

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2021.22.008

青海省 R&D 活动投入效率评价及影响机制

朱承亮, 刘建翠

(中国社会科学院数量经济与技术经济研究所, 北京 100732)

摘要: 在分析青海省 R&D 活动总量及结构现状和存在问题基础上, 采用基于数据包络分析 (DEA) 的 CCR 模型和 Malmquist 生产率指数, 对 2000—2017 年青海省 R&D 活动的静态投入效率和动态投入效率进行测算评价, 且考察青海省 R&D 活动投入效率的影响机制。研究发现: 青海省 R&D 活动投入效率总体偏低, 在西北 5 省区及国内 30 个省份处于下游水平; 从静态投入效率看, 综合效率和规模效率均较低, 纯技术效率相对有效, 规模效益处于规模递增状态; 从动态投入效率看, 技术进步缓慢和技术效率改善不明显拖累了全要素生产率增长; 研发人员、对外开放和创新环境指标水平提升显著促进青海省 R&D 活动投入效率提升, 但研发经费和政府支持对青海省 R&D 活动投入效率提升作用不显著。研究结论对青海省科技发展的政策含义包括应充分发挥政府资金引导作用, 加强人才引进和培育力度, 积极促进科技成果吸收转化, 以及营造高质量科技创新环境等。

关键词: R&D 活动投入; 效率评价; 影响机制; 青海省

中图分类号: F062.4; F224; G301

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695 (2021) 22-0059-08

Evaluation and Influencing Mechanism of R&D Input Efficiency in Qinghai Province

Zhu Chengliang, Liu Jiancui

(Institute of Quantitative and Technical Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China)

Abstract: Based on the analysis of the total amount and structure situation and existing problems of R&D activities in Qinghai province, this paper evaluates its static and dynamic R&D input efficiency from 2000 to 2017, using the CCR model and Malmquist productivity index based on data envelopment analysis (DEA), and investigates the influencing mechanism of R&D input efficiency. The paper finds that the R&D activities input efficiency of Qinghai is generally low, which is at the downstream level in 5 provinces in northwest China and 30 provinces in China. From the perspective of static input efficiency, the comprehensive efficiency and scale efficiency are low, the pure technical efficiency is relatively effective, and the scale efficiency is increasing. From the perspective of dynamic input efficiency, slow technological progress and insignificant improvement in technical efficiency have dragged down the growth of total factor productivity. The improvement of R&D personnel, opening up and innovation environment indicators significantly promote the investment efficiency of R&D activities in Qinghai, but R&D funds and government support do not significantly improve the investment efficiency of R&D activities in Qinghai. The policy implications of the research conclusions for the S&T development of Qinghai province include giving full play to the guiding role of government funds, strengthening the introduction and cultivation of talents, actively promoting the absorption and transformation of S&T achievements, and creating a high-quality S&T innovation environment.

Key words: R&D activities input; efficiency evaluation; influencing mechanism; Qinghai province

1 研究背景

党的十九大报告提出创新是引领发展的第一动力, 是建设现代化经济体系的战略支撑。科技资源作为科学技术的基本要素, 已经成为国家重要的战略资源。近年来我国科技投入增速较快, 逐步扭转了科技投入严重短缺的状况, 但目前我国科技资源

利用效率还不高。通过对现有文献的梳理可以发现, 当前国内外文献对 R&D 活动绩效进行了大量研究, 涉及国家、区域、行业以及企业 R&D 活动绩效的测度分析, 测算方法主要包括数据包络分析方法、随机前沿分析方法、因子分析法、层次分析法等等; 在 R&D 活动绩效影响因素研究方面, 研究者基于不

收稿日期: 2020-12-08, 修回日期: 2021-03-09

基金项目: 青海省科技计划软科学研究项目“青海省 R&D 活动投入效率评价及机制研究”(2018-ZJ-601); 中国社会科学院登峰战略优势学科建设项目“技术经济学”(CASS2017YSXKJSJJ)

同的研究目标, 从不同角度也进行了大量分析, 这些影响因素主要集中在政府作用、创新环境、行业结构、企业规模、企业性质等各个方面。

近年来, 青海省高度重视科技创新工作, 作出了加快创新型省份建设的一系列决策部署, 但与建设创新型省份的要求相比, 青海省科技创新还存在一些不足和问题, 在全球科技创新呈现新趋势, 国内经济社会发展进入新时代的大背景下, 青海省经济社会发展、生态环境保护、保障和改善民生等对科技创新工作提出了新要求, 青海省科技创新工作面临不小挑战。现有文献对青海省科技发展情况也展开了细分研究, 这些研究主要集中在科技发展战略、区域科技创新能力、产业科技创新发展等方面。如, 在青海省科技发展战略研究方面, 苏海红^[1]探讨了构建生态功能区的科技创新体系对青海省绿色发展的重要性及挑战, 并提出了相应的政策建议。在青海区域科技创新能力研究方面, 孙秀珊等^[2]运用因子分析法对青海省 2005—2013 年科技发展水平进行了动态评价, 发现科技投入结构不合理、科技产出效率低以及科技支撑环境欠佳是制约青海省科技发展水平的重要因素; 徐尚荣^[3]认为改善青海省科技和经济的良性互动需要加大人才投入、增强技术产业化强度以及打造与维护良好的科技创新环境; 丁生喜等^[4]对青海省区域创新环境与创新绩效进行相关性分析, 结果表明区域创新环境与创新绩效存在显著相关性。在青海省产业科技创新发展研究方面, 秦真凤等^[5]使用数据包络分析法对青海省主导产业的技术创新效率进行了评价, 发现主导产业的技术创新效率较低, 存在投入冗余和产出不足的问题; 此外, 还有研究分析了青海绿色矿业、藏药产业的科技创新情况。

本研究根据中国科技发展战略研究院^[6]发布的《中国区域科技创新评价报告 2018》, 旨在分析青海省 R&D 活动现状及问题基础上, 通过对青海省 R&D 活动投入效率的定量评价, 分析青海省 R&D 活动投入效率在全国(不含港澳台地区。下同)尤其是西北 5 省区的地位及与先进省份的差距, 进一步通过影响因素分析找出制约青海省 R&D 活动投入效率的关键因素, 进而提出有针对性的对策建议。

2 青海省 R&D 活动现状及问题分析

2.1 R&D 活动现状分析

21 世纪以来, 青海省 R&D 活动规模不断扩大、水平不断提升。2015 年和 2016 年青海省综合科技创新水平指数分别为 42.25 和 43.95, 处于稳步增长态势。2000—2017 年间, R&D 经费内部支出从 1.29

亿元增长至 17.91 亿元, 增长了 13.8 倍, 年均增长速度达到 19.5%; R&D 人员全时当量从 2 173 人年增长至 5 656 人年, 扩大了 2.6 倍, 年均增长速度为 7.64%; 专利申请量从 174 件增长至 3 181 件, 增加了 18.3 倍, 年均增长率为 21.37%; 技术市场成交额从 0.38 亿元增长至 67.72 亿元, 增加了 178.8 倍, 年均增长率为 42.78%; 规上工业企业新产品销售收入从 2010 年的 17.07 亿元增长至 2017 年的 102.70 亿元, 增长了 6.02 倍, 年均增长率为 51.88%。

青海省 R&D 活动呈现若干结构性特征。从 R&D 经费支出结构来看, 试验发展支出一枝独秀, 2017 年基础研究和应用研究仅占全部 R&D 经费的 29%, 试验发展占比达到了 71%。从 R&D 人员学历结构来看, 本科及以上学历占主导, 2017 年全部 R&D 人员中具有博士学历占 6.23%, 具有硕士学历占 15.19%, 具有本科学历占 47.22%, 其他学历占 31.36%。从 R&D 经费来源结构看, 企业和政府是主要来源, 2017 年政府资金和企业资金占全部 R&D 经费的 98%。从专利申请结构来看, 实用新型占据半壁江山, 2017 年全省发明专利、实用新型、外观设计 3 种专利占比分别为 29.83%、61.18%、8.99%。从企业规模结构来看, 中小企业是 R&D 活动主体, 2017 年全省开展 R&D 活动的 224 家规上企业中, 包括大型企业 19 家、中型企业 47 家、小型企业 140 家、微型企业 18 家, 占比分别为 8%、21%、63% 和 8%, 中小企业在开展 R&D 活动的企业总数中占比为 84%。从企业所有制结构来看, 私营企业是 R&D 活动主体, 2017 年全省开展 R&D 活动的规上企业中, 包括国有企业 4 家, 私营企业 103 家, 港、澳、台商投资企业 2 家, 外商投资企业 4 家, 分别占比 3.5%、91.2%、1.8% 和 3.5%。从行业结构来看, 制造业是 R&D 活动主体, 2017 年全省开展 R&D 活动的规上企业中, 包括采矿企业 4 家, 制造业企业 196 家, 电力、热力、燃气及水生产和供应类企业 20 家, 分别占比 4%、87% 和 9%。从区域结构来看, 西宁市企业是 R&D 活动主体, 2017 年全省开展 R&D 活动的规上企业中, 西宁市 131 家、海西州 55 家、海东市 22 家、海南州 10 家、黄南州 3 家、海北州 3 家, 依次占比 59%、25%、10%、4%、1% 和 1%。

2.2 青海省 R&D 活动问题分析

(1) R&D 活动经费规模不断扩大, 但经费投入不足状况未得到根本改善。近年来, 青海省高度重视科技创新工作, 始终把科技创新作为加速青海省动力转换、推动经济高质量发展的核心环节, 不断加大财政对科技的投入, R&D 活动经费总量得到较大提升, 但由于起点较低, 青海省 R&D 活动经费

投入量仍然较小，R&D 经费投入不足状况未得到根本性改变。一是 R&D 活动资金规模和强度亟待提升。青海省 R&D 资金规模和投入强度均与全国平均水平有较大差距，难以支撑科技创新在地区经济发展中的引领性作用。一方面，青海省 R&D 活动资金投入规模在国内处于比较落后的水平，与全国平均水平仍有很大差距，这在根本上制约了青海科技事业的发展，资金投入规模亟待加大；另一方面，青海省 R&D 经费投入强度长期较低，目前仍不足全国平均水平的 1/3，资金投入强度亟待提升。二是资金投入结构亟待优化。由于 R&D 活动经费的整体性短缺，且相对于实验发展，短期内基础研究与应用研究直接带来的经济价值有限，青海省在基础研究和应用研究方面的经费投入长期较少，试验发展部分长期保持在 70% 以上，投入结构存在明显的不合理性。

(2) R&D 人员规模质量逐步提升，但高层次人才紧缺状况尚未改变。近年来，青海省强力推进人才强省战略，组织实施重大人才工程，积极创新人才发展体制机制，不断创新引才引智举措，使 R&D 人员数量和质量逐步提升，科技人才队伍建设初见成效，但由于人才基础薄弱，地区人才吸引力不够显著，导致 R&D 人员规模仍然较小，高层次、技术型及专业型人才依然紧缺。一是 R&D 人员规模需进一步扩大。青海省 R&D 人员总量在全国排名非常靠后，与西北其他省份相比也存在显著差距。作为科技活动核心要素的 R&D 人员，总体性不足严重制约了青海省 R&D 活动的开展，影响青海科技事业的发展。二是 R&D 人员结构需进一步优化。在 R&D 人员学历结构方面，博士和硕士学历的 R&D 人员数量较小且占比较低，与西北其他省份相比存在显著差距；在 R&D 人员分布结构方面，2017 年青海省从事基础研究和应用研究的 R&D 人员也非常少，且占比很小；此外，企业 R&D 研究人员占比远远低于全国平均水平，企业 R&D 人员数量亟待提升。三是高层次人才引进力度需进一步加大。由于人才基础的薄弱，高端人才的流入不足和流出严重导致青海省高端人才资源非常紧缺，是当前打造青海省人才引擎，推进“一优两高”战略急需解决的瓶颈。

(3) R&D 活动产出水平不断提高，但科技创新绩效较低状况并没有扭转。由于 R&D 资源投入力度的不断加大，青海省 R&D 活动无论是直接产出的专利申请和科技论文发表数量，还是转化出的技术市场交易额和新产品销售收入都显著提高，但与周边省份相比较，青海省 R&D 活动产出总量仍然偏低。青海省科技创新过程也是青海省传统产业转型升级过程，近年来，青海省科技创新水平有了较大

提高，尤其在具有自身特色优势的区域创新体系建设中逐渐取得重大进展，科技力量对青海经济社会发展的支撑作用日趋明显，但科技创新水平和能力在全国依然偏弱。一是 R&D 活动产出能力需进一步提升。青海省的专利申请量和科技论文数量在全国排名非常靠后，在西北 5 省区中也排名末位，与其他省份仍存在巨大差距。二是科技成果转化能力需进一步提高。青海省技术市场成交额和规上工业企业新产品销售收入在全国排名非常靠后，在西北 5 省区中也排名靠后，与其他省份仍存在巨大差距。三是发明专利数量需进一步增加。青海省发明专利申请数远远落后于全国平均水平，也与西北其他省份具有非常大的差距。

(4) 综合科技创新水平较低，科技创新能力较弱。2016 年，青海省综合科技创新水平指数为 43.95，在全国排名 26 位，在西北 5 省区中排名较为靠后，低于陕西、甘肃和宁夏。一是企业创新主体地位不足。企业是科技创新的主体，但青海省企业目前并未充分发挥科技创新的主体作用。高效灵活的小微型科技企业占青海省规模以上工业企业的总数超过 70%，本应是科技创新的生力军，然而由于缺乏足够的资金支持，也缺乏有效的融资渠道和孵化体系支持，在内部条件和外部条件的双重限制下，青海省小微型工业企业的技术创新积极性并不高，小型企业和微型企业中开展 R&D 活动的比例分别只有 36.8% 和 22.5%。二是社会创新环境不优。青海省当前市场化程度相对较低，信息化发展水平有限，创新文化建设相对滞后，创新观念与国内其他市场经济发达省份相比存在较大差距，再加上适宜科技创新的政策环境、体制环境、文化环境等软硬环境相对不优，创新的激励性不明显，导致青海省全社会创新意识整体不强。三是科研基础设施不强。经济、社会活动的正常运作有赖于基础设施发挥其支撑功能，科学技术创新、升级也有赖于技术基础设施的支撑推动，但当前青海省与国内其他省份相比，在知识基础、核心技术和前瞻性技术等领域仍然存在较大差距，多数科技产业也缺乏竞争优势，其中科研基础设施发展滞后是制约青海省科技创新的关键瓶颈和薄弱环节。

3 青海省 R&D 活动投入效率的实证分析

3.1 概念界定及测度方法选择

古典经济增长理论、新古典经济增长理论以及西方经济理论对效率有不同的定义方式，如配置效率、技术效率、经济效率、X 效率等，虽然不同的定义有着不同的涵义，但它们的本质是相同的，即

如何最有效地利用投入实现产出^[7]。本研究涉及的青海省 R&D 活动投入效率也即技术效率。技术效率（technical efficiency, TE）的概念最早是由英国剑桥大学的经济学家 Farrell^[8] 于 1957 年提出来的，他从投入角度认为技术效率是指在相同的产出下生产单元理想的最小可能性投入与实际投入的比率。Leibenstein^[9] 从产出角度认为技术效率是指在相同的投入下生产单元实际产出与理想的最大可能性产出的比率。本研究从投入角度分析青海省 R&D 活动效率问题。

技术效率估算方法的发展有两个主要的思路：一是如何准确估计生产函数，即技术效率理论中的参数方法，其中代表性的是随机前沿分析方法（SFA）；二是不用生产函数的概念直接寻找估计生产前沿的方法，即技术效率理论中的非参数方法，亦即借助纯粹的数学规划的方法，其中代表性的是数据包络分析方法（DEA）。可见，SFA 和 DEA 是测算技术效率的基本方法，但两种方法各有利弊，且有各自的适用范围。由于本研究测算青海省 R&D 活动投入效率时，青海省所辖的两市六州 R&D 活动的投入产出数据缺失，只能从全国层面上测算 R&D 活动投入效率，从而分析青海省 R&D 活动投入效率在全国尤其是在西北 5 省区的位置。考虑到西藏和港澳台地区数据缺失严重，因此本研究样本为国内 30 个省份，适合选择数据包络分析方法来测算青海省 R&D 活动投入效率。

在确定选择数据包络分析方法来测算青海省 R&D 活动投入效率之后，我们将构建 CCR 模型和 Malmquist 生产率指数两个模型分别进行测算分析。具体而言，构建 CCR 模型测算青海省 R&D 活动投入的总体效率、规模效率、纯技术效率等静态效率；构建 Malmquist 生产率指数测算分析青海省 R&D 活动投入的动态效率，并对此进行分解。关于 CCR 模型和 Malmquist 生产率指数的分析较多也已经很成熟，在此不再赘述。

3.2 数据与变量说明

测算青海省 R&D 活动投入效率需要构建投入产出指标体系，本研究采用 R&D 人员全时当量和 R&D 资本存量表示投入变量，采用科技论文数、发明专利申请量和技术市场交易成交额表示产出变量。因为 R&D 活动对知识生产的影响不仅反映在当期，对以后的知识生产也将产生影响，因此，R&D 经费支出采用 R&D 资本存量指标并滞后 2 年。具体而言，采用永续盘存法估算 R&D 资本存量^[10]。

需要说明的是，由于青海省各市州 R&D 活动数据缺失，故不能直接采用各市州数据直接测算青海

省 R&D 活动投入效率，只能从国内 30 个省份范围测算青海省 R&D 活动投入效率。这样的好处是不仅能够观测青海省自身 R&D 活动投入效率的纵向发展情况，还能通过青海省与其他兄弟省份的横向比较分析，摸清青海省 R&D 活动投入效率在全国的位置，找出青海省与其他兄弟省份尤其是西北其他 4 省区的差距和不足。

本研究的基础数据来源于 1989—2017 年各年的《中国统计年鉴》和《中国科技统计年鉴》，各变量的描述性统计如表 1 所示。

表 1 2000—2017 年我国 30 个省份 R&D 活动投入产出数据描述统计

变量	单位	最大值	最小值	均值	标准差
R&D 人员全时当量	万人年	56.53	0.08	7.69	9.56
R&D 资本存量	亿元	956.68	0.74	105.81	154.67
科技论文数	千篇	101.17	0.01	8.87	13.08
发明专利申请量	千件	3 271.07	0.06	111.77	310.16
技术市场成交额	亿元	187.01	0.04	12.97	25.95

3.3 青海省 R&D 活动静态投入效率评价

采用 CCR 模型测算的 2000—2017 年青海省 R&D 活动静态投入效率及分解情况如表 2 所示。2000—2017 年间，从综合效率看，青海省有 16 年处于 DEA 无效状态，并且 2012 年以来呈快速下降态势，2017 年有所提高，全省综合效率在西北 5 省区及 30 个省份处于下游水平；从纯技术效率看，青海省纯技术效率处于相对有效状态，2000—2015 年和 2017 年的纯技术效率都是 1，仅 2016 年处于无效状态，纯技术效率为 0.928，需要引起重视，关注管理创新和制度创新，提高管理水平，深化制度改革；从规模效率看，只有 2004 年和 2011 年是规模有效，其余 16 个年份均处于无效状态，全省规模效率在西北 5 省区及 30 个省份也处于下游水平；从规模收益变化情况看，只有 2004 年和 2011 年规模收益不变，其余年份是规模收益递增，意味着青海省需要提高 R&D 活动投入以增加产出。此外，从各个年度的投入和产出变量看，青海省投入和产出均没有冗余。

表 2 青海省 R&D 活动的静态投入效率及分解

年份	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模收益
2000	0.605	1.000	0.605	irs
2001	0.525	1.000	0.525	irs
2002	0.562	1.000	0.562	irs
2003	0.769	1.000	0.769	irs
2004	1.000	1.000	1.000	—
2005	0.620	1.000	0.620	irs
2006	0.879	1.000	0.879	irs
2007	0.865	1.000	0.865	irs
2008	0.716	1.000	0.716	irs
2009	0.870	1.000	0.870	irs
2010	0.890	1.000	0.890	irs
2011	1.000	1.000	1.000	—

表 2 (续)

年份	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模收益
2012	0.890	1.000	0.890	irs
2013	0.502	1.000	0.502	irs
2014	0.391	1.000	0.391	irs
2015	0.272	1.000	0.272	irs
2016	0.261	0.928	0.282	irs
2017	0.529	1.000	0.529	irs

注：1) irs 指规模收益递增；2) - 指规模收益不变。

3.4 青海省 R&D 活动动态投入效率评价

采用 Malmquist 生产率指数测算的 2001—2017 年青海省 R&D 活动 Malmquist 生产率指数及其分解情况如表 3 所示。2001—2017 年，青海省 R&D 活动的 Malmquist 生产率指数平均为 0.891，在 30 个省份中位居第 22 名，低于 30 个省份平均水平 0.930，在西北 5 省区中排名第三，低于宁夏和新疆、高于陕西和甘肃；青海省 R&D 活动的技术效率平均为 0.992，在 30 个省份位居第 19 名，低于 30 个省份平均水平 1.008，在西北 5 省区中排名第三，低于宁夏和新疆、高于陕西和甘肃；青海省 R&D 活动的技术进步水平平均为 0.898，在 30 个省份位居第 23 名，

低于 30 个省份平均水平 0.922，在西北 5 省区中排名第四，低于陕西、甘肃和宁夏，高于新疆；青海省 R&D 活动的纯技术效率平均为 1，在 30 个省份位居第 22 名，低于 30 个省份平均水平 1.016，在西北 5 省区中排名第三，低于宁夏和新疆、高于陕西和甘肃；青海省 R&D 活动的规模效率平均为 0.992，在 30 个省份位居第 9 名，与 30 个省份平均水平持平，在西北 5 省区中排名第四，低于甘肃、宁夏和新疆，高于陕西。

总体来看，青海省 R&D 活动的 Malmquist 生产率指数、技术进步、技术效率、纯技术效率在 30 个省份排名偏低，全部低于 30 个省份平均水平；规模效率与 30 个省份平均水平持平。从西北 5 省区看，青海省 R&D 活动的 Malmquist 生产率指数、技术效率、纯技术效率位于第三，处于中间位置，技术进步和规模效率是第 4 名，属于偏下水平。也就是说，无论从 30 个省份或西北区域来比较，青海省 R&D 活动的 Malmquist 生产率指数、技术进步、技术效率、纯技术效率和规模效率均是处于偏低水平。

表 3 青海省 R&D 活动 Malmquist 生产率指数及分解

年份	技术效率 EC	技术进步 TP	纯技术效率 PC	规模效率 SC	全要素生产率 TFP
2001	0.869	1.002	1.000	0.869	0.870
2002	1.070	0.702	1.000	1.070	0.751
2003	1.369	0.634	1.000	1.369	0.868
2004	1.300	0.991	1.000	1.300	1.289
2005	0.620	0.920	1.000	0.620	0.570
2006	1.418	0.909	1.000	1.418	1.289
2007	0.984	1.027	1.000	0.984	1.011
2008	0.828	0.722	1.000	0.828	0.598
2009	1.214	0.859	1.000	1.214	1.042
2010	1.130	0.872	1.000	1.130	0.984
2011	1.018	0.925	1.000	1.018	0.941
2012	0.890	0.852	1.000	0.890	0.758
2013	0.564	1.012	1.000	0.564	0.571
2014	0.779	1.131	1.000	0.779	0.881
2015	0.696	0.955	1.000	0.696	0.665
2016	0.960	1.032	0.928	1.035	0.991
2017	2.025	0.879	1.078	1.878	1.780
平均	0.992	0.898	1.000	0.992	0.891

4 青海省 R&D 活动投入效率影响机制分析

在现有研究基础之上，结合青海省实际情况以及数据的可得性，本研究重点考察研发人员、研发经费、政府支持、对外开放和创新环境 5 个因素对 R&D 活动投入效率的影响。为了识别出影响青海省 R&D 活动投入效率的关键机制，构造了如下模型：

$$TE = \alpha + \beta_1 \times Staff + \beta_2 \times Fund + \beta_3 \times Gov + \beta_4 \times FDI + \beta_5 \times Envir + \epsilon \quad (1)$$

式 (1) 中：TE 为青海省 R&D 活动投入效率，采用基于 CCR 模型计算的综合效率值表示；Staff 为

青海省 R&D 活动投入的人员，采用青海省 R&D 人员全时当量与本省全社会就业人员的比值表示；Fund 为青海省 R&D 活动投入的经费，采用青海省 R&D 经费内部支出与本省生产总值 (GDP) 的比值表示；Gov 为青海省政府对 R&D 活动的支持力度，采用青海省政府科技经费支出与本省财政支出的比值表示；FDI 为青海省对外开放程度，用于测算开放创新对青海省 R&D 活动投入效率的影响，采用青海省实际利用外资额与本省 GDP 的比值表示，其中将以美元计价的青海省实际利用外资额按照当年平

均汇率换算成人民币计价；Envir 为青海省的创新环境，用于测算制度创新对青海省 R&D 活动投入效率的影响，采用青海省国有企业吸纳的从业人员与本省全社会就业人员的比值表示； ε 为随机扰动项； β_i 是研发人员（Staff）、研发经费（Fund）、政府支持（Gov）、对外开放（FDI）和创新环境（Envir）5 个影响因素对青海省 R&D 活动投入效率的影响系数，这些影响系数的大小代表了这些影响因素对青海省 R&D 活动投入效率的影响程度，其正负代表了影响方向。主要指标具体说明如表 4 所示。

表 4 青海省 R&D 活动投入效率影响机制评价指标说明		
指标类别	指标名称	变量说明
因变量	R&D 活动投入效率（TE）	CCR 模型计算的综合效率值
自变量	研发人员（Staff）	R&D 人员全时当量 / 全社会就业人员
	研发经费（Fund）	R&D 经费内部支出 / GDP
	政府支持（Gov）	政府科技经费支出 / 财政支出
	对外开放（FDI）	实际利用外资额 / GDP
	创新环境（Envir）	国有企业从业人员 / 全社会就业人员

基于数据限制，对青海省 R&D 活动投入效率影响机制的定量识别只能采取时间序列数据进行分析，研究时间段为 2000—2017 年。这些变量的基础数据均来自 2001—2018 年《青海统计年鉴》。对于价值变量，均采用 2000 年不变价进行了折算处理。相关变量的描述统计如表 5 所示。

表 5 2000—2017 年青海省 R&D 活动投入效率影响机制变量的描述统计量					
变量	观测值	极大值	极小值	均值	标准差
TE	18	1.000	0.261	0.675	0.235
Staff	18	0.173	0.070	0.117	0.038
Fund	18	0.750	0.380	0.585	0.113
Gov	18	1.091	0.270	0.573	0.271
FDI	18	4.066	0.039	1.710	1.486
Envir	18	14.688	10.641	11.919	1.211

2000—2017 年，青海省 R&D 活动投入效率均值为 0.675，处于相对低效水平；R&D 人员全时当量占全社会就业人员比重的均值为 0.117%，表明青海省研发人员投入不足；R&D 经费内部支出占 GDP 比重（即研发强度）的均值为 0.585%，表明青海省研发经费投入不足，远低于 30 个省份平均水平。从政府支持情况来看，2000—2017 年，青海省政府科技经费支出呈现明显增长趋势，从 0.19 亿元增长至 11.94 亿元，但是政府科技经费支出占财政支出比重明显偏低，均值仅为 0.573%，表明青海省政府对 R&D 活动的支持力度有待增强。从对外开放情况来看，2000—2017 年，青海省实际利用外资额呈现先升后降趋势，从 2000 年 4.4 亿元增长至 2007 年的

24.2 亿元，之后明显下滑，至 2017 年仅为 1.2 亿元；实际利用外资额占 GDP 比重也呈现明显先升后降趋势，近两年下降至 0.04%，年均均值为 1.710%，表明青海省对外开放程度在下降，不利于对外合作创新的开展。从创新环境情况来看，2000—2017 年，青海省国有企业吸纳的就业人员相对稳定，年均约 36 万人，国有企业从业人员占全社会就业人员比重呈现下滑趋势，近年来下降至 10.7% 左右，均值为 11.919%，表明青海省 R&D 活动的创新环境在逐步改善。

为了直观判断青海省 R&D 活动投入效率与各个影响因素之间的关系，本研究采用 SPSS 软件绘制了青海省 R&D 活动投入效率与各个影响因素之间的散点图，发现青海省 R&D 活动投入效率与研发人员、研发经费、政府支持、对外开放和创新环境之间均呈现一定程度的线性关系，其中青海省 R&D 活动投入效率与政府支持之间呈现负向线性关系，其他均呈现正向线性关系。为了进一步分析青海省 R&D 活动投入效率与各个影响因素之间的相关关系，接下来采用 SPSS 软件对上述模型进行线性回归分析，回归结果如表 6 所示。回归结果显示， F 检验值为 9.919（ $P=0.001$ ），表明本研究回归模型具有统计学意义；可决系数 R^2 接近于 1，系数为 0.805；D-W 值在 2 附近，系数为 2.820，这些检验意味着本次回归结果是可信的。

表 6 2000—2017 年青海省 R&D 活动投入效率影响机制的回归结果				
变量	估计的参数	系数	标准差	t 统计值
常数项	α	-1.795***	0.433	-4.147
Staff	β_1	5.697*	2.674	2.130
Fund	β_2	0.161	0.642	-0.250
Gov	β_3	0.271	0.167	1.624
FDI	β_4	0.205***	0.042	4.887
Envir	β_5	0.117***	0.029	4.073
R^2			0.805	
F-statistic			9.919	
D-W			2.820	

注：***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平下显著。下同。

从估计结果可以得到以下结论：

（1）研发人员显著促进青海省 R&D 活动投入效率提升。研发人员对青海省 R&D 活动投入效率的影响系数为 5.697，且在 10% 的水平下显著，这意味着研发人员对青海省 R&D 活动投入效率提升具有重大意义。当前青海省研发人员投入严重不足，2017 年青海省研发人员不过万人，仅 9 675 人，在西北 5 省区中人数最少，其中宁夏 17 232 人、新疆 28 835 人、甘肃 40 973 人、陕西 150 793 人；研发人员全时当量为 5 656 人年，在西北 5 省区中也是

最低的, 其中宁夏 9 859 人年、新疆 15 212 人年、甘肃 23 738 人年、陕西 98 188 人年。可见, 青海省应进一步加大对研发人员的投入力度。

(2) 研发经费对青海省 R&D 活动投入效率提升作用不显著。研发经费对青海省 R&D 活动投入效率的影响系数为负, 但是没有通过任何显著性检验。理论和实践均表明, 研发经费投入是提升区域研发效率水平和创新能力的核心要素, 正因为如此, 增加研发经费投入, 提升研发经费强度是一个区域提升研发效率水平和创新能力的重要手段。当前, 青海省研发经费投入严重偏低, 研发经费投入强度显著低于 30 个省份平均水平, 在西北 5 省区中也排名靠后。2017 年, 青海省研发经费内部支出额为 179 109 万元, 在西北五省区中研发经费投入额是最少的, 其中宁夏 389 357 万元、新疆 569 519 万元、甘肃 884 070 万元、陕西 4 609 363 万元; 研发经费投入强度仅为 0.68%, 在西北五省区中排名倒数第二, 仅高于新疆的 0.49%, 更是低于全国研发经费投入强度 2.12%。可见, 青海省应加大研发经费投入力度, 提高研发经费投入强度。

(3) 政府支持对青海省 R&D 活动投入效率提升作用不显著。散点图分析表明, 青海省 R&D 活动投入效率与政府支持之间呈现负向线性关系, 意味着政府支持可能会对企业研发经费具有一定的挤出效应, 但是回归结果表明, 政府支持对青海省 R&D 活动投入效率的影响系数为 0.271, 虽然没有通过任何显著性检验, 但说明政府支持对企业研发经费没有产生挤出效应。此外, 虽然近年来青海省政府科技经费支出明显增长, 2017 年政府财政支出中科技经费达到了 11.94 亿元, 但是科技经费在整个财政支出中占比依然很小, 仅占 0.78%。可见, 青海省应当进一步提高财政支出中科技经费的比重, 充分发挥政府支持对 R&D 活动投入效率的提升作用。

(4) 对外开放显著促进青海省 R&D 活动投入效率提升。对外开放对青海省 R&D 活动投入效率的影响系数为 0.205, 且在 1% 的水平下显著, 这意味着对外开放对青海省 R&D 活动投入效率提升具有重大意义。提高对外开放水平, 一方面可以充分利用国外先进技术的溢出效应提升本区域研发水平和创新能力, 另一方面还为区域开展对外合作创新提供了路径。值得注意的是, 近年来青海省实际利用外资额下滑明显, 2017 年仅为 1.2 亿元, 实际利用外资额占 GDP 比重下降至 0.05%, 这意味着青海省对外开放水平在不断下降。新时代下, 青海省应该积极扭转实际利用外资额不断下滑的局面, 进一步扩大对外开放力度, 积极融入“一带一路”建设。

(5) 创新环境显著促进青海省 R&D 活动投入效率提升。创新环境对青海省 R&D 活动投入效率的影响系数为 0.117, 且在 1% 的水平下显著, 这意味着创新环境对青海省 R&D 活动投入效率提升具有重大意义。实施创新驱动发展战略要坚持科技创新和制度创新双轮驱动, 其中制度创新是最基础的创新, 没有制度创新, 科技创新就无从依附, 制度创新能够为科技创新提供良好的创新环境。从国有企业从业人员指标来看, 当前青海省 R&D 活动的创新环境在逐步改善。青海省应该继续深入实施创新驱动发展战略, 全面深化科技体制改革, 为 R&D 活动创造更优的创新环境。

综上所述, 研发人员、对外开放和创新环境显著促进青海省 R&D 活动投入效率提升, 但研发经费和政府支持对青海省 R&D 活动投入效率提升作用不显著。

5 结论与对策建议

在分析青海省 R&D 活动总量和结构现状及存在的问题基础上, 本研究采用基于 DEA 的 CCR 模型和 Malmquist 生产率指数, 对 2000—2017 年青海省 R&D 活动的静态投入效率和动态投入效率进行了测算评价, 且从研发人员、研发经费、政府支持、对外开放和创新环境 5 个方面考察了青海省 R&D 活动投入效率的影响机制。主要发现如下:

(1) 青海省 R&D 活动投入效率总体偏低, 在西北 5 省区及 30 个省份处于下游水平。从青海省 R&D 活动静态投入效率看, 综合效率和规模效率均较低, 纯技术效率相对有效, 规模效益处于规模递增状态。其中, 从综合效率看, 2000—2017 年处于波动下降态势, 尤其是 2013 年以来下降幅度较大, 在西北 5 省区及 30 个省份处于下游水平; 从规模效率看, 2000—2017 年也总体呈现波动下降态势, 在西北 5 省区及 30 个省份也处于下游水平; 从纯技术效率看, 效果较好, 处于相对有效状态, 2000—2017 年期间仅 2016 年处于无效状态; 从规模收益看, 2000—2017 年期间绝大多数年份处于规模效益递增状态, 说明加强研发投入的重要性和紧迫性。从青海省 R&D 活动动态投入效率看, R&D 活动技术进步缓慢和技术效率改善不明显拖累了全要素生产率增长, 2000—2017 年 R&D 活动的全要素生产率、技术效率、技术进步和规模效率均低于 30 个省份平均水平, 在西北 5 省区也处于中下游水平, 但纯技术效率与 30 个省份平均水平持平。

(2) 研发人员、对外开放和创新环境显著促进青海省 R&D 活动投入效率提升, 但研发经费和政府

支持对 R&D 活动投入效率提升作用不显著。当前, 青海省研发人员投入严重不足, 研发经费投入更是严重偏低, 研发经费投入强度显著低于 30 个省份平均水平, 在西北 5 省区中也排名靠后, 且科技经费在整个财政支出中占比很小, 实际利用外资额不仅基数小且近年来下滑明显, 创新环境虽然逐步改善但具有很大提升空间。定量分析结果表明, 青海省应当加大对研发人员的投入力度, 扩大对外开放水平, 塑造更优的创新环境; 当前最紧迫的是加大对研发经费的投入力度, 大幅提高研发经费投入强度, 加大政府对 R&D 活动的支持力度, 提高财政支出中科技经费比重, 强化政府研发资金的引导作用。

本研究对青海省科技发展的政策含义如下: 一是加大 R&D 经费投入力度, 充分发挥政府资金引导作用。针对 R&D 经费投入总量不足、投入结构不合理、政府资金引导作用不显著、基础研究和应用研究经费不充分等问题, 青海省亟待加快建立 R&D 投入的持续增长机制, 积极引导企业加大研发经费投入力度, 积极探索科技金融融合创新新路径, 充分发挥政府对研发资金的管理优势, 进一步优化研发经费投入结构。二是加强人才引进和培育力度, 积极打造青海人才引擎。针对 R&D 人员存在的总量规模不充分、学历分布结构不合理以及高端科技人才紧缺等问题, 青海省亟待加强人才政策顶层设计, 加大科技人才队伍建设, 加快构建柔性引才机制, 建立政策落地成效评估机制, 营造良好科技工作和生活环境。三是提高 R&D 活动投入效率, 积极促进科技成果吸收转化。针对 R&D 活动产出总量偏低、投入产出效率不高、科技成果转化不足等问题, 青海省亟待加快构建新型科技创新体系, 加快完善科技成果转化

机制, 加强政产学研金介合作, 加快技术市场服务体系, 加强与国内大型科技企业合作。四是创造高质量科技创新环境, 全面提升科技创新能力。针对 R&D 活动科技创新环境质量不高、科技创新水平不高、科技创新能力不强等问题, 青海省亟待强化企业技术创新主体地位, 夯实科技创新基础设施建设, 加快构建产业技术创新链, 支持科技型中小微企业技术创新, 优化科技金融发展环境。

参考文献:

- [1] 苏海红. 重要生态功能区绿色发展的科技创新体系建构: 以青海生态功能区为例 [J]. 青海社会科学, 2018(5): 64-71.
- [2] 孙秀珊, 丁生喜. 青海省科技发展水平动态评价研究 [J]. 特区经济, 2015(9): 82-84.
- [3] 徐尚荣. 基于熵值法的青海省科技创新能力评价研究 [J]. 青海大学学报 (自然科学版), 2011, 29(1): 96-102.
- [4] 丁生喜, 王晓鹏. 青海省区域创新环境对科技创新绩效影响的实证分析 [J]. 科技管理研究, 2016, 36(5): 71-75.
- [5] 秦真凤, 丁生喜. 青海省主导产业创新效率评价研究 [J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(8): 26-34.
- [6] 中国科学技术发展战略研究院. 中国区域科技创新评价报告 2018 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2018.
- [7] 陶春海. 中国医疗服务生产效率评价研究: 基于 DEA 和 SFA 方法的组合研究 [D]. 南昌: 江西财经大学, 2010.
- [8] FARRELL M J. The measurement of production efficiency [J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1957, 120(3): 253-290.
- [9] LEIBENSTEIN H. Allocative efficiency vs x-efficiency [J]. American Economic Review, 1966, 56(3): 392-415.
- [10] 吴延兵. R&D 存量、知识函数与生产效率 [J]. 经济学 (季刊), 2006(3): 1129-1156.

作者简介: 朱承亮 (1985—), 男, 安徽安庆人, 副研究员, 硕士研究生导师, 博士, 主要研究方向为创新创业与经济发展; 刘建翠 (1972—), 女, 山东济南人, 副研究员, 硕士研究生导师, 博士, 主要研究方向为技术经济学。