

# 锦标赛竞争、合作策略与合作个体： 基于公共品博弈锦标赛的实验研究<sup>\*</sup>

罗俊 张真 戴瑞楠

**[摘要]** 竞争是配置资源的高效方式，如何应对竞争是当下人们关切的重要问题。本文在实验室环境中以公共品博弈为框架，基于个体的合作特质异质性和竞争能力异质性考察了竞争环境下的个体策略，探究了竞争是否能筛选出合作的个体及合作的策略。本文也结合多主体仿真建模，为主要结论提供稳健性。本文发现：博弈历史的作用是非对称的，个体更倾向于受自己过往博弈历史的影响，而非同等程度地受他人历史选择的影响；竞争不显著改变个体的合作水平，但是个体的合作选择在动态中显现出策略性；获胜者多数是非搭便车者，他们通过策略性合作，使小组维持高水平合作，从而获得较高收益。本研究表明，竞争对合作行为的影响并非简单的抑制或促进。在既定评价体系下，如果合作是可行且可能有利的，竞争机制就可以筛选出合作性策略和合作的个体。

**[关键词]** 竞争；策略；异质性；合作；公共品博弈

## 一、引言

竞争是社会环境的一个重要印记，不仅在资源相对稀缺的自然中存在，同时也是社会中一种提高效率的激励机制（刘欣苗和丁志国，2024）。竞争的形式极为丰富。以相对位次分配竞赛奖励的锦标赛是其中的典型，并具有如下特质：第一，竞争的激励（包括奖励和惩罚）在数量上具有稀缺性；第二，评价标准较为单一、促使主体在同一维度上竞争；第三，竞争参与者并非各自孤立，激励的分配结果取决于竞争者的相对表现，并且存在合作、拆台等复杂的社会关系（闫威等，2017）。对个体而言，需要选择竞争策略以实现个人目标。对社会而言，既要设计竞争机制时考虑效率，也要考虑有利于社会长远发展的亲社会行为能否被选择出来。因此，竞争环境中的个体策略选择是较为复杂且具有现实意义的理论问题。

通过将囚徒困境（Prisoner's Dilemma, PD）、公共品博弈（Public Goods Game, PGG）等博弈框架与锦标赛结合，可以形成类似生物进化的竞赛。较多文献使用计算机模拟在这种锦标赛

<sup>\*</sup> 罗俊，浙江财经大学经济学院，浙江省哲学社会科学重点研究基地，邮政编码：310018，电子信箱：luojun@zufe.edu.cn；张真（通讯作者），中国人民大学经济学院；戴瑞楠，浙江财经大学经济学院。本文为国家自然科学基金面上项目（72073117）的阶段性成果。感谢匿名审稿人的修改建议，笔者已做了相应修改，本文文责自负。

中着力寻找获胜策略并考察获胜策略的亲社会性质 (Axelrod & Hamilton, 1981), 而相应的经验研究则较为匮乏, 只有少数文献应用了实验的方法对既有策略的性质做了检验 (Hilbe *et al.*, 2014)。同时, 实验的方法已经被广泛应用于合作问题的其他分支中, 探究不同环境下个体的亲社会行为及决策机制。很多实验研究发现个体的合作程度不同, 并且大部分实验都出现合作水平在重复博弈后期下降的现象 (周业安等, 2013; 周晔馨等, 2014)。但这些文献鲜有将策略选择本身作为研究的主题、考虑博弈者间的互动关系 (Fischbacher & Gächter, 2010)。

本文基于演化博弈论的策略研究, 以及实验经济学的亲社会行为研究等两种研究范式, 从策略的视角解读 PGG 锦标赛中个体的行为动态、在动态的过程中分析博弈的结果。PGG 常被用于研究合作问题, 但是其单次博弈的均衡解恰恰是非合作, 可以视作特殊的 PD 博弈, 不提供公共品 (或较少) 和全额提供公共品 (或较多) 的情形可以分别类比于在 PD 博弈中选择非合作策略与合作策略。与 PD 博弈相比, PGG 中可选策略取决于禀赋数量, 因而可以产生更多策略选择, 更符合现实中复杂的博弈局势。在 PGG 中引入锦标赛, 参与者的经济激励产生于根据博弈收益形成的竞争性排名, 而不是博弈收益本身。在 PGG 锦标赛中, 公共品的供给者承担成本, 但收益由组内各参与方共享。当所有人决策一致从而提供相同数量的公共品时, 所有人的收益相同。而当不同的策略出现时, 个体可能提供不同数量的公共品, 就会产生相对排名的改变。因而, 在 PGG 锦标赛中存在优化博弈策略和调整公共品投入数量的空间。

进一步地, 本文将考察异质性对个体行为的影响。一方面, 竞争者背景具有差异性普遍的现实, 较为常见的便是劳动市场中同一岗位的应聘者在学历水平或成长经历等方面有差异; 另一方面, 博弈行为取决于个体参与竞争的能力。异质性首先体现在竞争能力上。在 PGG 中, 竞争能力差异表现在个体的禀赋、贡献成本、公共品边际收益 (增加一单位公共品投入的收益回报) 等参数上 (Kesternich *et al.*, 2017; Bouma *et al.*, 2019)。其次, 异质性也体现在个体的社会偏好等个体特质上。个体在 PGG 中存在稳定的合作特质: 在实验机制尚未对被试产生足够影响时, 合作特质直接决定初次博弈中的策略选择, 并在后续的博弈中与其他因素共同影响策略选择 (Ones & Putterman, 2007)。本文一方面沿用文献中的贡献阈值划分法 (Gunthorsdottir *et al.*, 2007) 将个体划分为搭便车者、合作者, 另一方面根据条件性合作的测度结果, 利用聚类学习的方法识别合作特质 (Kreitmair & Bower-Bir, 2021)。<sup>①</sup> 机器学习方法既能够避免人为选择阈值, 也便于其他研究者复现或进行其他研究。

本文围绕上述机制设计了 PGG 锦标赛的实验室实验, 并调整了竞争性奖励的数量和获得者比例, 形成两种竞争机制 (罗俊等, 2022)。实验结果表明, 竞争机制和匹配机制对平均合作水平和从博弈中获得的累计收益没有显著影响。博弈历史对个体决策的影响是非对称的, 与已有文献中先验的对称性假设不一致: 自己的行动会显著影响未来两期的选择, 而组内另一成员的选择只会显著影响未来一期。分析获胜者, 其中只有少数符合非合作者特征, 获胜者不仅实际合作水平较高, 而且决策具有明显的策略性: 在博弈初期获胜者投入较多, 使得小组合作水平快速攀升, 并在较长时间内维持高位; 在博弈中期和后期, 获胜者维持或增加了投入, 但始终少于另一组内成员的投入量, 实现了隐性的搭便车。

本研究的主要贡献在于: 第一, 本文基于实验中个体的直接反应构建策略, 为演化博弈论中使用计算机模拟的相关研究提供了经验证据, 同时仿真也被应用于巩固主要结论。以策略视角分析合作动态充分考虑了博弈参与者的互动性, 有助于丰富对 PGG 实验中末期效应等个体行为的认识, 从而提高激励设计的针对性; 第二, 本文将锦标赛竞争引入 PGG 中, 个体在禀赋范围内

<sup>①</sup> 基于 R 语言编写。

选择公共品投入，也就具有更多博弈选择，更接近现实中复杂的竞争活动；第三，为更有效地组织竞争、参与竞争提供了依据。本文揭示了当合作是可行且可能有益的选项时，竞争也可以筛选出具有非搭便车特质的个体和合作性的策略。

本文其余部分安排如下：第二部分为文献综述，介绍竞争、个体异质性等对策略选择的影响；第三部分为实验设计和理论假说，包括实验流程、实验局设置和基于理论的结果预期等内容；第四部分为实验结果分析，本文首先考察机制对公共品投入的影响，接着分析具有显著影响的博弈历史并从中建构起一种策略表达，最后分析个体的合作动态和策略；第五部分为计算机仿真；第六部分为研究结论。

## 二、文献综述

本文的工作主要与两支文献相关。其一是在生物进化竞赛或锦标赛机制下对获胜策略或演化稳定策略的博弈论研究。其二是公共品博弈实验中探讨竞争机制、异质性等实验设计对合作行为影响的研究。

在合作的演化这一主题下，Axelrod & Hamilton (1981) 较早利用计算机运行不同的策略程序，在循环进行的锦标赛赛制中得出 PD 博弈中最终收益最高的策略。“一报还一报”策略 (Tit for Tat, TFT) 成为锦标赛的获胜者。TFT 策略同时具有不首先背叛、有限度容忍背叛、不因为别人成绩好而背叛、惩罚背叛等特点。但是，TFT 策略容易受到噪声干扰而导致个体持续相互背叛 (Fudenberg & Maskin; 1990)。

传统理性人假定个体记忆任意长度的博弈历史，但随着博弈人数和记忆长度的增加，策略的数量呈指数级别增加。尤其是当策略是用各方的历史选择直接表示时，计算成本很高，而且难以解读。Murase & Baek (2020) 使用有限确定自动机算法 (Deterministic Finite Automaton)，提出了一种由博弈历史映射而来的基于个体对博弈历史的自我判断的策略表征，有助于解决这两方面的问题。

理论推导和计算机模拟是演化博弈论使用的主要方法，而少有经验研究对其结论提供检验。在博弈实验中，被试可能根据博弈历史调整策略。本文归纳被试的直接反应，将投入的模式解读为个体释放的以合作信号、强度信号和连续性信号为主的策略表征。此外，较多研究假定给定记忆长度下影响当期选择的双方博弈历史是对称的。例如两步记忆策略由个体自己和对手之前两期的选择组成。通过实验中的经验数据，本文能够验证记忆对称性。

合作的演化是行为与实验经济学关注的重要话题 (韦倩等, 2019)。竞争不仅在厂商之间 (邵小快和郑捷, 2024)，也在个体之间。组间竞争和重复互动的共同作用被发现是演化视角下个体合作行为产生的重要原因 (Efferson *et al.*, 2024)。竞争机制的设置会对个体的行为产生影响 (Chen *et al.*, 2015)，从而改变竞争的激励效果。首先是竞争者异质性。在基于相对排名的锦标赛中，竞争者通过自己的表现为其他竞争者设置内生的阈值。其次是锦标赛结构，也就是接受竞争奖励或惩罚的竞争者比例。奖励结构的影响可能取决于具体的实验设置和情境。曾馨逸和闫威 (2010) 发现获胜者比例增加会提高平均努力水平。但是闫威等 (2017) 在真实努力实验中考察了锦标赛结构对努力水平的影响，发现获胜者比例和个体的努力水平的负向关系，而且获胜者较少时拆台行为也较少出现。最后是竞争存在的范围。West *et al.* (2006) 将学生分为 5 个三人组进行重复 PD 博弈，并设置了小范围的局部竞争 (Local) 和大范围的全局竞争 (Global) 两种竞争机制。局部竞争规定每个小组内累计收益最多的个体获得奖励，而全局竞争规定 15 人中累计收益最高的 5 名学生获得奖励。他们发现，相比全局竞争，局部竞争会挤出合作。

按存在范围区分竞争机制,相关的实验研究主要有三类。第一类是组内竞争,是指小组内既合作也竞争,而同一实验场次内的小组间没有联系。Colasante *et al.* (2019) 根据小组中三名被试的贡献高低给予其不同的 MPCR (公共品边际收益),提供公共品越多, MPCR 越高。他们的研究发现,这种基于公共品贡献值排名的竞争机制促进了合作行为。第二类是组间竞争,指个体以小组为单位进行竞争,小组内有共同利益但无竞争关系。Cárdenas & Mantilla (2015) 设计竞争标准为小组成员在 PGG 中获得的收益之和越高,小组获得更高的公共品收益乘数,而个体在小组内仍是合作的。第三类是群体竞争(罗俊等,2022),即同组个体因为 PGG 而可能形成合作,同时由各小组的所有个体形成的群体内存在竞争关系。竞争标准为 PGG 的累计收益。这种竞争机制符合现实中基于相对绩效排名、竞争参与者较多的场景,例如升学考试、职工晋升等。实验结果表明,此竞争机制无法促进个体合作,甚至可能挤出合作。

这三类文献中的合作关系具有相同点,小组内的个体可能通过合作提高个人收益。但是就竞争存在的范围而言,三类文献有所不同。竞争和合作存在的范围决定了个体间的竞合关系,不同的竞合关系可能导致在竞争如何影响合作的问题上出现不同的结论。另外,竞争的评价标准可能也会影响博弈行为,文献中一类以博弈行为(公共品投入)为标准,另一类以博弈的结果(个体或小组的收益)为标准。竞合关系影响博弈行为的机制可能比较复杂,而评价标准的作用机制则相对直观:博弈者以标准为目标决策行动。针对本文的研究背景,本文采取了第三类竞争机制。与组间竞争相比,让小组中的个体局部合作、全局竞争,以便考察竞争对个体策略行为的直接影响。与没有组间联系的组内竞争相比,群体竞争使小组间产生了联系,而非简单通过扩大小组规模的方式增加参与竞争的人数,符合现实中较多出现的局部合作、全局竞争的场景。

### 三、实验设计与理论假说

本文利用实验经济学方法,重点考察竞争机制下人们的合作与搭便车行为,并以获得较多收益的个体为主要研究对象,探究其个体特质和博弈策略。为此,本文在 PGG 框架下设置了头部竞争、头尾竞争和无竞争三种激励机制。已有文献发现 PGG 支付函数的参数、匹配方式等实验设置会影响合作行为,而二者分别能够反映个体的竞争能力、影响个体通过博弈历史作出决策,因此本文在实验局设计时赋予被试异质禀赋、异质成本率,并形成了异禀赋固定匹配、同禀赋固定匹配等实验处理。基于这样的设计思想,本文预计被试会出现具有策略性的合作行为,获胜者能够通过合作与搭便车的选择组合从重复博弈中积累较多的收益。

#### (一) 实验概况

本文于 2020 年 5—6 月在浙江财经大学经济行为与决策研究中心(CEBD)面向全体学生公开招募了 180 名学生被试参与实验。本文组织了 9 场实验,分别对应因子设计下的 9 个实验局,每场实验中有 20 名学生被试。为保证被试在实验决策过程中符合引致价值(Induced Value)原则,实验员当场结算并发放实验表现报酬和 20 元出场费。实验采用被试间设计,每名被试只参加 1 个实验局。z-Tree 软件实现了实验程序的编写(Fischbacher, 2007)。

实验在被试知悉流程并答对测试题后开始。被试首先进行“数 1”任务,使得被试通过努力获得有差异的初始禀赋,用于公共品博弈。通过努力获得禀赋,有利于提高激励的凸显性,促使被试自利地优化博弈策略(Cherry *et al.*, 2002)。任务表现决定被试初始禀赋水平的高低,并作为贡献额上限:表现位于前 50% 的被试每轮获得 30 个筹码,否则为 20 个筹码。

其后,每场实验的 20 名被试按实验局设计分为 10 个 2 人小组进行 10 轮 PGG。被试的轮次收益如式(1),已进行轮次的筹码数累加即为当前总筹码数。其中  $\pi_i$  为被试在第  $i$  轮的筹码数。

$e$  为固定的初始禀赋。现实中个体的竞争能力有差异，取得相同成果需要付出不同的成本。为真实地模拟这一现象，本文设定参数  $\beta$  代表投资的成本率并具备个体差异，使得被试具有不同的从公共品中获取净收益的能力，从而形成异质的竞争能力 (Bouma *et al.*, 2019)。 $q_i$  为被试在第  $i$  轮为公共品贡献的筹码数额， $T$  为博弈双方的筹码贡献总额。

$$\pi_i = e - \beta q_i + 0.8T \tag{1}$$

公共品博弈实验结束后，被试需要填写测度条件性合作偏好的量表 (Fischbacher & Gächter, 2010) 和调查个人社会特征信息的问卷。最后，实验员向被试支付现金酬劳。

## (二) 实验局设计

表 1 为 9 个实验局的基本设置。各实验局在匹配方式、同/异成本率、竞争机制等三个维度上有所不同。其中竞争机制是最为关键的机制设计，为反映现实中竞争的复杂性和个体的异质性，本文还对匹配方式和博弈支付函数做了处理。

表 1 实验局基本情况

实验局	匹配方式	同/异成本率	竞争机制
DD1	异禀赋固定匹配	异成本率	头部竞争
DD2	异禀赋固定匹配	异成本率	头尾竞争
DD3	异禀赋固定匹配	异成本率	无竞争
DS1	异禀赋固定匹配	同成本率	头部竞争
DS2	异禀赋固定匹配	同成本率	头尾竞争
DS3	异禀赋固定匹配	同成本率	无竞争
SS1	同禀赋固定匹配	同成本率	头部竞争
SS2	同禀赋固定匹配	同成本率	头尾竞争
SS3	同禀赋固定匹配	同成本率	无竞争

注：实验局命名中的字符依次表示初始禀赋是否相同（取 Same 的 S 表示同禀赋、取 Different 的 D 表示异禀赋）、不同禀赋个体之间是否存在异质成本率（取 Same 的 S 表示同成本率、取 Different 的 D 表示异成本率）和竞争机制（1 为头部竞争，2 为头尾竞争，3 为无竞争机制）。

竞争机制的设计根据获得奖励的人数和数额不同分为头部竞争、头尾竞争和无竞争等三种方式。竞争机制体现于被试所获得的实验报酬的结算方式。在头部竞争的实验局中，计算机将会根据本场实验所有被试最后的总筹码数高低进行排名，给予名次位于前 20% 的被试（前 4 名，包括第 4 名）40 元作为实验报酬，给予后 80% 的被试 10 元作为实验报酬。在头尾竞争的实验局中，给予名次位于前 20% 的被试（前 4 名，包括第 4 名）40 元作为实验报酬，给予位于 20%—80% 的被试 20 元作为实验报酬，末尾 20% 的被试只能获得出场费。如果出现总筹码数并列，由计算机随机决定并列者的最终名次。两种竞争机制下，参与者需要积极与组内另一成员形成合作，主动获取竞争优势、进入排名前列。因此两人既竞争又合作，是竞合对手。在无竞争机制的实验局中，被试的每 10 个筹码兑换 1 元。

匹配方式可能会影响策略选择，只有与固定匹配对象博弈才能较为稳定地传递自己的策略信号：个体与固定匹配的对象博弈时释放的信号可能会改变对象此后的策略。固定匹配按照组内个体禀赋是否相同分为两类，在固定的同禀赋实验局中，博弈双方由 2 名初始禀赋相同的被试组成；在固定的异禀赋实验局中，博弈双方由 2 名初始禀赋不同的被试组成。

个体竞争能力的异质性不仅体现在初始禀赋，还体现于收益积累效率上。为明确区分强弱竞

争能力,本文设定异成本率的实验局中成本率和禀赋挂钩,初始禀赋较高的被试成本率 $\beta$ 为0.8(此时投入公共品的净成本为0),初始禀赋较低的被试成本率 $\beta$ 为1;在同质成本率的实验局中,博弈双方的成本率 $\beta$ 均为1。异成本率的设置为策略信号的传递提供了支持。

### (三) 理论假说

基于实验设计,本文提出了以下理论假说。

在无竞争情形下,传统博弈论预测被试在每一轮都选择完全搭便车。但是行为和实验经济学研究发现,公共品投入数量往往为正,并且受到对他人合作水平的信念和博弈历史的影响。首先,本文被试是大学生群体,在被试的初始信念(Belief)中,其他被试是完全的搭便车者或完全的合作者的可能性较低。以学生被试为代表的大部分社会人都生活在具有大量合作场景的环境中,不仅自身具有一定的亲社会性,而且认为他人具有一定程度的亲社会性(杨晶等,2015)。其次,已有研究表明被试的初始贡献值往往不为零(Gunthorsdottir *et al.*, 2007),即使被试的初始信念是组内成员会搭便车,也会在第二轮更新信念。尽管这可以得出被试会贡献正值公共品,但仍然无法避免合作水平的波动。被试群体的亲社会性是有限的,在条件合作的行为假设下,自己的投入量会成为其他被试更新信念和选择投入量的依据之一,当期自己的投入增加会引起组内另一成员未来的投入增加,此时被试有动力推动组内合作水平提高(或继续将合作水平维持在高水平)。但是被试往往都是不完美的条件合作者,其贡献值不能完全与组内另一成员的信念或贡献值匹配,从而导致合作的瓦解,而群体中搭便车者的存在也会加速这一过程(Fischbacher & Gächter, 2010)。

在锦标赛竞争环境,总筹码数影响的是获胜的概率:总筹码数越高,重复博弈结束时排名更高的概率越大(West *et al.*, 2006; 罗俊等,2022)。因此,以上无竞争情形得到的推论也适用于竞争环境。其区别在于,总筹码数以概率的形式影响现金收益,从这一角度而言条件合作的形成更加困难。其中,能够形成合作的小组中更可能出现获胜者(基于头部竞争实验局定义排名前20%为获胜者),但由于锦标赛限制获胜者的数量,获胜者更可能是小组中获得收益更多的一方。由此,本文提出假说1:

假说1 博弈者会投入正值公共品,且投入的数量会在博弈的后期发生衰减,而获胜者是能在后期维持另一组内成员的投入而自己搭便车的博弈者。

无竞争实验局中,博弈者的目标是最大化 PGG 收益,从而在折算后获得最大化现金收益。然而与两种竞争机制不同的是,无竞争实验局中,博弈者的收益只与博弈双方的公共品投入有关,与同时实验的其他18名博弈者的公共品投入无关。因此,在观察到与竞争机制中相同的排名信息后,无竞争实验局中的博弈者无直接动力改变目前的博弈策略,因此投入量的变化更加稳定。由此,本文提出假说2:

假说2 相比竞争性实验局,无竞争实验局中被试的合作水平的变化较为稳定。

在头部竞争实验局中,只有排名前20%的被试能够获得奖励,因此竞争更加激烈。从这个意义上,头部竞争实验局的组内竞争关系也更强,更有可能挤出合作。同时由于在博弈后期累计收益的差距可能难以缩小,排名居于尾部的被试获得奖励概率非常小,因此更可能会选择不贡献。而在头尾竞争实验局中则不然,竞争相对温和,组内合作关系较强,同时排名位于尾部的个体有动力追求中段的竞争奖励,更有动力采取措施避免被末位淘汰,积极参与到竞争中,释放合作信号。由此,本文提出假说3:

假说3 在头尾竞争中,被试的合作水平更高,而且末期衰减效应滞后。

过去的博弈行动通过实验中的信息披露机制影响当下选择,因此投入公共品的数量形成了策略的信号。为研究信号传递的有效性对合作行为的影响,本文设计了DD1、DD2、DD3等三个组

内成本率相异的实验局，其中高禀赋个体成本率也低，竞争能力更强。根据收益计算公式，强竞争能力者的贡献净成本为零，其贡献数额可视为强烈的策略信号。这种信号有效且可信：竞争环境中，虽然强竞争能力者合作水平的降低不会直接增加自己的收益，但该收益却可能低于弱竞争能力者。<sup>①</sup> 因此强竞争能力者一定会降低投入。在非竞争的情形中，虽然强竞争能力者改变投入也不会直接增加自己的收益，但可以通过降低竞争对手的收益释放明确的惩罚信号，促使后者回到合作状态中。因此，在异成本率实验局中，被试的信号更为明确地传递了合作意愿，这有利于双方更快达成一致。由此，本文得到假说4：

假说4 相比所有被试成本率相同的实验局，DD1、DD2和DD3等三个被试成本率因禀赋而异的实验局中，呈现个体稳定、连续的合作意图的策略会更快地成为常用策略。

## 四、实验结果分析

### （一）描述性统计

PGG锦标赛的竞争标准是累计筹码数较多的个体获得奖励。表2显示了在9个实验局中，按竞争机制、匹配方式和同异成本率分别统计的实验结束时筹码累计数的平均值。表2表明，三种激励机制下平均筹码数差异不明显。<sup>②</sup> 按匹配方法分组，异禀赋匹配的筹码数略高于同禀赋匹配。在按实验局中是否存在异成本率个体而分组的统计中，也出现了异质组的个体比同质组的个体筹码数更高的现象。值得注意的是，这有可能是因为机制促进了合作水平，也可能是因为强竞争能力者投入净成本不同。其次，异禀赋固定匹配的实验局中包含了异成本率处理的实验局，因此表中所显示异禀赋匹配能够积累更多的筹码数的内在原因还需要进一步分析。

表2 各实验局按机制分组的平均累计筹码数

激励机制	筹码数	匹配机制	筹码数	成本率	筹码数
头部竞争	328.94	同禀赋匹配	311.05	同成本率	315.02
头尾竞争	320.54	异禀赋匹配	335.81	异成本率	352.62
无竞争	333.19	—	—	—	—

由更多的累计筹码数量推断，个体可能也有较高的公共品贡献率。图1显示了按机制分类后的博弈者在各时期平均的公共品贡献率。平均而言博弈者不会完全搭便车，但投入的数量会在后期发生衰减，这部分验证了假说1。同时，各实验局在第二轮也都出现了较大幅度的贡献率下降。

<sup>①</sup> 例如，当弱竞争能力者选择显著偏离合作（贡献率低于70%）而强竞争能力者仍维持高合作水平时，后者的收益就会少于前者从而失去竞争优势。

<sup>②</sup> 两种竞争机制按获奖人数所占比例分别计算的预期收益不相等（头部竞争中预期收益较低， $16 < 20$ ）。但是这对结论应该没有显著影响：第一，本文的报酬规则遵循诱导价值理论，满足激励的单调性、凸显性和占优性假设。第二，相比被试内设计，被试间设计中被试对实验设计中处理变量的数值较不敏感，并且本文中的被试对其他实验局不知情。第三，累计支付规则下可能发生财富效应，被试在收益增加后可能更加规避风险。由于合作的收益取决于对手合作程度，具有不确定性，财富效应就会导致搭便车的可能性提高。但是，表2显示无竞争组的累计筹码数略高（尽管在后续分析不显著），图1显示，头部竞争的末期效应出现最早，头部竞争处理下被试在第9轮就出现末期衰减效应，而无竞争组和头尾竞争组衰减效应的出现滞后到了第10轮。这反而与预期报酬的可能影响相悖。差异性检验和回归分析也分别显示竞争机制之间，以及竞争和无竞争之间的筹码累计数水平和贡献率水平无显著差异。

无竞争组的平均贡献率虽然也出现衰减,但较竞争情形比较稳定,符合假说2。比较两个竞争实验局,头尾竞争组没有呈现更高的合作水平,但衰减效应平均较为滞后,二者分别出现在第9轮和第10轮,从而部分验证了假说3。

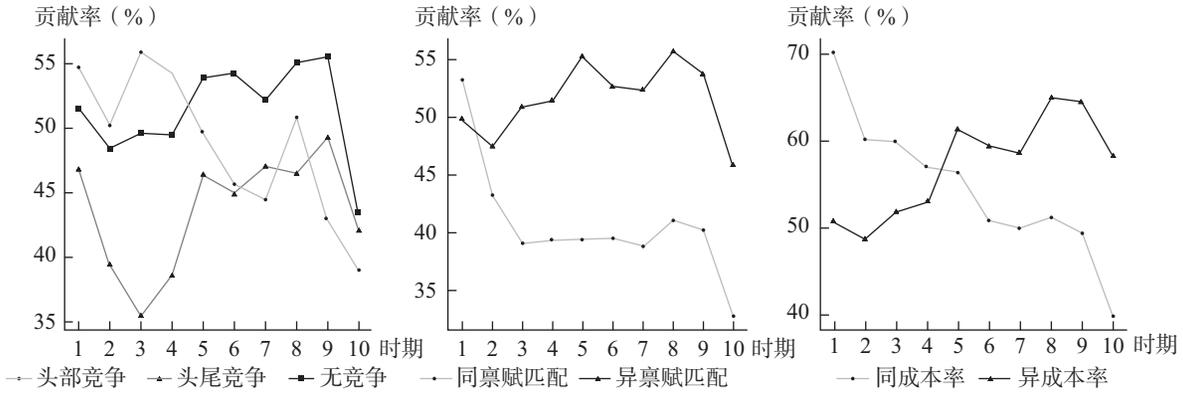


图1 各实验局各时期平均贡献率

为进一步检验各实验局筹码数差异的显著性,本节对9个实验局中被试在十轮 PGG 结束后的总筹码数进行了 Kruskal-Wallis 单因素方差分析,结果在 1% 显著性水平上拒绝原假设。这表明不同实验局的变量设置显著地导致了被试间的总筹码数量差异。在 Mann-Whitney 秩和检验中,在 0.05 显著性水平上,异成本率、异禀赋固定匹配的设置显著改变了筹码积累水平,见表 3。如果控制匹配方式和成本率不变,可以发现竞争环境对个体进行 10 轮次 PGG 后的总筹码数量无统计意义上的显著影响 (DD1-DD2-DD3, DS1-DS2-DS3, 最小的  $p$  值为 0.45)。结合表 2 可知竞争环境对个体合作行为的影响在经济意义上也不显著。进一步控制匹配方式和竞争方式相同,比较 DD1-DS1、DD2-DS2、DD3-DS3 等三对实验局的筹码数量,发现 DD1-DS1、DD2-DS2 两对无显著差异 ( $p$  值分别为 0.18 和 0.21),而 DD3-DS3 在 10% 的水平上有显著差异 ( $p=0.06$ )。而在同成本率的实验局的比较中,同禀赋匹配和异禀赋匹配没有呈现出显著的差异 (DS1-SS1,  $p=0.32$ ; DS2-SS2,  $p=0.51$ ; DS3-SS3,  $p=0.82$ )。

表3 组间总筹码数差异性检验

实验局	DD1	DD2	DD3	DS1	DS2	DS3	SS1	SS2
DD2	0.58	—	—	—	—	—	—	—
DD3	0.70	0.45	—	—	—	—	—	—
DS1	0.18	0.43	0.12	—	—	—	—	—
DS2	0.08	0.21	0.06*	0.64	—	—	—	—
DS3	0.10*	0.30	0.06*	0.68	0.95	—	—	—
SS1	0.05**	0.17	0.02**	0.32	0.72	0.58	—	—
SS2	0.00***	0.04**	0.01***	0.13	0.51	0.46	0.73	—
SS3	0.03**	0.16	0.04**	0.34	0.97	0.82	0.76	0.52

注:表格中数据表示的是  $p$  值,\*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1%。

## (二) 合作特质与机制对公共品贡献率的影响

本文通过机器学习中的聚类方法,基于条件性合作数据识别被试的合作特质 (Kreitmair &

Bower-Bir, 2021)。利用机器学习进行分类, 优点在于避免人为预设偏好类型的偏误, 适用于大样本情形, 也便于其他研究比较检验。聚类算法将具有条件性合作数据的样本分为亲社会的驼峰型合作者、亲社会的条件型合作者、中性的条件型供给者和搭便车者等4类。<sup>①</sup> 本文也根据被试在第一轮的贡献率, 以30%为界限划分为合作者和搭便车者 (Gunthorsdottir *et al.*, 2007)。继而本文以回归方法研究合作特质与实验机制对贡献率的影响。

表4显示了合作特质与实验机制对贡献率的影响。基准组为亲社会的驼峰型合作者 (机器学习识别)、搭便车者 (根据第一轮投入量识别)、无竞争实验局、异禀赋匹配实验局、同成本率的实验局、高成本率的个体和第一轮, 基准组的虚拟变量值为0。主要结果1如下。列(1)中, 相比基准组, 亲社会的条件型合作者的差异不显著, 而中性的条件型合作者和搭便车者的贡献率显著更低。列(2)与列(1)样本相同, 但使用根据第一轮投入量识别的合作特质, 相比第一轮贡献率低于30%的搭便车者, 合作者的贡献率显著更高。

由于DD1、DS1和DS2等3个实验局未搜集条件型供给数据, 列(1)~列(2)部分解释变量未得到有效估计。列(3)是全样本回归, 以准确考察其他机制变量的影响。主要结果2如下。首先, 合作者的贡献率比搭便车者高约30% ( $p$ 值小于0.01)。其次, 两种竞争机制对贡献率的影响, 以及同禀赋匹配对贡献率的影响, 在统计上均不显著。最后, 列(3)引入机制间的交乘项, 深入分析机制的影响。第一, 与两种竞争机制以及同禀赋匹配相关的交乘项在统计上均不显著, 或表明机制间的交互作用并不明显。第二, 结合低成本率的估计系数和交乘项的估计系数可以判断存在异成本率时, 强竞争能力者的贡献率显著更低。这意味着弱竞争能力者对推动小组合作水平的作用非常关键。

### (三) 个体在公共品贡献中的策略分析

本节使用固定效应模型考察被试所接收的信息对决策的影响, 从而将行为模式归纳为策略特征。决定每轮投入时, 被试会看到筹码积累数量、双方贡献值、排名等数据。被试会考虑博弈历史选择投入, 也要考虑如何释放策略信号影响后续轮次的竞合对手。表5中列(1)各解释变量均显著。列(2)增加了双方贡献数量的二阶滞后项。列(3)~列(4)在列(2)基础上增加了双方排名, 列(4)样本仅来自有竞争的实验局。

主要结果3如下。在公共品贡献的决策中, 双方贡献值的一阶滞后项都显著正向影响了贡献率, 被试自身的贡献值的二阶滞后项显著负向影响了贡献率, 而竞合对手贡献值的二阶滞后项却没有呈现显著影响。此外, 竞合对手的筹码积累量和排名也产生了显著的影响。综合这些信息可以推断, 在被试的决策系统中对博弈历史信息处理是非对称的, 自己和竞合对手的信息对决策的影响程度不一致。控制时期虚拟变量、双方排名等变量, 回归结果是稳健的。<sup>②</sup>

### (四) PGG 框架下的策略选择

实验中被试未必严格按照固定的策略决策, 但其行为模式存在规律。表2显示了博弈历史中存在稳定且显著影响决策的因素, 即策略的类型取决于本轮贡献率  $C_t$  与自己贡献率的两期滞后

<sup>①</sup> 给定对方提供零值时, 亲社会的驼峰型合作者仍有很高的贡献值, 而条件性供给量会从一个较高的起点随着对方贡献值提升至极大值后下降 (占比19.17%)。亲社会的条件型合作者的贡献值受他人贡献值影响较大, 通过贡献零值惩罚搭便车者而以更强的合作意向回馈另一方的合作意向 (占比11.67%)。中性的条件型供给者具有一定的合作性, 其贡献值随着对手小幅度同向调整 (占比56.67%)。搭便车者始终很少投入公共品 (占比12.5%)。综上, 始终呈现高合作水平的个体和始终搭便车的个体在人群中都是少数群体, 而两类条件型合作者合计占比68.33%。

<sup>②</sup> 受篇幅所限, 回归的详细结果未报告, 备索。

$C_{t-1}$ ,  $C_{t-2}$ , 以及竞合对手贡献率的一阶滞后项  $O_{t-1}$  (由于信号中包含二阶滞后, 因此在第三轮及以后被试的行为模式才能被归纳为策略)。基于此, 本节将个体当前轮次的贡献率与其博弈历史间的关系进行归纳, 定义 3 类策略信号。合作强度信号 I 是  $C_t$  和  $C_{t-1}$  的比较, 按大于、等于、小于可分为强化、维持和弱化三级合作程度, 是影响合作的弱信号; 连续性信号 II 定义个体是否在相同的方向上改变贡献率或稳定贡献率不变,<sup>①</sup> 影响合作意图的识别; 合作信号 III 是  $C_{t-1}$  和  $O_{t-1}$  的比较, 可分为合作、学习、搭便车三级, 是影响合作的强信号。

表 4 合作特质与机制对公共品贡献率的影响

变量	贡献率		
	(1)	(2)	(3)
亲社会的条件型合作者	-8.018 (-0.612)	—	—
搭便车者	-20.108*** (-2.988)	—	—
中性的条件型合作者	-23.362*** (-4.086)	—	—
合作者	—	29.734*** (8.351)	30.006*** (10.286)
低成本率	-20.893 (-1.510)	-23.251** (-2.370)	-19.589*** (-2.893)
存在异成本率	6.691 (0.895)	14.636*** (3.179)	5.318 (1.064)
头部竞争	-9.696*** (-2.757)	-6.735*** (-18.916)	-3.762 (-0.890)
头尾竞争	-16.696*** (-5.632)	-12.500*** (0.000)	-1.727 (-0.399)
同禀赋匹配	5.757*** (2.882)	3.067*** (0.000)	-0.677 (-0.187)
同禀赋匹配×头部竞争	—	—	-2.946 (-0.710)
同禀赋匹配×头尾竞争	8.109** (2.350)	3.750*** (0.000)	-7.023 (-1.622)
存在异成本率×低成本率	16.674 (1.177)	12.447 (1.317)	16.191** (2.041)
存在异成本率×低成本率×头部竞争	—	—	2.696 (0.649)
存在异成本率×低成本率×头尾竞争	12.675*** (3.083)	7.907*** (22.207)	-2.839 (-0.677)
时期虚拟变量	控制	控制	控制
常数项	76.284*** (11.195)	37.851*** (7.130)	38.777*** (7.332)
样本量	1 200	1 200	1 800
被试量	120	120	180

注: \*、\*\*、\*\*\*表示在 10%、5%、1%的水平上显著, 括号内为  $z$  值, 在实验局层面聚类。

①  $C_t = C_{t-1} = C_{t-2}$  或  $C_t > C_{t-1} > C_{t-2}$  或  $C_t < C_{t-1} < C_{t-2}$ 。

表 5 公共品贡献的博弈策略分析

变量	贡献率			
	(1)	(2)	(3)	(4)
自己的前轮贡献值	1.377*** (0.093)	1.431*** (0.12)	1.643*** (0.12)	1.739*** (0.15)
对方的前轮贡献值	0.423*** (0.075)	0.402*** (0.083)	0.401*** (0.089)	0.407*** (0.11)
自己的前轮筹码数	0.0256** (0.013)	0.0150 (0.014)	0.0101 (0.014)	-0.00343 (0.018)
对方的前轮筹码数	-0.0309*** (0.011)	-0.0232** (0.012)	-0.0193* (0.012)	-0.00511 (0.015)
自己贡献值的二阶滞后	—	-0.422*** (0.11)	-0.0629 (0.13)	-0.253* (0.15)
对方贡献值的二阶滞后	—	0.113 (0.079)	0.132 (0.089)	0.0552 (0.11)
对方的排名	—	—	2.683*** (0.49)	2.284*** (0.61)
自己的排名	—	—	0.113 (0.46)	-0.469 (0.57)
样本量	1 620	1 440	1 440	960
R <sup>2</sup>	0.731	0.747	0.753	0.750
调整的 R <sup>2</sup>	0.697	0.709	0.716	0.712
F 统计量	21.36*** (df=183; 1436)	19.98*** (df=185; 1254)	20.35*** (df=187; 1252)	22.768*** (df=127; 832)

注：\*、\*\*、\*\*\*表示在 10%、5%、1%的水平下显著；括号内为标准误。

异成本率实验局中的被试成本率因禀赋而异。强竞争能力者投资公共品的净成本为零，对于提供任意数值公共品无差异。因此，强竞争者的贡献率可以视作强烈的策略信号，这可能导致被试更快识别对手策略。本节对被试策略选择的稳定性和连续性进一步分析：定义三组表征稳定性和连续性的信号，并在实验局间进行比较。定义稳定策略为个体在  $t$  轮、 $t-1$  轮和  $t-2$  轮保持贡献率不变，且与竞合对手在  $t-1$  轮的贡献率相等，表明可能已经与竞合对手达成策略稳定。定义自稳定策略为个体连续三轮保持贡献率不变。定义连续性策略为信号 II 显示为连续。稳定策略是自稳定策略的子集，自稳定策略又是连续性策略的子集。

主要结果 4 统计了各策略出现次数占该轮次所有出现策略的比重。表 6 中自第 4 轮起，三类策略在异成本率实验局中占比都超过其在同成本率实验局中的占比（稳定策略在第 6 轮和第 10 轮出现了较小的反转）。稳定策略、自稳定策略和连续性策略的 Mann-Whitney 秩和检验 p 值分别为 0.461 3, 0.034 1, 0.036 96。也就是说在 0.05 的显著性水平上，异成本率实验局中的个体更易于采取自稳定策略和连续性策略。稳定策略没有显著差异可能是因为定义稳定的策略较为严格。至此，假说 4 得到检验：博弈信号更为明确时，个体更易于形成连贯的贡献模式。

### (五) 对获胜者的分析

获胜者本身反映出机制想要筛选出的特质类型。因此，本文以获胜者为主进行分析。本节以头部竞争实验局为标准，以各实验局中排名前 20% 的被试为获胜者，排名后 20% 为落后者。就个体的合作特质而言，以第一轮合作程度来判别，获胜者（落后者）约 77.78%（52.78%）为合

作者,约22.22%(47.22%)为搭便车者,也就是说,获胜者中合作者更多,搭便车者更少。而聚类分析方法的结果显示,获胜者(落后者)中25%(20.83%)是亲社会的驼峰型合作者,16.67%(8.33%)为亲社会的条件型合作者,45.83%(62.5%)为中性的条件型合作者,有12.5%(8.33%)为搭便车者。虽然按聚类分析得出的合作特质显示获胜者中搭便车者的人数多了一名,但是两类亲社会合作者的数量也更多。

表6 策略稳定性和连续性的比较分析(%)

项目	Period3	Period4	Period5	Period6	Period7	Period8	Period9	Period10
A. 存在异成本率的实验局:								
稳定策略	8.33	21.67	25.00	28.33	30.00	33.33	35.00	26.67
自稳定策略	25.00	28.33	36.67	38.33	45.00	48.33	51.67	46.67
连续性策略	43.33	46.67	53.33	51.67	56.67	60.00	63.33	53.33
B. 不存在异成本率的实验局:								
稳定策略	11.67	19.17	21.67	29.17	28.33	27.50	29.17	28.33
自稳定策略	23.33	26.67	29.17	36.67	40.00	39.17	40.00	40.00
连续性策略	54.67	41.67	44.17	46.67	55.83	46.67	47.50	45.00

观察图2左侧列(合作信号Ⅲ),释放搭便车信号的获胜者比例在第5轮时达到最低,而此后,获胜者的搭便车信号比例呈现增加趋势。而落后者则是自第4轮达到峰值(78%),然后出现递减趋势。尽管落后者的合作信号比例在各轮次均高于获胜者,但早期大量的搭便车信号可能使得落后者所在小组快速进入了低合作水平中。同时,在第3轮至第9轮,释放合作强度弱化信号的获胜者比例都不高于落后者,这表明大部分获胜者都不会减少自己的投入,从而促进了小组合作。观察图2中间列(合作强度信号Ⅰ),获胜者在各轮中有着更高的维持信号比例,而在第6轮及以后保持着较低的强化信号比例。在第3轮至第6轮,降低贡献率的获胜者的比例先减少后增加,而在第7轮至第10轮出现同样的变化。结合其搭便车信号的比例变化,这可能是因为后期需要通过搭便车策略在博弈中获得更多收益而采取的策略性行为。为了维持小组内高水平合作,虽然获胜者选择搭便车策略,其贡献率 $C_t$ 低于对手的 $O_{t-1}$ ,但是获胜者还是提高了贡献率,使得 $C_t$ 高于 $C_{t-1}$ 。而落后者则没有相同的规律性。观察图2右侧列(连续性信号Ⅱ),获胜者有着显著更高的连续性信号释放比例,<sup>①</sup>可见合作策略不仅包括释放合作信号的策略和加强合作的策略,获胜者相对更高的连续性信号比例和维持信号比例可能是获胜者与竞合对手在高合作水平上博弈的结果。

验证以上推论需要观察获胜者与落后者及其竞合对手的合作动态,从而确认小组的合作水平。图3显示了获胜者和落后者及其竞合对手的贡献率水平变化情况。首先观察获胜者和落后者,差异并不明显。但是相对而言,较多获胜者的贡献率水平高于50%,而较多落后者的贡献率水平则低于50%。其次观察其竞合对手。落后者的竞合对手在第4轮和第7轮的合作水平均不高于获胜者,并且在第2轮、第4轮至第8轮中的贡献率水平高度集中于低水平。

<sup>①</sup> 在获胜者和落后者不同信号的差异性检验结果中,搭便车信号的检验 $p$ 值为0.1258,虽然在第3轮至第10轮的搭便车比例差异的统计显著性较低,但是图形上第4轮的差异较为直观。强化信号的检验 $p$ 值为0.08199,其他信号均在5%的水平上显著。

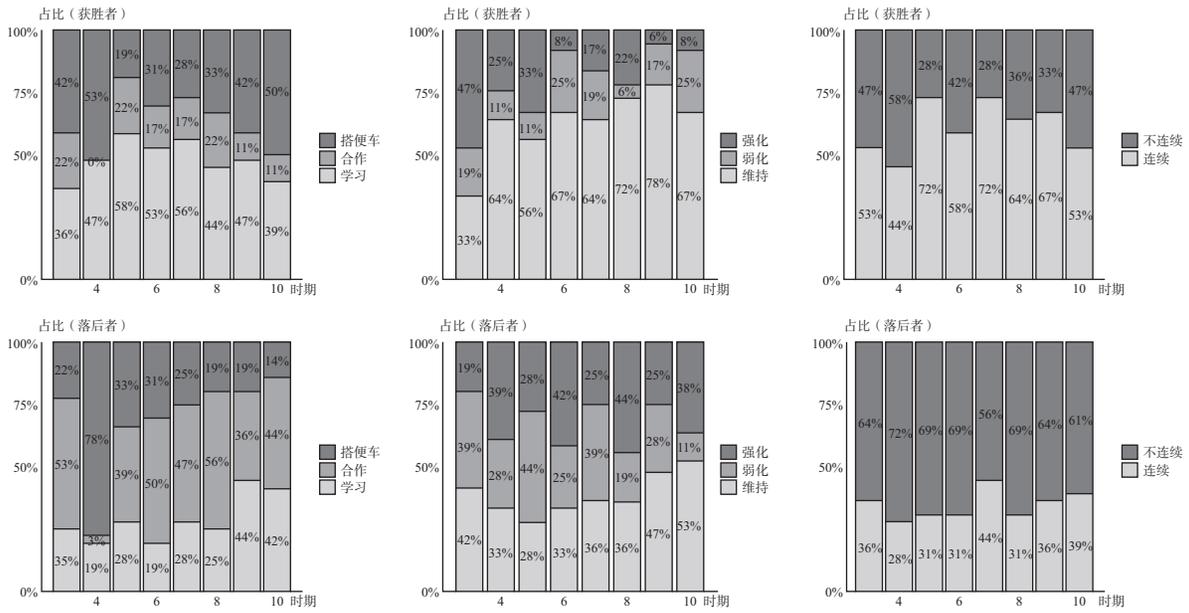


图2 策略信号比例变化

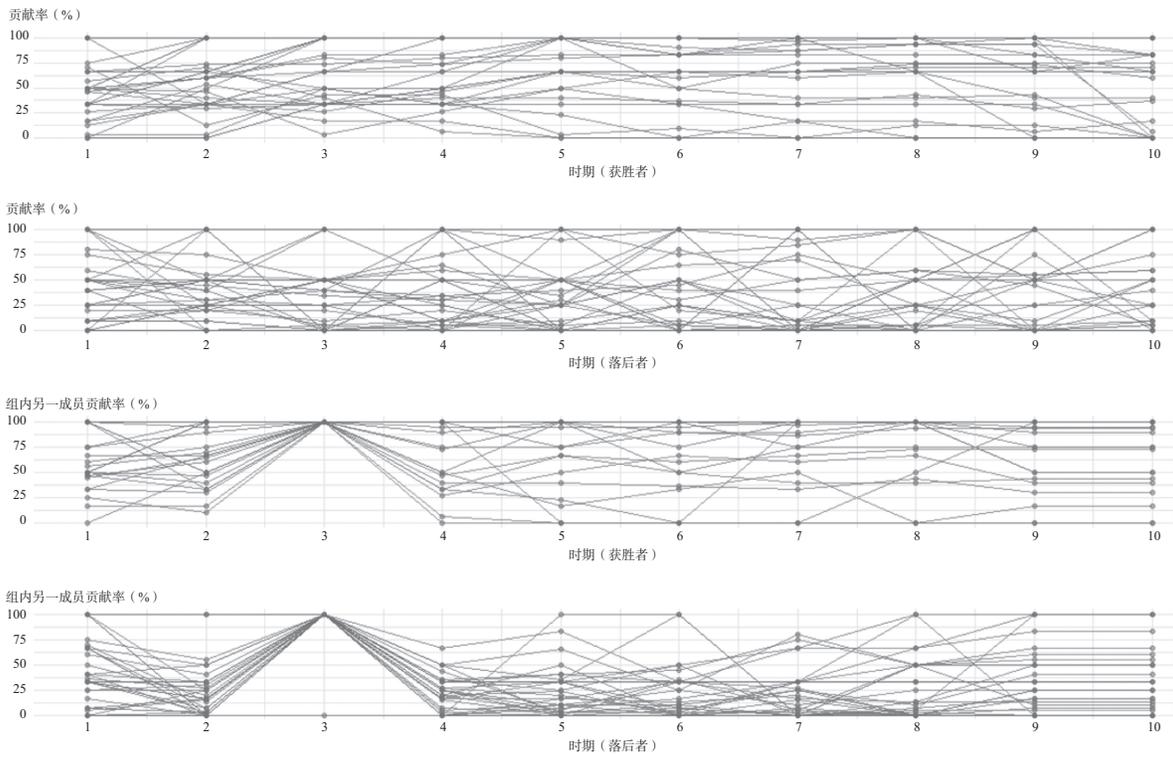


图3 贡献率随轮次变化

此外, 审视了获胜者和落后者各 36 名, 本文发现: 在十轮公共品结束后, 有 14 名获胜者的竞合对手同样也是获胜者, 第 8 轮和第 9 轮公共品投入后该数值均为 12; 而对于落后者, 在最后 3 轮决策结束后, 竞合对手同样为落后者的数量分别为 9、8、9。虽然学习信号、维持信号和连

续信号在获胜者和落后者中都大量出现，却导致了不同的结果。博弈双方都准确识别出了对方策略并且达成了均不会再改变策略的共识，但获胜者所在小组的共识为双方均为合作者，形成了类似于 TFT 策略下的高合作水平；其他小组中则形成了 TFT 导致的互相惩罚情形，或由触发策略 (Trigger Strategy)，识别出对手的搭便车倾向而采取选择永不合作。

## 五、计算机仿真

尽管实验室实验中已经充分使得被试知悉规则，但囿于实验室实验中被试博弈轮次较少，不能完全体现个体在竞争环境中策略的长期的动态演化。多主体仿真是进行策略研究的传统进路，可用于求取演化稳态或进行理论检验 (Axelrod & Hamilton, 1981)。本节基于实验设计和实验数据的分析结果，使用计算机模拟 PGG，从增加样本量和博弈轮次两个渠道提高实验结果的稳健性，本文也尝试从中发现一些新现象，与实验室实验互为补充。仿真在不影响结论稳健性的前提下对仿真禀赋等机制进行了调整。

仿真将研究焦点放在竞争中个体的博弈行为上，忽视其他机制的干预，并在不影响结论稳健性的前提下对机制进行了调整。在一个 20 人的群体中，个体都是同质的，其支付函数参照式 (1)。在支付函数中，禀赋  $e$  被设定为 9，个体每一轮可以在  $[0, 9]$  中作出选择， $\beta$  被设定为 1。<sup>①</sup> 在实验室实验中，竞争机制的直接作用发生在终轮博弈结束后，对排名靠前的被试施加奖励，实现对个体从支付函数获取收益的再分配。然而，如果在仿真中采取同样的竞争机制，那么这一竞争机制无法在事实上影响仿真主体的收益。因此，建模中本文根据每一轮的收益排名对收益进行再分配。在头部竞争中，排名前 4 的个体的支付函数乘以大于 1 的系数  $k_1$  (本节中  $k_1 = 4$ )，其他个体乘以系数  $k_2$  ( $k_2 = 1$ )。在头尾竞争中，排名前 4 的个体的支付函数乘以大于 1 的系数  $k_1$ ，排名末 4 位的个体的支付函数乘以系数  $k_2$  ( $k_2 = 0$ )。如果不存在竞争，则系数  $k_1 = k_2 = 1$ 。

本文生成具有不同选择“基因”的仿真主体。见图 4，每个个体都由 1 004 位基因点定义，其中前 1 000 位为备索基因，后 4 位为预设基因。备索基因的数量是由实验数据的分析结果决定的：实验中能够显著影响当前公共品贡献数量的变量为个体自身在之前两轮的贡献值及组内另一成员在之前一轮的贡献值，构成博弈历史中的 3 个元素。因此备索基因位数等于  $10^3$  (10 为每轮决策的可能性 0—9，3 为博弈历史中起作用的 3 个元素)。每一个独特的 3 个元素的排列均会对应一个索引号 (1—1 000)。所谓备索基因，是指特定的博弈历史会映射到其中某一位，并成为当前轮次个体的选择。例如，博弈历史映射的索引号为 4，则对应至备索基因的第 4 位。然而，初始轮次不存在博弈历史，因此提供预设基因，形成一个索引号为第一轮的公共品贡献值提供根据。在仿真中，备索基因和预设基因均为随机生成。

仿真首先设定实验场次和博弈进行的轮次 (实验室实验共 9 场，每场实验进行 10 轮)，并参照实验室实验设定 20 人为一场、两人为一组。预设基因中具有影响力的 3 个元素 (代表个体自身在之前两轮的贡献值及组内另一成员在之前一轮的贡献值) 对应 1 个索引号，决定了备索基因中的某一位将成为该仿真主体第 1 轮的贡献值  $C_1$ ，其竞合对手的贡献值  $O_1$  同理。 $C_1$  和  $O_1$  将被记录，并与预设基因的后两位组合，其中具有影响力的 3 个元素将按照同样的规则选择备索基因中的某一位成为该仿真主体第 2 轮的贡献值  $C_2$ ， $O_2$  同理。以此类推，可得到给定轮次下，任

<sup>①</sup> 仿真将初始禀赋设定为 9，而不是实验部分的 20 或 30，有两个主要原因：一是提高计算机运行效率；二是在划分仿真主体类型时能够均匀切分比例。

一仿真主体及其竞合对手的选择，并由此得到博弈收益。

考察样本量为1 000场（20 000个博弈个体）和头部竞争时，每一场次中获胜者和落后者第一轮公共品贡献随轮次变化的情况。仿真同样以禀赋的30%为界，分别定义为搭便车者和合作者，进一步定义贡献率不低于66.67%的个体为高贡献值合作者。仿真结果表明在各类型所占比例趋稳后，获胜者中合作者所占比例更高、搭便车者所占比例显著较低（在不同的数值水平上设置轮次获得Mann-Whitney秩和检验的观察值，下同， $p$ 值小于0.01），而高贡献值合作者所占比例显著较高（ $p$ 值小于0.01）。控制博弈轮次 $n=100$ 、变化样本量时结果类似。



图4 个体的基因序列

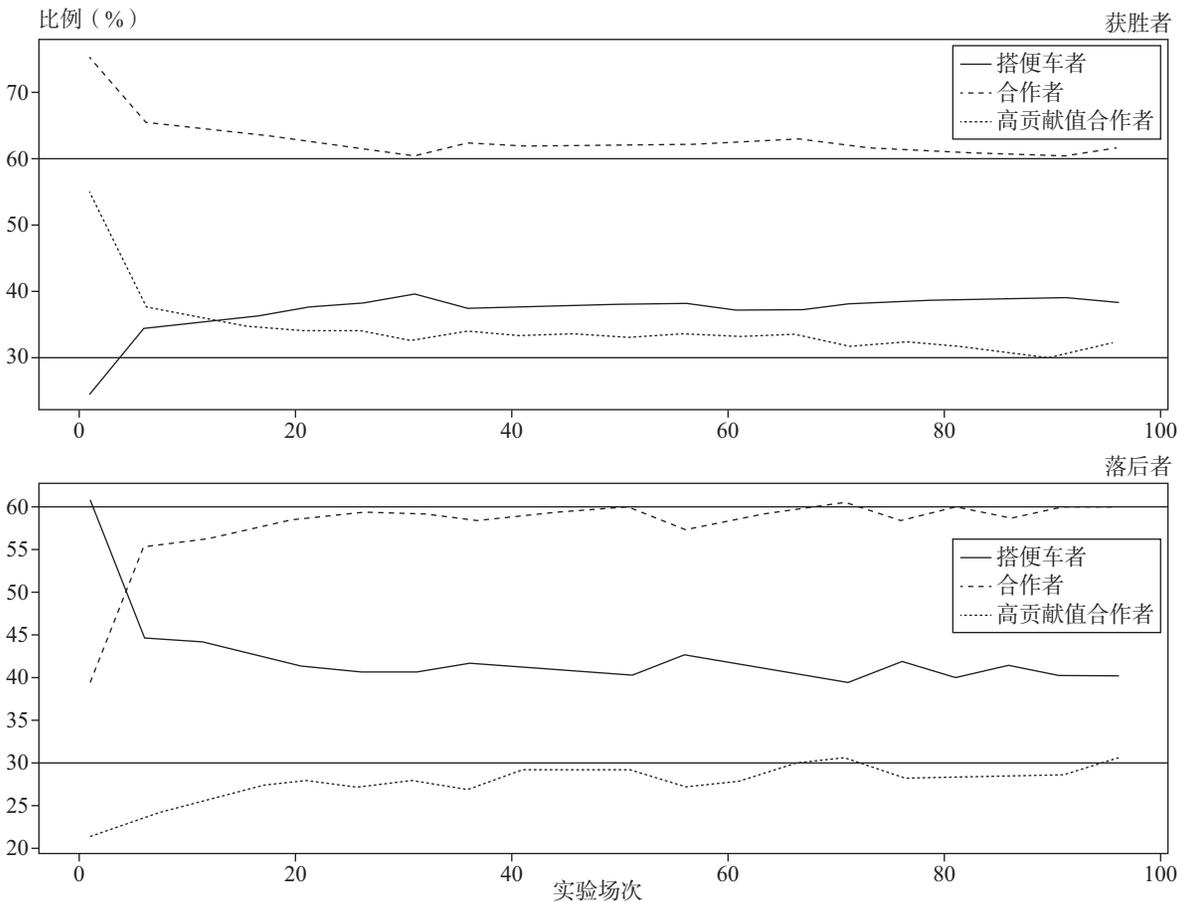


图5 获胜者合作程度随轮次变化

当样本数达1 000场、每一场次的个体各需博弈100轮时，仿真的结果是稳定的。本节考虑在此设置下，竞争机制对获胜者策略选择的影响，作为实验室实验的延伸分析。本文对头部竞争、头尾竞争和无竞争时，获胜者各轮次的策略选择所占比例也做了仿真分析。结果表明，三种机制下，获胜者群体的策略差异不明显，这与实验室实验所呈现的三种机制下个体筹码积累水平无显著差异的结果是一致的。<sup>①</sup>

与实验室实验的结果相比，选择不同策略信号的获胜者的数量较为稳定。就合作信号Ⅲ和合

① 受篇幅所限，仿真的详细结果于附录备案。

作强度信号 I 而言, 仿真主体选择学习或维持的比例更小, 而连续性信号 II 上不连续信号占比更高。这可能是因为仿真主体具有算法固有的随机性, 不易将贡献值固定在某一值上。也就是说, 真实被试易于与组内另一成员形成合作意愿上的共识 (合作与否) 并维持贡献水平的稳定。

## 六、研究结论

竞争是社会活动中配置资源的重要手段。在公共品博弈中引入锦标赛竞争, 能够刻画这样一种典型的竞争: 一方面, 奖励结构和评价标准都是外生给定的; 另一方面, 竞争者的策略集相同, 通过选择不同的行动获取相对优势。

一些已有 PGG 实验研究以公共品贡献值为竞争标准, 或在组间建立竞争关系, 或隔绝小组间的联系, 发现竞争显著地激励了合作 (Cárdenas & Mantilla, 2015), 而本文在全局竞争中引入局部合作, 并以博弈结果 (收益) 而非博弈行为 (公共品贡献) 为竞争标准得到了不同的发现。本文结合实验室实验和多主体仿真, 考察了异质性个体在重复进行的 PGG 中的合作水平和合作动态。本文以个体公共品投入量动态变化为基础, 构建起了相近轮次公共品投入量之间的关系, 形成了个体的博弈策略, 以此丰富了文献; 第二, 本文将竞争中的获胜者与落后者进行对比, 从实证的角度探讨博弈中的较优策略。本文有了如下发现: 竞争虽然没有显著提高合作水平, 但也筛选出了合作的个体和策略。这意味着竞争和合作并不对立; 能够积累较多收益的个体大多数起初都具有非搭便车的合作特质, 他们的博弈行为表现出明显的策略性, 他们在博弈的初期释放了有利于形成合作的信号, 从而提高了小组的合作水平, 而在博弈的中后期又能在减少投入的同时保证组内合作不破裂, 最终成为获胜者。

本文的现实意义在于, 社会组织通过锦标赛竞争, 不仅可以控制成本, 而且可以设计合适的评价标准, 使得组织者能在实现选拔等既定目标的同时, 兼顾激励亲社会行为, 使得组织目标、社会目标与个体利益最大化目标三位一体。此外, 参与竞争的个体应在与竞争者的互动中尽可能考虑他人的历史选择, 从而制定并调整策略。

竞争机制应用于各种情境之下, 具有不同的形式和特点, 本文对竞争的刻画尚有不尽之处。第一, 本文仅从合作的角度探究个体在竞争中所采取的策略, 但是现实中的竞争和策略往往更为复杂。第二, 本文对竞争中个体的博弈行为做了策略意义上的事后阐释, 但是如果能够获得实验中被试的真实策略信念则更具有说服力。此外, 虽然实验室实验具有较高的内部有效性, 但是样本量仍有提高的空间。尽管如此, 本文结合 PGG 和锦标赛以研究博弈策略, 结合匹配机制和异质性丰富了 PGG 和策略研究的文献。在这一路径上, 理论层面可以深入探求本文竞争机制下的博弈均衡解, 设计和实证层面还可以增加实验样本, 在实验中测度被试的主观信念扩展分析的维度, 也可以选择不同的竞争活动探究竞争对个体行为的影响。

### 参考文献

罗俊、戴瑞楠、张真, 2022: 《竞争机制会“卷”走合作行为吗? ——来自公共品博弈实验的证据》, 《经济科学》第 2 期。

刘欣苗、丁志国, 2024: 《公平竞争、要素自由流动与企业专业化分工》, 《经济理论与经济管理》第 6 期。

邵小快、郑捷, 2024: 《隐私偏好、差异化定价及消费者信息保护政策》, 《经济研究》第 2 期。

韦倩、孙瑞琪、姜树广、叶航, 2019: 《协调性惩罚与人类合作的演化》, 《经济研究》第 7 期。

杨晶、余俊宣、寇彧、傅鑫媛, 2015: 《干预初中生的同伴关系以促进其亲社会行为》, 《心理发展与教育》第 2 期。

闫威、郑润东、党文珊、程永亮, 2017: 《锦标赛结构、阶段性绩效反馈与无意识启动对代理人行为的影响》

实验的证据》，《经济学（季刊）》第1期。

周业安、连洪泉、陈叶烽、左聪颖、叶航，2013：《社会角色、个体异质性和公共品自愿供给》，《经济研究》第1期。

曾馨逸、闫威，2010：《锦标赛规模与结构对员工努力水平的影响：一项实验研究》，《经济科学》第1期。

周晔馨、涂勤、胡必亮，2014：《惩罚、社会资本与条件合作——基于传统实验和人为田野实验的对比研究》，《经济研究》第10期。

Axelrod, R., and W. D. Hamilton, 1981, "The Evolution of Cooperation", *Science*, 211 (4489): 1390 - 1396.

Bouma, J. A., T. T. B. Nguyen, E. van der Heijden, and J. J. Dijk, 2019, "Analysing Group Contract Design Using a Threshold Public Goods Experiment", *European Review of Agricultural Economics*, 47 (3): 1250 - 1275.

Cárdenas, J. C., and C. Mantilla, 2015, "Between-group Competition, Intra-group Cooperation and Relative Performance". *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9 (33): 1 - 9.

Cherry, T. L., P. Frykblom, and J. F. Shogren, 2002, "Hardnose the Dictator", *American Economic Review*, 92 (4): 1218 - 1221.

Chen, C. X., E. M. Matsumura, J. Y. Shin, and S. Y. C. Wu, 2015, "The Effect of Competition Intensity and Competition Type on the Use of Customer Satisfaction Measures in Executive Annual Bonus Contracts", *Accounting Review*, 90 (1): 229 - 263.

Colasante, A., A. Garcia-Gallego, N. Georgantzis, A. Morone, and T. Temerario, 2019, "Intragroup Competition in Public Good Games: The Role of Relative Performance Incentives and Risk Attitudes", *Journal of Public Economic Theory*, 21 (5): 847 - 865.

Efferson, C., H. Bernhard, U. Fischbacher, and E. Fehr, 2024, "Super-additive Cooperation", *Nature*, 626: 1034 - 1041.

Fischbacher, U., 2007, "Z-Tree: Zurich Toolbox for Ready-made Economic Experiments", *Experimental Economics*, 10 (2): 171 - 178.

Fischbacher, U., and S. Gäechter, 2010, "Social Preferences, Beliefs, and the Dynamics of Free Riding in Public Goods Experiments", *American Economic Review*, 100 (1): 541 - 556.

Fudenberg, D., and E. Maskin, 1990, "Evolution and Cooperation in Noisy Repeated Games", *American Economic Review*, 80 (2): 274 - 279.

Gunnthorsdottir, A., D. Houser, and K. McCabe, 2007, "Disposition, History and Contributions in Public Goods Experiments", *Journal of Economic Behavior & Organization*, 62 (2): 304 - 315.

Hilbe, C., T. Röhl, and M. Milinski, 2014, "Extortion Subdues Human Players but is Finally Punished in the Prisoner's Dilemma", *Nature Communications*, 5: 3976.

Kesternich, M., A. Lange, and B. Sturm, 2017, "On the Performance of Rule-based Contribution Schemes under Endowment Heterogeneity", *Experimental Economics*, 21: 180 - 204.

Kreitmair, U., and J. Bower-Bir, 2021, "Too Different to Solve Climate Change? Experimental Evidence on the Effects of Production and Benefit Heterogeneity on Collective Action", *Ecological Economics*, 184: 106998.

Murase, Y., and S.K.Baek, 2020, "Automata Representation of Successful Strategies for Social Dilemmas", *Scientific Reports*, 10 (1): 13370.

Ones, U., and L. Putterman, 2007, "The Ecology of Collective Action: A Public Goods and Sanctions Experiment with Controlled Group Formation", *Journal of Economic Behavior & Organization*, 62 (4): 495 - 521.

West, S. A., A. Gardner, D. M. Shuker, T. Reynolds, M. Burton-Chellow, E. M. Sykes, M. A. Guinnee, and A. S. Griffin, 2006, "Cooperation and the Scale of Competition in Humans", *Current Biology*, 16 (11): 1103 - 1106.

(责任编辑：李振新)

## Tournament, Cooperative Strategies and Cooperative Individuals: An Experimental Study Based on Public Goods Game Tournaments

LUO Jun<sup>1</sup> ZHANG Zhen<sup>2</sup> DAI Ruinan<sup>1</sup>

(1. School of Economics, Zhejiang University of Finance & Economics;

2. School of Economics, Renmin University of China)

**Summary:** Competition is a key mark of the society, serving to enhance efficiency and allocate resources. The tournament, which allocates rewards based on relative ranking, is a typical form of it. However, in recent years, the positive effects of competition have often been underestimated, while the negative sides have been overly magnified; under overly singular criteria, participants invest resources potentially leading to resource waste without substantive development; competition may estrange or even conflict. Thus, the strategic choices of individuals in a competitive environment are of practical significance.

Many literature use simulations to combine games and tournaments to find winning strategies and examine their properties, while corresponding empirical research is relatively scarce. Meanwhile, the experimental methods have been applied in other branches of cooperative problems, exploring the prosocial behavior and decision-making mechanisms of individuals. However, these literatures rarely adopt a strategic perspective and consider the interactive relationships among players.

Meanwhile, competitors possess heterogeneity in reality, which affects competitors. This paper examines the impact of heterogeneity on individual behavior by altering the earning capacity of individuals in the PGG (Public Goods Game) . On the other hand, heterogeneity is also reflected in individual traits. This paper identifies the individual traits, enriching the levels of research.

This article uses experimental economics methods to interpret the behavioral dynamics of individuals in PGG tournaments from a strategic perspective. The main findings are as follows. The competition mechanism has no significant impact on the average level of cooperation and the cumulative payoff. The effect of game history is asymmetric. Decisions of winners are obviously strategic, only a few of them are non-collaborators, leading to high-level cooperation within the group and greater benefits from it.

The main contribution of this study is: firstly, based on the direct reactions of individuals in experiments, this paper constructs strategies, providing empirical evidence in evolutionary game theory. Analyzing cooperation dynamics from a strategic perspective fully considers the interactivity of game participants, which helps to enrich the understanding of individual behaviors and improve the pertinence of incentive design; Secondly, in this article, rather than cooperate or defect, individuals have more game choices and are closer to complex competitive activities in reality; Thirdly, it provides a basis for more effective organization and participation in competition. This article reveals that if there is a cooperative scenario, competition can also screen individuals with non-free riding traits and cooperative strategies.

**Key words:** competition; strategy; heterogeneous subjects; cooperation; public goods games