

中国财经类高校科研创新博弈效率研究

——基于广义模糊博弈 DEA 理论

李传娟, 李晶洁, 夏灵熙, 许晓倩, 朱 彬

(天津商业大学 理学院, 天津 300134)

摘要:为科学评价财经类高校科研创新博弈效率,优化该类高校资源配置,在合作与竞争背景下提高其投入产出效率,结合博弈理论和广义模糊 DEA 模型,以中国 41 所财经类高校为研究对象,在研究整体科研创新区间效率的基础上,根据财经类高校规模情况进行聚类分组,分析各高校间合作和竞争前后效率变化,进而找出最优、潜在、无效合作伙伴和竞争对手,为相关高校合作与竞争决策提供理论依据及合理建议。

关键词:财经高校;科研创新效率;广义模糊 DEA 理论;博弈论

中图分类号:G647;F202 **文献标志码:**A **文章编号:**1671—1807(2023)03—0038—06

创新是引领国家发展的根本动力,是提升国家战略实力和促进社会经济发展的关键因素。高校作为国家科研创新的重要载体,发挥着巨大作用。提高高校科研创新效率是实现高校创新发展的重要一环。而以培养经管类人才为使命的财经类高校对地区经济社会发展以及人才培养具有重要的推动力。在这样的背景下,系统科学地评价财经类高校科研创新效率,优化该类院校外部合作与竞争策略成为重要研究课题。目前国内外学者对高校科研创新效率做了许多相关研究,在评价方法的选取上,应用于多指标综合评价的数据包络分析方法(DEA)由于其客观性、简明性、易操作性等特点受到了广泛青睐。余丹等^[1]选取 2007—2016 相关数据运用 DEA 方法对吉林大学科研创新活动进行实证评价和分析,研究表明,科研经费投入规模是阻碍该校科研事业发展的重要因素,并提出了改进目标、方案和相应政策建议。黄东兵等^[2]运用 DEA-Malmquist 模型和空间计量方法,分析了 2009—2019 中国 31 个省区市高校科研效率时空格局,科研效率总体呈现出波动上升的态势,制约高校科研效率的关键是科研设备和人才素养。蔡文伯等^[3]基于 2009—2018 年中国十大城市群高校面板数据,运用 DEA-Malmquist-Tobit 方法研究各城市群高校科研效

率,表明高校人力资本和财力资本较高,而成果奖励、学术交流和科研机构相对较少。丁显有等^[4]基于 DEA-CCR 模型分析了 2012—2017 年 59 所高校科研效率的时空分异特征,研究发现“双一流”建设高校的科研效率依然偏低,不同省份、不同高校之间的科研效率差异显著。易明等^[5]基于 Window-Malmquist 指数法和空间聚类方法,分析了中国 31 个省区市 2004—2015 年的高等教育投入产出效率及其演变规律和空间差异,并得出相关结论。

以往研究存在以下不足:主要集中在对中国高校科研效率时空变化趋势的研究,而通过效率比较对高校间合作和竞争策略的研究还很少。研究多采用传统 DEA 方法,只能选取全部决策集作为决策单元(DMU),而在高校科研创新效率评价中,无法对不同规模高校 DMU 进行分组评价,造成评价的失准。基于此,结合博弈理论与广义模糊数据包络分析模型,在研究中国 41 所财经类高校的投入产出效率情况基础上,对竞争和合作前景进行分析,为相关高校的博弈决策提供理论依据和合理建议。

1 研究设计

1.1 模型设定

由于传统 DEA 模型决策单元的局限性,使得

收稿日期:2022-09-11

基金项目:国家社会科学基金项目(20CTJ011);国家级大学生创新创业训练计划项目(202110069057)。

作者简介:李传娟(2001—),女,安徽霍邱人,天津商业大学理学院,学生,研究方向为数据建模与分析;通信作者李晶洁(1985—),男,天津人,天津商业大学理学院,副教授,博士,硕士研究生导师,研究方向为经济系统评价。

其在以财经类院校为研究对象的复杂决策中的应用受到限制,广义 DEA 方法可以根据实际问题合理选择决策单元,在处理复杂的现实问题时更具优势。因此,引入广义 DEA 模型^[6]:

$$\begin{aligned} &\max \quad \mathbf{Y}_i^T \mathbf{u} \\ \text{s. t.} &\begin{cases} \mathbf{X}_j^T \mathbf{v} - \mathbf{Y}_j^T \mathbf{u} \geq 0, 1 \leq j \leq n \\ \mathbf{X}_i^T \mathbf{v} = 1 \\ \mathbf{v} \geq 0, \mathbf{u} \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \tag{1}$$

式中: n 为决策单元个数; $\text{DMU}_i = (\mathbf{X}_i, \mathbf{Y}_i)^T$ ($i \neq j, 1 \leq i \leq n$) 为将要评价的任意样本决策单元; $\mathbf{X}_i = (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{mi})$ 为投入指标; $\mathbf{Y}_i = (y_{1i}, y_{2i}, \dots, y_{si})$ 为产出指标; m 为每个样本决策单元的投入指标数; s 为每个决策单元的产出指标数; $\mathbf{v} = (v_1, v_2, \dots, v_m)$ 为投入指标权重; $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_s)$ 为产出指标权重; $(\mathbf{X}_i, \mathbf{Y}_i)^T$ 为选定的参考系^[7]。

定义广义 DEA 模型中决策单元 DMU_i 的效率评价指数为 E_{ii} , $E_{ii} = \mathbf{Y}_i^T \mathbf{u}$, 其中 DMU_i 与 DMU_k 的效率评价值为 E_{ik} , 公式为

$$E_{ik} = \frac{\mathbf{Y}_k^T \mathbf{u}_i^*}{\mathbf{X}_k^T \mathbf{v}_i^*} \tag{2}$$

式中, $\mathbf{u}_i^*$ 和 $\mathbf{v}_i^*$ 为决策单元 DMU_i 的最佳投入指标权重和最佳产出指标权重。

然而,在财经类高校科研效率评价的研究过程中,往往需要考虑该类高校之间的合作与竞争关系,分析办学规模不同的财经类高校科研领域之间的均衡条件。为了达到预期目标,将博弈理论和广义 DEA 模型相结合,采用广义博弈 DEA 模型。

假设 $\text{DMU}_1 = (\mathbf{X}_1, \mathbf{Y}_1)^T, \text{DMU}_2 = (\mathbf{X}_2, \mathbf{Y}_2)^T$ 是两个样本决策单元, DMU_1 和 DMU_2 两个决策单元合作后的决策单元定义为 $(\mathbf{X}_C, \mathbf{Y}_C) = (\mathbf{X}_1 \wedge \mathbf{X}_2, \mathbf{Y}_1 \vee \mathbf{Y}_2)$ 。 DMU_1 和 DMU_2 两个决策单元竞争后的决策单元定义为 $(\mathbf{X}_F, \mathbf{Y}_F) = (\mathbf{X}_1 \vee \mathbf{X}_2, \mathbf{Y}_1 \wedge \mathbf{Y}_2)$ 。其中 $\wedge$ 和 $\vee$ 表示变化运算符, $\wedge$ 表示取两组指标中最小的数, $\vee$ 表示取两组指标中最大的数。

合作关系下的广义 DEA 模型为

$$\begin{aligned} &\max \quad \mathbf{Y}_C^T \mathbf{u} \\ \text{s. t.} &\begin{cases} \mathbf{X}_j^T \mathbf{v} - \mathbf{Y}_j^T \mathbf{u} \geq 0, 1 \leq j \leq n \\ \mathbf{X}_C^T \mathbf{v} = 1 \\ \mathbf{v} \geq 0, \mathbf{u} \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \tag{3}$$

合作关系下的效率评价价值 E_{ik} 公式为

$$E_{ik} = E_{iC} = \frac{\mathbf{Y}_C^T \mathbf{u}_i^*}{\mathbf{X}_C^T \mathbf{v}_i^*} \tag{4}$$

定义满足 $E_{ik} \geq \max\{E_{ii}, E_{kk}\}$ 时, DMU_k 是

DMU_i 的优先合作伙伴;满足 $E_{kk} \geq E_{ik} \geq E_{ii}$ 时, DMU_k 是 DMU_i 的潜在合作伙伴;满足 $E_{ik} \leq E_{ii}$ 时, DMU_k 是 DMU_i 的无效合作伙伴。

竞争关系下的广义 DEA 模型为

$$\begin{aligned} &\max \quad \mathbf{Y}_F^T \mathbf{u} \\ \text{s. t.} &\begin{cases} \mathbf{X}_j^T \mathbf{v} - \mathbf{Y}_j^T \mathbf{u} \geq 0, 1 \leq j \leq n \\ \mathbf{X}_F^T \mathbf{v} = 1 \\ \mathbf{v} \geq 0, \mathbf{u} \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \tag{5}$$

竞争关系下的效率评价价值 E_{ik} , 公式为

$$E_{ik} = E_{iF} = \frac{\mathbf{Y}_F^T \mathbf{u}_i^*}{\mathbf{X}_F^T \mathbf{v}_i^*} \tag{6}$$

定义满足 $E_{ik} \geq E_{ii}$ 时, DMU_k 是 DMU_i 的优先竞争对手;定义满足 $E_{ik} \leq E_{ii}$, 且 $(E_{kk} - E_{ik})/E_{kk} \geq 2(E_{ii} - E_{ik})/E_{ii}$ 时, DMU_k 是 DMU_i 的潜在竞争对手;定义满足 $E_{ik} \leq E_{ii}$, 且 $(E_{kk} - E_{ik})/E_{kk} < 2(E_{ii} - E_{ik})/E_{ii}$ 时, DMU_k 是 DMU_i 的无效竞争对手。

1.2 评价指标体系构建

在指标评价选取上,遵循科学性、针对性、可操作性等原则,结合财经类高校注重实践教学融合财经类企业文化、大力培养应用型经济管理人才等教学特色,并借鉴相关文献^[1-2,8],最终选择投入指标为专职教师人数、生均教育支出、生均图书量、生均教学及行政用房面积;产出指标为本科毕业生人数、国家科研项目数、发表 WOS 期刊论文数、发表 CSSCI 刊论文数,具体见表 1。

表 1 中国财经高校投入产出效率指标体系

指标类别	变量
投入指标 x	专职教师人数 x_1 /人
	生均教育支出 x_2 /元
	生均图书量 x_3 /册
	生均教学及行政用房面积 x_4 /m ²
产出指标 y	本科毕业生人数 y_1 /人
	国家科研项目数 y_2 /项
	发表 WOS 期刊论文数 y_3 /篇
	发表 CSSCI 刊论文数 y_4 /篇

1.3 数据来源与处理

各项指标数据来源于国家自然科学基金与国家社会科学基金官网、各高校官网、本科教学质量报告和《高等学校科技统计年鉴》。根据数据的代表性、完整性,筛选出 41 所财经类院校作为面板数据进行分析,见表 2。

选取 2018—2020 年的数据作为面板数据。

由于高校数据在 3 年间存在波动,如人才的引入和流失会导致专职教师人数在某一时间段内发生变化。将高校 2018—2020 年的所有数据看作一个模糊数据,3 年中各指标最大和最小投入产出数据分别作为模糊数据的区间端点值,得出各个指标的区间值。

表 2 筛选出的 41 所财经类高校

代码	学校名称	代码	学校名称	代码	学校名称
U1	安徽财经大学	U15	河南财经政法大学	U29	首都经济贸易大学
U2	北京工商大学	U16	湖北经济学院	U30	天津财经大学
U3	北京物资学院	U17	湖南财政经济学院	U31	天津商业大学
U4	东北财经大学	U18	湖南工商大学	U32	铜陵学院
U5	对外经济贸易大学	U19	江西财经大学	U33	西安财经大学
U6	福建江夏学院	U20	兰州财经大学	U34	新疆财经大学
U7	广东财经大学	U21	南京财经大学	U35	云南财经大学
U8	广东金融学院	U22	南京审计大学	U36	浙江财经大学
U9	广西财经学院	U23	内蒙古财经大学	U37	浙江工商大学
U10	贵州财经大学	U24	山东财经大学	U38	郑州航空工业管理学院
U11	桂林旅游学院	U25	山东工商学院	U39	中南财经政法大学
U12	哈尔滨商业大学	U26	山西财经大学	U40	中央财经大学
U13	河北金融学院	U27	上海财经大学	U41	重庆工商大学
U14	河北经贸大学	U28	上海对外经贸大学		

考虑到不同规模高校之间的竞争与合作意愿并不对等,因此规模水平相当的高校间的合作与竞争更加具有代表性。将这 41 所财经类高校进行分类,利用 SPSS 软件,通过系统聚类的方法将所有高校分为 6 类,聚类分析结果如图 1 所示。

第 1 类为 U19、U21、U29、U36、U37;第 2 类为

U4、U5、U27、U39、U40;第 3 类为 U7、U8、U15、U24、U38、U41;第 4 类为 U2、U6、U9、U10、U11、U12、U16、U17、U18、U22、U30、U32、U33、U34;第 5 类为 U1、U14、U20、U23、U25、U26、U31、U35;第 6 类为 U3、U13、U28。

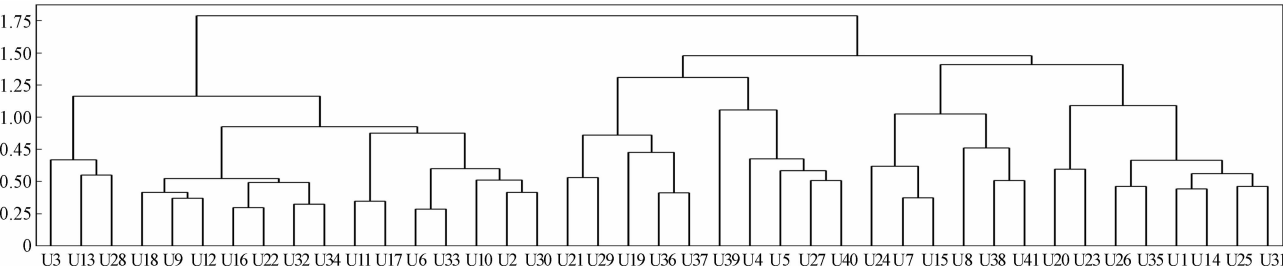


图 1 41 所财经类高校聚类结果

2 研究结果

2.1 效率评价

选取 3 年数据中各指标投入最小(最大)和产出最大(最小)的数据作为新决策单元的输入输出数据,代入模型(1),得出最高效率值(最低效率),用最高效率和最低效率的平均值作为该学校的平均效率值。为了更加清晰直观地表现出平均、最低、最高 3 种效率的差异趋势,绘制出雷达图,如图 2 所示。

由图 2 可以观察到,各高校的效率基本在 0.3~

1.5 范围内,最高效率与最低效率有显著差异性。以最低效率和最高效率作为效率变化区间端点,乐观准则和悲观准则分别是指对最高效率和最低效率的比较分析。若高校甲与高校乙合作后效率明显高于高校甲的最高效率,则表明在乐观准则下,高校甲有理由选择与高校乙合作;相反,若高校甲与高校乙竞争后效率大幅低于高校甲的最低效率,那么在悲观准则下,高校甲需要做出放弃与高校乙竞争的决策。

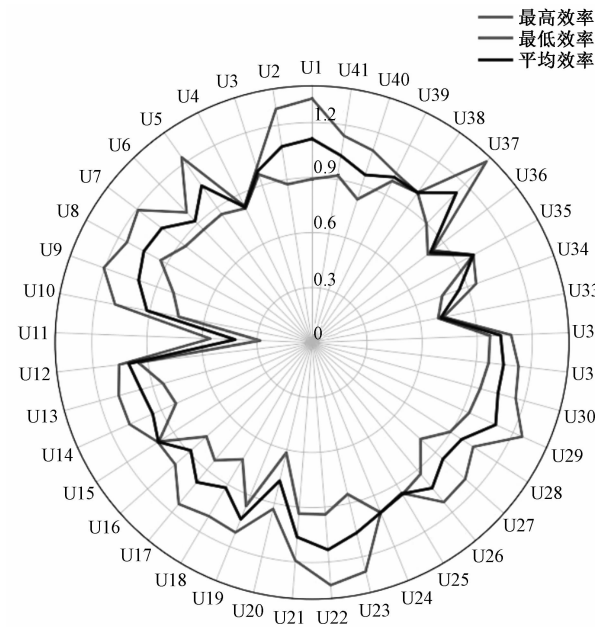


图 2 41 所财经类高校科研创新效率

表 3 分类 1 中任意两所学校合作后的效率变化区间

学校	U19	U21	U29	U36	U37
U19	(0.961,1.117)	(1.209,1.303)	(1.291,1.837)	(0.982,1.298)	(1.243,1.528)
U21	(1.209,1.303)	(0.936,1.192)	(1.334,1.465)	(0.776,1.164)	(1.323,1.440)
U29	(1.291,1.837)	(1.334,1.465)	(0.938,1.255)	(0.982,1.811)	(1.616,1.742)
U36	(0.982,1.298)	(0.776,1.164)	(0.982,1.811)	(0.793,0.829)	(0.983,1.622)
U37	(1.243,1.528)	(1.323,1.440)	(1.616,1.742)	(0.983,1.622)	(0.899,1.370)

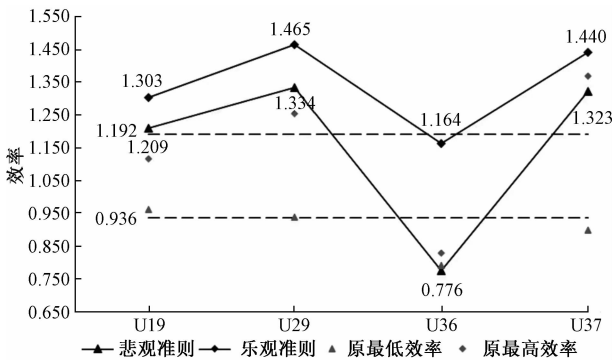


图 3 U21 合作后效率变化区间

最低效率，所以 U36 为无效合作伙伴。在乐观准则下，U21 与 U19、U29 和 U37 合作后的效率均高于合作前的效率，因此，U19、U29 和 U37 为优先合作伙伴，且优先顺序为 U29、U37、U19；U21 与 U36 合作后的效率为 1.164，低于 U21 的原最高效率，高于 U36 的原最高效率，所以 U36 为无效合作伙伴，反之 U21 为 U36 的潜在合作伙伴。

同样地，以平均值作为选定的参考系，利用该校投入最大和产出最小的指标值作为该校与某一

2.2 合作竞争策略分析

对第 1 类财经类院校的相关数据进行分析：以平均值作为选定的参考系，用该校投入最小和产出最大的指标值作为其与某一学校合作后的最佳合作状态，代入合作关系下的广义 DEA 模型(3)，得到分类 1 中各个学校之间合作后的效率变化区间，见表 3。

表 3 中，对角线的效率区间值为该校原有的最高效率和最低效率。以 U21 为例，为了更清晰地表现出该校与其他学校合作后效率变化，绘制出 U21 合作效率变化折线图，如图 3 所示。

从图 3 中可知，U21 合作前的最高效率和最低效率分别是 1.192 和 0.936。在悲观准则下，U21 与 U19、U29 和 U37 合作后的效率均高于合作前的效率，因此，U19、U29 和 U37 为优先合作伙伴，且优先顺序为 U29、U37、U19；U21 和 U36 合作后的效率为 0.776，低于 U21 的原最低效率和 U36 的原

学校竞争后的最佳竞争状态，将其代入竞争关系下的广义 DEA 模型(5)，得到分类 1 中各高校间竞争后的效率变化区间，见表 4。

表 4 中，对角线的效率区间值为该校原有的最高效率和最低效率。以 U36 为例，为了更清晰地表现出该校与其他学校竞争后效率变化，绘制出 U36 竞争效率变化折线图，如图 4 所示。

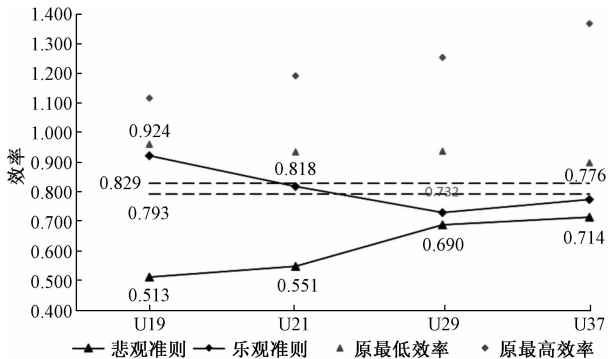


图 4 U36 竞争后效率变化区间

由图 4 可以看出，U36 竞争前的最高效率和最低效率分别是 0.829 和 0.793。在悲观准则下，U36

表 4 分类 1 中任意两所学校竞争后的效率变化区间

学校	U19	U21	U29	U36	U37
U19	(0.961,1.117)	(0.870,0.908)	(0.587,0.880)	(0.513,0.924)	(0.502,0.860)
U21	(0.870,0.908)	(0.936,1.192)	(0.616,0.773)	(0.551,0.818)	(0.601,0.675)
U29	(0.587,0.880)	(0.616,0.773)	(0.938,1.255)	(0.690,0.732)	(0.278,0.682)
U36	(0.513,0.924)	(0.551,0.818)	(0.690,0.732)	(0.793,0.829)	(0.714,0.776)
U37	(0.502,0.860)	(0.601,0.675)	(0.278,0.682)	(0.714,0.776)	(0.899,1.370)

与 U29、U37 的竞争在并未显著降低 U36 的效率的前提下有效降低了 U29、U37 的效率,因此 U29、U37 为潜在竞争对手;U36 与 U19 和 U21 竞争后的效率均低于竞争前的效率,且变化幅度相近,因此 U19 和 U21 为无效竞争对手。在乐观准则下, U36 与 U19 竞争后的效率为 0.924,高于 U36 的原效率,低于 U19 的原效率,所以 U19 为优先竞争对手;U36 与 U21、U29 和 U37 的竞争在并未显著降低 U36 的效率的前提下有效降低了 U21、U29 和 U37 的效率,因此 U21、U29 和 U37 为潜在竞争对手。

热力图能直观分析某一分类下所有学校的具体情况。通过不同颜色可以观察到任意两所学校之间合作或竞争后的效率与原效率的差异,分析出合作与竞争策略。用热力图展示出第 1 类学校合作和竞争后的效率变化,如图 5 所示。

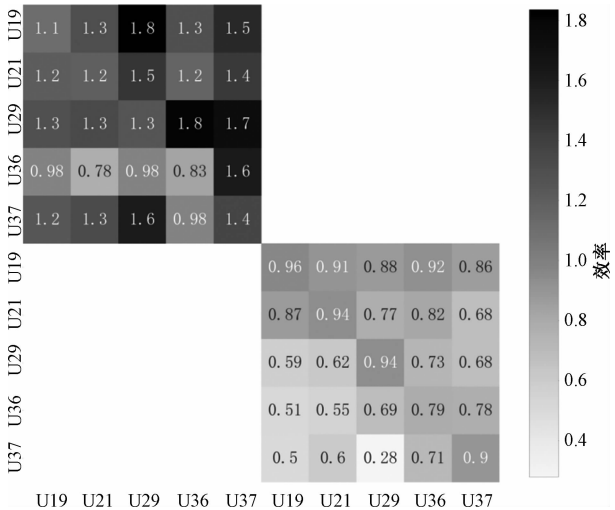


图 5 分类 1 学校间合作(左上)与竞争(右下)后的效率热力图

从图 5 可以看出,效率越高,颜色越浅。且对角线上方为效率区间的最高值(乐观准则),对角线的下方为效率区间的最低值(悲观准则)。根据数值大小以及颜色深浅可以判断:在乐观准则下,U19 的优先合作伙伴为 U29、U37、U21、U36;U21 的优先合作伙伴为 U29、U37、U19;U29 的优先合作伙

伴为 U19、U36、U37、U21;U36 的优先合作伙伴为 U29、U37、U19;U37 的优先合作伙伴为 U29、U36、U19、U21;在悲观准则下,U19 的无效竞争对手为 U29、U37、U36、U21;U21 的无效竞争对手为 U19、U29、U37、U36。U29 的无效竞争对手为 U19、U21、U37、U36;U36 潜在竞争对手为 U37、U29,无效竞争对手为 U21、U19;U37 的无效竞争对手为 U19、U21、U29、U36。

同理,用相同的方法对其他类学校进行简要分析,运用热力图展示出各类财经类高校合作与竞争后的效率变化,如图 6 所示。

3 结论与建议

研究结果显示:①各财经类高校的科研效率基本在 0.6~1.4 范围内,合作与竞争在不同程度上提升或降低效率。从提高学校科研效率角度出发,合作提升效率情况比竞争明显,因此优先选择与同类型其他院校进行合作。②合作分析结果显示,每所学校都存在多所优先合作伙伴,其中部分学校互为优先合作伙伴,合作后效率的大小排序可以为合作的先后顺序提供参考。③竞争分析结果显示,只有部分学校在竞争后提高自身效率,存在优先竞争对手,大部分学校通过竞争不仅没有明显降低竞争学校的效率,反而使自身效率大幅下降。

基于研究结果,提出以下两点政策建议。①以提高自身科研效率为基础,以政府投入为主,拓宽科研投入渠道,积极鼓励社会加大对高校科研的多渠道投入。支持科研人才队伍培养和科研机构设立,建立科研基金,规范公开基金运作方式,为科研提供经费支持。积极推进校企协同合作、众包众筹等新方式,吸引各类创新主体共同参与,营造良好的科研氛围。②以提升高校间相互科研效率为重点,加强高校科研协同合作。鼓励学校间资源共享,相互取长补短,共同培养高质量科研人才。实现科研设备等资源配置的优化和科研管理体制的改进,提升人才素养,推进科研创新,促进科研成果转化,为国家的战略科技力量的提升和综合实力的发展提供有力的保障。

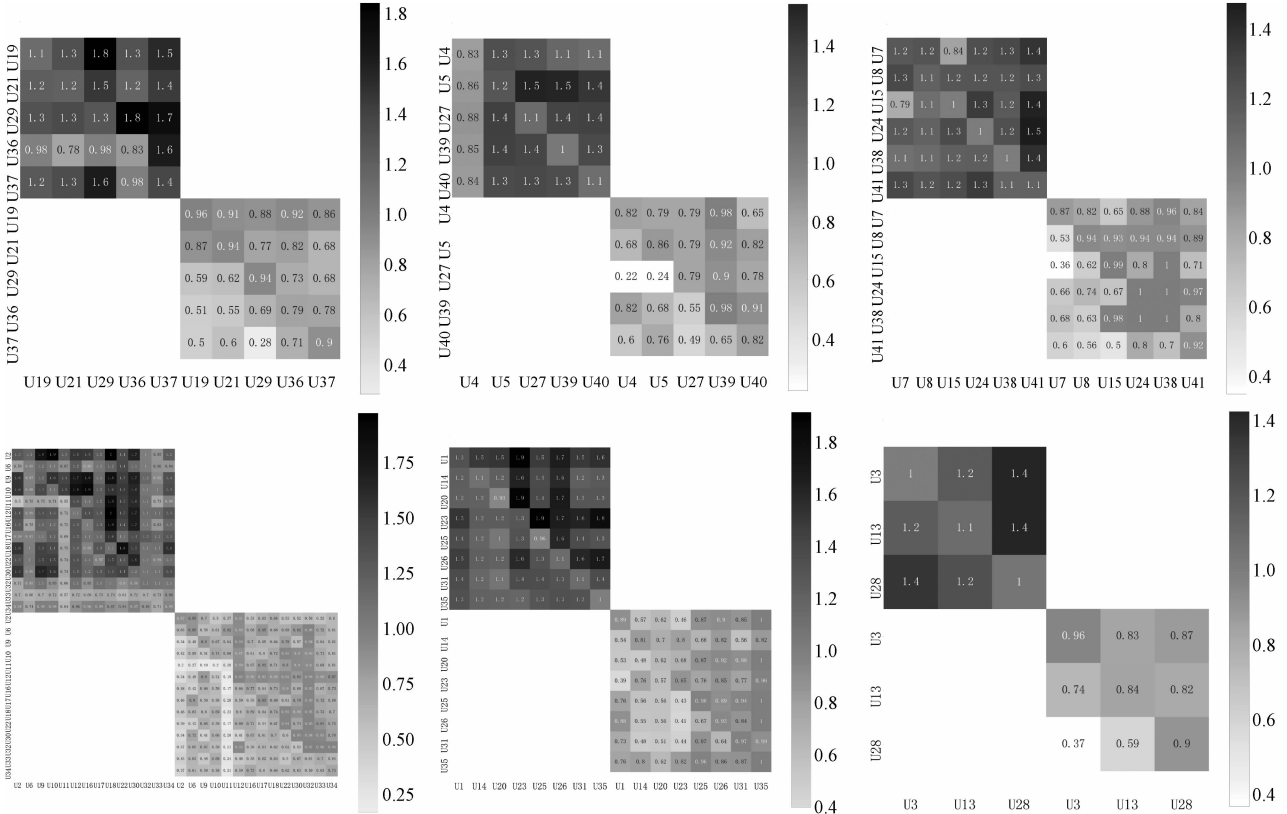


图 6 6 类财经类高校合作(左上)与竞争(右下)后的效率热力图

参考文献

[1] 余丹,张丽华.基于 DEA 方法的高校科研创新效率研究:以吉林大学为例[J].中国高校科技,2021(S1):61-63.

[2] 黄东兵,王灵均,袁剑锋.基于 DEA-Malmquist 模型的中国高校科研效率时空格局分析[J].黑龙江高教研究,2021,39(11):73-79.

[3] 蔡文伯,赵志强.我国十大城市群高校科研效率及影响因素研究:基于 DEA-Malmquist-Tobit 模型[J].重庆高教研究,2021,9(4):30-42.

[4] 丁显有,田泽,范兆娟.学术生态优化背景下高校科研效率时空分异研究:以“双一流”建设高校为例[J].中国高校科技,2021(7):46-50.

[5] 易明,彭甲超,张尧.中国高等教育投入产出效率的综合评价:基于 Window-Malmquist 指数法[J].中国管理科学,2019,27(12):32-42.

[6] 木仁,唐格斯,曹莉,等.基于博弈理论的广义模糊数据包络分析方法[J].内蒙古大学学报(自然科学版),2020,51(3):268-278.

[7] 李高亮.不确定性 DEA-Benchmarking 模型及其在涉农企业绩效评价中的应用研究[D].长春:吉林大学,2007.

[8] 王旭阳.基于 DEA 的财经类院校财政投入绩效评价研究[D].天津:天津财经大学,2020.

Research on the Efficiency of Scientific Research Innovation Game in China's Finance and Economics Colleges:

Based on generalized fuzzy game DEA theory

LI Chuanjuan, LI Jingjie, XIA Lingxi, XU Xiaoqian, ZHU Bin

(School of Science,Tianjin University of Commerce,Tianjin 300134,China)

Abstract: The aim is to scientifically evaluate the efficiency of scientific research and innovation in China's finance and economics colleges, which is helpfull to optimize the resource allocation of such universities, and improved their input-output efficiency in the context of cooperation and competition. Combining game theory and a generalized fuzzy DEA model, 41 finance and economics colleges in China are taken as the research object. Then, based on studying the overall scientific research and innovation interval efficiency, the different colleges are clustered according to their scale condition, and the efficiency changes before and after cooperation and competition between universities are analyzed, which comes to find the optimal, potential, and invalid partners and competitors. As a consequence, the issue of cooperation and competition strategy in comparable universities, is discussed,which would provide theoretical basis and reasonable suggestions for them splendidly.

Keywords: finance and economics colleges;scientific research innovation efficiency;generalized fuzzy DEA theory;game theory