

东部地区十省市规模以上工业企业研发投入绩效评价

陈 媛, 王伟华, 王福颖

(济南市科学技术情报研究院, 济南 250001)

摘要:选取 2021 年度数据,采用数据包络分析(DEA)方法对中国东部地区 10 个省份规模以上工业企业的研发投入绩效进行评价,并采用灰关联分析方法分析确定各项研发投入产出指标相对于 DEA 效率的灰色关联度。研究结果表明,80%的省份规上工业企业研发投入产出处于非 DEA 有效状态,存在不同程度的投入冗余或产出不足;规上工业企业发明专利申请数与研发投入产出效率的关联度最高,其次是新产品销售收入和 R&D 经费内部支出。

关键词:DEA;灰关联分析;规模以上工业企业;研发投入产出效率

中图分类号:F204 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)16-0154-06

1978 年,美国运筹学家 W. W. Cooper 和 A. Charnes 提出的数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)方法^[1],主要通过保持决策单元(decision making unit, DMU)的输入或输出不变,借助数学规划将 DMU 投影到 DEA 前沿面上,并通过比较决策单元偏离 DEA 前沿面的程度来评价它们的相对有效性,能有效处理多输入、多输出的复杂系统,可以对多指标投入、多指标产出的同类型部门进行有效的综合评价,本质是一种数学规划模型,在许多领域得到了较为广泛的应用^[2]。在运用 DEA 方法评价科技效率时,无须预先确定投入与产出之间的关系表达式,也无须为各指标赋权重,优势非常明显^[3]。虽然 DEA 方法可以对科技投入产出有效性进行测定,但还是存在一定的局限性,无法反映单个指标的变动对科技投入产出有效性影响的大小^[4]。近几年,部分国内学者应用 DEA 分析方法对企业技术创新效率、研发投入产出效率等开展了研究。例如,胡云红^[5]运用 DEA-Tobit 模型从横向和纵向两个角度测度分析了河北省主要行业规上工业企业的技术创新效率;王佳佳^[6]运用两阶段网络 EBM 模型和 Tobit 模型对我国 38 家上市建筑企业整体及分阶段的技术创新效率进行评价;

黄兰和常媛^[7]以新能源汽车上市公司为研究对象,采用 DEA 模型分析评价新能源汽车企业的研发投入率;吴佳钰^[8]运用 DEA 方法测度了江西省装备制造业研发效率静态效率;蒋丽丽^[9]基于网络 SBM 模型,构建了建筑企业技术创新效率测算模型,并进行了实际案例应用;黄亚飞^[10]采用 DEA 方法、Malmquist 指数分析法对中国各省份的规上工业企业的技术创新效率进行评价,并提出了提高规上工业企业技术创新效率的建议;庞超^[11]应用 DEA-BCC 和 DEA-Malmquist 模型分别从静态与动态的角度研究陕西省与全国各省份规模以上工业企业 R&D 投入产出效率情况;罗月^[12]采用 DEA 模型对吉林省工业部门的静态效率进行测算;赵继宗^[13]通过主成分分析和数据包络分析相结合的方法对甘肃大中型工业企业 2000—2014 年技术创新效率的水平进行了评价研究;苏冰杰^[14]采用非径向 DEA 和超效率 DEA 模型,基于 2013—2019 年的面板数据对河南省整体及其各地市的研发投入产出现状及绩效进行评价;蒋武林^[15]选取运用 Input-BCC 模型、Bootstrap-DEA 模型和改进型 SE-DEA 模型从静态角度对安徽省规模以上工业企业的生态技术创新效率进行测度。尽管如此,现有文献中尚未见

收稿日期:2023-05-06

基金项目:2023 年度山东省重点研发计划(软科学)项目(2023RKY03007)。

作者简介:陈媛(1983—),女,河北衡水人,济南市科学技术情报研究院,高级经济师,硕士,研究方向为科技统计分析、科技发展战略;王伟华(1980—),女,山东青岛人,济南市科学技术情报研究院,副研究员,研究方向为科技统计分析、科技发展战略;王福颖(1992—),女,山东淄博人,济南市科学技术情报研究院,硕士,研究方向为科技统计分析、科技发展战略。

运用 DEA 方法专门针对中国东部地区 10 个省份规模以上工业企业的研发投入绩效评价。

《2021 年全国科技经费投入统计公报》显示,2021 年,全国共投入研究与试验发展(R&D)经费 27 956.3 亿元,其中企业 R&D 经费 21 504.1 亿元,占比为 76.9%,企业是研发的主力军,是科技创新的重要力量;R&D 经费投入超过千亿元的 11 个省份有 6 个在东部地区,R&D 经费投入强度超过全国平均水平的 6 个省份全部都在东部地区。由于企业研发投入产出效率高直接影 响整体创新水平,同时考虑东部地区在企业研发和原始创新方面的重要地位,采用 DEA 方法开展中国东部地区 10 个省份规上工业企业研发投入绩效评价。

1 研发投入和研发产出指标

对中国东部地区 10 个省份规上工业企业的研发投入绩效进行分析评价,侧重于考察研发载体、研发人员、研发经费投入的效率,同时考虑指标数据的可得性,因此选取为“规上工业企业办研发机构数”“规上工业企业 R&D 人员折合全时当量”“规上工业企业 R&D 经费内部支出”为研发投入指标;选取“规上工业企业发明专利申请数”“规上工业企业新产品销售收入”为研发产出指标。研发投入产出基础数据如表 1 所示。

2 DEA 模型的构建与分析

2.1 DEA 模型的构建

选取中国东部地区 10 个省份作为决策单元

(DMU),分析各省份规上工业企业研发投入产出的 DEA 有效性,明确其技术效率、投入冗余和产出不足,进而指出改进的方向。选取的评价指标共 5 个,包括 2 个产出指标“规上工业企业发明专利申请数”“规上工业企业新产品销售收入”和 3 个投入指标“规上工业企业办研发机构数”“规上工业企业 R&D 人员折合全时当量”“规上工业企业 R&D 经费内部支出”。决策单元数 10,评价指标数 5,决策单元数是评价指标个数的 2 倍,可以进行 DEA 分析。应用 DEAP2.1 软件进行分析,分析结果自动生成。其中,决策单元数 10 时,间序列数据设置为 1、产出数量为 2、投入数量为 3,从产出角度衡量技术效率,选用规模报酬不变的 CCR 模型进行分析。

2.2 各决策单元的技术效率值

表 1 中每个省份是一个决策单元(DMU),共有 10 个决策单元,对决策单元构建 DEA 的 CCR 模型如下:

$$\begin{aligned} & \min \theta \\ & \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j = y_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j = \theta x_0 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

以表 1 中北京市的数据为例,模型(1)的具体形式为

表 1 东部地区 10 个省份规上工业企业研发投入产出

序号	省份	规上工业企业办研发机构数/个	规上工业企业 R&D 人员折合全时当量/人年	规上工业企业 R&D 经费内部支出/亿元	规上工业企业发明专利申请数/件	规上工业企业新产品销售收入/亿元
1	北京	548	41 496	314	15 589	8 253
2	天津	639	49 404	251	5 928	4 814
3	河北	2 816	83 401	570	8 844	9 668
4	上海	850	93 966	698	16 786	10 575
5	江苏	17 805	612 676	2 717	65 806	42 622
6	浙江	20 752	482 140	1 592	41 292	36 890
7	福建	2115	186 328	772	15 516	7 822
8	山东	8 434	349 379	1 565	31 824	27 540
9	广东	32 938	709 119	2 902	139 727	49 685
10	海南	68	2 911	14	729	245

注:数据来自《2022 中国科技统计年鉴》。

$$\begin{aligned}
 & \min \theta \\
 & \left\{ \begin{aligned}
 & 548\lambda_1 + 639\lambda_2 + 2\ 816\lambda_3 + 850\lambda_4 + 17\ 805\lambda_5 + 20\ 752\lambda_6 + 2\ 115\lambda_7 + \\
 & \quad 8\ 434\lambda_8 + 32\ 938\lambda_9 + 68\lambda_{10} + s_1^- = 548\theta_1 \\
 & 41\ 496\lambda_1 + 49\ 404\lambda_2 + 83\ 401\lambda_3 + 93\ 966\lambda_4 + 612\ 676\lambda_5 + 482\ 140\lambda_6 + 186\ 328\lambda_7 + \\
 & \quad 349\ 379\lambda_8 + 709\ 119\lambda_9 + 2\ 911\lambda_{10} + s_2^- = 41\ 496\theta_1 \\
 & 314\lambda_1 + 251\lambda_2 + 570\lambda_3 + 698\lambda_4 + 2\ 717\lambda_5 + 1\ 592\lambda_6 + \\
 & \quad 772\lambda_7 + 1\ 565\lambda_8 + 2\ 902\lambda_9 + 14\lambda_{10} + s_3^- = 314\theta_1 \\
 & 15\ 589\lambda_1 + 5\ 928\lambda_2 + 8\ 844\lambda_3 + 16\ 786\lambda_4 + 65\ 806\lambda_5 + 41\ 292\lambda_6 + 15\ 516\lambda_7 + 31\ 284\lambda_8 + \\
 & \quad 139\ 727\lambda_9 + 729\lambda_{10} + s_1^+ = 15\ 589\theta_1 \\
 & 8\ 253\lambda_1 + 4\ 814\lambda_2 + 9\ 668\lambda_3 + 10\ 575\lambda_4 + 42\ 622\lambda_5 + 36\ 890\lambda_6 + 7\ 822\lambda_7 + \\
 & \quad 27\ 540\lambda_8 + 49\ 685\lambda_9 + 245\lambda_{10} + s_2^+ = 8\ 253\theta_1 \\
 & \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, 10; s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+ \geq 0
 \end{aligned} \right. \quad (2)
 \end{aligned}$$

由式(2)可求得 θ_1 , 即北京市规上工业企业研发投入产出的技术效率。同理可以对其他决策单元列出相应的模型, 并求得对应的 θ_j 。运行 DEAP2.1 软件直接得出分析结果, 10 个省份规上工业企业研发投入产出的技术效率值如表 2 所示。由表 2 可知, 北京、海南的技术效率值为 1, 是 DEA 有效的; 其他 8 个省份的技术效率值小于 1, 属于非 DEA 有效的决策单元。

2.3 非 DEA 有效单元的分析 and 改进

2.3.1 研发产出不足的分析 and 改进

根据分析结果, 非 DEA 有效的 8 个省份, 生产前沿面的目标产出如表 3 所示。

对于非 DEA 有效的决策单元, 可以通过“投影定理”进行改进, 从而转变为 DEA 有效。改进公式为: $\hat{x} = \theta^* x - s^-$, $\hat{y} = y + s^+$, (\hat{x}, \hat{y}) 为该决策单元对应的 (x, y) 在 DEA 生产前沿面上的投影, 改进值为 $\Delta x = x - \hat{x}$, $\Delta y = \hat{y} - y$ 。对比表 3 与表 1 数据可知, 天津规上工业企业在现有研发投入水平下, 存在研发产出不足的情况, 发明专利申请数应由 5 928 件提升到 12 461 件, 增加 6 533 件; 新产品销售收入应由 4 814 亿元提升到 6 597 亿元, 增加 1 783 亿元。河北规上工业企业在现有研发投入水平下, 研发产出不足的问题更为突出, 发明专利申请数应由 8 844 件提升到 28 299 件, 增加 19 455 件; 新产品销

售收入应由 9 668 亿元提升到 14 982 亿元, 增加 5 314 亿元。上海规上工业企业在现有研发投入水平下, 也存在一定程度的研发产出不足, 发明专利申请数应由 16 786 件提升到 24 180 件, 增加 7 394 件; 新产品销售收入应由 10 575 亿元提升到 12 801 亿元, 增加 2 226 亿元。江苏规上工业企业在现有研发投入水平下, 研发产出不足的情况尤为显著, 发明专利申请数应由 65 806 件提升到 134 890 件, 增加 69 084 件; 新产品销售收入应由 42 622 亿元提升到 71 412 亿元, 增加 28 790 亿元。浙江规上工业企业在现有研发投入水平下, 也存在较少程度的研发产出不足, 发明专利申请数应由 41 292 件提升到 79 037 件, 增加 37 745 件; 新产品销售收入应由 36 890 亿元提升到 41 843 亿元, 增加 4 953 亿元。福建在 10 个决策单元中技术效率最低, 仅为 0.402, 规上工业企业在现有研发投入水平下存在十分严重的产出不足, 专利申请数应由 15 516 件提升到 38 562 件, 增加 23 046 件; 新产品销售收入应由 7 822 亿元提升到 19 440 亿元, 增加 11 618 亿元。山东规上工业企业在现有研发投入水平下, 研发产出不足的情况也十分严重, 专利申请数应由 31 824 件提升到 77 697 件, 增加 45 873 件; 新产品销售收入应由 27 540 亿元提升到 41 134 亿元, 增加 13 594 亿元。广东的技术效率接近 1, 规上工业企

表 2 东部地区 10 个省份规上工业企业研发投入产出技术效率

省份	北京	天津	河北	上海	江苏	浙江	福建	山东	广东	海南
技术效率值	1.000	0.730	0.645	0.826	0.597	0.882	0.402	0.670	0.929	1.000

表 3 8 个非 DEA 有效单元生产前沿面的目标产出

研发产出指标	天津	河北	上海	江苏	浙江	福建	山东	广东
规上工业企业发明专利申请数/件	12 461	28 299	24 180	134 890	79 037	38 562	77 697	150 370
规上工业企业新产品销售收入/亿元	6 597	14 982	12 801	71 412	41 843	19 440	41 134	53 470

业在现有研发投入水平下,存在较小程度的产出不足,专利申请数应由 139 727 件提升到 150 370 件,增加 10 643 件;新产品销售收入应由 49 685 亿元提升到 53 470 亿元,增加 3 785 亿元。

2.3.2 研发投入冗余的分析和改进

根据分析结果,非 DEA 有效的 8 个省份,生产前沿面的目标投入如表 4 所示。

对非 DEA 有效单元的研发投入冗余同样通过上述“投影定理”改进。对比表 4 与表 1 数据可知,天津规上工业企业在现有研发产出水平下,存在研发投入冗余,规上工业企业办研发机构数应减少 201 个,R&D 人员折合全时当量应减少 16 234 人年;河北规上工业企业在现有研发产出水平下,研发投入冗余较为显著,规上工业企业办研发机构数应减少 1 821 个,R&D 人员折合全时当量应减少 8 074 人年;上海规上工业企业在现有研发产出水平下,也存在一定程度的研发投入冗余,R&D 人员折合全时当量应减少 29 602 人年,R&D 经费内部支出应减少 211 亿元;江苏规上工业企业在现有研发产出水平下,研发投入冗余较为严重,规上工业企业办研发机构数应减少 13 063 个,R&D 人员折合全时当量应减少 253 617 人年;浙江规上工业企业在现有研发产出水平下,也存在研发投入冗余,规上工业企业办研发机构数应减少 17 974 个,R&D 人员折合全时当量应减少 271 753 人年;福建规上工业企业在现有研发产出水平下,也存在研发投入冗余,规上工业企业办研发机构数应减少 466 个,R&D 人员折合全时当量应减少 76 966 人年;山东规上工业企业在现有研发产出水平下,研发投入冗余也十分严重,规上工业企业办研发机构数应减

少 5 703 个,R&D 人员折合全时当量应减少 142 560 人年;广东规上工业企业在现有研发产出水平下,也存在一定程度的研发投入冗余,规上工业企业办研发机构数应减少 19 794 个,R&D 人员折合全时当量应减少 128 870 人年。8 个非 DEA 有效单元中,仅上海规上工业企业 R&D 经费内部支出存在冗余,其他 7 个非 DEA 有效单元在现有研发产出水平下,R&D 经费内部支出均不存在冗余。这说明,对于绝大多数省份来说,规上工业企业当前 R&D 经费内部支出已充分发挥作用,持续加大规上工业企业 R&D 经费内部支出仍然是重中之重。

3 灰关联分析

经过 DEA 分析得到东部地区 10 个省份规上工业企业研发投入产出效率,但仍未明确哪个研发投入或产出指标对研发投入产出技术效率的影响最大。因此,采用邓聚龙^[16]的灰关联分析法分析确定各投入产出指标相对于技术效率的关联度^[17],进而提出有针对性的对策建议。灰色关联分析是灰色系统理论中的一种分析方法,关联度是指两个系统或两个因素间关联性大小的量度,它描述了系统发展过程中,因素间相对变化大小、方向、速度等的相对性。按照灰色关联度计算公式直接代入数据进行计算,对于小样本数据而言,具有计算简单、便于操作等优点。

3.1 计算灰色关联度

将 10 个省份规上工业企业研发投入产出技术效率值作为参考数列 x_0 ,研发投入产出指标数据作为比较数列 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 ,将参考数列和比较数列都进行初值法标准化处理,结果如表 5 所示。

表 4 8 个非 DEA 有效单元生产前沿面的目标投入

研发投入指标	天津	河北	上海	江苏	浙江	福建	山东	广东
规上工业企业办研发机构数/个	438	995	850	4 742	2 778	1 649	2 731	13 144
规上工业企业 R&D 人员折合全时当量/人年	33 170	75 327	64 364	359 059	210 387	109 362	206 819	580 249
规上工业企业 R&D 经费内部支出/亿元	251	570	487	2 717	1 592	772	1 565	2 902

表 5 参考数列和比较数列标准化

序列	北京	天津	河北	上海	江苏	浙江	福建	山东	广东	海南
x_0	1.000	0.730	0.645	0.826	0.597	0.882	0.402	0.670	0.929	1.000
x_1	1.000	1.166	5.139	1.551	32.491	37.869	3.859	15.391	60.106	0.124
x_2	1.000	1.191	2.010	2.264	14.765	11.619	4.490	8.420	17.089	0.070
x_3	1.000	0.801	1.819	2.227	8.665	5.077	2.461	4.993	9.257	0.045
x_4	1.000	0.380	0.567	1.077	4.221	2.649	0.995	2.041	8.963	0.047
x_5	1.000	0.583	1.171	1.281	5.164	4.470	0.948	3.337	6.020	0.030

由表 5 计算得到,两级最小差 $\Delta_{\min}=0$,两级最大差 $\Delta_{\max}=59.18$ 。

根据公式 $\xi_{oi} = \frac{\Delta_{\min} + \rho\Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \rho\Delta_{\max}}$ (ρ 为分辨系数,取 $\rho=0.5$),计算各比较数列与参考数列在各个时

刻的关联系数,结果如表 6 所示。

分别计算各比较数列关联系数的平均值,可得各比较数列与参考数列的灰色关联度(表 6): $r_1=0.77, r_2=0.87, r_3=0.92, r_4=0.96, r_5=0.95$ 。

表 6 各比较数列与参考数列在各时刻的关联系数

序列	北京	天津	河北	上海	江苏	浙江	福建	山东	广东	海南	平均值
ξ_1	1.00	0.99	0.87	0.98	0.48	0.44	0.90	0.67	0.33	1.03	0.77
ξ_2	1.00	0.98	0.96	0.95	0.68	0.73	0.88	0.79	0.65	1.03	0.87
ξ_3	1.00	1.00	0.96	0.95	0.79	0.88	0.93	0.87	0.78	1.03	0.92
ξ_4	1.00	1.01	1.00	0.99	0.89	0.94	0.98	0.96	0.79	1.03	0.96
ξ_5	1.00	1.00	0.98	0.98	0.87	0.89	0.98	0.92	0.85	1.03	0.95

3.2 关联度结果分析

由上述计算可知,所选 5 个研发投入产出指标都与规上工业企业研发投入产出效率存在正向相关关系,其灰色关联度从大到小排序为:发明专利申请数>新产品销售收入>R&D 经费内部支出>R&D 人员折合全时当量>规上工业企业办研发机构数。由此可见,规上工业企业发明专利申请数与研发投入产出效率的灰色关联度最强,规上工业企业办研发机构数与研发投入产出效率的灰色关联度最弱。

4 结语

采用 DEA 方法对中国东部地区 10 个省份规模以上工业企业研发投入绩效进行评价,指标设计和数据选取存在一定局限性。

指标设计方面,投入产出指标较少,在接下来的研究中,需要进一步扩大指标范围,细化指标构成,人员投入指标应考虑研发人员结构,如 R&D 人员中研究人员、技术人员、辅助人员的比例关系;经费投入指标应考虑研发日常性经费支出和资产性支出的比例关系;产出指标应考虑发表科技论文数、出版科技著作数、认定标准数等。

数据选取方面,研发投入和产出指标的数据年度均为 2021 年,由于当年的研发投入可能在当年产出,也可能在接下来的若干年内产出,而数据年度的选取直接影响计算结果,因此数据选取也存在局限性。

此外,采用灰关联分析方法分析确定各项研发投入产出指标相对于 DEA 效率的灰色关联度,由于分辨系数是独立于评价指标之外的一个常数,文中按照常规取分辨系数为 0.5,因此灰色关联度计算结果也有一定局限性。在接下来的研究中,需要持续优化研发投入产出指标构成,扩大数据来源,

同时加强对灰关联分析中分辨系数选取的研究,建立起规上工业企业研发投入产出的长效分析评价机制。

参考文献

- [1] BRAGLIA M, ZANONI S, ZAVANELLA L. Measuring and benchmarking productive systems performance using DEA: an industrial case[J]. Production Planning & Control, 2003, 14(6): 542-554.
- [2] 丁楠. 数据包络分析原理及应用情况综述[J]. 内蒙古科技与经济, 2023(2): 116-118.
- [3] 候光明, 晋琳琳. DEA 方法在研究型大学建设绩效评价中的应用[J]. 高教发展与评估, 2005, 21(5): 25-29.
- [4] 陈燕武. 基于复合 DEA 和 Malmquist 指数的科技投入产出效率评价[J]. 运筹与管理, 2011(6): 196-204.
- [5] 胡云红. 河北省规上工业企业技术创新效率及影响因素研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2022.
- [6] 王佳佳. 价值链视角下我国上市建筑企业技术创新效率及影响因素研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2022.
- [7] 黄兰, 常媛. 新能源汽车企业研发效率评价及提升策略研究[J]. 财务与金融, 2023(1): 50-55.
- [8] 吴佳钰. 创新驱动发展战略下工业企业研发效率研究——以江西装备制造业为例[D]. 上海: 华东交通大学, 2022.
- [9] 蒋丽丽. 建筑企业技术创新效率测算及影响因素研究[D]. 成都: 西华大学, 2022.
- [10] 黄亚飞. 我国规上工业企业技术创新效率的评价及影响因素研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2019.
- [11] 庞超. 陕西省规模以上工业企业 R&D 投入产出效率研究[D]. 延安: 延安大学, 2022.
- [12] 罗月. 基于 DEA 模型的吉林省工业经济效率研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
- [13] 赵继宗. 甘肃大中型工业企业技术创新效率评价研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2016.
- [14] 苏冰杰. 河南省工业企业研发投入绩效研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2021.
- [15] 蒋武林. 安徽省规模以上工业企业生态技术创新效率的评价研究[D]. 阜阳: 阜阳师范大学, 2020.

[16] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2005.

[17] 黄柳林. 基于灰色关联分析的广西高技术产业科技创新对策研究[J]. 天津科技,2018(8):4-11.

Performance Evaluation on R&D Investment of Industrial Enterprises above Designated Size in Ten Provinces in Eastern China

CHEN Yuan, WANG Weihua, WANG Fuying

(Jinan's Science and Technology Information Institute, Jinan 250001, China)

Abstract: In order to establish every province's input-output efficiency of R&D, DEA was applied to the industrial enterprises above designated size in ten provinces in eastern China. Based on this, Gray correlation analysis were used to recognize the relationship between input-output index of R&D and DEA technical efficiency. The results are as follows. 80% of provinces are non DEA efficient, and they have various degree of input redundancy and output deficiency of R&D. The number of patent applications for invention has the highest correlation with R&D input-output efficiency, followed by new product sales revenue and internal R&D spending.

Keywords: DEA; gray correlation analysis; industrial enterprises above designated size; input-output efficiency of R&D