田间试验不考虑经济信号和农户行为,因而其技术经济解释力相对有限。第二,模型设定问题。目前研究中所使用的模型直接将蜂农授粉情况作为外生要素引入 C-D 生产函数,缺乏对蜂农授粉作为外生变量合理性的理论解释和统计检验,也未考虑到生产要素间可能存在的交互作用以及要素二次项等非线性影响。第三,作物差异性。使用生产函数法进行分析的研究多集中于整个农业,分作物讨论的研究还比较少,未考虑到不同作物之间的差异性。第四,区域差异性。地形条件对农业生产和蜂农授粉具有明显的区域不平衡影响,而现有文献缺乏对不同地形区域之间差异性的研究。第五,研究时效性。目前研究各生产要素对中国油菜产量影响的实证文献数据均来源于 2013 年之前,缺乏对于近期中国油菜生产情况的考察。

鉴于此,本文基于生产要素法,使用国家油菜产业技术体系 2016—2019 年在 15 个省(含自治区、直辖市)的油菜农户固定观察点大样本调查数据,建立超越对数生产函数模型,讨论了种植户是否主动采购授粉服务的经济学原因,运用实证分析方法探讨了蜂农授粉这一因素对油菜产量的产出弹性和要素贡献率等技术经济影响与区域差异。

一、模型与变量

本文数据来源于国家油菜产业技术体系 2016—2019 年农户固定观察点数据,包含有效受访户 1107 户,有效受访者样本 2928 个,调查省份油菜面积占到中国油菜总面积 90%^[28],能有效代表中国油菜生产情况。

1. 理论模型

(1) 生产函数模型。已有研究表明油菜产量除了受土地、劳动力、化肥等传统生产要素和技术进步、区域环境影响之外,还受蜂农授粉影响。本文调查数据显示,有蜂农授粉样本的油菜单产均值比无蜂农授粉样本高 5.867%,在 1% 水平上存在显著性差异。因此,提出假设 1:

零假设(H_0):蜂农授粉对农户油菜年产量没有显著影响;

备择假设(H_1):蜂农授粉对农户油菜年产量有显著影响。

经济学视角上,生产是通过各类生产要素的组合投入,得到产品产出的过程。为构建“投入—产出”之间的函数关系,通常使用生产函数模型进行分析,用来表示客观生产条件。具体研究农业生产

时,各类影响农作物产量的自然和社会资源通常被作为生产要素纳入农业生产函数中^[29]。基于假设 1,蜂农授粉是一种能够影响油菜产量的资源,因此,参考赵芝俊^[22]将蜜蜂群数引入 C-D 生产函数的模型设定方法,将“蜂农授粉”作为外生变量引入生产函数模型,理论模型基本形式为:

$$Y = f(A, L, F, OM, BEE, T) \quad (1)$$

使用 Christensen 等^[30]提出的超越对数生产函数来设定式(1),相较于 C-D 生产函数,其函数形式更灵活,能更好地测定各投入要素的相互影响及产出弹性,被广泛用于分析农业生产问题。在式(1)和超越对数生产函数式的基础上,引入蜂农授粉情况,得到模型式(2):

$$\begin{aligned} \ln Y_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \ln A_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + \beta_3 \ln F_{it} + \beta_4 \ln OM_{it} + 0.5\beta_{11} (\ln A_{it})^2 + \\ & 0.5\beta_{22} (\ln L_{it})^2 + 0.5\beta_{33} (\ln F_{it})^2 + 0.5\beta_{44} (\ln OM_{it})^2 + \beta_{12} \ln A_{it} \times \ln L_{it} + \\ & \beta_{13} \ln A_{it} \times \ln F_{it} + \beta_{14} \ln A_{it} \times \ln OM_{it} + \beta_{23} \ln L_{it} \times \ln F_{it} + \beta_{24} \ln L_{it} \times \\ & \ln OM_{it} + \beta_{34} \ln F_{it} \times \ln OM_{it} + \beta_{BEE} BEE_{it} + \beta_T T_t + \varphi d_{it} + u_i + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

式(1)和式(2)中, Y 为油菜产量, A 为土地投入, L 为劳动力投入, F 为化肥投入, OM 为其他生产费用, BEE 为蜂农授粉, T 为时间趋势变量, i 表示第*i*个农户, t 表示第*t*年。除4项主要投入要素作为生产函数的基本变量外,时间趋势项 T 代表希克斯中性技术进步,地区虚拟变量 d 表示不同地区环境对油菜产量的影响, u_i 为不随时间变化的个体效应, ε_{it} 为随个体和时间而改变的扰动项,考虑到蜂农授粉情况是二值虚拟变量,该变量未取对数。

(2)蜂农授粉的外生性假设。式(1)和式(2)中,蜂农授粉情况作为外生变量被纳入生产函数,这样进行设定的原因是,目前中国农户购买授粉服务的情况仍然较少^[24],蜂农采蜜行为独立于种植户生产行为。中国油菜种植户没有主动采购授粉服务的经济学原因可能有三点:①蜂农授粉比例较高,当油菜种植户预测蜂农主动来到当地进行采蜜,免费达到授粉效果时,将不会采购授粉服务;②主动采购授粉不经济,油菜种植户的经营面积比较小,单一种植户雇佣蜂农进行授粉带来的收益小于雇佣成本;③合作采购授粉困难,由于难以避免免费“搭便车”,多个油菜种植户合作采购授粉博弈中,在小规模种植户之间,都不采购授粉是“占优策略均衡”,在小规模种植户与大规模种植户之间,大规模种植户采购授粉而小规模种植户不采购授粉是“重复剔除的占优均衡”。

此时,授粉成为了蜂农提供的用于作物生产的公共产品,具有正外部性效果^[19]。事实上,在多数发展中国家,由于种植规模较小,农户不以任何方式管理授粉,而依靠野生蜜蜂和蜂农采蜜时进行授粉,是较为普遍的现象^[19],蜂农授粉对小型农场生产的影响被全球学者所特别关注^[18]。根据理论模型预测,为检验将蜂农授粉作为外生变量的合理性,提出假设 2:

零假设(H_0):蜂农授粉与中国油菜种植户的生产行为是外生的;

备择假设(H_1):蜂农授粉与中国油菜种植户的生产行为是内生的。

2. 变 量

(1)核心解释变量基本情况。模型的核心解释变量为蜂农授粉,其数据获取方式为调查员在调查时向受访油菜种植户询问“花期时,有蜂农来田中采蜜吗”,根据受访者回忆获取“是”或“否”的回答。该变量在不同省份、不同年度、不同地形区域和全样本中分布情况见表 1。

从表 1 可见,频数为 1460,占总样本比例为 49.86%。变量在不同省份间具有较高差异性,在不同地形区县(以《中国县(市)社会经济统计年鉴 2012》中的区县分类定义平原县、丘陵县与山区县^[31])间也存在差异,在丘陵县和山区县(以下统称“丘陵山区县”)比例高于平原县 11.66%,原因可能在于山区植被覆盖广阔,蜜源植物丰富,一年四季均有花开,更适宜发展养蜂业^[24]。变量在年度之间呈上升趋势,2019 年比 2016 年增加 9.37 个百分点。

在此基础上,进一步详细讨论并检验了核心解释变量测量方法的准确性、量纲的有效性以及对对照组设置方式。对基于油菜种植户自身回忆的核心解释变量测量方法的准确性,分别讨论和检验了可能存在的第一类统计错误和第二类统计错误,结论显示未发现明显的测量偏误;对使用二值变量作为核心解释变量量纲的有效性,依据相关文献信息讨论了蜂农授粉的实际操作过程,结论显示蜂农无论携带蜂群数量多少,授粉效果近似等同;对仅将自然授粉作为核心解释变量对照组的设置方式,讨论

了农户问卷调查的现实困难以及技术经济分析中的实际需求,结论显示自然授粉比隔离无蜂授粉更适合作为技术经济分析的对照组。因此,核心解释变量的测量方法是准确的,量纲是有效的,对照组的设置方式是合适的(受篇幅限制,不再汇报具体的讨论和检验结果)。

(2)被解释变量和控制变量的基本情况。在式(2)中,被解释变量 Y 以每户油菜年产量表示,单位为千克;土地投入 A 以每户每年油菜收获面积表示,单位为公顷;劳动投入 L 以每户每年油菜用工量表示,单位为工日;化肥投入 F 以每户每年油菜年化肥用量表示,单位为千克;生产费用 OM 以每户每年油菜除化肥之外其他生产投入费用加总表示,包括农药、种子、农膜、水电费和机械作业费等,并按2016年不变价格平减,单位为元; T 为时间趋势项,2016年至2019年依次赋值为1~4。同时,为处理要素零投入水平时无法取对数问题,按照厄尔·O·黑迪等^[29]的建议方法,将“化肥施用量”和“生产费用”中极少量0数值改为1,“蜂农授粉”变量的观测值全部加1。上述主要变量的描述性统计结果见表2。

表1 蜂农授粉情况的总体分布

类别	组别	频数	频率/%	样本量
省份	安徽省	111	47.64	233
	广西壮族自治区	34	31.78	107
	贵州省	92	49.73	185
	河南省	50	58.82	85
	湖北省	252	64.95	388
	湖南省	205	54.96	373
	江苏省	87	36.55	238
	江西省	131	58.74	223
	陕西省	64	50.79	126
	上海市	15	11.28	113
	四川省	155	39.34	394
	新疆维吾尔自治区	59	80.82	73
	云南省	123	77.85	158
	浙江省	0	0.00	122
年度	重庆市	82	91.11	90
	2016年	202	44.20	457
	2017年	460	51.17	899
	2018年	475	49.02	969
	2019年	323	53.57	603
地形区域	平原县	382	41.84	913
	丘陵山区县	1078	53.50	2015
全样本	全样本	1460	49.86	2928

表2 主要变量的描述性统计结果

N=2928

变量名称	算术均值	几何均值	标准差	最小值	最大值
产量/千克	910.23	334.74	3103.80	15	66500
收获面积/公顷	0.46	0.16	1.67	0.01	25.33
劳动力/工日	22.60	11.90	57.10	1	1134
化肥施用量/千克	262.43	90.12	1001.94	1	21000
生产费用/元	236.21	56.46	873.06	0.95	20932.72
蜂农授粉(没有=1;有=2)	1.50	1.40	0.50	1	2
时间趋势项(2016=1;2017=2;2018=3;2019=4)	2.67	2.37	0.98	1	4

二、估计结果及解释

1. 基准模型

(1)模型形式检验。使用Stata16.1软件,对式(2)进行估计,并进行适用性检验。检验结果表明,模型存在个体效应,且个体效应与模型解释变量相关。因此,采用面板固定效应模型的估计结果(见

表 3 的回归 1)。这样做的另一个好处是:在短期内,野蜂和小昆虫等当地野生授粉者对油菜的自然授粉在不同年份花期时若视为是固定不变的,则面板固定效应模型可以有效控制自然授粉的影响,得到对核心解释变量更准确的估计。

同时,由于面板固定效应模型需要对每个农户不同年份数据进行离差转换(将每个农户数据减去该农户所有年份数据均值),而仅有 1 年数据农户样本无法进行离差转换(1 年数据的所有年份均值是其自身,相减后为 0,不包含任何信息),因此仅有 1 年数据的 38 个农户未纳入面板固定效应模型,面板固定效应模型有效农户数量为 1069 个,有效样本量为 2890 个。

(2)基准模型结果。从表 3 可见,回归 1 解释变量变异性对被解释变量变异性的解释程度为 63.0%,16 个解释变量中有 5 个在统计上显著,各解释变量对被解释变量的联合影响也极显著,表明模型能够较好地解释各因素对农户油菜年产量的影响。对各生产要素二次项与交互项拟合系数的联合 t 检验结果显示,可以在 1% 显著性水平上拒绝其等于 0,表明超越对数生产函数模型设定是合适的。蜂农授粉变量 t 检验结果显示,可以在 1% 显著性水平上拒绝假设 1 的零假设,接受假设 1 的备择假设,即蜂农授粉对农户油菜年产量有显著影响。

同时,作为对照,回归 2 的数据和估计方法与回归 1 相同,但未纳入蜂农授粉变量。与回归 2 相比,回归 1 的各控制变量系数和显著性均未出现较大变化,说明估计结果具有较强的稳健性。对调整 R^2 变化的层级检验^[32]表明,可以在 1% 显著性水平上拒绝回归 1 的调整 R^2 和回归 2 无差异,加入蜂农授粉变量后回归 1 对油菜产量的解释力度显著高于回归 2。回归 2 的 AIC 数值为 -1233.743, BIC 数值为 -1144.208,回归 1 的 AIC 数值为 -1273.672, BIC 数值为 -1178.168,加入蜂农授粉变量后 AIC 和 BIC 数值都下降了,回归 1 在增加解释力度同时,依然保持了简洁性。

2. 内生性检验

模型设定时假设蜂农授粉是外生变量,参考 Wagner 等^[33]研究坦桑尼亚养蜂业时的方法,使用以下 5 种方法检验其外生性:①计算蜂农授粉与其他控制变量的相关系数;②计算蜂农授粉的方差膨胀因子数值;③对有无蜂农授粉样本组的各生产要素投入的组间差异进行分组均值 t 检验;④将蜂农授粉作为被解释变量进行回归,检验其他控制变量对其是否有统计显著性(见表 3 的回归 3);⑤寻找一个蜂农授粉的有效工具变量,对蜂农授粉进行内生性检验。

上述 5 种检验方法均不能拒绝假设 2 的零假设,未发现统计意义上蜂农授粉与油菜种植户生产行为内生的证据,可以认为蜂农授粉是一个外生变量(受论文篇幅限制,不再汇报内生性检验的具体结果和说明)。将其作为外生变量纳入生产函数,所设定的模型形式是合适的。

3. 蜂农授粉效果及地形区域差异

(1)控制省份-年度交互固定效应。考虑到同一年度同一省份内还可能存在着其他遗漏的共同因素(例如政策变化、气候变化和野生授粉者变化等)的影响,在回归 1 的基础上进一步控制了更严格的省份-年度交互固定效应,拟合结果见表 3 中的回归 4。

(2)截尾模型。为了检验极端值的影响,回归 5 在回归 4 的基础上进行了截尾处理,未纳入调查期内年均油菜产量最低 5% 和最高 5% 的农户,回归 5 的拟合结果与回归 4 没有较为明显的变化,显示回归 4 的结果是较为稳健的。

(3)不同地形区域的分组回归。由于地形因素的影响,平原地区与丘陵山区之间的油菜生产状况和蜂农授粉情况可能存在一些区域方面的组间差异,为此,提出假设 3:

零假设(H_0):平原地区与丘陵山区各生产要素和蜂农授粉对油菜产量的影响无差异;

备择假设(H_1):平原地区与丘陵山区各生产要素和蜂农授粉对油菜产量的影响有差异。

基于假设 3,使用上述区域的子样本数据拟合了分组回归方程。回归 6 汇报了位于平原县受访户数据的拟合结果,回归 7 汇报了位于丘陵山区县受访户数据的拟合结果。同时,使用连玉君等对费舍尔组合改进的检验方法^[34],检验了回归 6 与回归 7 的分组回归差异。从表 3 可见,回归 6 与回归 7 各变量的组间系数均在 1% 的统计水平上存在显著差异,因此可以拒绝假设 3 的零假设,显示出不同地形环境下油菜生产存在着明显区域差异。

表 3 蜂农授粉效果及地形区域差异

模型变量	回归 1	回归 2	回归 3	回归 4	回归 5	回归 6	回归 7	回归 7 与 回归 6 系 数差
	全样本	全样本	全样本	全样本	截尾 5%	平原县	丘陵山 区县	
被解释变量	产量	产量	蜂农授粉	产量	产量	产量	产量	—
蜂农授粉	0.106*** (0.029)	—	—	0.096*** (0.030)	0.095*** (0.031)	0.159** (0.064)	0.080** (0.031)	-0.079*** (0.000)
收获面积对数	0.495** (0.230)	0.471** (0.231)	-0.226 (0.177)	0.730*** (0.235)	0.561** (0.280)	1.295*** (0.372)	0.571* (0.316)	-0.724*** (0.000)
劳动力对数	0.102 (0.146)	0.103 (0.147)	0.007 (0.136)	0.009 (0.145)	-0.049 (0.190)	0.223 (0.316)	-0.055 (0.205)	-0.278*** (0.000)
化肥施用量对数	0.060 (0.071)	0.071 (0.071)	0.106 (0.079)	0.059 (0.076)	0.033 (0.078)	0.134 (0.195)	-0.049 (0.131)	-0.183*** (0.000)
生产费用对数	-0.007 (0.081)	-0.017 (0.082)	-0.096* (0.055)	-0.096 (0.088)	-0.036 (0.099)	-0.252 (0.185)	0.027 (0.109)	0.279*** (0.000)
收获面积对数二次项	-0.053* (0.028)	-0.058** (0.028)	-0.045* (0.023)	-0.026 (0.029)	-0.056 (0.035)	0.025 (0.038)	-0.047 (0.037)	-0.072*** (0.000)
劳动力对数二次项	0.012 (0.013)	0.009 (0.013)	-0.031 (0.022)	0.011 (0.014)	0.020 (0.015)	0.014 (0.020)	0.014 (0.024)	-0.000*** (0.000)
化肥施用量对数二次项	0.020*** (0.007)	0.019*** (0.007)	-0.014 (0.009)	0.012* (0.007)	0.010 (0.007)	0.011 (0.014)	0.019** (0.008)	0.007*** (0.000)
生产费用对数二次项	0.015*** (0.005)	0.015*** (0.005)	-0.002 (0.005)	0.015*** (0.005)	0.019*** (0.007)	0.040*** (0.012)	0.013** (0.006)	-0.027*** (0.000)
收获面积对数× 劳动力对数	0.034 (0.031)	0.039 (0.031)	0.040 (0.033)	0.012 (0.030)	0.013 (0.043)	0.007 (0.053)	0.027 (0.046)	0.020*** (0.000)
收获面积对数× 化肥施用量对数	0.023 (0.017)	0.025 (0.017)	0.025 (0.020)	0.016 (0.017)	0.007 (0.021)	-0.014 (0.044)	-0.002 (0.027)	0.012*** (0.000)
收获面积对数× 生产费用对数	-0.001 (0.017)	-0.003 (0.017)	-0.022* (0.013)	-0.015 (0.018)	0.012 (0.021)	-0.059** (0.029)	0.011 (0.022)	0.070*** (0.000)
劳动力对数× 化肥施用量对数	-0.035** (0.017)	-0.033* (0.017)	0.018 (0.021)	-0.030* (0.017)	-0.022 (0.018)	-0.079** (0.039)	-0.004 (0.032)	0.075*** (0.000)
劳动力对数× 生产费用对数	0.008 (0.012)	0.009 (0.013)	0.009 (0.012)	0.021 (0.014)	0.012 (0.015)	0.023 (0.030)	0.009 (0.014)	-0.014*** (0.000)
化肥施用量对数× 生产费用对数	-0.015 (0.009)	-0.014 (0.009)	0.011 (0.008)	-0.006 (0.010)	-0.008 (0.010)	-0.014 (0.028)	-0.017 (0.013)	-0.002*** (0.000)
时间趋势项	0.004 (0.007)	0.006 (0.007)	0.025*** (0.008)	0.036 (0.024)	0.030 (0.024)	0.085*** (0.023)	0.082*** (0.016)	-0.002*** (0.000)
常数项	6.365*** (0.498)	6.511*** (0.497)	1.375*** (0.364)	6.771*** (0.523)	6.718*** (0.616)	6.882*** (1.119)	6.586*** (0.688)	—
个体固定效应	已控制	—						
省份-年度固定效应	未控制	未控制	未控制	已控制	已控制	已控制	已控制	—
样本量	2890	2890	2890	2890	2604	895	1995	—
农户数量	1069	1069	1069	1069	957	320	749	—
组内 R ²	0.632	0.627	0.032	0.664	0.653	0.642	0.710	—
调整 R ²	0.630	0.625	0.027	0.657	0.645	0.625	0.702	—
F 值	154.30***	163.79***	3.24***	55.37***	45.47***	38.48***	58.90***	—

注:①***、**、* 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上显著,下同。②回归 1 至回归 7 括号内为稳健标准误,回归 7 与回归 6 系数差的括号内为 P 值。

(4)模型形式检验。对回归 4、回归 6 和回归 7 的适用性检验表明,这 3 个回归也适合采用面板固定效应模型的估计结果。F 检验结果显示,各解释变量对被解释变量的联合影响在 3 个回归中也均极显著。对模型各生产要素的二次项与交互项拟合系数的联合 t 检验结果显示,这 3 个回归均可以在 1% 显著性水平上拒绝其拟合系数等于 0,表明超越对数生产函数的模型设定在这 3 个回归中也是合适的。因此,后文使用回归 4、回归 6 和回归 7 的估计结果,进行经济含义解释。

4. 估计结果解释

(1)产出弹性和贡献率的计算方法。由于超越对数生产函数各变量系数难以直接解释,通常以各

变量在样本几何均值处的产出弹性进行分析。以土地和蜂农授粉变量为例,对式(2)求偏导数,得到产出弹性函数如下:

$$\frac{\partial Y/Y}{\partial A/A} = \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln A} = \beta_1 + \beta_{11} \ln A + \beta_{12} \ln L + \beta_{13} \ln F + \beta_{14} \ln OM \quad (3)$$

$$\frac{\partial Y/Y}{\partial BEE/BEE} = \frac{\partial \ln Y}{\partial BEE} \cdot BEE = \beta_{BEE} BEE \quad (4)$$

将各要素几何均值和回归拟合系数代入式(3)和式(4),得到各因素在样本几何均值处(下同)的产出弹性,见表4。进一步来看,产出弹性反映的是各项因素对油菜产量影响程度的相对量,在一定时间段之间,还应考虑到各因素的变化幅度。参考 You 等^[35]和刘天军等^[36]使用的贡献率计算方法,用各因素产出弹性与该因素样本年度间变化率的乘积来表示该因素对油菜产量增长的贡献,各组别的影响因素贡献率情况见表4。

表4 2016—2019年各影响因素的产出弹性和对油菜产量增长的贡献率

组别	指标	收获面积	劳动力	化肥施用量	生产费用	投入要素合计	蜂农授粉	残值	总增长
全样本	弹性	0.861	-0.009	0.043	0.076	0.970	0.136	—	—
	变化率/%	86.422	18.275	70.151	165.968	—	21.185	—	—
	贡献率/%	74.434	-0.171	2.983	12.556	89.802	2.885	6.570	99.257
	贡献率占比/%	74.991	-0.173	3.006	12.650	90.475	2.907	6.619	100
平原县	弹性	0.926	0.016	0.029	0.160	1.130	0.213	—	—
	变化率/%	119.632	38.762	6.845	49.588	—	15.067	—	—
	贡献率/%	110.771	0.614	0.199	7.910	119.494	3.202	-37.063	85.633
	贡献率占比/%	129.356	0.717	0.232	9.237	139.542	3.740	-43.282	100
丘陵山区县	弹性	0.844	-0.011	0.046	0.064	0.943	0.116	—	—
	变化率/%	73.757	10.077	93.406	179.029	—	22.381	—	—
	贡献率/%	62.260	-0.108	4.249	11.427	77.827	2.599	24.770	105.196
	贡献率占比/%	59.185	-0.103	4.039	10.863	73.983	2.471	23.547	100

注:贡献率=弹性×变化率;贡献率占比表示各因素的贡献率占油菜产量增长的百分比。

(2)蜂农授粉效果。在全样本、平原县和丘陵山区县回归中,蜂农授粉对油菜产量均有显著正向影响,但在丘陵山区县的拟合系数比平原县低0.079,二者差异在1%统计水平上具有显著性。全样本中蜂农授粉产出弹性为0.136,数值大小仅次于土地,具有明显增产作用。平原县蜂农授粉产出弹性为0.213,丘陵山区县为0.116。平原县高于丘陵山区县的原因可能有两点,一是丘陵山区蜜粉源植物丰富^[24],野蜂和小昆虫等自然授粉媒介更多,蜂农采蜜带来的叠加授粉效果相对下降;二是丘陵山区丰富的蜜粉源植物也使其更适合发展养蜂业,蜂农授粉比例比平原县高11.66%(见表1),蜂农授粉较为饱和时效果可能降低。

对产量的贡献率方面,全样本中,蜂农授粉增加21.19%,对2016—2019年油菜产量增长的贡献率为2.885%;分区域来看,蜂农授粉在平原县的变化率为15.07%,低于丘陵山区县的22.38%,但在平原县的产出弹性为0.213,高于丘陵山区县的0.116,因此蜂农授粉对平原县产量的贡献率为3.20%,高于丘陵山区县的2.59%。

总体来看,尽管蜂农授粉产出弹性较高,但对油菜产量增长贡献率不高,原因可能在于这一有效增产措施仍然有待推广和采纳。2019年蜂农授粉比例为53.57%,有近半数油菜种植户没有得到蜂农授粉,未来蜂农授粉比例还有较大提升空间。

(3)其他生产要素效果。在全样本回归中,土地的一次项存在显著正效应,化肥和生产费用的二次项存在显著正效应,劳动力与化肥施用量的交互项存在显著负效应。土地、劳动力、化肥和生产费用都至少在一次项、二次项或交互项中对被解释变量存在显著影响,显示出将这4种生产要素纳入模型是合适的。

土地产出弹性在全样本为0.861,在平原县为0.926,高于丘陵山区县的0.844,丘陵山区县地块较为零碎,难以连片耕作,导致其产出弹性偏低。土地对产量增长贡献率在各要素中最高,可能由于

2015年油菜籽临储政策改革降低了种植户收益,导致2016年油菜种植面积大幅减少^[6],随后因收益回升出现种植面积恢复性增长。平原县面积恢复性增长更快,且平原县土地产出弹性高于丘陵山区县,因此土地对平原县产量贡献率明显高于丘陵山区县。

劳动力产出弹性在全样本中为-0.009,在平原县为0.016,丘陵山区县为-0.011,二者均接近于0,差异不明显,显示在平原县和丘陵山区县均存在劳动力投入过密化倾向。劳动力投入在产出弹性为负的情况下仍有一定增幅(18.28%),是各要素中唯一对油菜产量增长贡献率为负(-0.17%)的因素。劳动力增幅在平原县和丘陵山区县均远低于收获面积的增幅,对平原县和丘陵山区县产量的贡献率分别为0.61%和-0.11%,对产量几乎无影响。

化肥产出弹性在全样本中为0.043,在平原县为0.029,丘陵山区县为0.046。化肥施用量的贡献率也比较低(2.98%),当前油菜生产中化肥用量过多,影响土壤质量^[37],需要转变农户生产观念,推行绿色生产方式,控制化肥用量。化肥施用量在平原县的变化率为6.85%,远低于平原县收获面积增幅,化肥减量施用较为明显,对产量的贡献率为0.19%,在丘陵山区的变化率高于丘陵山区县收获面积增幅,化肥仍在增量施用,虽然增加了93.406%的化肥,但仅贡献了4.249%的丘陵山区县油菜产量变化,化肥增量施用的增产效果很低。

其他生产费用产出弹性在全样本中为0.076,在平原县为0.160,高于丘陵山区县的0.064,农药、种子、农膜、水电和机械作业等投入对油菜产量的影响在平原县更高。农业生产中,这些资本投入可能存在地块规模经济,即在较大的地块中效率高,在较零散的地块中效率低^[38]。丘陵山区县的地块可能比平原县零散,影响了这些资本投入的效率。其他生产费用增幅比较高(165.97%),但因其产出弹性较低,对油菜产量增长贡献率仅为12.56%。其他生产费用产出弹性在平原县高于丘陵山区县,但其在平原县变化率为49.56%,远低于丘陵山区县的179.03%,因此其对平原县产量贡献率7.91%低于丘陵山区县11.43%。

(4)技术进步情况。模型设定中,以时间趋势项代表希克斯中性技术进步,时间趋势项在回归6和回归7中均在1%的统计水平上显著,表明平原县和丘陵山区县的油菜生产年均技术进步率分别为8.45%和8.21%。技术进步可能来源于近年来油菜新品种的研发与农户采纳,以及相关配套的农技农艺的推广。

(5)规模报酬情况。全样本中,规模弹性为0.970,接近于规模报酬不变。规模弹性在平原县为1.130,丘陵山区县为0.943,现阶段平原县油菜生产处于规模报酬递增阶段,丘陵山区县处于规模报酬递减阶段。平原县和丘陵山区县之间的规模报酬差异主要由土地和其他生产费用的要素产出弹性差异引起。

三、结论与启示

1. 结论

研究使用国家油菜产业技术体系农户固定观测点2016—2019年15个省1069个油菜种植户的2890个样本的非平衡面板数据,构建超越对数生产函数模型,分析了蜂农授粉对油菜产量的技术经济效果,并进一步讨论了在平原地区和丘陵山区之间各生产要素和蜂农授粉情况对油菜产量影响的区域差异性。研究结果表明:

(1)蜂农授粉是有效的增产措施,但仍有待推广。蜂农授粉对油菜年产量有显著正向影响,且表现出比化肥、劳动力和其他生产投入等传统生产要素更高的产出弹性,是一种有效的增产措施。虽然蜂农授粉表现出较高的产出弹性,但由于蜂农授粉的比例增加有限,在2016—2019年之间仅贡献了2.89%的油菜产量增长。

(2)油菜增产主要依赖土地面积增加和技术进步。传统生产要素对油菜增产作用较为有限,劳动力的产出弹性为负值,化肥和其他生产投入的产出弹性也比较低。各影响因素对油菜产量增长的贡献率由大到小排序依次为土地、其他生产费用、化肥、蜂农授粉、劳动力,显示在目前油菜生产中劳动力投入过密,化肥和其他生产投入等要素的效果也较低,目前增加产量主要依赖于种植面积的增加,

需要转换发展动能。目前技术进步对油菜生产有重要影响,在控制了各投入要素的影响之后,油菜生产在平原和丘陵山区县年度间的技术进步率分别达到 8.45% 和 8.21%。

(3)各因素对油菜产量的影响存在明显区域差异。蜂农授粉对油菜产量影响在平原县显著高于丘陵山区县,在平原县中表现出更高的产出弹性和贡献率。平原县土地、劳动力、生产投入的产出弹性和技术进步高于丘陵山区县,化肥的产出弹性低于丘陵山区县。平原县土地和劳动力的贡献率高于丘陵山区县,化肥和其他生产投入的贡献率低于丘陵山区县。各影响因素对油菜产量增长的贡献率由大到小排序在平原县为土地、其他生产费用、蜂农授粉、劳动力、化肥,在丘陵山区县为土地、其他生产费用、化肥、蜂农授粉、劳动力。

2. 启 示

以上研究结论显示,蜂农授粉能够在不明显增加资源环境压力的情况下显著增加油菜产量,从而增加种植收益。全球经验显示,加强养蜂业的支持政策变化是最大限度地提高依赖授粉作物产量潜力的迫切需要^[18]。因此,基于研究结论,有以下政策启示:

(1)适度增加补贴。当前蜂农授粉比例主要体现了蜂农作为蜂产品生产者的市场均衡水平,如果能通过恰当机制将其对农作物授粉的正外部性内部化,使蜂农也能获得授粉服务收益,将能够增加蜂农数量,达到新的市场均衡。此时,蜂农数量增加既可以增加农作物授粉,也可以增加市场上的蜂产品供应数量,提高蜂产品消费者福利。对于具有正外部性的产品,为促进社会福利最大化,常用的经济学做法是由政府进行补贴,使外部性内部化。建议按照目前建立绿色生态导向农业补贴制度改革的精神,将农业补贴资金适度向蜂农生产作业环节倾斜,继续对蜂农购买蜂箱和养蜂车给予补贴,同时积极探索其他补贴方式,例如为油菜种植户向蜂农购买授粉服务提供服务费补贴,鼓励更多蜂农在采蜜时发挥授粉的正外部性效果。

(2)加强蜂业知识宣传。普通大众和蜂农对蜜蜂和其他传粉者的知识和态度通常存在显著差异^[39],而宣传培训能够有效提高农户对蜜蜂授粉的知识并促使农户采取对授粉活动的友好行为^[40],考虑到当前中国仍有许多农户对蜜蜂授粉价值了解不足^[23],建议在主产区向油菜种植户增加宣传力度,介绍蜂农授粉对油菜增产作用,降低部分农户对蜂农作业的不理解和干扰,引导农户合理使用杀虫剂,减少杀虫剂对蜜蜂的毒害作用。

(3)引导种植业与养蜂业建立紧密型合作关系。油菜种植业存在规模效应^[4],养蜂业也存在规模效应^[41],引导养蜂行业与油菜种植业进行沟通,互相交换自身的成本收益信息,建立行业之间的利益连接方式,可以达到双方共同的最优规模,促进双方的和谐、共享与协同发展。目前蜂农作业比例较低的地区,应努力破除蜂农转场障碍,或者发展本地养蜂业。现阶段可以优先引导合作社、种植大户等规模农业经营主体与蜂农加强合作,并鼓励基层组织为蜂农作业提供必要的便利条件。

参 考 文 献

- [1] 中共中央,国务院.中共中央国务院关于深入推进农业供给侧结构性改革加快培育农业农村发展新动能的若干意见[M].北京:人民出版社,2017.
- [2] 王汉中.以新需求为导向的油菜产业发展战略[J].中国油料作物学报,2018,40(5):613-617.
- [3] HE Y Q, REVELL B, LENG B F, et al. The effects of weather on oilseed rape (OSR) yield in China; future implications of climate change[J]. Sustainability, 2017, 9(3): 418.
- [4] 金福良,王璐,李谷成,等.不同规模农户冬油菜生产技术效率及影响因素分析——基于随机前沿函数与1707个农户微观数据[J].中国农业大学学报,2013,18(1):210-217.
- [5] 李谷成,梁玲,尹朝静,等.劳动力转移损害了油菜生产吗?——基于要素产出弹性和替代弹性的实证[J].华中农业大学学报(社会科学版),2015(1):7-13.
- [6] 冷博峰,李谷成,冯中朝.对国家油菜籽临时收储政策的几点思考——效果、问题及其取消后的影响[J].农业现代化研究,2017,38(4):632-639.
- [7] 张雯丽.供给侧结构性改革背景下油菜产业发展路径选择[J].农业经济问题,2017(10):11-17.
- [8] 李国祥.论中国农业发展动能转换[J].中国农村经济,2017(7):2-14.

- [9] KLEIN A, VAISSIÈRE B E, CANE J H, et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops[J]. *Proceedings of the royal society b: biological sciences*, 2006, 274(1608): 303-313.
- [10] DURANT J L, OTTO C R V. Feeling the sting? Addressing land-use changes can mitigate bee declines[J]. *Land use policy*, 2019(87): 1-8.
- [11] ANDREWS E. To save the bees or not to save the bees: honey bee health in the Anthropocene[J]. *Agriculture and human values*, 2019, 36(4): 891-902.
- [12] ELLIS R A, WEIS T, SURYANARAYANAN S, et al. From a free gift of nature to a precarious commodity: bees, pollination services, and industrial agriculture[J]. *Journal of agrarian change*, 2020, 20(3): 437-459.
- [13] 石元元, 管琴, 曾志将, 等. 蜜蜂为油菜授粉增产效果及机理研究[J]. *江西农业大学学报*, 2009, 31(6): 994-999.
- [14] 梁铖, 简绍方, 黄永权, 等. 蜜蜂为罗平油菜授粉效果研究[J]. *中国蜂业*, 2014, 65(Z1): 37-39.
- [15] 庞博, 雷雪萍, 王文峰, 等. 两种蜂授粉对西藏西红柿、油菜产量性状及甜度的影响[J]. *中国蜂业*, 2019, 70(7): 46-48.
- [16] 农业农村部办公厅, 财政部办公厅. 农业农村部办公厅 财政部办公厅关于实施蜂业质量提升行动的通知[J]. *中华人民共和国农业农村部公报*, 2018(9): 13-15.
- [17] 生物多样性公约缔约方大会第十四届会议. 生物多样性公约缔约方大会通过的决定 14/6. 保护和可持续利用授粉媒介[EB/OL]. [2018-11-30]. <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-14/cop-14-dec-06-zh.pdf>.
- [18] DICKS L V, VIANA B, BOMMARCO R, et al. Ten policies for pollinators[J]. *Science*, 2016, 354(6315): 975-976.
- [19] KASINA J M, MBURU J, KRAEMER M, et al. Economic benefit of crop pollination by bees: a case of kakamega small-holder farming in Western Kenya[J]. *Journal of economic entomology*, 2009, 102(2): 467-473.
- [20] GALLAI N, SALLES J, SETTELE J, et al. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline[J]. *Ecological economics*, 2009, 68(3): 810-821.
- [21] 刘朋飞, 吴杰, 李海燕, 等. 中国农业蜜蜂授粉的经济价值评估[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(24): 5117-5123.
- [22] 赵芝俊. 中国蜂业经济研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2013.
- [23] 李海燕, 董加云, 吴磊, 等. 农户保护蜜蜂资源和租用蜜蜂授粉的行为研究——基于山东和福建的实证分析[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(35): 113-119.
- [24] 席桂萍. 中国养蜂业国内支持政策研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- [25] 刘朋飞, 李宋钰. “外部性”作用下的蜂业路在何方[J]. *中国蜂业*, 2011(27): 26-29.
- [26] 王勇. 养蜂业发展的重要使命在于为农业生产作贡献[J]. *中国农业信息*, 2011(9): 13-14.
- [27] BARFIELD A S, BERGSTROM J C, FERREIRA S, et al. An economic valuation of biotic pollination services in Georgia[J]. *Journal of economic entomology*, 2015, 108(2): 388-398.
- [28] 国家统计局. 中国统计年鉴 2019[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- [29] 厄尔·O·黑迪, 约翰·L·狄龙. 农业生产函数[M]. 沈达尊, 朱希刚, 厉为民, 译. 北京: 农业出版社, 1991.
- [30] CHRISTENSEN L R, JORGENSON D W, LAU L J. Transcendental logarithmic production frontiers[J]. *The review of economics and statistics*, 1973, 55(1): 28-45.
- [31] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国县(市)社会经济统计年鉴 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [32] 詹姆斯·杰卡德, 罗伯特·图里西. 多元回归中的交互作用[M]. 蒋勤, 译. 上海: 格致出版社, 2012.
- [33] WAGNER K, MEILBY H, CROSS P. Sticky business—why do beekeepers keep bees and what makes them successful in Tanzania? [J]. *Journal of rural studies*, 2019(66): 52-66.
- [34] 连玉君, 廖俊平. 如何检验分组回归后的组间系数差异? [J]. *郑州航空工业管理学院学报*, 2017, 35(6): 97-109.
- [35] YOU L Z, ROSEGRANT M W, WOOD S, et al. Impact of growing season temperature on wheat productivity in China[J]. *Agricultural and forest meteorology*, 2009, 149(6): 1009-1014.
- [36] 刘天军, 蔡起华, 朱玉春. 气候变化对苹果主产区产量的影响——来自陕西省6个苹果生产基地县210户果农的数据[J]. *中国农村经济*, 2012(5): 32-40.
- [37] 官春云. 中国油菜产业发展方向[J]. *粮食科技与经济*, 2011, 36(2): 5-6.
- [38] 顾天竹, 纪月清, 钟甫宁. 中国农业生产的地块规模经济及其来源分析[J]. *中国农村经济*, 2017(2): 30-43.
- [39] PENN J, HU W, PENN H J. Support for solitary bee conservation among the public versus beekeepers[J]. *American journal of agricultural economics*, 2019, 101(5): 1386-1400.
- [40] ELISANTE F, NDAKIDEMI P A, ARNOLD S E J, et al. Enhancing knowledge among smallholders on pollinators and supporting field margins for sustainable food security[J]. *Journal of rural studies*, 2019(70): 75-86.
- [41] JONES RITTEN C, PECK D, EHMKE M, et al. Firm efficiency and returns-to-scale in the honey bee pollination services industry [J]. *Journal of economic entomology*, 2018, 111(3): 1014-1022.

(责任编辑: 金会平)