



内容列表可在科学直接获得

世界发展

期刊主页: www.elsevier.com/locate/worlddev使用来建模可持续发展目标之间的相互联系网络分析^q巴厘斯温兰祖拉^{a,*}, Shyam Ranganathan^b^a米苏姆, 斯德哥尔摩经济学院和索德罗顿大学经济系, 斯德哥尔摩, 瑞典^b美国弗吉尼亚理工大学, 统计系

a r t i c l e i n f o

文章历史记录:
2020年8月2日接受

JEL分类:

Q01

O1

O20

Q56

D85

关键词:

可持续发展目标 (可持续发展目标)

系统分析

网络分析

可持续发展指标

a b s t r a c t

联合国的可持续发展目标 (SDG) 难以衡量的、雄心勃勃的、可说是含糊的、优先级和实现。它们是经济、社会和环境指标的多维结构, 通过复杂的相互联系发挥作用。我们在可持续发展目标的目标水平上调查了这些相互联系, 以确定可持续发展目标之间的权衡和协同作用。其次, 我们确定了相互关联的可持续发展目标的社区, 以确定可持续发展目标是否可以针对不同地区进行基准测试和优先排序。采用网络分析方法, 该分析是基于2000–2017年期间的IAEG–SDG数据。我们发现可持续发展目标之间存在几个积极和消极的相互联系 (加强和平衡反馈)。然而, 这种权衡却远弱于协同效应。通过分析不同地区的网络结构, 我们的研究表明, 对可持续发展目标的普遍基准测试是适得其反的。我们认为, 确定可持续发展目标的特定社区, 并将它们作为确定不同地区某些目标的优先级的指南可能是有用的。

© 2020爱思唯尔有限公司。保留所有权利。

1. 介绍

可持续发展目标 (SDGs) 代表了一套在一个复杂的相互作用网络中相互连接的普遍目标。¹ 它们的普遍性意味着没有一个可持续发展目标被优先考虑, 而它们集成的多维性质导致了可持续发展目标之间的复杂反馈。在最近的 (IPCC, 2018年) 特别报告中, 有效应对气候变化的紧迫性和《2030年议程》的有时限性, 强调了可持续发展目标的有效执行和监测。这涉及到

^q我们感谢密歇根大学安娜堡发展与可持续性会议的与会者; 第8届斯德哥尔摩机构间专家组会议的宝贵意见和建议, 以及伦敦政治经济学院IGA研讨会与会者的意见, 并感谢Ankit Jajodia的研究援助。感谢瑞典可持续发展研究委员会和瑞典能源机构的研究资助。通常的免责声明适用。

* 通讯作者。

电子邮件地址: Ranjula. 巴厘岛@hhs.se (R. 巴厘岛Swain), shyam81@vt.edu (S. 兰加纳坦)。

¹可持续发展目标或《2030年议程》包括17个全球目标, “为所有人实现一个更好和更可持续的未来”。它们由169个目标组成。可持续发展目标是由联合国大会于2015–2030年期间提出的, 是联合国第70/1号决议的一部分。它们已得到193个国家的批准。

对世界不同地区的目标进行有效的基准测试, 以及确定在可持续发展目标和目标范围内开展工作的不同动态的必要性。

国家中央统计组织 (CSOs) 和最近的研究 (Kroll, 2015; 尼科莱, 霍伊, 柏林, 艾迪, 2015; 萨克斯、施密特-特劳布, 克罗尔, 杜兰德-德拉克, 泰克索兹, 2016; 绿色增长知识平台, 2016; 施密特-特劳布、克罗尔、特克索兹、杜兰德-德拉克, 2017), 通常在竖井中量化每个可持续发展目标, 评估每个国家对每个可持续发展目标的表现。这意味着可持续发展目标的经济、社会和环境维度之间的复杂相互联系 (负反馈和正反馈) 仍然未知 (斯派瑟、兰格纳坦、斯温和萨普特, 2016; 施密特-特劳布等人, 2017; 齐藤、马纳吉、卡尼、考夫曼和竹内, 2017; 艾伦、梅特尼特、威德曼, 2018; 艾伦、梅特尼特、威德曼, 2017; 威茨、卡尔森、尼尔森、斯坎伯格, 2018)。我们在可持续发展目标的目标水平上研究了这些相互联系, 以检测可持续发展目标之间的权衡 (负反馈) 和协同效应 (正反馈)。其次, 我们确定了相互关联的可持续发展目标的社区, 以确定可持续发展目标是否可以针对不同地区进行基准测试和优先排序。由于有高质量的数据, 该分析的重点是经合组织国家。重点是可持续发展目标, 而不是个别的可持续发展目标。

tional. 每个可持续发展目标由几个目标和指标组成，这使我们能够更详细地确定各种可持续发展目标之间潜在相互联系的渠道。该分析进一步扩展到其他地区，如撒哈拉以南非洲（SSA）、南亚（SA）、东亚、拉丁美洲和中东和北非（MENA）。

我们通过弥合现有可持续发展目标相互联系文献中的一些差距和限制，为研究方案作出了贡献。我们为领域研究人员提供了一个工具，可以识别特定区域、跨多个发展目标的关键变量，然后可以根据实地研究和其他数据进行深入分析。我们还确定了决策者在基准测试和资源分配方面的关键重点领域。

从理论上讲，我们为进一步探索基于历史数据集的定量证据的机制提供了基础。大多数研究讨论了可持续发展目标相互联系的概念或框架，但没有提出潜在的理论模型或分析证据。ICSU（2017）提供了一些国家一级的应用，但即使这些应用程序都侧重于特定的目标（可持续发展目标2、3、7和14）。此外，一些研究并没有对这些相互联系做出科学的评估，而是依赖于一个特别的定性检查（尼尔森，格里格斯，& 维斯贝克，2016）。

这是第一次研究模拟相互联系，并在全球层面上采用网络分析来确定可持续发展目标之间的相互作用。它提供了适当的可视化工具，向决策者传达重要的结果。特别是，我们建立了一个相关网络，使用IAEG-SDG数据的SDG指标从2000-2017年期间的联合国可持续发展数据集。

相互作用是不同的可持续发展目标之间的模型（El-马格拉比，伊丽莎白，以色列，& Verbeek，2018）。² 分析结果-(a) 相关网络分析方法的应用建立一个可持续发展目标的网络模型，和(b) 使用网络统计如特征向量中心性和中心性，和自动社区检测算法识别关键指标协同对实现可持续发展目标的贡献。我们发现，对于经合组织国家，可持续发展目标5-7、10、15和17具有很高的中心性，这表明它们对其他可持续发展目标具有很高的影响。

确定这些关键的相互联系对于为决策者确定可持续发展目标和战略以及实现2030年议程至关重要。我们还对世界其他地区进行了网络分析。我们的研究表明，尽管存在权衡，但它们比协同效应要弱得多。因此，决策者可以更好地了解如何关注强有力的积极协同效应。基于我们的研究，我们进一步认为，对可持续发展目标的基准测试只有在该地区的背景下才有意义。经合组织国家、南亚和撒哈拉以南非洲等，它们都有不同的区域背景，制定普遍的全球目标或基准是不合适的。

在下一节中，我们将回顾调查可持续发展目标之间相互联系的文献。接下来是对方法和数据的讨论。第5节介绍了结果，然后在随后的章节中进行讨论和结论。

2. SDG互连研究

可持续发展目标的理论基础一直被认为比较薄弱（ICSU & ISSC，2015；Szirmai，2015），并且不存在全面的可持续发展理论。相反，有不同的有争议的理论方法和定义（霍普伍德&

² 我们注意到，周和莫伊努丁（2017）也使用了类似的方法，但该研究仅限于亚洲的9个国家，而且仍然局限于研究相互联系。

奥布莱恩，2005年；霍尔顿，林内卢德和巴尼斯特，2014年）。可持续发展目标还被批评过于雄心勃勃、普遍、广泛和潜在的不一，特别是社会经济发展和环境可持续性目标之间（Spaiser等人，2016；UN SDSN，2015；ICSU，2017；巴厘岛斯温，2018；伊斯特利，2015年；斯特恩，普通和巴比尔，1996年；雷德克利夫特，2005年；曾等人，2020年）。此外，17个可持续发展目标（169个目标）难以量化，而8个精确和可衡量的千年发展目标（Eastery，2015）。³

越来越多的文献对稳健的可持续发展目标指标进行评估、回顾和量化（Kroll，2015、2015、2016、2016、2016、2017、2017、2018、2017、2018、2017、2016年）。本文档中的三项重要研究包括GGKP关于在国家层面衡量包容性绿色增长的报告（绿色增长知识平台，2016年）；UNSDSN和贝塔斯曼基金会编制的可持续发展指数和全球仪表盘全球报告（萨克斯等，2016年）；以及海外发展研究所报告（尼科莱等，2015年）。GGKP关于衡量包容性绿色增长的报告⁴（IGG）在国家一级并不仅限于可持续发展目标，而是从动态的角度关注包容性绿色增长及其相互作用（Fay，2012）。海外发展研究所的报告（Nicolai et al.，2015）为每个可持续发展目标发展了一个分级系统，并将其分为三类：改革、革命和逆转。可持续发展目标仪表盘报告（Sachs et al.，2016），使用几何和算术平均值来计算适用于每个可持续发展目标的所有指标的数据得分。该方法使他们能够计算17个目标中的每一个的得分，并平均找到每个国家的总体可持续发展指数。瑞典的纳维亚国家（瑞典、丹麦和挪威）的可持续发展目标指数最高，这意味着它们是最接近实现2030年可持续发展目标的目标。

可持续发展目标内部的普遍性和潜在的不一受到了许多批评。国际理事会

《科学》（ICSU）对可持续发展目标的潜在不相容性表示担忧，特别是社会经济发展和环境可持续性的不相容性。一些研究人员进一步调查以量化可持续发展目标和目标之间的内在不一致性、冲突和相互联系（Spaiser等人，2016；2005；ICSU，2017；雷尔斯、斯塔福德史密斯、Erb、斯科尔斯和塞洛曼，2017）。例如，Spaiser等人。（2016）利用动态系统模型探讨了这些不一致性的本质，他们发现，对经济增长和消费作为一种发展手段的关注是这些不一致性的基础。这些研究表明，在战略和政策制定时，需要考虑到各种可持续发展目标之间的相互依赖关系（Allen等人，2018；Weitz等。，2018；勒布朗，2015）。

在竖井中衡量和监测可持续发展目标也可能溢出到政府议程的実施中。尼尔森等人。（2016）认为，政府的各个部门对不同的领域承担着责任。政策制定者缺乏知识和工具来确定核心协同效应和权衡，以及他们如何推进或撤回广泛的可持续发展目标议程。因此，识别各种可持续发展目标之间的相互联系可以有效地用于建立目标优先级划分和战略规划决策框架（Allen et al.，2018）。LeBlanc（2015）研究了相互联系，并将每个目标与自己的目标以及与其他可持续发展目标合作，以创建相互联系

³ 即使有了千年发展目标，由于缺乏可靠的数据，决策者也看不到未报告的数据。例如，对于MDG指标，只有三个非洲国家有关于所有指标的数据（联合国，2014年）。

⁴ GGKP的报告确定了IGG的五个主要特征：自然资源；资源效率和脱钩；弹性和风险；经济机会和努力；和包容性。

矩阵例如，他的研究结果表明，可持续发展目标12（负责任的消费和生产）与其他目标联系最多，而可持续发展目标14（水下的生命）只与其他两个目标联系最多。

联系文献抓住了可持续发展目标子集之间的这些相互联系，例如，描述水、能量和食物之间相互作用的水-能量-食物（W-E-F）联系（Lawford et al., 2013）。以水力发电形式存在的能源是这个关系中的另一个关键组成部分（Rasul, 2014；谭，埃尔法尼，&埃尔法尼，2017）。随着人口的快速增长和社会经济的发展以及气候变化带来的额外压力，能源和W-E-F联系方法有助于理解相互联系并实现可持续发展目标（巴齐兰等人，2011；林格勒，巴杜里，&劳福德，2013）。

关于如何利用系统思维和分析来支持国家目标优先级和评估可持续发展目标相互关联的新研究体系正在出现（Allen等人，2018年；Weitz等人，2018年；尼尔森等人，2016年；巴比尔和伯吉斯，2017年；坎帕诺洛、埃博利、法尼亚和卡卡罗，2018年）。诺伊曼、安德森和丹尼奇（2018），莫尔（2016），ICSU（2017），尼尔森（2017）提出了一个质量-可持续发展目标之间的相互联系的实际可视化。其他通过使用成对相关性分析每个目标的指标数据，确定目标之间的协同效应和权衡（普拉丹、科斯塔、Rybski、Lucht，& Kropp，2017）。Barbier和Burgess（2017）采用了一种福利功能，在量化和衡量不同目标之间的相关性时，提供了洞察不同目标之间的相关性。使用真正的系统方法（奥伯steiner等人，2016）发现，围绕可持续发展目标、可持续消费和生产的政策在减少环境倡议和食品价格方面的权衡方面是最有效的。

我们将与这些文献相关的工作，作为创建一种基于网络分析的方法来量化不同可持续发展目标的重要性及其相互之间的相互联系。我们使用网络统计和自动社区检测算法，如下节所述，首先确定“最重要的”个体可持续发展目标，然后是可持续发展目标的“最重要的”社区。

3. 方法

我们使用相关网络来建模可持续发展目标变量之间的复杂相互联系。网络分析为映射复杂的交互作用提供了一种强大的手段。下面的小节描述了用于网络分析建模的基本思想和措施。我们的网络建模方法的数学基础见附录A。1

3.1. 网络分析

网络被定义为连接节点的节点（或顶点）和边（或链接）的集合。每条边也可以被加权（表示两个节点之间的关联强度）或未加权（仅表示是否存在某种关联）。一些基本的网络概念，包括基于图论的网络数学定义，巴拉巴西加权、有向（2003）动态网络的概念。

当存在正连锁时，两个变量有“协同作用”，当存在负连锁时，它们有“权衡”。这种概念化的理论论证需要更仔细地发展，但我们为本文中的想法提供了一个有限的统计论证。当两个变量是协同的，如果它们在相同的方向测量（i.e.，例如，GDP增长率和出生时的预期寿命，一个变量的增加是由于

政策的变化也应该会导致另一个变量的增加。这对应于一个正相关系数。类似地，如果两个变量在数据中表现出负相关系数，则它们有一个权衡连锁。在本文中，为了实现可视化，我们使用它们在联合国数据集中可用的变量来说明使用网络分析的基本方法思想。请注意，如果变量在“相反”方向上指定，例如GDP增长率和贫困率，其中增加是GDP增长率的首选方向，而减少是贫困率的首选方向，则存在相互关联（相关性）需要进行适当的解释。

一旦我们用正连锁和负连锁来定义协同效应和权衡，这些相互联系本身就会使用两个变量之间的相关性度量来测量，然后从这些变量可用的历史时间序列数据中估计为样本相关性。由于所有变量都可能与其他变量有潜在的联系，我们将整个互联连接集作为一个网络呈现，并使用-用老年人来量化数字上重要的联系。这也允许我们从统计学上处理虚假相关性的问题。在实践中，领域和区域的专业知识将需要补充统计方法，以避免报告虚假的相关性。

在我们分析的第一步中，每个SDG目标都被视为相关（或关联）网络中的一个节点，不同节点之间存在一条边缘，这取决于不同目标之间的关联强度。这种类型的分析经常用于遗传学（弗里德曼& Alm，2012），金融学（水野，高康，和高康，2006）等。以确定重要的相互联系。在目前的情况下，如果两个可持续发展目标目标变量具有显著的连锁，那么网络中这些可持续发展目标之间存在一条边缘。本文之所以使用网络分析，是因为：（a）它提供了变量之间相互联系的清晰可视化和概念化；（b）它允许我们使用成熟的概念，如中心性、社区分析等。这可以很容易地转移到政策制定者的领域。

除了展示互连的可视化之外，我们还使用了一组被称为“中心性”度量的网络统计数据来分析这些网络。这些中心性度量允许我们权衡网络中任何节点的“重要性”。在可持续发展目标的互连方面，一个具有高中心性的目标变量表明它与其他可持续发展目标的目标变量有许多显著的互连。这使我们能够确定有效政策应优先考虑的最重要的变量。

2.3. 网络中心性措施和社区检测

在网络分析文献中开发了许多中心性度量，以捕获“高度中心的”或“最重要的”节点的概念。我们使用了一些常见的度量，即度中心性、中间性中心性、特征向量中心性（或特征中心性）和接近中心性等。所有这些统计数据都衡量了网络中一个节点的重要性。e.，它的中心性)基于不同的中心节点的概念。这里提供了简要的定义，但对这些不同的措施及其在特定情况下的优缺点的更详细的分析可以在巴拉巴西（2003）和其他来源中找到。

在我们的列表中，有两个基于邻居的度量——度中心性和特征中心性，以及两个基于路径的度量——中间性中心性和接近中心性。基于邻居的度量只直接考虑节点及其近邻，而基于路径的度量更全局，因为它们根据特定节点在整个网络中所有不同路径中的位置来衡量特定节点的重要性。

2. 特征中心性（或特征向量中心性）考虑了一个节点有多少个邻居，以及它是否有重要的邻居，i.e.，更多的中心邻居。这扩展了度中心性的概念，通过给予一个节点的邻居的重要性更多的权重，而不仅仅是计算邻居的数量。一个具有高特征中心性的节点有许多重要的邻居。
3. 中间性中心性衡量一个节点位于其他节点之间的路径上的程度。从信息流的角度来看，节点的高中间性中心性意味着，由于节点对通过网络的信息的控制，节点在网络内具有相当大的影响。因此，一个特定变量的中间性中心性是对该变量连接彼此不同的目标变量的能力的一种度量。
4. 紧密中心性是一种基于路径的中心性度量，类似于中间性中心性。平均而言，具有高接近中心性的节点比具有低接近中心性的节点更接近网络的所有节点。在这种情况下，一个节点的接近度是用该节点与网络中所有其他节点的逆边权值的和来衡量的。

直观地说，一个相对于其他目标具有高中心性的目标对决策者来说是很重要的，因为关注这样一个目标有直接的影响。处理这个特定目标具有级联效应，因为它与许多其他重要目标相连，可能具有强化效应，特别是当考虑像特征向量中心性这样的度量时。同样，关注具有高中间性中心性的目标也具有有用的政策意义。具有高中间性中心性的目标

通过连接许多其他目标来发挥桥梁上的作用。

解决这样一个目标（或一小部分这样的目标）将导致一种经济有效的方法来解决多个目标，这些目标都由这些高中间性中心性目标连接。当我们使用无向的、有签名的网络项目来进行可视化时，我们将使用非加权的网络来计算中心性度量，以解释相关权值的变化。

除了为我们的网络可视化提供这些中心性统计数据外，我们还确定了彼此“相似”的可持续发展目标指标组。我们使用社区检测算法来表明一些变量之间更紧密，尽管它们属于不同的可持续发展目标，甚至不同的可持续发展目标的支柱（e.g.，社会、经济和环境问题）。

在网络分析中，社区检测是指识别网络中相互连接的概率高于与网络中其他节点连接的节点组。有多种算法对应于实现该思想的不同方式（Barabási, 2003）。我们使用基于模块化的自动社区检测算法，来识别在相关网络中相互联系最多的变量组。这为希望确定能够有效针对的最重要变量的决策者，或希望研究对个别可持续发展目标实施的政策的级联或抑制效应的研究人员提供了进一步的见解。

4. 数据

我们使用2018年6月20日通过联合国系统编制的IAEG-SDG数据，准备秘书长的“可持续发展目标进展”年度报告，进行我们的网络分析。支持本研究结果的数据可在联合国可持续发展目标网站<https://unstats>上获得。

un.org/sdgs/

[indicators/database/](https://unstats.un.org/indicators/database/)。然后在我们的分析之前，对这些数据进行适当处理，以解决缺失的观察结果。我们使用的数据集有18年（2000–2017年）的信息，尽管不同的变量有不同的可用性。它包含了对200多个国家的100多万项观测数据。⁵许多变量都有多个子类别，e.g.，男性的就业率，25–50岁年龄组人群的就业率等。此外，许多变量都是不同类型的——连续的、计数的、比率等——但我们在初始分析中以类似的方式对待它们。为了促进全球指标框架的实施，我们在分析中使用的大多数指标都是由联合国IAEG-可持续发展目标分类的一级类别变量。一级指标在概念上是明确的，采用国际公认的方法和标准，至少与指标相关的国家和人口的国家定期提供数据。虽然第一级指标并不是每个可持续发展目标的详尽覆盖范围，但它们允许我们涵盖大多数国家的公民社会组织可接受的大多数重要变量。分析中还使用了一些其他指标（第2层和第3层）。⁶我们分析中使用的105个指标的描述见附录A表1。

虽然IAEG-SDG数据是可持续发展目标最好的可用全球数据，但它有局限性。几个指标缺失数据，可能是由于不良报告或定义差异（例如在可持续发展目标5，V20-“比例的妇女和女孩遭受身体和性暴力的当前或前亲密伴侣在过去12个月（百分比）”，不同国家的不同报告标准。经合组织国家使用15–49年，而其他发展中国家使用不同的标准）。这导致了对某些变量对的有效观测数的减少。因此，这些相关性的测量方法可能会有潜在的偏差。在研究相互联系时，可持续发展目标通常被分为不同的群体。例如，Barbier和伯吉斯（2017）将可持续发展目标分为三大系统或群体。这些国家分别是经济（可持续发展目标1–3、6–9）、社会（4、5、10、16、17）和环境（11–15）。由于有超过100个变量，因此很难用表格的形式详细描述每个变量缺失的观察值和变量对之间的相关系数的强度。²附录A展示了数据可用性的可视化（图. 4）和变量对之间的相关性强度（图. 3）。由于，我们使用相关系数作为该分析的主要工具，因此我们提供了双变量可用性（i.e.，任何一对可能的观测结果有多少比例

⁵ 可获得数据并纳入我们分析的国家有：(a) 撒哈拉以南国家——安哥拉、贝宁、博茨瓦纳、布基纳法索、布隆迪、喀麦隆、中非共和国、乍得、刚果、民主刚果、刚果、代表、迪瓦、赤道几内亚、厄立特里亚、埃塞俄比亚、加蓬、冈比亚、加纳、几内亚、几内亚比绍、肯尼亚、莱索托、利比里亚、马达加斯加、马拉维、马里、毛里塔尼亚、毛里求斯、莫桑比克、纳米比亚、尼日尔、尼日利亚、卢旺达、塞内加尔、塞舌尔、塞拉利昂、索马里、南非、苏丹、斯威士兰、坦桑尼亚、多哥、乌干达、赞比亚、津巴布韦；(b) 南亚-阿富汗、孟加拉国、不丹、印度、马尔代夫、尼泊尔、巴基斯坦、斯里兰卡；(c) 东亚-柬埔寨、中国、关岛、香港、印度尼西亚、韩国、民主刚果、人民代表、老挝、澳门、马来西亚、蒙古、缅甸、菲律宾、新加坡、台湾、泰国、越南；(d) 经合组织国家-挪威、希腊、波兰、葡萄牙、奥地利、匈牙利、罗马尼亚、冰岛、俄罗斯联邦、白俄罗斯、爱尔兰、比利时、意大利、斯洛文尼亚、西班牙、克罗地亚、瑞典、拉脱维亚、瑞士、捷克共和国、丹麦、土耳其、爱沙尼亚、卢森堡、乌克兰、芬兰、英国、法国、德国、荷兰、美国、加拿大、澳大利亚、新西兰、日本、以色列、韩国。

⁶ IAEG-可持续发展目标根据可持续发展目标指标的方法发展水平和在全球层面上的数据的可用性，将可持续发展目标指标分为三层。在我们的分析中，我们采用了截至2018年10月15日分类的指标。第二级指标采用国际上确立的方法和标准，在概念上很明确，但各国并不定期提供数据。第3层没有国际上建立的方法或标准，但正在（或将会）开发或测试方法标准。

而不是每个变量本身的可用性。

5. 结果

正如在引言中所讨论的，本研究的目的有三方面。在本节中，我们将讨论我们关于这三个目标的结果。首先，我们利用网络分析对不同可持续发展目标目标指标之间的相互联系进行建模。我们提出了经合组织数据的网络可视化、各种中心性措施和社区检测结果，以确定在协同社区中共同努力实现可持续发展的关键可持续发展目标。这对于发现相互联系和确定可持续发展目标的优先次序以及作出战略决策以有效地投资有限的资源都很重要。

其次，我们将分析扩展到其他地区，以经验和视觉的方式证明可持续发展目标应该在区域分类的水平上作为基准。例如，经合组织和撒哈拉以南非洲区域的社会经济发展有显著不同。分解数据在一定程度上解决了规模和分区效应的问题（奥彭肖和泰勒，1979）。⁷最后，我们表明，所有的可持续发展目标都不是协同的，而且根据所考虑的地区，可能会在不同的目标之间存在权衡。

5.1. 经合组织国家网络分析

我们从有更好的报告数据和数据质量的经合组织国家开始进行分析。经合组织的研究结果如图所示。¹如方法部分所述，我们创建了一个目标指标的相关网络。我们使用三种不同的阈值（低阈值= 0.2，中阈值= 0.5，高阈值= 0.8）来识别目标指标之间的显著相互联系。图1表示了在这些阈值下无向网络的可视化。在较低的阈值下，网络是密集的（更多的边缘），并包括微弱的相互联系（图. 1（a））。随着阈值水平的提高，网络变得更稀疏（更少的边缘），只有相对较强的连锁存活下来。1（b）和（c）。

对于OECD网络，当使用0.2的低阈值时，有3；514条边，并将阈值增加到0.5，然后是0.8，将边数分别更改为1；036和132。显然，边缘权值的阈值越高，意味着网络中存活的边就越少。1（c），而一个较低的阈值表示一个网络，其中大多数目标变量相互连接（图. 1（a）），正如人们所期望的那样。在社会科学文献（Cohen，1988）中，0.5及以上的效应量被认为是很强的，因此我们用“中等”阈值来讨论结果（图. 1（b））。

经合组织国家网络中最重要的目标指标由附录A表2（第1栏）中提出的中心性指标确定。它显示了五个最中心的可持续发展目标目标指标，并按这些中心性指标进行排序。排名可能会略有不同，这取决于所使用的中心性测量方法。本文将讨论限制在度量和特征向量中心性统计量上。为经合组织国家的红色名单指数⁸（可持续发展目标17）；劳动力占国内生产总值的份额（包括工资、社会保障转移、可持续发展目标10）；和管理-的妇女比例

⁷ 尺度效应问题意味着结果随着聚集水平的变化而变化，而分区效应问题显示了如何绘制边界的结果。

⁸ 世界自然保护联盟濒危物种红色名录是世界上最全面的全球生物物种保护状况名录。它使用了一套标准来评估数千个物种和亚种的灭绝风险。这些标准涉及到世界上所有的物种和所有的地区。国际自然保护联盟红色名录以其强大的科学基础被公认为是生物多样性地位最权威的指南。

里亚尔职位（SDG 5），位居榜首。环境因素，如山区关键生物多样性地区的平均比例（可持续发展目标15）；以及其他因素，如获得电力的人口比例（可持续发展目标7）；以及使用安全管理饮用水服务的人口比例（SDG 6），也是关键的目标指标。其他中心性措施也确定可持续发展目标2、9（经济）和可持续发展目标12的目标变量很重要。

虽然需要重点确定具有高中心性的指标，以有效实现可持续发展目标，但确定协同工作（或权衡）的目标指标社区具有重要意义。使用模块化和自动社区检测（更多细节见巴拉巴西，2003年），我们确定了中等阈值的OECD国家的三个主要社区（图. 1（b））。这些社区表明了一个协同工作的可持续发展目标目标指标网络。它们作为指导，制定相互加强的政策，扩大对可持续发展的影响。右下角的社区以经济可持续发展目标（可持续发展目标1-3、6-9）为主导，包括社会可持续发展目标（4、5和10）和环境可持续发展目标（11、12和15）等一些非常特殊的方面。这个社区的目标指标表明，可持续发展目标政策应该关注贫困人口的比例，营养不良，政府支出在农业，当地品种有灭绝的风险，孕产妇死亡率、儿童死亡率、卫生设施、获得电力、清洁能源和技术，商业银行分支机构的数量，失业率和制造业附加值占GDP的比例。结合这些经济方面，社区包括社会因素，如功能技能的一定熟练程度、妇女赋权和劳动力占国内生产总值的份额，包括工资和社会保护转移。这个社区的环境方面包括受灾害影响的人、最底层40%人口中的人均物质足迹、生物多样性指标和青山覆盖。这个社区建议制定一项针对人口中相对弱势群体的福祉的全面政策。

第二个（中间）社区更关注社会（可持续发展目标5、16和17）和环境因素（可持续发展目标11、13、14、15）的制度方面，以及一些非常具体的经济因素方面（可持续发展目标2、6、8和9）。社会方面包括通过和实施宪法、法律和/或政策保障、遵守人权和净官方发展援助。环境因素，如受环境灾害影响的人、海洋保护区、海洋科学支出、森林面积净变化率、青山覆盖面积和面积、签订《粮食和农业遗传资源国际条约》和《恩戈亚议定书》的国家等。除了这些制度因素之外，经济因素，如领取养老金的可领取养老金年龄以上的人口、获得清洁水的机会、在金融机构登记的人口和单位二氧化碳排放量GDP。

左边社区是最小的，加强类似的制度方面中间社区关注所有方面的性别平等（可持续发展目标5）和登记出生和死亡（可持续发展目标17），养老金年龄领取养老金（可持续发展目标1）和粗死亡率归因于环境空气污染（可持续发展目标3）。同样，遵守各种国际环境公约（可持续发展目标12）和土地面积（可持续发展目标15）也是重要的环境因素之一。

检测社区使我们能够明确确定协同实现可持续发展目标的目标变量。它们进一步使我们能够制定战略和确定实现该目标的目标的优先级。可持续发展目标是雄心勃勃的和普遍性的，但可用的资源有限。鉴于这些限制条件，网络分析使我们能够识别社区

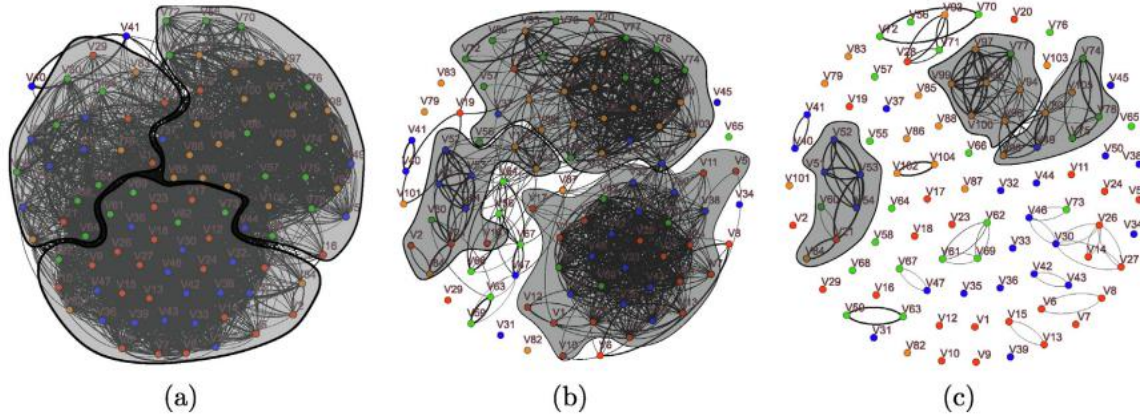


图1. 具有 (a) 高阈值、(b) 中阈值和 (c) 低阈值的经合组织国家的可持续发展目标变量的相关网络。在本分析中，可持续发展目标被大致分为4组。红色节点代表属于可持续发展目标1到6的指标V1到V29，蓝色节点代表可持续发展目标7-12，包括指标V30到V54，可持续发展目标13-15代表绿色节点，指标V55到V78，橙色节点代表可持续发展目标16和17的指标V79到V105。

在有限的资源下，可能更有效地实现可持续发展目标的目标变量。

2.5. 基准分析和区域差异

发展研究和实践的惯例是对目标变量进行基准测试，以量化实现目标的进展。《2030年可持续发展议程》(UN, 2015年) 提供了一些定量目标。当这些目标缺失时，研究使用欧洲2020战略等政策文件或数据中最高(或最低)者的平均指标得分作为基准(Campagnolo等人, 2018)。然而，不同的国家和不同的经济体系有独特的基础设施，因此有不同的发展轨迹(Spaizer et al., 2016)。

在之前的一篇论文中，在千年发展目标(mdg)的背景下，兰加纳坦、尼古利斯、巴厘斯温和萨姆普特(2017)认为，从长远来看，忽视国家内部的不平衡和不平等的普遍目标可能会对人类的整体发展产生反作用。换句话说，除非考虑到区域背景和发展，否则普遍设定目标或基准对多维可持续发展目标尤其具有反作用。

在本文中，我们扩展了这一观点，并认为利用特定国家群体的区域数据来创建相互作用的子网络更有效。为经合组织、南亚、撒哈拉以南非洲等国家提供的网络模型。图2) 几乎没有相似之处。因此，使用全球标准作为基准会适得其反。因此，为了对任何一个国家或国家组进行任何有意义的分析，我们需要使用这些子网络进行基准测试。

根据我们的分析，我们提出了几点。首先，只有在该地区在发展水平等方面相对同质时，基准测试才有意义。其次，分析的水平是至关重要的。在全球或国家一级对可持续发展目标进行基准，将与对企业或任何特定经济部门甚至地方政府一级实施可持续发展目标截然不同。第三，它将要求使可持续发展目标指标适应分析水平，因为一些目标是为国家数据设计的，而其他目标的范围更局部。

从附录A表2(栏2)可以清楚地看出，南亚的最高中心性指标是：贫困线以下人口比例-可持续发展目标1；农业官方流动-可持续发展目标2；熟练保健人员照料的分娩比例-可持续发展目标3；18岁前结婚或结合的妇女比例-可持续发展目标5；在金融机构或流动账户的成年人-

货币服务提供者-可持续发展目标8；制造业就业占总就业人数之比-可持续发展目标9；以及森林地上生物质量-可持续发展目标15。这些目标变量与经合组织国家明显不同。

请注意，南亚的网络和社区都是有害的目前比经合组织网络更稀少，因为经合组织国家对可持续发展目标指标的报告数据更好，这些指标的范围立即扩大，而且需要收集它们所需的资源和努力。对于南亚，中心社区确定了社会经济目标变量，以实现可持续发展目标。该社区的大多数目标变量被确定为国际贫困线以下人口比例-可持续发展目标1；农业和当地品种的官方总流动风险-可持续发展目标2；产妇死亡率、随产

熟练的卫生、个人和国际卫生法规-

可持续发展目标3；使用清洁能源和技术的人口比例-可持续发展目标7；按公路分列的客运量-可持续发展目标9；以及国际凶杀案的受害者人数-可持续发展目标16。由于居住在南亚的穷人人数最多，任何可持续发展政策都不能忽视，关注基本的经济、社会和安全条件以及公民的福祉也就不足为奇了。

强调基本的生活水平并不意味着南亚可以忽视环境目标。南亚的左侧和中心顶部社区(图. 2(b)) 主要关注于与环境相关的目标。这些因素包括单位国内生产总值的二氧化碳排放量、森林面积占总面积、土地面积、地上生物量、粮食和农业植物遗传资源国际条约缔约国、报告的标准材料转让协定数量、危险废物和其他化学品公约的遵守情况、贫民窟城市人口以及多利益攸关者发展有效性监测框架的进展情况。

我们在这里讨论了经合组织和南亚的网络社区和统计数据，然而，一个粗略地看一下图. 2将确认每个区域都有自己特定的具体结构和发展背景，因此普遍的基准测试将是无效的。可持续发展目标的本质本质上是包罗万象的。因此，我们的分析表明，可持续发展目标的基准测试应该是特定于区域的。

5.3. 协同效应和权衡

利用目标指标之间的两两相关性，我们能够识别出正反馈和负反馈。积极的

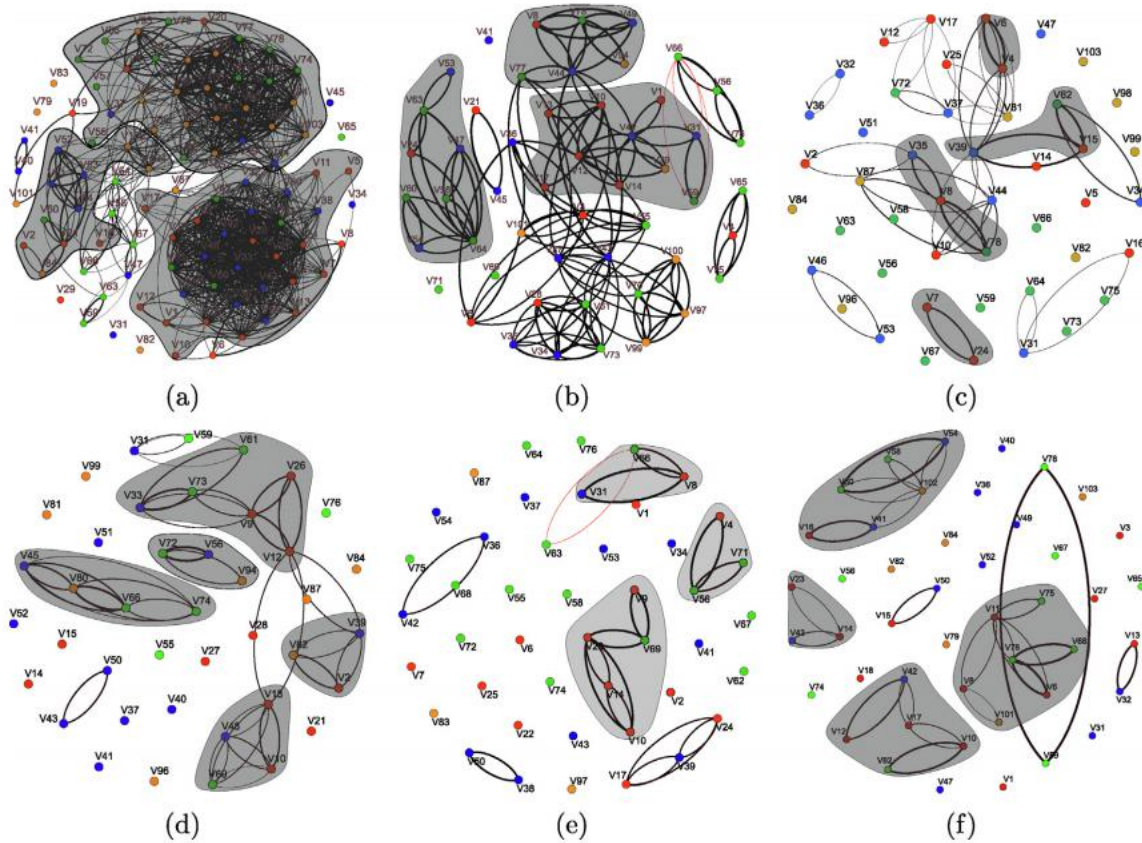


图2. (a) 经合组织、(b) 南亚、(c) 南亚、(d) 拉丁美洲、(e) 撒哈拉以南非洲和(f) 中东和北非地区国家的中等阈值 (0.5) 的权衡和协同效应。这两个图中的黑色边缘表示目标之间的协同作用，而红色的边缘是权衡。网络中的每个节点都反映了可持续发展目标子目标的指标。在本分析中，可持续发展目标被大致分为4组。这些组是颜色编码的。对于所有的子图：绿色节点代表属于可持续发展目标1到6的指标V1到V29，红色节点代表指标V30到V54，可持续发展目标13-15。蓝色节点代表可持续发展目标7-12，包括指标V30到V54，橙色节点代表可持续发展目标16和17的指标V79到V105。

相关性表示正反馈，这意味着对一个变量的投资也会促进对另一个变量的投资。负相关表示负反馈，这意味着一个变量的投资增加可能导致另一个变量的减少。Spaiser等人。(2016)，我们调查了可持续发展目标，发现由于它们之间存在的权衡，这些可持续发展目标之间存在内部不一致。在目标变量（亚可持续发展目标水平）上进一步研究这些相互联系，我们的分析发现了一个主要结果，即在中等阈值水平上，很少有权衡足以在相关网络中生存。

附录A，表2和图。2在中等阈值水平上呈现不同地区的网络统计数据和社区。与经合组织国家相比，世界其他地区的网络社区与可持续发展目标1-6和可持续发展目标13-15的社区更加分散。撒哈拉以南非洲之间的相互联系很少。大多数协同作用主要是由可持续发展目标1-6和可持续发展目标7-12的目标变量之间的相互联系决定。可持续发展目标16和17是外围的，权衡主要在可持续发展目标15范围内（V63森林地上生物量，V63森林面积净变化率）。

在中等阈值水平上，很少存在权衡（红色边缘）。对于南亚，只能确定两种权衡（图。2 (b)）和一个撒哈拉以南非洲（图。2 (e)）。南亚的两个权衡之一是在可持续发展目标7和可持续发展目标15之间。在目标可变水平上考察，森林面积净变化率和主要依赖清洁能源和技术的人口比例之间存在这种权衡。因此，尽管存在这些权衡，但它们比南亚、撒哈拉以南非洲、经合组织和世界其他地区的协同效应要弱得多。这个

表明，因此，我们最好根据我们的分析证据，关注强有力的积极协同效应，因为权衡的净影响似乎很弱。然而，需要注意的是，在不同的阈值下仍然存在更多的权衡，这表明更好的数据的可用性既是必要的，又可能导致不同的评估。此外，请注意，正如在第3.1节的开始部分所讨论的那样，还需要进行另一个解释性的步骤。这些结果需要由领域和区域专家仔细审查。

6. 结论

可持续发展目标比千年发展目标更相互关联（LeBlanc, 2015）。因此，可持续发展目标需要一种多维的、综合的政策方法，它要考虑到协同效应和权衡。公民社会组织的数据收集和监测以及政府及其部门实施的方法是不恰当的。例如，打破部门和各种参与者之间的内在联系，以使部门利益最大化，并不能解决经济增长和环境质量之间的关系（Zhou & Moinuddin, 2017）。

我们提供了一个统一的框架来研究可持续发展目标之间的相互联系，并基于IAEG-可持续发展目标数据对经合组织、南亚和撒哈拉以南非洲进行网络分析，这表明我们如何识别变量、协同效应和权衡的关键网络“社区”。将此方法应用于

具体的问题和区域可能导致确定关键目标、相互联系和网络社区，以便投入到可持续发展目标的优先次序中。此外，通过网络统计、社区识别和可视化，我们证明了不同的基准测试需要特定于区域和上下文。我们注意到，虽然我们的结果表明，历史数据中存在权衡，但它们没有协同效应那么强大，需要领域和区域专家更仔细地探索协同效应。

更具体地说，我们的框架可以通过网络中心性措施或社区检测算法，为决策者就可持续发展目标的优先级划分提供输入。在精心构建的领域特定和区域特定的网络中，具有高特征中心性的可持续发展目标对于那些希望利用级联机制的决策者来说是关键，因为这些目标与网络中的其他关键变量有良好的联系。另一方面，具有高中间性中心性的目标代表了桥梁变量，而希望通过关注一些变量来实现对所有目标的最大影响的决策者可以关注这些变量，并随着时间的推移实现跨可持续发展的多个维度的结果扩散。

关于可持续发展目标之间的协同作用和权衡的信息有助于确定《2030年议程》中国有的不一致处。ICSU（2017）对可持续发展目标协同效应和权衡进行了量化，在316个中发现238个正交互作用和66个负交互作用。其余的都是中立的。我们发现数据中的负面互动，特别是当关注经合组织国家，提供证据表明政策实施问题（例如，纠正缺点的政策可能会由良好的政府实施，导致缓解负面互动）可能影响理论考虑

tions. 虽然这需要进一步仔细探索领域专家，我们的研究结果提供了明确的区域需求证据。在我们对经合组织国家、南亚和撒哈拉以南非洲进行的网络分析中，确定的可持续发展目标目标社区是不同的，因此需要针对这些关键目标进行政策干预。根据同样的逻辑，我们的分析表明，中央可持续发展目标在全球、区域或国家层面的目标社区，在次区域、部门或地方层面的执行情况上可能非常不同。同样，基准不能成为可持续发展目标层面面对所有国家的全面建议。

信誉良好的作者贡献声明

巴厘岛斯湾：概念化、方法、验证、调查、数据管理、写作-审查和编辑、监督、项目管理、资金获取。方法，软件，验证，调查，数据管理，写作-审查和编辑，可视化。

竞争利益的声明

作者声明，他们没有已知的相互竞争的经济利益或个人关系，这可能会影响本文报告的工作。

附录A。表

见表1和表2。

表1
变量的描述。

侧轨	变量描述	层级 分类
SDG 1	无贫困	
	[1]国际贫困线以下人口的比例（%）	第1层
	[2]按性别计算的超过法定可领取养老金年龄的人口比例（百分比）[3]受灾害影响的人数（人数）	第2层
	[4]灾害造成的破坏或破坏的文化遗产的直接经济损失（目前数百万美元）	第2层
SDG 2	无饥饿感	第2层
	[5]营养不良的患病率（%）	第1层
	[6]被分类为已知有风险的当地品种（数量）	第2层
	[7]已知的无风险的比例	第2层
	[8]被分类为已知无风险的本地品种（数量）	第2层
	[9]当地品种处于未知的灭绝风险水平的比例（百分比）	第2层
	[10]本地品种处于未知的灭绝风险水平（数量）	第2层
	[11]对政府支出的农业导向指数	第1层
	[12]按受援国划分的农业官方流量（支出）（2016年百万美元）	第1层
	健康和幸福	
SDG 3		
	[13]孕产妇死亡率	第2层
	[14]由熟练保健人员接生的比例（百分比）	第1层
	[15]5岁以下儿童的死亡率（每1000名活产婴儿的死亡率）	第1层
	[16]环境空气污染造成的粗死亡率（每10万人死亡）[17]平均13个国际卫生条例（IHR）核心能力	第1层
SDG 4	素质教育	第2层
SDG 5	[18]有组织学习的参与率（正式入学年龄前一年）（%）[19]达到至少固定功能技能水平的人口比例，性别、16-65岁和识字（%）	第1层
	性别平等	第2层
SDG 5		
	[20]遭受身体和性暴力的曾经有伴侣的妇女和女孩的比例 或前12个月的前亲密伴侣（百分比）（注意不同国家的不同报告标准，经合组织国家的报告标准为15-49年）	

表1（续）

侧轨	变量描述	层级分类
SDG 6	[21]20-24岁已婚或18岁前结婚的妇女比例（%）[22]15-49岁接受女性生殖器切割/切割的妇女比例（%）	第1层
	[23]妇女在国家议会中占有席位的比例（占总席位的百分比）[24]担任管理职位的妇女的比例（百分比）	第1层
	[25]在性关系、避孕器具使用和生殖保健方面自己作出知情决定的妇女的比例（15-49岁妇女的百分比）	第1层
	清洁水和卫生设施	第1层 第3层
SDG 7	[26]使用安全管理饮用水服务的人口比例，按城市/农村（百分比）[27]使用安全管理卫生服务的人口比例，按城市/农村（百分比）[28]环境水质良好的水体比例（百分比）	第1层
	[29]全国衍生的总范围（平方公里）	第1层
	负担得起的清洁能源	第1层
	[30]按城乡划分的供电人口比例（百分比）	第1层
SDG 8	[31]主要依赖清洁能源和技术的人口比例（%）	第1层
	[32]可再生能源占最终能源消耗总量（%）	第1层
	[33]一次能源强度水平（2011年购买力GDP平价）	第1层
	体面的工作和经济增长	第1层
SDG 9	[34]实际人均GDP的年增长率（%）	第1层
	[35]每10万名成年人的自动柜员机（ATMs）数量	第1层
	[36]每10万名成年人中的商业银行分行数	第1层
	[37]在金融机构或流动货币服务提供商有账户的成年人（15岁及以上）的比例（占15岁及以上成年人的百分比）	第1层
SDG 10	[38]人均材料足迹，默认为非金属矿物（公吨）	第2层
	[39]按性别和年龄划分的失业率（%）	第1层
	工业、创新和基础设施	第1层
	[40]货运量、公路运输（每吨公里）、	第1层
SDG 11	[41]客运量（客运公里），道路运输	第1层
	[42]制造业价值占GDP的比例（百分比）	第1层
	[43]制造业就业人数占总就业人数的比例（百分比）	第1层
	[44]每单位GDP的二氧化碳排放量（2010年美元每公斤二氧化碳）	第1层
SDG 12	减少不平等	第1层
	[45]底层40%人口中家庭支出或人均收入（%）的增长率	第1层
	[46]劳动力占GDP的份额，包括工资和社会保护转移（%）	第1层
	可持续城市和社区	第1层
SDG 13	[47]居住在贫民窟的城市人口的比例（%）	第1层
	[48]受灾情影响的人数（人数）	第2层
	[49]灾害造成的破坏或破坏的文化遗产的直接经济损失（目前数百万美元）	第2层
	负责任的消费和生产	第2层
SDG 14	[50]人均材料占地面积，非金属材料默认类别（公吨）	第2层
	[51]遵守巴塞尔公约的危险废物和其他化学品[52]遵守蒙特利尔议定书的危险废物和其他化学品[53]符合鹿特丹公约的危险废物和其他化学品	第1层
	气候行动	第1层
	[54]符合斯德哥尔摩公约的危险废物和其他化学品	第1层
SDG 15	[55]受灾情影响的人数（人数）	第2层
	水下生活	第2层
	[56]海洋保护区覆盖率（专属经济区）（%）	第1层
	[57]国家海洋科学支出占研究和开发总资金的份额（%）	第1层
SDG 16	[58]森林面积占总土地面积的比例（百分比）	第1层
	[59]森林面积（数千公顷）	第1层
	[60]土地面积（数千公顷）	第1层
	[61]保护区覆盖的淡水关键生物多样性区（KBA）平均比例（百分比）[62]保护区覆盖的陆地关键生物多样性区（KBA）平均比例（百分比）[63]森林地上生物量（吨）	第1层
SDG 17	[64]每公顷森林地上生物量（每公顷公吨）	第1层
	根据独立验证的认证计划认证的[65]森林面积（数千公顷）[66]森林面积净变化率（百分比%）	第1层
	[67]有长期管理计划的森林面积比例（%）	第1层
	[68]在合法建立的保护区内占森林面积的比例（百分比）	第1层

（在下一页继续）

表1（续）

侧轨	变量描述	层级分类
SDG 16	[69]被保护区覆盖的山地关键生物多样性区（KBAs）的平均比例（百分比）[70]山地绿色覆盖面积（平方公里）	第1层
	[71]山绿色覆盖指数	第2层
	[72]山区（平方公里）	第2层
	[73]红色列表索引	第2层
	向准入和利益共享信息交换所报告的有立法、行政和政策框架或措施的[74]国家（1 = YES，0 = NO）	第1层
	作为名古屋议定书缔约国的[75]国家（1 = YES，0 = NO）	第3层
	拥有通过《粮食和农业植物遗传资源国际条约》（PGRFA）遵守情况在线报告系统报告的立法、行政和政策框架或措施的	第3层
	[76]国家（1 = YES，0 = NO）	第3层
	[77]是《粮食和农业植物遗传资源国际条约》（PGRFA）缔约国的国家（1 = YES，0 = NO）	
	[78]报告的向国家转移粮食和农业植物遗传资源的标准材料转移协议（SMTAs）的总数（数量）	
符合巴黎原则的机构（1 = YES，0 = NO）	和平正义和强大的机构	第3层
		第3层
SDG 17	[79]每10万人故意杀人受害者人数（/10万人受害者）[80]国家通过和实施宪法、法律和/或公众获取信息的政策保障	第1层
	[81]18-29岁人口在18岁之前遭受性暴力的比例（占18-29岁人口的%）	第1层
	[82]未被判刑的被拘留者占监狱总人口的比例（百分比）	
	[83]贿赂事件（经历至少一次行贿请求的公司的百分比）	第2层
	[84]已在民事当局登记出生的5岁以下儿童的比例（占5岁以下儿童的百分比）	
	第1层	第1层
		第1层
	[86]拥有国家人权机构的国家不完全遵守巴黎原则（1 =是，0=否）	
	[87]拥有国家人权机构的国家，没有申请获得巴黎原则的认证（1 = YES，0 = NO）	
	[88]拥有国家人权机构和没有巴黎原则地位的国家（1 = YES，0 = NO）	第1层
	合作伙伴关系	
		第1层
	[89]发展中国家和最不发达国家的全球商品出口（%）[90]发展中国家和最不发达国家的全球服务出口（%）[91]发展中国家和最不发达国家的全球商品进口（%）[92]发展中国家和最不发达国家的全球服务进口（分）[93]比例新的发展干预从国家主导的结果框架的发展合作提供者（%）	第1层
	[94]支持实现可持续发展目标的多利益相关者发展有效性监测框架的进展情况（1 = YES，0 = NO）	第1层
	[95]有国家统计立法的国家符合官方统计的基本原则（1 = YES，0 = NO）	第1层
	[96]有国家统计计划的国家（1 = YES，0 = NO）	第2层
	[97]有政府资助的国家统计计划的国家（1 = YES，0 = NO）	
	[98]国家有国家统计计划的国家（1 = YES，0 = NO）	第3层
	[99]有国家统计计划的国家（1 = YES，0 = NO）	
	[100]拥有正在实施的国家统计计划的国家（1 = YES，0 = NO）	第1层
	[101]可用于加强发展中国家统计能力的所有资源的美元价值（当前美元）	第1层
	[102]出生登记数据至少完成90%的国家（1 = YES，0 = NO）[103]在过去10年里至少进行过一次人口和住房普查的国家（1 =是，0=否）	第1层
	[104]死亡登记数据至少完成75%的国家（1 = YES，0 = NO）[105]净向最不发达国家提供官方发展援助（ODA）占经合组织-发展援助捐助者国民总收入的百分比（%）	第1层
		第1层

A. 1. 互联网络模型

对于任意两个随机变量X和Y，我们可以根据它们的相关性p来定义互连的对称强度，其中我们使用标准的皮尔逊积矩相关公式

$$p_{\text{正常男性染色体组型}}^{\text{sym}} = \frac{E[XY] - E[X]E[Y]}{\sqrt{(E[X^2] - E[X]^2)(E[Y^2] - E[Y]^2)}}$$

这种对称的相互作用强度对应于这两个变量在它们被测量的时间段内感知到的相互联系。这种相互联系的强度并不能解释这个问题

对于这两个变量之间可能存在的任何因果关系。为了捕捉可能的因果关系，我们可以使用因果关系的格兰杰概念，并定义不对称强度为

$$\rho_{XY}^{asym} = (E[X_{lag}Y] - E[X_{lag}]E[Y]) / \sqrt{(E[X_{lag}^2] - E[X_{lag}]^2)(E[Y^2] - E[Y]^2)}$$

$$\rho_{YX}^{asym} = (E[Y_{lag}X] - E[Y_{lag}]E[X]) / \sqrt{(E[Y_{lag}^2] - E[Y_{lag}]^2)(E[X^2] - E[X]^2)}$$

表2
网络统计信息。

概述	经合 (1)	萨西亚 (2)	日耳曼 (3)	萨夫里卡 (4)	拉丁美洲 (5)	中东和北非 (6)
节点	95	51	46	44	41	45
边缘	1036	150	56	30	58	44
中心性测量值（变量ID，见表1）						
度	红色列表索引（73） 接入电力（30） 劳动力占国内生产总值的比例（46） 山地多样性区（69） 安全饮用水（26） 二氧化碳排放/GDP（44） ODA至LDC（105）	森林生物量（64） 有账户的成年人 金融机构（37）制造业就业比例（43）在贫困线以下(1) 熟练健康的分娩 个人（14） 森林生物量（64） 在金融机构有账户的成年人（37）制造业就业比例（43）	失业率（39） 18-29岁的人口在18岁（81岁）时经历过性暴力 二氧化碳排放/GDP（44） 国际卫生条例中的核心能力（17） 有财务账户的成年人 机构（37） 失业率（39）	在官方流动中，由女性持有的席位来自外国 国家议会（23个）（12） 山地多样性地区（69）有组织学习的参与率（18） 保护区（56个）在未知的当地品种 森林面积净变化率（66）失业率（39） 失业率（39）有立法框架的国家（74） 在官方流动中，由女性持有的席位来自外国 国家议会（23个）（12） 山地多样性地区（69个）风险未知的本地品种（9个） 森林面积净变化率（66）有组织学习的参与率（18）	出生登记数据（102） 农业导向指数 政府。支出（11） 立法、行政和 政策框架（76） 土地面积（60） 制造业增加值 占国内生产总值比例（42） 农业导向指数 政府。支出（11） 出生登记数据（102）	立法、行政和 政策框架（76） 处于无危险状态的本地品种(8) 国际卫生 规定核心容量（17） 农业导向指数 政府。支出（11） 立法、行政和 政策框架（76） 出生登记数据（102）
间歌性	红色名单索引（73） 出生登记 数据（102） 死亡登记数据（104） 红色名单索引（73）	贫困线以下(1)保护区（56）贫 困线以下(1) 18岁前结婚的女性（21岁） 有账户的成年人 金融机构（37）森林中的生 物量（64）	18-29岁的人口在18岁（81岁）时经历过性暴力 二氧化碳排放/GDP（44） 标准材料转让协议（78） 有财务账户的成年人 机构（37） 失业率（39）	无危险的本地品种(8)一次能量的能量强度（33） 保护区（56）失业率（39） 妇女座位的参与率 国家议会（23）组织了学习（18） 当地的品种在未知的水平上，官方流动的外国 有风险的人（10）(12) 由熟练的健康当地品种在未知 个人（14）风险等级（10） 山区多样性地区（69）受失业率影响的人口（39）灾害（48）	出生登记数据（102） 立法、行政和 政策框架（76） 处于无危险状态的本地品种(8) 国际卫生 规定核心容量（17） 农业导向指数 政府。支出（11） 立法、行政和 政策框架（76） 出生登记数据（102）	立法、行政和 政策框架（76） 处于无危险状态的本地品种(8) 国际卫生 规定核心容量（17） 农业导向指数 政府。支出（11） 立法、行政和 政策框架（76） 出生登记数据（102）
特征向量中心性	接入电力（30） 劳动力占国内生产总值的比例（46） 安全饮用水（26） 女性在 管理职位（24）	农业的官方支出（12）	灾害损失(4) 有风险的本地品种(6) 二氧化碳排放/GDP（44） 18-29岁人口在18岁（81岁）	山区多样性地区（69）受失业率影响的人口（39）灾害（48） 山地多样性区（69）	出生登记数据（102） 有风险的本地品种(6) 土地面积（60）	出生登记数据（102） 有风险的本地品种(6) 土地面积（60）

注：1。有关完整变量的详细信息，请参阅表1中对变量的描述（括号中的指标编号）。网络统计的“接近中心性”可从作者的要求。

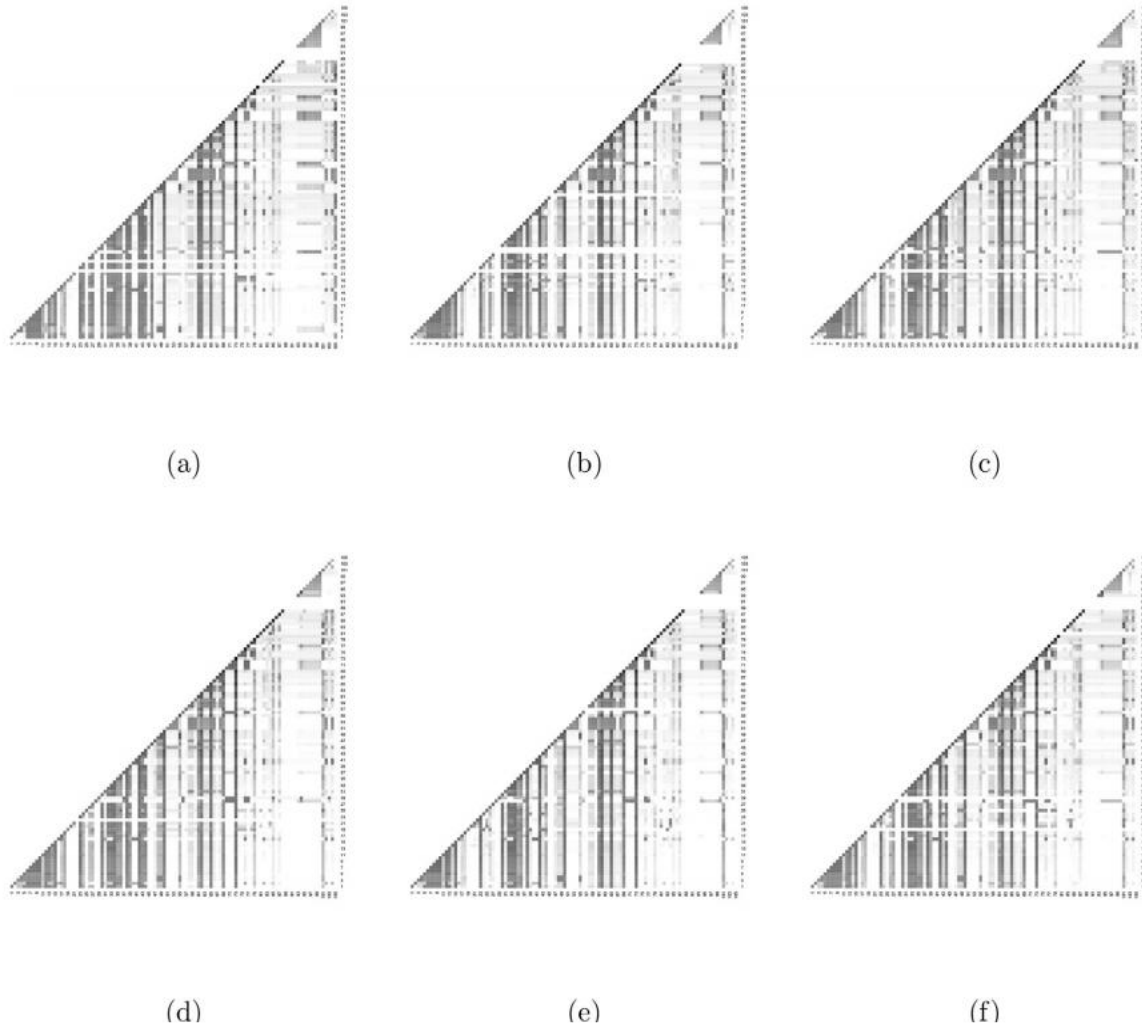


图3. 这些可视化数据描述了网络分析中包含的每个不同区域（经合组织、南亚、东亚、拉丁美洲、撒哈拉以南非洲和中东和北非地区国家）中105个变量的数据的相对可用性。相对可用性被定义为用于计算一对特定变量的相关系数除以年数和该区域内的国家数的实际观测数。较深的灰色表示数据的相对可用性较高，而较浅的灰色表示相对可用性较低。当一行或列为空时，它表示变量不包含任何用于计算与任何其他变量的相关系数的数据。

其中 X_{lag} 和 Y_{lag} 是 X 和 Y 的时间滞后版本，i.e., $X_{lag\delta t} = X_{t-1}$ ，当我们考虑一个时间单位的滞后时。注意，如果我们假设变量的平稳性条件，

$$E[X_{lag}] = E[X]; E[X_{lag}^2] = E[X^2] \quad \text{拿着}^9$$

在我们的应用程序中， X 和 Y 是可持续发展目标，e的两个目标变量。g., “国际贫困线以下国家的人口比例”和“总失业率”。由于 X 和 Y 是时间序列数据，并且也可用于不同的国家，我们使用样本相关函数估计 ρ 为：

$$\hat{\rho}_{XY}^{sym} = \frac{1}{sd_X sd_Y NT - 1} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (X_{i\delta t} - \bar{X}_i)(Y_{i\delta t} - \bar{Y}_i)$$

我们有 N 个国家和 T 年的数据。 X_i 和 Y_i 表示一个特定国家的 X 和 Y 的时间平均值。

⁹ 为了这个定义的目的，我们不做这些假设，尽管在实际中平稳性假设将有助于分析。事实上，我们感兴趣的许多时间序列，不太可能是平稳的，因为变量之间的基本相互联系，以及政策变化导致影响这些变量的非平稳过程。

捕获因果关系概念的互连的不对称强度的估计将由以下给出：

$$\hat{\rho}_{XY}^{asym} = \frac{1}{sd_X sd_Y NT - 2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=2}^T (X_{i\delta t} - \bar{X}_i)(Y_{i\delta t} - \bar{Y}_i)$$

Y 对 X 的相应影响将涉及滞后 Y 与非滞后 X 的相关性，这可能与注意不同，即互连定义捕获了变量之间的协同效应和权衡，因为相关系数可以是正的，也可以是负的。 $\hat{\rho}_{XY}^{asym}$.使用这些和 $\hat{\rho}_{XY}^{asym}$ $\hat{\rho}_{YX}^{asym}$ 作为边的权值，我们可以在所有变量之间建立一个连锁网络。这些加权的、有向的、有签名的网络然后捕获了变量之间的关系。因此，可持续发展目标相互作用的网络模型可以表示为图 G 侧轨 $=\delta V$; E ; W ，其中顶点 V 是感兴趣的SDG变量，边是有序对 $E_k=\delta X$; Y P 是变量 X 和 Y 之间的相互联系，而边的权值是分配给每个边 $W_{\delta e}$ 的权值 $k \hat{\rho}_{XY}^{asym} P$ ，由上文公式给出，其中 $e_k=\delta X$; Y P 。

虽然这个模型允许我们理解互连的强度作为一个连续的边权值（在-1和1之间），但在这个方面

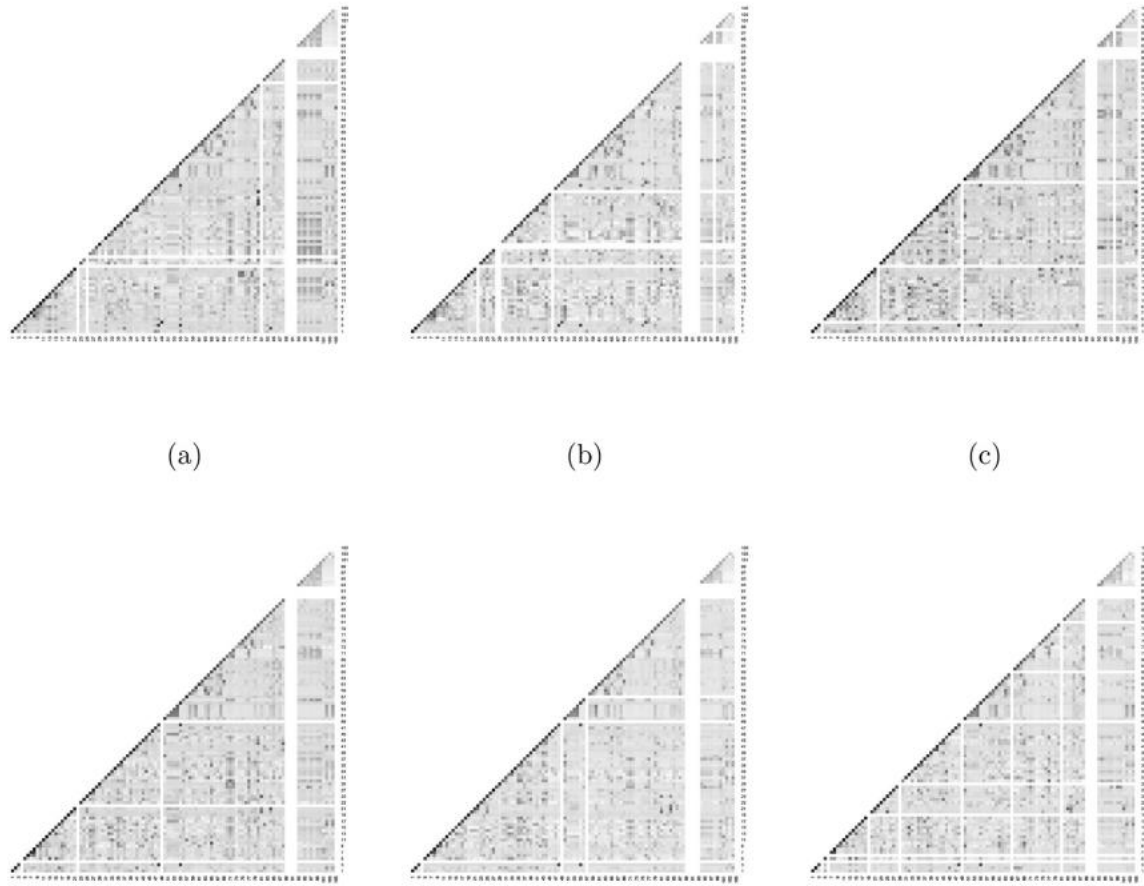


图4. 每个不同区域(经合组织、南亚、东亚、拉丁美洲、撒哈拉以南非洲和中东和北非地区国家的数据的绝对相关系数在这些可视化中描述了105个变量。

本文将重点研究G的一个无加权、有符号和无向的网络投影侧轨。这主要是由于数据问题。由于数据噪声极大，很难获得真实相关性的可靠估计。¹⁰

未加权的网络投影 $G_{sdg}^r(V \setminus; E \setminus)$ 是由加权有向网络得到的顶点集是相同的，i.e., $V \setminus \subseteq V$ ，和边集 $E \setminus$ 以以下方式从E中得到的 k^{th} 边顶点X和Y之间的边值： $e_{kj} = 0$ ，如果 $\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k e_{kj} < a$ ； $e_{kj} = 1$ if $e_{kj} > a$ ， $e_{kj} = -1$ ，如果是 $e_{kj} < -a$ ，其中a是一个任意的阈值。因此，我们对连续变量e进行了分类 k 如0，正或负，取决于预先确定的阈值a。这提供了可持续发展目标变量之间互联网络的更稳健的图片，因为它消除了与实际数据相关的一些噪声。

虽然全网络的无加权投影可以由有向网络或无向网络进行，但在本文中，

¹⁰ 请注意，我们可以使用费雪变换或其他近似来定义相关估计的标准误差。在本文中，虽然可以直接估计标准误差，但我们不会报告它们。这是因为数据质量并不一致地很好，因此通过相关系数来估计数据之间的相互联系是不可靠的。将相关系数指定为权重，而没有附带对相关系数的标准误差的度量，很可能会产生误导。因此，我们只提供未加权的，有符号的网络描述使用阈值函数的相关系数。

我们将只关注无向网络。因此，我们将相互联系作为对称的样本相关性来度量 $\hat{\rho}_{sdg}^{sym} = \frac{1}{\sqrt{sd_x sd_y N-1}} \sum_{i=1}^{P_N} \sum_{j=1}^{P_T} (x_i - \bar{x})(y_j - \bar{y})$ 然后使用采用上述阈值函数，得到非加权投影。由于在策略应用中寻找致病机制是很自然的，因此我们简要讨论了加权网络代表在讨论部分，但将加权定向网络的进一步分析留给未来的工作。

A.2. 数据可用性和相关性强度的可视化

数据的可用性是在分析我们所提出的结果时需要考虑的重要一点。在本附录中，我们提供了可用数据和相关系数的可视化表示。该信息以灰度的热图提供，提供可用数据比例（相对于最大可能的观测数）的可视化表示，用于计算变量对之间的相关系数。较暗的阴影表示数据可用性较高，而较浅的阴影表示数据可用性较低。热图使我们能够以一种简单的方式直观地掌握信息，而不是可能导致信息过载的这些比例的精确数值。这些可视化有一个额外的优势，因为其目的是识别计算的相对强度。随着更多的数据可用，很可能所有的

变量将包含更多的观察结果。由于数据可用性是特定于区域的，我们在图中也以区域术语指出了数据可用性。3。

在无花果。4，我们还显示了相关系数的相对强度。由于缺失数据，最高的绝对相关系数约为0.25。我们在这个可视化中没有指出相关系数的符号，因为目的是比较相关系数的相对强度。从图中可以看出，许多变量之间的相关性相对较高，而大多数变量之间的相关性相对较低。这也是为什么我们在创建相关网络时强加一个阈值的理由。

附录B. 补充资料

与本文相关的补充数据可以在在线版本<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105136>中找到。

[org/10.1016/j.worlddev.2020.105136](https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105136).

参考文献

- 艾伦，梅特尼特，威德曼，T。（2017）。针对可持续发展目标（sdgs）的国家情景建模的迭代框架。《可持续发展》，25(5)，372-385。
- 艾伦，梅特尼特，威德曼，T。（2018）。确定sdg目标的优先级：评估基线、差距和相互联系。《可持续发展科学》，1-18。
- 巴厘斯温，R。（2018）。对可持续发展目标的批判性分析。在Walter Leal等人，可持续发展科学与研究手册的编辑。蹦跳的人pp. 341 - 355. .
- Barabasi, AL. .-（2003）。链接：网络的新科学。
- 巴比尔，E. B.， & 伯吉斯，J. C.（2017）。可持续发展的目标和实现可持续发展的系统方法。《经济学：开放获取，开放评估电子期刊》，11（2017-28），1-23。
- 巴兹兰，罗格纳，豪威尔斯，赫尔曼，阿伦特，D.，吉，D.，以及其他（2011）。考虑到能源、水和食物之间的联系：走向一种综合建模方法。《能源政策》，39（12），7896-7906。
- 坎帕诺罗，L.，埃博利，法尼亚，L.，和卡拉罗，C。（2018）。支持联合国sdgs过渡：可持续发展评估方法和当前全球排名。《经济学：开放获取，开放评估电子期刊》，12（2018-10），1-19。
- 科恩，J。（1988）。设置相关性表和列联表。《应用心理测量法》，12(4)，425-434。
- 伊斯特利。（2015）。可持续发展目标的问题。当前历史记录。 .
- 马格拉比先生，伊丽莎白先生，G. S.，以色列，奥索里奥-罗达特，&维尔比克，J。（2018）。可持续发展目标诊断：应用网络理论和复杂性措施来确定国家的优先事项。世界银行政策研究工作文件。
- 欧盟统计局（2017年）。欧盟的可持续发展：监测欧盟的持续发展进展报告。卢森堡公国。 .
- Fay, M.（2012）。包容性绿色增长：可持续发展之路。世界银行出版物。
- 弗里德曼，J.， & Alm, E. J.（2012）。从基因组调查数据中推断相关网络。《公共科学图书馆》计算生物学，8(9)。e1002687。
- 绿色成长型知识平台（2016年）。在国家一级衡量包容性的绿色增长——评估衡量方法和指标。技术报告，绿色增长知识平台。 .
- 霍尔顿，林内鲁德，k，和巴尼斯特，德。（2014）。可持续发展：我们共同的未来被修正。全球环境变化，26,130-139。
- Hopwood, M., & O'Brien（2005）。可持续发展：制定不同的方法。《可持续发展》，第13、38-52页。
- ICSU（2017）。一个关于sdg交互的指南：从科学到实现。 .
- ICSU & ISSC（2015）。对可持续发展目标的回顾：科学的视角。 .
- 政府间气候变化专门委员会（2018）。特别报告：全球变暖度高达1.5摄氏度。政府间气候变化专门委员会。
- 克罗尔，C。（2015）。可持续发展目标：让富裕国家做好了准备。贝塔斯曼基金会。
- 劳福德，博加迪，马克思，简因，南，沃斯特，C. P.，Knuppe，林格勒，兰西根，F.， & Meza, F.（2013）。流域对水、能源和粮食安全关系的看法。《环境可持续性的当前意见》，5(6)，607-616。
- LeBlancD.（2015）。最终走向整合？可持续发展目标作为一个目标网络。《可持续发展》，23,176-187。
- 水野，T.，高康，H.，和高康，M.。（2006）。不同货币之间的相关性网络。《物理统计学A：统计力学及其应用》，364,336-342。
- 莫尔，J。（2016）。一个用于绘制可持续发展目标（sdgs）之间关系的工具包。
- 诺伊曼，K.，安德森，C.，和德尼奇，M。（2018）。参与性、探索性、定性建模：应用imodeler软件来评估sdg之间的权衡。《经济学：开放获取，开放评估电子期刊》，12（2018-25），1-19。
- 尼科莱，霍伊，柏林，艾迪。（2015）。预测进展：到2030年达到sdgs。技术报告，伦敦：海外发展研究所。 .
- 尼尔森，M。（2017）。2017年高层政治论坛上正在审查的可持续发展目标之间的重要互动。SEI工作论文2017-06，斯德哥尔摩环境研究所，斯德哥尔摩。 .
- 尼尔森，格里格斯博士，维斯贝克，博士。（2016）。政策：绘制可持续发展目标之间的相互作用。自然，534（7607），320-322。
- 奥伯斯坦纳，M.，沃尔什，B.，弗兰克，S.，哈夫利克，坎特纳，M.，刘，J.，等。（2016）。评估可持续发展目标之间的土地资源-粮食价格关系。《科学进步》，2(9)。e1501499。
- 经合组织（2016）。经合组织统计数据。统计学oecd.org. 已于2016年7月7日从 <http://stats.oecd.org/>检索。
- 斯彭肖，S.，和泰勒，P. J.（1979）。一百万个左右的相关系数：关于可修改的面积单位问题的三个实验。在N. 箭牌公司（设计版），空间科学中的统计学方法(pp. 127 - 144)。伦敦：Pion。
- 普拉丹，科斯塔，莱布斯基，卢赫特，W.，和克罗普，J. P.（2017）。对可持续发展目标（sdg）相互作用的系统研究。《地球的未来》，5（11），1169 - 1179。
- Ranganathan, S., Nicolis, S. C., 巴厘斯温 and 萨普特，D. J. T.（2017）。使用随机动力系统模型来设定开发目标。单个，12（2），1-19。
- Rasul, G.（2014）。南亚的食物、水和能源安全：来自印度教库什喜马拉雅地区的联系视角？《环境科学与政策出版社》，39岁，35-48。
- Redclift, M.（2005）。可持续发展（1987-2005年）：一种矛盾修辞法已经成熟。《可持续发展》，13(4)，212-227。
- 雷尔斯，B.，斯塔福德-史密斯，M.，Erb, KH.，斯科尔斯，R. .-J.， & Selomane, O.（2017）。基本变量有助于集中监测可持续发展目标。关于环境可持续性的当前意见，26,97-105。
- 林格勒 C.，巴杜里岛，A.， & Lawford, R.（2013）。与水、能源、土地和粮食之间的联系（welf）：提高资源利用效率的潜力？。《关于环境可持续性的当前意见》，5(6)，617-624。
- 萨克斯，施密特-特劳布，G.，克罗尔，C.，杜兰，D.， & Teksoz, K.（2016）。可持续发展目标索引和仪表板——一个全球报告。纽约：贝塔斯曼基金会和可持续发展解决方案网络（SDSN）。
- 齐藤，O.，经理，S.，卡尼，N.，考夫曼，J.，和竹内，K.（2017）。可持续发展科学和实现可持续发展目标。《可持续性科学》，12(6)，907-910。
- 特劳特，克罗尔，C.，泰克索兹，杜兰德-德拉克，D.， & 萨克斯，J. D.（2017）。在sdg指数和仪表板中评估的可持续发展目标的国家基线。《自然地球科学》，10(8)，547-555。
- Spaiser, V. 美国，斯温，R. B.， & 接头，D. J. T.（2016）。可持续发展矛盾法：量化和建模可持续发展目标的不兼容性。《国际可持续发展与世界生态学杂志》，24(6)，457-470。
- 斯特恩，D. I.，常见的，M. S. 和巴比尔，E. B.（1996）。经济增长和环境退化：环境库兹涅茨曲线和可持续发展。世界发展部，24(7)，1151-1160。
- Szirmai.（2015）。全球发展目标有多有用？。联合国大学
- Tan, C. C.， & Erfani, R.（2017）。能源和食物的水：蓝尼罗河流域的系统建模方法。《环境》，4(1)，15。
- UN（2015）。《改变我们的世界：2030年可持续发展议程》。联合国
- UN SDSN（2015）。开发数据。对可持续发展目标监测和统计能力发展的需求评估。技术报告，UNSDSN。 .
- 联合国（2014年）。一个依靠动员数据革命来促进可持续发展的世界。技术报告，关于可持续发展的数据革命的独立专家咨询小组。 .
- 威茨，卡尔森，尼尔森，M.，和斯坎伯格，K.（2018）。为实施2030年议程制定系统性和上下文下的优先事项。《可持续性科学》，13(2)，531-548。
- 曾，麦克斯韦，等。K.，文特尔，O.，沃森，J. E.， & 卡拉斯科，L. R.（2020）。可持续发展目标不能避免环境破坏。自然可持续性，1-4。
- 周，X.，和莫伊努丁，M.（2017）。可持续发展目标的相互联系和网络分析：sdg整合和政策一致性的实用工具。IGES研究报告。