

綠色創新與碳排放量之間的關係—論組織資本之調節效果

The Relationship Between Green Innovation and Carbon Emissions: The Moderating Effect of Organizational Capital

盧正壽¹

國立高雄科技大學 企業管理系 教授

cslu@nkust.edu.tw

黎氏清北²

國立高雄科技大學 企業管理系碩士班 研究生

F112157119@nkust.edu.tw

摘要

氣候變遷問題日益嚴峻，企業減碳已成為全球關注核心議題。本研究探討綠色創新、組織資本與碳排放關係，基於 2016-2023 年台灣上市櫃公司 7,206 筆樣本。實證結果顯示綠色創新與碳排放強度呈顯著倒 U 型關係，證實存在門檻效應。組織資本與碳排放強度間有負向關係，且組織資本能強化綠色創新的減碳效益。產業比較顯示，高耗能產業綠色創新減碳效果優於非高耗能產業，組織資本在高耗能產業中減碳作用更顯著。隨綠色創新水準提高，組織資本與產業特性調節效果更加明顯。研究揭示三者間複雜關係，建議企業應持續進行綠色創新投入、提升組織資本，並依產業特性制定差異化環境策略，為有效管理碳排放提供新視角與實務指導。關鍵詞：綠色創新、組織資本、碳排放、門檻效應、產業特性。

關鍵詞：碳排放量、綠色創新、產業特性、組織資本。

Keywords: Carbon emissions, Green innovation, Industry characteristics, Organizational capital.

1. 緒論

1.1. 研究背景與動機

氣候變遷已成為 21 世紀全球亟需解決的重大議題。聯合國政府間氣候變遷專門委員會報告指出，若不及時採取有效措施，全球平均氣溫可能在本世紀末上升超過 2°C，對生態系統、經濟發展和人類生活將帶來深遠影響 (IPCC, 2021)。2022 年全球二氧化碳排放量達到 367 億噸，創下歷史新高，顯示達成減碳目標仍面臨巨大挑戰 (IEA, 2023)。氣候變遷可能導致全球經濟產值減少 6.3% (Rising et al., 2023)，促使各國制定具體減排目標，如歐盟推出「碳邊境調整機制」 (European Commission, 2021)。

台灣亦積極響應國際減碳行動。2022 年 3 月通過「台灣 2050 淨零排放路徑及策略」，訂定 2050 年達成淨零排放目標 (行政院, 2022)。台灣溫室氣體排放在 2005 至 2022 年間整體呈現緩慢下降，但二氧化碳仍占總排放量 95.70%，顯示主管機關、企業與民眾需採取更積極行動。同時，國際大廠紛紛加入 RE100 倡議，要求供應鏈採用綠電與減碳 (RE100, 2023)。此趨勢使台灣企業面臨挑戰與機遇，需加速綠色轉型以維持競爭力。

綠色創新已成為企業因應環境挑戰的關鍵策略 (Aguilera-Caracuel & Ortiz-de-Mandojana, 2013; Chen et al., 2006)。Lee and Min (2015) 發現綠色研發投資與碳排放呈負向關係，且能提升企業財務表現。Zhang et al. (2022) 研究顯示，綠色專利數量與企業碳排放呈顯著負向關係，在高科技產業尤為明顯。

近年來學術界研究大致分為三類：綠色創新與碳排放的直接關係 (Lee & Min, 2015)、企業創新能力與碳減排關係 (Broadstock et al., 2020; Xie et al., 2019)，以及公司治理對碳排放的影響 (Yu et al., 2022)。然而，這些研究較少考慮企業內部因素如組織資本的調節作用。Abbas et al. (2019) 發現高組織資本企業在環境知識整合方面具顯著優勢，Li et al. (2024) 進一步證實高組織資本企業具備完善知識管理、靈活組織結構及積極環保文化等特質。

本研究針對現有文獻存在的三個主要缺口進行探討：綠色創新與碳排放量可能存在的非線性關係、組織資本作為調節變數的作用，以及不同產業背景下組織資本調節效果之差異。研究結果將為企業提供如何評估綠色創新的實際減排效果，優化組織資本以強化創新效果，以及依據產業特性制定差異化環境策略等具體建議。

1.2. 研究目的

本研究探討綠色創新對國內上市上櫃公司碳排放量的影響及組織資本的調節作用。具體目標包括：

- 一、檢視綠色創新與碳排放量之間的關係，探討台灣背景下綠色創新對減碳績效的影響。
- 二、檢視組織資本對碳排放量的直接影響，釐清其在企業環境績效中的獨立作用。
- 三、評估組織資本如何調節綠色創新對減碳效應之影響，揭示組織因素在企業永續發展中的關鍵作用。
- 四、比較高耗能與非高耗能產業在綠色創新與碳排放關係上的差異，為產業差異化減碳策略提供依據。
- 五、檢視組織資本在不同產業背景下對碳排放管理的差異化影響，為企業制定組織資本投資策略提供實證依據。

2. 文獻探討與假設推論

2.1. 文獻探討

2.1.1. 碳排放量

碳排放已成為全球關注的重要環境議題，影響企業經營策略及永續發展。當前最廣泛使用的碳排放分類框架來自世界資源研究所與世界企業永續發展委員會發布的溫室氣體盤查議定書，將企業碳排放分為三個範疇 (Hoffmann & Busch, 2008)。範疇一為企業直接排放；範疇二為能源間接排放；範疇三包含價值鏈上的其他間接排放，通常佔企業碳足跡最大比重 (Matthews et al., 2008)。

企業碳排放受多重因素影響。在企業特徵方面，大型企業通常具備更充裕資源投入環境管理系統 (Luo et al., 2013)。成立時間較長企業具有更成熟環境管理體系 (Cole et al., 2013)，而新興企業更容易採用創新環保技術 (Ghisetti & Rennings, 2014)。

綠色創新在企業碳排放管理中發揮關鍵作用。Lee and Min (2015) 研究發現，企業綠色研發投資與碳排放呈顯著負向關係，增加 1% 綠色研發投入時，碳排放密集度平均下降 0.3%。Zhang et al. (2022) 進一步指出，綠色專利數量成長與企業碳排放呈顯著負向關係。Singh et al. (2020) 則發現綠色創新除直接減碳效果外，還能帶來經濟效益，如降低生產成本、提升能源使用效率。

公司治理機制對企業碳排放管理具重要影響。De Villiers et al. (2011) 發現，擁有較多來自其他董事會執行長與法律專家之企業，展現較佳環境績效。Wright et al. (2007) 指出，持股經理人更傾向於預防氣候風險因素。Kim and Kim (2023) 發現經理人持股與氣候風險呈顯著負向關係。

財務表現與碳排放的關係亦受到關注。Clarkson et al. (2008) 指出，企業財務表現與環境表現間存在正向關係。Fujii et al. (2013) 發現獲利較高企業更傾向進行前瞻性環境投資。Trinks et al. (2020) 研究顯示，碳效率較佳之企業展現較優異財務績效，碳效率每提高 0.1 單位，平均可提升 1.0% 獲利能力。

產業特性也影響企業碳排放。Peng et al. (2018) 發現高耗能產業面臨更大減碳壓力和更高減碳成本。Cainelli et al. (2013) 指出高技術產業通常具有更高能源使用效率和更低碳排放量。Böttcher and Müller (2015) 則發現產業鏈上游企業通常面臨更直接減排壓力。

外部環境因素對企業碳排放影響日益顯著。強制性碳信息揭露要求能促進企業改善碳管理實務 (Luo et al., 2013)。碳交易機制參與企業表現出更積極減排行為 (Zhang et al., 2019)。環境稅收政策能有效促進企業進行清潔技術創新 (Ren et al., 2021)。

企業若欲透過綠色創新達成減碳目標，必須建立完整溫室氣體盤查與管理機制，訂定具體減碳目標，並規劃分階段執行計畫。此系統性創新管理方法不僅能幫助企業實現減碳目標，更能創造長期競爭優勢。

2.1.2. 綠色創新

綠色創新已成為企業因應環境挑戰的關鍵策略。Porter and van der Linde (1995) 首先提出環境創新可同時實現環境保護與經濟效益的雙贏策略。Chen et al. (2006) 將綠色創新定義為涵蓋產品、製程、技術及管理面向之創新

活動。Aguilera-Caracuel and Ortiz-de-Mandojana (2013) 強調綠色創新應整合節能、防污及廢棄物回收等技術創新，此整合性觀點突顯綠色創新不僅提升企業財務績效，更能創造環境與社會效益。

Horbach et al. (2012) 指出綠色創新較傳統創新平均需多 40% 研發時間和 1.5 倍資本投入，源於技術複雜性、法規要求、市場不確定性及基礎設施依賴。Acemoglu et al. (2012) 發現長期而言，綠色創新對企業價值的提升效果比傳統創新高出約 15-20%，效益來自資源效率提高、合規成本降低及品牌價值強化。

Lee and Min (2015) 研究顯示，綠色研發投入每增加 1%，碳排放量平均降低 0.3%。Singh et al. (2020) 提出綠色創新與環境績效間可能存在非線性關係，創新初期企業可能需進行系統調整而暫時增加能源消耗，綠色創新達一定水準後減碳效果才會顯現。

在台灣產業環境中，Chen et al. (2020) 研究顯示，台灣企業憑藉深厚技術基礎在發展低碳技術方面具獨特優勢。Liu et al. (2024) 發現台灣企業綠色創新正從傳統末端治理轉向全流程管理。Zhang et al. (2019) 指出，擁有較高綠色創新能力的企業碳排放量平均比同業低 15-20%。

企業治理結構對綠色創新也具重要影響。Wang et al. (2021) 指出董事會結構會影響公司創新策略。董事具獨立性可減少管理自由裁量權，避免研發投資操縱 (Garcia Osma, 2008)。

2.1.3. 組織資本

組織資本作為企業無形資產的重要組成，近年受到高度重視。Evenson and Westphal (1995) 首次將組織資本定義為企業整合人才與有形資源時所依賴的知識基礎、專業技能及系統。Atkeson and Kehoe (2005) 指出，組織資本在美國無形資產現金流中佔比超過 40%。Lev et al. (2009) 將組織資本視為企業績效的核心驅動力，定義其為公司知識、能力、文化、流程與系統的存量。Bloom et al. (2012) 通過對 35 個國家 12,000 家企業的調查，發現組織資本差異可解釋企業間生產力差距約 30%。

從資源基礎理論視角，Barney (1991) 提出的 VRIN 框架強調具價值性、稀少性、難以模仿性和不可替代性特徵的資源能帶來持續競爭優勢。Crook et al. (2011) 整合 125 篇實證研究，發現符合 VRIN 特徵的組織資本與企業績效間存在顯著正向關係。

在組織資本特性方面，Carlin et al. (2012) 指出，組織資本能促進人力資本與企業資產間良性互動，提高績效並降低員工流動率。Eisfeldt and Papanikolaou (2013) 發現高組織資本企業的平均報酬率比低組織資本者高出約 4.6%。Hasan (2018) 認為組織資本深植於企業系統與流程中，難以隨員工離職流失。Peters and Taylor (2017) 闡述組織資本的具體構成，包括生產組織、產品定位、品牌建設、營銷活動等。

在衡量方面，Brynjolfsson et al. (2002) 指出組織資本特性模糊不清、特殊且複雜，難以量化。Lev and Radhakrishnan (2005) 首次提出利用銷售、一般及管理費用 (SG&A) 為基礎的資本化方法。Peters and Taylor (2017) 對此方法改進，提出更精確的計算公式。近期研究如 Cui et al. (2021)、Francis et al. (2021) 均延續使用企業 SG&A 費用作為衡量指標。

組織資本在環境管理中扮演重要角色。Ghisetti and Rennings (2014) 發現管理創新在企業環境績效改善中發揮關鍵作用。Matsumura et al. (2014) 指出，組織資本較高的企業往往能更好實施碳減排措施。Kanagaretnam et al. (2022) 發現氣候風險與組織資本呈顯著負向關係。Provaty et al. (2024) 研究發現組織資本能降低溫室氣體排放量，且這一關係在環境法規較嚴格的產業中表現更明顯。

組織資本在促進綠色創新方面也發揮重要作用。Subramaniam and Youndt (2005) 發現組織資本通過促進知識累積與轉化，能顯著提升企業創新能力。Bloom et al. (2012) 指出高組織資本企業傾向投資資訊化與數位化，提升效率並減少資源浪費。Chen and Hung (2014) 認為組織資本能促進環境管理知識的有效傳播和應用。Abbas et al. (2019) 強調組織學習在環境創新過程中的重要性。Song et al. (2023) 指出組織資本通過提升企業環境管理能力和創新效率，能顯著加速企業低碳轉型進程。

2.2. 假設推論

2.2.1. 綠色創新與碳排放

綠色創新對企業碳排放之影響已獲諸多實證研究支持。Testa et al. (2011) 研究指出，環境法規壓力下，企業傾向增加綠色創新投資以提升能源效率。Zhang et al. (2017) 實證分析顯示，具備綠色專利之企業碳排放量較無綠色專利者平均減少 17.8%。Hojnik et al. (2018) 發現製程創新主要透過提升生產效率達成減排目標，而產品創新則藉由產品生命週期優化實現碳減量。Demirel and Kesidou (2019) 研究發現，企業環境研發支出每增加 1%，碳排放量平均下降 0.4%。Barbieri et al. (2020) 研究指出，擁有綠色專利之企業碳排放量較無綠色專利者平均低 15%。

然而，學界近年開始關注綠色創新與碳排放間可能存在之非線性關係。Acemoglu et al. (2012) 較早提出技術創新雖促進經濟發展，卻可能增加碳排放。Du et al. (2019) 發現綠色技術創新對碳排放之減緩效果存在單一閾值效應，僅當經濟體收入超過高門檻時，減排效果方顯著。Razzaq (2021) 之跨國研究也發現，綠色創新僅在存在高碳排放水準時方能有效減緩碳排。據此，本研究提出假設 1：

H1：企業綠色創新程度與碳排放量之間呈現非線性關係。

2.2.2. 組織資本與碳排放

Yu et al. (2017) 指出，企業的組織能力與其環境創新策略的執行效果密切相關。Liang and Liu (2017) 研究發現，企業環境管理能力越佳，除可提升環境績效外，亦可提高經濟績效。謝宜蓁等 (2023) 研究發現，組織資本能夠強化企業的環境管理效能。Provaty et al. (2024) 研究指出，組織資本與溫室氣體排放呈負向關係。據此，本研究提出假設 2：

H2：企業組織資本與碳排放量之間呈現負向關係。

2.2.3. 組織資本之調節效果

Subramaniam and Youndt (2005) 指出，組織資本通過促進知識的累積與轉化，能提升企業的創新效率。Chen and Huang (2009) 認為，高組織資本企業具備更完善的知識管理體系。Carmeli and Azeroual (2009) 發現，組織資本能提升企業在環境創新方面的執行效果。Han and Li (2015) 發現，組織資本較高的企業在技術創新轉化為實際效益方面表現更佳。Delmas and Pekovic (2018) 研究發現，高組織資本企業在環境管理系統的實施效果上明顯優於其他企業。據此，本研究提出假設 3：

H3：組織資本能夠強化綠色創新對碳排放量的減緩效果。

2.2.4. 產業特性的影響

Jaffe and Palmer (1997) 發現，高耗能產業在環境創新方面的投入較大。Cole et al. (2013) 證實，不同產業在碳排放管理上呈現顯著差異。Martin et al. (2013) 研究發現，高耗能產業對碳價格的敏感度更高，更積極投入低碳技術創新。Dechezleprêtre and Sato (2017) 證實，高耗能產業通過持續綠色創新投入，不僅能實現減排目標，還能提升長期競爭力。Klemetsen et al. (2020) 研究發現，在歐盟碳排放交易體系下，高耗能產業表現出更強的減排動力及顯著的綠色創新效果。據此，本研究提出假設 4：

H4：產業特性能夠調節綠色創新與碳排放之間的關係。

2.2.5. 組織資本在產業特性與碳排放量關係中的調節作用

Hart (1995) 指出，企業環境能力之價值取決於所處產業環境。Boiral et al. (2012) 發現組織資本對環境管理之影響在資源密集型產業中更為顯著。Liu et al. (2018) 強調組織資本在高耗能產業中促進跨部門協作之關鍵作用。He et al. (2022) 研究發現，在高碳排放產業中，良好碳管理對企業價值貢獻更大。Provaty et al. (2024) 發現，組織資本與溫室氣體排放間負向關係在碳敏感產業中更為顯著。據此，本研究提出假設 5：

H5：組織資本會調節產業特性與碳排放量間關係，在高耗能產業中，組織資本對降低碳排放強度之效果將更為顯著。

3. 研究設計

3.1. 樣本選擇與資料來源

本研究以 2016 年至 2023 年國內上市上櫃公司為研究對象，選擇 2016 年為起點主要基於《巴黎協定》簽署及台灣實施「溫室氣體減量及管理法」。研究期間延伸至 2023 年考慮近年國際供應鏈對台企減碳要求日益嚴格，以及歐盟 CBAM 將於 2026 年正式實施。

選取台灣作為研究對象基於三點：台灣企業面臨國際供應鏈減碳壓力；台灣政府提出 2050 年淨零排放目標；台灣企業在技術創新方面具優勢，為研究綠色創新與碳排放關係提供良好情境。

研究資料主要來源為台灣經濟新報 (TEJ) 資料庫，包括企業基本資料、財務報表數據、研發支出、銷管費用、碳排放數據及綠色創新資料。剔除資料缺漏及金融保險業後，獲得 7,206 筆有效企業年樣本。

3.2. 變數定義與衡量

3.2.1. 依變數

本文採用碳排放強度 (Carbon Emission Intensity, *CEI*) 做為碳排放量的代理指標，定義為企業年度碳排放總量 (範疇一及範疇二之總和) 除以年度總資產，計量單位為每單位資產的二氧化碳當量 ($\text{tCO}_2\text{e}/\text{總資產}$) (Jiang et al., 2022; Wang & Zheng, 2021)。較高的比值代表較高的碳排放密集度。此衡量方法具有兩大優點：符合 ISO14064-1 國際標準，確保數據可信度與一致性；透過標準化處理，有效控制企業規模差異影響，使不同規模企業碳排放表現具可比性。

依循溫室氣體盤查議定書 (GHG Protocol)，本研究聚焦企業可直接控制的第一範疇 (企業擁有或控制之排放源的直接排放) 及第二範疇 (外購電力等能源使用產生的間接排放)。碳排放量定義為營運活動產生的七種溫室氣體排放總量，換算為二氧化碳當量，依據環保署「溫室氣體排放量盤查登錄管理辦法」規範，彙整企業申報及經查證的數據，資料來源為 TEJ 資料庫。

3.2.2. 自變數

3.2.2.1. 綠色創新 (*GI*)

本研究以企業獲得碳排放相關環境管理認證數量做為綠色創新的測量指標，包括 BS 8001、CNS 14064 系列、ISO 14021、ISO 14064 系列、ISO 14067 及 PAS 2050 等國際認證標準。相關研究顯示，環境認證數量不僅反映企業符合環境標準的能力，更代表其在綠色技術研發、流程改進及環境友善設計等創新活動的投入 (Inoue et al., 2013; Gu, 2023; Peng and Liu, 2016)。本研究將企業每年取得的認證數量加總後取自然對數，以減輕數據偏態。

3.2.2.2. 組織資本 (*OCA*)

本研究參考 Eisfeldt and Papanikolaou (2013) 及 Peters and Taylor (2017) 的方法，將銷售、一般業務與管理費用 (SG&A) 資本化以計算組織資本存量。過去研究認為 SG&A 支出包含資訊系統開發、員工培訓、研發等支出，能形成並反映組織資本的功能 (Hasan & Cheung, 2018; Leung et al., 2018)。組織資本密度 (*OCA*) 定義為組織資本除以總資產，有助於不同規模企業間的比較。

3.2.2.3. 產業特性 (*IND*)

本研究將樣本企業區分為高耗能產業與低耗能產業。高耗能產業主要包括水泥業、石化產業、鋼鐵業、紡織工業及電子產業，採用虛擬變數進行分類 (Marin & Vona, 2019)。

3.2.2.4. 其他變數

企業規模 (*SIZE*)：總資產取自然對數 (Luo et al., 2013)；負債比率 (*LEV*)：總負債除以總資產 (Xie et al., 2019)；研發密集度 (*RD*)：研發支出除以營業收入 (Lee and Min, 2015)；資本密集度 (*CAPEX*)：資本支出除以總資產 (Delmas et al., 2015)；資產報酬率 (*ROA*)：稅後淨利除以總資產 (Fujii et al., 2013)；自由現金流量 (*FCF*)：依 Jensen (1986) 定義計算；經理人持股 (*OWN*)：經理人持股佔流通在外普通股比率 (Oyerogba and Ogungbade, 2020)；董事會獨立性 (*INDDIR*)：獨立董事席次佔董事會總席次比率 (De Villiers et al., 2011)；董事長兼任總經理 (*DUALITY*)：虛擬變數 (Arena et al., 2014)；社會構面績效 (*SOC*)：採用台灣經濟新報 ESG 資料庫社會構面評分 (El Ghoul et al., 2011)；公司年齡 (*AGE*)：企業成立至觀察年度的年數 (Cole et al., 2013)。

4. 實證結果

4.1. 敘述性統計分析

4.1.1. 描述性統計量

本研究包括 7,206 筆有效公司年樣本。碳排放量 (*CEI*) 平均數為 0.004，中位數為 0.001，標準差為 0.012，顯示個別樣本碳排放量與平均數有一定差距。綠色創新 (*GI*) 平均數為 0.168，標準差為 0.362，第一四分位數、中位數與第三四分位數皆接近 0，反映大多數企業獲得的碳排放認證較少，僅少數企業獲得較多認證。組織資本 (*OCA*) 平均數為 1.082，標準差達 2.525，凸顯樣本企業組織資本存在顯著差異。

產業特性 (*IND*) 平均數為 0.596，意即約 59.6% 研究樣本屬高耗能產業，符合台灣產業結構特點。企業規模 (*SIZE*) 平均數為 15.991，標準差為 1.521，呈現樣本企業規模適度分散。負債比率 (*LEV*) 平均值為 0.424；研發密集度 (*RD*) 平均數為 0.029，意即企業平均投入營收的 2.9% 於研發活動；資本密集度 (*CAPEX*) 平均數為 0.419，顯示樣本企業資本投入比率較高。

資產報酬率 (*ROA*) 平均數為 0.047；自由現金流量 (*FCF*) 平均數為 0.111，說明樣本企業整體現金流狀況良好；經理人持股 (*OWN*) 平均數僅 0.009，呈現台灣上市櫃公司經理人持股比例普遍偏低；獨立董事比例 (*INDDIR*) 平均數為 0.366；董事長兼任總經理 (*DUALITY*) 平均數為 0.305；公司社會構面績效 (*SOC*) 平均數為 58.387；企業年齡 (*AGE*) 平均數為 3.490，顯示樣本企業多為成熟企業。

總體而言，本研究樣本在主要變數上均呈現一定程度的變異性，為後續實證分析提供良好基礎。

表 4-1 敘述性統計量

Variable	平均數	標準差	第 1 四分位數	中位數	第 2 四分位數	樣本數
<i>CEI</i>	.004	.012	.000	.001	.003	7,206
<i>GI</i>	.168	.362	.000	.000	.000	7,206
<i>OCA</i>	1.082	2.525	.451	.806	1.321	7,206
<i>IND</i>	.596	.491	.000	1.000	1.000	7,206
<i>SIZE</i>	15.991	1.521	14.919	15.827	16.857	7,206
<i>LEV</i>	.424	.180	.291	.424	.550	7,206
<i>RD</i>	.029	.046	.002	.014	.037	7,206
<i>CAPEX</i>	.419	.207	.263	.406	.566	7,206
<i>ROA</i>	.047	.090	.014	.044	.081	7,206
<i>FCF</i>	.111	.159	.043	.100	.174	7,206
<i>OWN</i>	.009	.017	.000	.003	.009	7,206
<i>INDDIR</i>	.366	.094	.300	.333	.429	7,206
<i>DUALITY</i>	.305	.461	.000	.000	1.000	7,206
<i>SOC</i>	58.387	11.128	50.210	58.080	66.093	7,206
<i>AGE</i>	3.490	.450	3.219	3.526	3.829	7,206

4.1.2. 中位數分組下之樣本統計量

a) 綠色創新水準分組樣本統計

根據綠色創新水準的中位數分組分析，高綠色創新組碳排放量 (*CEI*) 平均為 0.007，顯著高於低綠色創新組的 0.003，與理論預期不符，暗示綠色創新與碳排放可能存在非線性關係。高綠色創新組組織資本 (*OCA*) 平均為 0.848，低於低綠色創新組的 1.138，顯示高綠色創新企業反而組織資本水準較低。高綠色創新組中高耗能產業佔比 0.726，明顯高於低綠色創新組的 0.565，說明高耗能產業通常投入較多綠色創新。

在企業特徵方面，高綠色創新組的企業規模 (*SIZE*)、負債比率 (*LEV*) 及資本密集度 (*CAPEX*) 均顯著高於低綠色創新組，說明大型企業、財務槓桿較高企業及高資本密集企業更傾向投入綠色創新。高綠色創新組研發密集

度 (RD) 反而低於低綠色創新組，可能反映傳統研發與環境創新間存在不同發展路徑。高綠色創新組自由現金流量 (FCF) 顯著高於低綠色創新組，顯示財務資源充裕企業更有能力投入綠色創新。

公司治理方面，高綠色創新組經理人持股 (OWN) 及董事長兼任總經理 (DUALITY) 均顯著低於低綠色創新組，顯示權力分散的治理結構可能更有利於環境創新。高綠色創新組社會構面績效 (SOC) 遠高於低綠色創新組，支持綠色創新與企業社會責任表現間存在良性互動。

b) 組織資本水準分組樣本統計

高組織資本組碳排放量 (CEI) 平均為 0.002，顯著低於低組織資本組的 0.006，支持組織資本能有效改善碳排放表現。高組織資本組綠色創新 (GI) 平均為 0.135，低於低組織資本組的 0.201，說明組織資本較高企業反而較少尋求綠色創新認證。高組織資本組中高耗能產業佔比 0.623，高於低組織資本組的 0.570。

企業特徵方面，高組織資本組企業規模 (SIZE) 顯著小於低組織資本組，負債比率 (LEV) 也顯著較低，顯示中小型企业可能在組織效能方面更具優勢，且財務槓桿較低有助於組織資本發展。高組織資本組研發密集度 (RD) 高達 0.047，遠高於低組織資本組的 0.012，強烈證實組織資本與創新能力間的正向關聯。

公司治理方面，高組織資本組經理人持股 (OWN)、獨立董事比例 (INDDIR) 及董事長兼任總經理 (DUALITY) 均顯著高於低組織資本組，顯示良好公司治理有助於組織資本累積。高組織資本組企業年齡 (AGE) 顯著低於低組織資本組，揭示較年輕企業可能更具組織靈活性。

c) 產業特性分組樣本統計

高耗能產業 (N=4,296) 平均碳排放量 (CEI) 為 0.003，反而低於低耗能產業 (N=2,910) 的 0.004。高耗能產業綠色創新 (GI) 平均為 0.203，顯著高於低耗能產業的 0.116，發現高耗能產業更積極投入綠色創新。高耗能產業組織資本 (OCA) 平均為 1.038，低於低耗能產業的 1.147，但差異未達顯著。

高耗能產業企業規模 (SIZE) 顯著大於低耗能產業，但負債比率 (LEV) 較低，反映更保守的財務政策。高耗能產業研發密集度 (RD) 顯著高於低耗能產業，支持其面對較大環境壓力時更積極投入研發創新。高耗能產業資產報酬率 (ROA) 及自由現金流量 (FCF) 均高於低耗能產業，顯示其良好的獲利能力可支持環境投資。

公司治理方面，高耗能產業經理人持股 (OWN)、獨立董事比例 (INDDIR) 及董事長兼任總經理 (DUALITY) 均顯著高於低耗能產業，顯示高耗能產業更注重公司治理以應對較高環境風險。

總體而言，高耗能產業儘管面臨更大環境挑戰，透過積極投入綠色創新與研發活動，反而實現較佳的碳排放管理，展現環境壓力能有效推動企業環境績效改善。

表 4-2： *GI*、*OCA*、*IND* 中位數分組下之樣本統計量

	高 <i>GI</i> 低 <i>GI</i>			高 <i>OCA</i> 低 <i>OCA</i>			高 <i>IND</i> 低 <i>IND</i>		
	N = 1392 N = 5814			N = 3605 N = 3601			N = 4296 N = 2910		
Variable	平均數	平均數	t-value	平均數	平均數	t-value	平均數	平均數	t-value
<i>CEI</i>	0.007	0.003	9.560***	0.002	0.006	-13.826***	0.003	0.004	-2.695**
<i>GI</i>	—	—	—	0.135	0.201	-7.762***	0.203	0.116	10.557***
<i>OCA</i>	0.848	1.138	-6.902***	—	—	—	1.038	1.147	-1.506
<i>IND</i>	0.726	0.565	11.851***	0.623	0.57	4.607***	—	—	—
<i>SIZE</i>	17.007	15.747	27.350***	15.467	16.515	-31.164***	16.033	15.929	2.831**
<i>LEV</i>	0.439	0.421	3.669***	0.402	0.447	-10.716***	0.408	0.447	-8.786***
<i>RD</i>	0.025	0.03	-4.626***	0.047	0.012	34.612***	0.038	0.017	20.145***
<i>CAPEX</i>	0.478	0.405	12.840***	0.379	0.459	-16.857***	0.384	0.47	-17.086***
<i>ROA</i>	0.048	0.047	0.605	0.047	0.047	-0.258	0.05	0.043	3.491***
<i>FCF</i>	0.136	0.105	7.287***	0.107	0.115	-2.155*	0.116	0.104	2.931**
<i>OWN</i>	0.006	0.009	-6.284***	0.011	0.006	4.583***	0.01	0.006	12.215***
<i>INDDIR</i>	0.36	0.368	-2.768**	0.371	0.361	4.469***	0.373	0.356	7.435***
<i>DUALITY</i>	0.252	0.318	-5.014***	0.33	0.281	-5.510***	0.324	0.278	4.186***
<i>SOC</i>	65.181	56.76	26.573***	57.666	59.108	-11.596***	57.893	59.116	-4.551***
<i>AGE</i>	3.57	3.471	7.357***	3.429	3.551	-13.826***	3.435	3.572	-12.397***

變數定義請參照表 4-1；

***, **, * 分別表示 1%、5%及 10%統計顯著水準。

4.2. 模型檢驗分析

4.2.1. 綠色創新、組織資本與碳排放量

本研究構建模型 (1) 檢驗綠色創新、組織資本與企業碳排放量之間的關係：

$$\begin{aligned}
 CEI_{it} = & \beta_0 + \beta_1 GI_{it} + \beta_2 GI_{it}^2 + \beta_3 OCA_{it} + \beta_4 IND_{it} + \beta_5 SIZE_{it} + \beta_6 LEV_{it} + \beta_7 RD_{it} + \beta_8 C \\
 & + \beta_9 ROA_{it} + \beta_{10} FCF_{it} + \beta_{11} OWN_{it} + \beta_{12} INDDIR_{it} + \beta_{13} DUALITY_{it} + \beta_1 \\
 & + \beta_{15} AGE_{it} + Year FE + \varepsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{1}$$

其中，(*CEI*) 為碳排放量；(*GI*) 為綠色創新變數，(*GI*²) 為綠色創新變數平方項，用以捕捉可能存在的非線性關係；(*OCA*) 為組織資本。控制變數包括產業特性 (*IND*)、公司規模 (*SIZE*)、負債比率 (*LEV*)、研發密集度 (*RD*)、資本密集度 (*CAPEX*)、資產報酬率 (*ROA*)、自由現金流量 (*FCF*)、經理人持股比例 (*OWN*)、董事會獨立性 (*INDDIR*)、董事長兼任總經理 (*DUALITY*)、社會構面績效 (*SOC*) 及公司年齡 (*AGE*)。同時，本文也在模型

中納入年度固定效果 (Year FE) 進行控制。茲將分析結果整理於表 4-3。

分析結果顯示，綠色創新 (GI) 係數為 0.255 ($t=5.015$)，綠色創新平方項 (GI^2) 係數為-0.141，均達統計顯著水準，支持假說 1。這揭示綠色創新與碳排放量呈現倒 U 型關係，綠色創新必須達到 0.904 ($(0.255/-0.141/2)$) 的水準才能有效降低碳排放。此結果揭示綠色創新對碳排放存在「門檻效應」，企業需累積一定程度的投入才能實現減碳，與 Singh et al. (2020) 的觀點一致。

組織資本 (OCA) 係數為-0.032 ($t=-2.703$)，支持假說 2，展現組織資本能有效降低企業碳排放。組織資本代表公司內部知識、能力與系統的存量，有助於人力與實體資本的配適 (Eisfeldt & Papanikolaou, 2013)，使企業能更有效配置資源，優化生產流程，從而降低碳排放。

控制變數方面，負債比率 (LEV) 係數為-0.042 ($t=-3.216$)，顯示財務槓桿較高企業可能因面臨更多外部監督而更積極管理碳排放。研發密集度 (RD) 係數為-0.061 ($t=-4.683$)，說明研發投入較高企業通常擁有較低碳排放，支持 Lee and Min (2015) 的研究發現。資本密集度 (CAPEX) 係數為 0.151 ($t=11.488$)，反映資本密集型企業通常產生較高碳排放。經理人持股 (OWN) 係數為-0.037 ($t=-3.105$)，支持 Kim and Kim (2023) 的發現，即經理人持股比例越高，越可能採取積極減碳行動。董事會獨立性 (INDDIR) 係數為-0.043 ($t=-3.418$)，揭示董事會獨立性提升有助於強化企業環境治理。

本研究結果具重要意涵：首先，綠色創新與碳排放的倒 U 型關係暗示企業應堅持長期環境投入策略，初期投入可能暫時增加碳排放；其次，組織資本對碳排放的負向影響，提醒企業應重視無形資產積累，強化內部知識管理與流程優化，以提升環境績效。

4.2.2. 組織資本對綠色創新與碳排放兩者關係之影響

本單元探討組織資本在綠色創新與碳排放量關係中的調節作用，建構模型 (2) 檢驗假說 3：

$$\begin{aligned} CEI_{it} = & \beta_0 + \beta_1 GI_{it} + \beta_2 GI_{it}^2 + \beta_3 OCA_{it} + \beta_4 (OCA_{it} \times GI_{it}) + \beta_5 (OCA_{it} \times GI_{it}^2) + \beta_6 AGE_{it} \\ & + \beta_7 RD_{it} + \beta_8 DUALITY_{it} + \beta_9 IND_{it} + \beta_{10} LEV_{it} + \beta_{11} ROA_{it} + \beta_{12} CAPEX_{it} \\ & + \beta_{13} OWN_{it} + \beta_{14} INDDIR_{it} + \beta_{15} SIZE_{it} + \beta_{16} FCF_{it} + \beta_{17} SOC_{it} + Year\, FE \end{aligned} \quad (2)$$

分析結果顯示，綠色創新 (GI) 係數為 0.424 ($t=5.735$)，綠色創新平方項 (GI^2) 係數為-0.225 ($t=-3.083$)，均達 1%顯著水準，進一步支持綠色創新與碳排放呈倒 U 字型關係。組織資本 (OCA) 係數為-0.024 ($t=-2.022$)，支持假說 2，顯示組織資本能有效降低企業碳排放。

關鍵發現是組織資本與綠色創新一次項的交乘項 ($OCA \times GI$) 係數為-0.229 ($t=-3.136$)，達顯著水準，說明組織資本能強化綠色創新對碳排放的減緩效果，支持假說 3。具體而言，當企業組織資本水準較高時，綠色創新對碳排放的減緩效果更為顯著，特別是在綠色創新達到較高水準階段。此結果呼應 Subramaniam and Youndt (2005) 的研究，組織資本通過知識累積與轉化提升創新能力，尤其在環境技術方面。亦支持 Abbas et al. (2019) 觀點，高組織資本企業能更有效整合環境知識，強化碳減排規劃與執行。

控制變數方面，負債比率 (LEV) 係數為-0.038 ($t=-2.887$)，呈顯著負向關係，指出財務槓桿較高企業往往更積極管理碳排放。研發密集度 (RD) 係數為-0.050 ($t=-3.839$)，支持 Lee and Min (2015) 的研究發現。資本密集度 (CAPEX) 係數為 0.144 ($t=10.994$)，與 Peng et al. (2018) 發現一致，即資本密集型企業因設備較多，通常面臨較高碳排放挑戰。經理人持股 (OWN) 係數為-0.035 ($t=-2.922$)，支持 Kim and Kim (2023) 的研究，經理人持股較高時傾向更積極採取減碳行動。董事會獨立性 (INDDIR) 係數為-0.038 ($t=-3.023$)，與 de Villiers et al. (2011) 發現一致，董事會獨立性提升能強化企業環境治理。

整體模型調整後 R^2 為 0.071，F 統計量為 23.880 ($p<.01$)，顯示模型具統計顯著性。

本研究發現具重要意涵：組織資本強化綠色創新對碳排放的減緩效果，與 Teece (2019) 觀點一致，即組織資本是企業發展動態能力的重要基礎。企業應同時重視綠色創新投入與組織資本建設，建立支持創新的組織文化、優化管理流程並強化知識管理系統，以提升綠色創新實施效率，加速實現減碳目標。

4.2.3. 產業屬性對綠色創新與碳排放兩者關係之影響

本單元分析產業特性在綠色創新與碳排放量關係中的調節角色，建構模型 (3)：

$$\begin{aligned} CEI_{it} = & \beta_0 + \beta_1 GI_{it} + \beta_2 GI_{it}^2 + \beta_3 OCA_{it} + \beta_4 IND_{it} + \beta_5 (IND_{it} \times GI_{it}) + \beta_6 (IND_{it} \times GI_{it}^2) + \beta_7 SIZE_{it} \\ & + \beta_8 LEV_{it} + \beta_9 RD_{it} + \beta_{10} CAPEX_{it} + \beta_{11} ROA_{it} + \beta_{12} FCF_{it} + \beta_{13} OWN_{it} \\ & + \beta_{14} INDDIR_{it} + \beta_{15} DUALITY_{it} + \beta_{16} SOC_{it} + \beta_{17} AGE_{it} + Year FE + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

分析結果顯示，綠色創新 (GI) 係數為 0.473 ($t=4.883$)，綠色創新平方項 (GI^2) 係數為-0.346，均達 1%顯著水準，再次確認綠色創新與碳排放量呈倒 U 字型關係，綠色創新水準需達到 0.683 ($0.473/-0.346/2$) 才能有效降低碳排放量。組織資本 (OCA) 係數為-0.032 ($t=-2.692$)，顯示組織資本能有效降低企業碳排放。

關鍵發現是產業特性與綠色創新一次項的交互項 ($IND \times GI$) 係數為-0.260 ($t=-2.645$)，產業特性與綠色創新平方項的交互項 ($IND \times GI^2$) 係數為 0.243，均達統計顯著水準。此結果顯示高耗能產業中綠色創新對碳排放的減緩效果反而更強，與假說 4 預期不符。可能原因是高耗能產業面臨更嚴格環境監管 (Marin & Vona, 2019)，以及較大減排壓力導致更積極投入環境技術研發 (Klemetsen et al., 2020)，因而能更有效將綠色創新轉化為實質減碳成效。

控制變數方面，負債比率 (LEV) 係數為-0.042 ($t=-3.244$)，與 Trinks et al. (2020) 研究一致。研發密集度 (RD) 係數為-0.061 ($t=-4.703$)，支持 Lee and Min (2015) 觀點，即研發投入促進企業環境績效提升。資本密集度 ($CAPEX$) 係數為 0.150 ($t=11.471$)，符合 Peng et al. (2018) 研究發現，反映資本密集型企業因生產設備較多而面臨較高碳排放。經理人持股 (OWN) 係數為-0.037 ($t=-3.072$)，支持 Kim and Kim (2023) 觀點，即持股管理者更傾向預防氣候風險。董事會獨立性 ($INDDIR$) 係數為-0.043 ($t=-3.399$)，與 de Villiers et al. (2011) 研究一致，顯示獨立董事有助於強化企業環境治理。

模型的調整後 R^2 為 0.065， F 統計量為 21.913 ($p<.01$)，顯示模型具合理解釋能力。

此發現雖與假說 4 預期不符，但反映高耗能產業在環境壓力下可能採取更積極有效的減碳措施。如 Dechezleprêtre and Sato (2017) 指出，高耗能產業雖面臨較大環境合規成本，但通過持續綠色創新投入，不僅能實現減排目標，更能提升長期競爭力。這一結果對政策制定者與企業管理者均具重要啟示，說明環境監管壓力確實能促進企業環境創新與績效改善。

4.2.4. 組織資本對產業特性與碳排放兩者關係之影響結論與建議

本單元探討組織資本在產業特性與碳排放量關係中的調節作用，建構模型(4)

$$\begin{aligned} CEI_{it} = & \beta_0 + \beta_1 GI_{it} + \beta_2 GI_{it}^2 + \beta_3 OCA_{it} + \beta_4 IND_{it} + \beta_5 (OCA_{it} \times IND_{it}) + \beta_6 AGE_{it} + \beta_7 RD_{it} \\ & + \beta_8 DUALITY_{it} + \beta_9 LEV_{it} + \beta_{10} ROA_{it} + \beta_{11} CAPEX_{it} + \beta_{12} OWN_{it} + \beta_{13} INDDIR_{it} \\ & + \beta_{14} SIZE_{it} + \beta_{15} FCF_{it} + \beta_{16} SOC_{it} + Year FE + INDustry FE + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (4)$$

分析結果顯示，綠色創新 (GI) 係數為 0.255 ($t=5.009$)，綠色創新平方項 (GI^2) 係數為-0.140，均達 1%顯著水準，再次確認綠色創新與碳排放量呈倒 U 字型關係，綠色創新水準需達到 0.911 ($0.255/-0.140/2$) 才能有效降低碳排放。組織資本 (OCA) 係數為-0.026 ($t=-2.206$)，顯示組織資本對企業碳排放具正面影響。

關鍵發現是產業特性與組織資本的交乘項 ($OCA \times IND$) 係數為-0.053 ($t=-2.894$)，達 1%顯著水準，支持假說 5。此結果發現組織資本對碳排放的影響在高耗能與非高耗能產業間存在顯著差異，具體而言，組織資本在高耗能產業中的減碳效果更為顯著。此發現與 Provaty et al. (2024) 研究一致，即組織資本與溫室氣體排放的負向關係在碳敏感產業中更為明顯。同時支持 Jiang et al. (2018) 觀點，在高環境敏感度產業中，組織能力對企業環境績效的影響更為顯著。

控制變數方面，負債比率 (*LEV*) 係數為-0.039 ($t=-2.956$)，與 Trinks et al. (2020) 研究一致。研發密集度 (*RD*) 係數為-0.040 ($t=-2.742$)，支持 Lee and Min (2015) 發現，研發投入促進企業環境績效提升。資本密集度 (*CAPEX*) 係數為 0.147 ($t=11.171$)，與 Peng et al. (2018) 研究一致。經理人持股 (*OWN*) 係數為-0.037 ($t=-3.087$)，支持 Kim and Kim (2023) 論點，經理人持股較高時更重視長期環境風險管理。董事會獨立性 (*INDDIR*) 係數為-0.042 ($t=-3.339$)，與 de Villiers et al. (2011) 研究一致，董事會獨立性提升強化企業環境治理。

模型的調整後 R^2 為 0.065， F 統計量為 22.927 ($p<.01$)，顯示模型具合理解釋能力。本研究證實組織資本在高耗能產業的減碳效果更顯著，具多重意涵。從理論角度，高耗能產業因面臨較大環境壓力，組織資本價值得以充分發揮，支持 Wu et al. (2021) 研究，發現碳密集產業中組織資本對減排影響更顯著。從實務角度，高耗能產業應強化組織資本建設，包括知識管理與跨部門協作；政策制定者可針對高耗能產業提供組織能力建設支持，以加速產業綠色轉型進程。

表 4-3：實證結果

註: ***表示據 1%顯著水準，**表示據 5%顯著水準，*表示據 10%顯著水準。

INdependent variable	CEI							
	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	係數	t 值	係數	t 值	係數	t 值	係數	t 值
<i>Intercept</i>		3.040		3.304		3.076		3.277
<i>GI</i>	.255***	5.015	.424***	5.735	.473***	4.883	.255 ***	5.009
<i>GI</i> ²	-.141**	-2.798	-.225***	-3.083	-.346***	-3.598	-.140 **	-2.782
<i>OCA</i>	-.032**	-2.703	-.024**	-2.022	-.032**	-2.692	-.026 *	-2.206
<i>OCA</i> × <i>GI</i>	—	—	-.229***	-3.136	—	—	—	—
<i>OCA</i> × <i>GI</i> ²	—	—	.118*	1.616	—	—	—	—
<i>IND</i> × <i>GI</i>	—	—	—	—	-.260**	-2.645	—	—
<i>IND</i> × <i>GI</i> ²	—	—	—	—	.243*	2.500	—	—
<i>OCA</i> × <i>IND</i>	—	—	—	—	—	—	-.053**	-2.894
<i>IND</i>	-.007**	-.529	-.009	-.724	.002	.147	.023	1.445
<i>SIZE</i>	.004	.251	-.007	-.429	.002	.118	-.007	-.416
<i>LEV</i>	-.042***	-3.216	-.038***	-2.887	-.042***	-3.244	-.039**	-2.956
<i>RD</i>	-.061***	-4.683	-.050***	-3.839	-.061***	-4.703	-.040**	-2.742
<i>CAPEX</i>	.151***	11.488	.144***	10.994	.150***	11.471	.147***	11.171
<i>ROA</i>	.014	1.062	.012	.946	.013	1.054	.010	.814
<i>FCF</i>	-.010	-.786	-.010	-.787	-.010	-.774	-.010	-.778
<i>OWN</i>	-.037**	-3.105	-.035***	-2.922	-.037**	-3.072	-.037**	-3.087
<i>INDDIR</i>	-.043***	-3.418	-.038***	-3.023	-.043***	-3.399	-.042***	-3.339
<i>DUALITY</i>	-.013	-1.107	-.009	-.766	-.013	-1.084	-.013	-1.115
<i>SOC</i>	-.011	-.783	-.010	-.740	-.010	-.742	-.008	-.610
<i>AGE</i>	-.012	-.963	-.007	-.581	-.012	-.904	-.007	-.559
<i>Year FE</i>	Yes		Yes		Yes		Yes	
<i>N</i>	7,206		7,206		7,206		7,206	
Adjusted R^2	.064		.071		.065		.065	
<i>F-statistic</i>	23.564***		23.880***		21.913***		22.927***	

5. 結論與建議

5.1. 研究結論

氣候變遷已成為全球亟需解決的重大挑戰，企業減碳不僅關乎環境永續，更攸關企業競爭力。本研究以 2016 至 2023 年台灣上市櫃公司 7,206 筆樣本為基礎，深入探討綠色創新、組織資本與碳排放間的複雜關係，獲得五項重要發現。

首先，研究揭示綠色創新與碳排放強度呈顯著倒 U 型關係，突破過去假設線性關係的局限。實證結果表明，初期綠色創新投入可能反而增加企業碳排放，唯有當累積達到特定門檻值(約 0.9)後，才能有效降低碳排放。此「門檻效應」說明企業必須持續且充分投入綠色創新，方能實現真正的減碳效果，呼應 Singh et al.(2020)提出的綠色創新與環境績效間存在複雜非線性關係的觀點。

其次，組織資本與碳排放強度呈顯著負向關係，證實假說 2。具備較高組織資本的企業通常能更有效管理碳排放。組織資本作為企業獨特無形資源，涵蓋管理實踐、企業文化、知識管理系統等，能提升企業營運效率，優化資源配置，進而降低碳排放。

第三，組織資本對綠色創新與碳排放間關係具顯著調節作用。具體而言，組織資本能強化綠色創新對碳排放的減緩效果，特別是在綠色創新達到較高水準階段。此結果支持 Subramaniam and Youndt(2005)及 Abbas et al.(2019)的研究，組織資本透過促進知識累積與整合，顯著提升企業綠色創新的實施效率與減碳成效。

第四，高耗能產業綠色創新的減碳效果反而優於非高耗能產業，與原假設方向相反。實證顯示，長期面臨嚴格環境監管和高減排壓力的高耗能產業，已發展出更高效的环境管理能力及更專業的綠色創新實踐，因而能將創新更有效地轉化為實質減碳成果。

第五，組織資本在高耗能產業中的減碳作用更為顯著。分析結果表明，組織資本與產業特性的交互作用對碳排放具顯著影響，在高耗能產業中，組織資本對降低碳排放強度的效果更為明顯，支持 Provaty et al.(2024)的發現。

控制變數方面，研發密集度、經理人持股、董事會獨立性與碳排放強度呈顯著負向關係，反映研發投入、管理者參與及良好公司治理有助改善碳排放表現。而資本密集度則與碳排放強度呈顯著正向關係，說明資本密集型企業因生產設備較多而面臨較高碳排放挑戰。

5.2. 研究貢獻與管理意涵

本研究對現有文獻提供三方面重要貢獻：首先，揭示綠色創新與碳排放間的倒 U 型關係，指出企業須達一定創新水準方能實現減碳效益；其次，確立組織資本在綠色創新轉化為環境績效過程中的關鍵調節角色，填補過去研究忽視組織因素的缺口；第三，發現高耗能產業中組織資本作用更為顯著，補充 Li et al.(2024)關於組織資本效果因產業而異的觀點。

實務上，研究結果對企業管理者提供三項重要啟示：首先，企業應認知綠色創新環境效益具門檻特性，須持續投入直至跨越轉折點，將環保融入核心經營策略；其次，企業應平衡發展組織資本與綠色創新，強化知識管理、優化環境流程及培養環保文化；第三，高耗能產業更應著重組織資本建設，因其能創造更顯著減碳效益，有效因應監管壓力並提升競爭優勢。

5.3. 研究限制及建議

本研究存在若干限制：樣本代表性方面，僅使用台灣上市櫃公司資料且碳排放僅包含範疇一和二；變數測量局限性，綠色創新測量可能無法完全捕捉質量和深度；時間滯後效應可能未被充分捕捉；以及行業分類過於粗糙，未能反映各行業細微差異。

未來研究應深入探索綠色創新與環境績效間非線性關係，特別是轉折點決定因素；拓展調節變數如國際化程度、競爭強度等；並進行跨國比較研究，探討不同制度環境、文化背景和發展階段下的綠色創新與碳排放關係差異，以更全面理解企業綠色轉型的機制與條件。

參考文獻

中文部分：

- 林聰毅. (2023) . COP28／最新研究：人為氣候變遷導致全球經濟產值減少 6.3%。經濟日報。
- 崔慈悌. (2024, 2 月 20 日) . 蔡英文出席中小企業處 50 周年：創造近 8 成就業機會. 中時新聞網.
<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20240220004523-260407?chdtv>
- 經濟部. (2024, 1 月 9 日) . 2023 年出口再突破 4300 億美元 順差 805.6 億創紀錄 凸顯回台投資成效.
https://www.moea.gov.tw/Mns/populace/news/News.aspx?kIND=1&menu_id=40&news_id=113561
- 謝宜蓁, 陳安琳, & 盧正壽. (2023) . 環境, 社會及公司治理 (ESG) 與分析師預測之關聯性-組織資本之角色.

英文部分：

- Abbas, J., & Sağsan, M. (2019) . Impact of knowledge manAGEment practices on green innovation and corporate sustainable development: A structural analysis. *Journal of Cleaner Production*, 229, 611-620.
- Abbas, J., & Sağsan, M. (2019) . Impact of knowledge manAGEment practices on green innovation and corporate sustainable development: A structural analysis. *Journal of Cleaner Production*, 229, 611-620.
- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., & Hemous, D. (2012) . The environment and directed technical change. *American Economic Review*, 102 (1) , 131-166.
- Ahmadi, A., N. Nakaa, and A. Bouri. (2018) . Chief Executive Officer Attributes BoaRD Structures Gender Diversity and Firm Performance Among French CAC 40 Listed Firms. *Research in International Business and Finance* 44: 218–226.
- Arena, C., Bozzolan, S., & Michelon, G. (2014) . Environmental reporting: Transparency to stakeholders or stakeholder manipulation? An analysis of disclosure tone and the role of the boaRD of directors. *Corporate SOCial Responsibility and Environmental ManAGEment*, 22 (6) , 346-361.
- Atkeson, A., & Kehoe, P. J. (2005) . Modeling and measuring organization capital. *Journal of Political Economy*, 113, 1026-1053.
- Barbieri, N., Marzucchi, A., & Rizzo, U. (2020) . Knowledge sources and impacts on subsequent inventions: Do green technoloGies differ from non-green ones? *Research Policy*, 49 (2) , 103901.
- Barney, J. (1991) . Firm resources and sustained competitive advantAGE. *Journal of ManAGEment*, 17 (1) , 99-120.
- Beji, R., Yousfi, O., Loukil, N., Omri, A. (2021) , BoaRD diversity and corporate SOCial responsibility: Empirical evidence from France. *Journal of Business Ethics*, 173 (1) , 133-155.
- Benjamin, S. J., and P. Biswas. (2019) . BoaRD Gender Composition Dividend Policy and COD: The Implications of CEO DUALITY. *Accounting Research Journal* 32, no. 3: 454–476.
- Black, S. E., & Lynch, L. M. (2005) . *Measuring organizational capital in the new economy* (Working Paper No. 1524) . IZA.
- Bloom, N., Sadun, R., & Van Reenen, J. (2012) . Americans do IT better: US multinationals and the productivity miracle. *American Economic Review*, 102 (1) , 167-201.
- Boiral, O., Henri, J. F., & Talbot, D. (2012) . Modeling the impacts of corporate commitment on climate change. *Business Strategy and the Environment*, 21 (8) , 495-516.
- Böttcher, C. F., & Müller, M. (2015) . Drivers, practices and outcomes of low-carbon operations: AppROAches of German automotive suppliers to cutting carbon emissions. *Business Strategy and the Environment*, 24 (6) , 477-498.
- BROAdstock, D. C., Matousek, R., Meyer, M., & Tzeremes, N. G. (2020) . Does corporate SOCial responsibility impact firms' innovation capacity? The INDirect link between environmental & SOCial governance implementation and innovation performance. *Journal of Business Research*, 119, 99-110.
- Brynjolfsson, E., Hitt, L. M., & Yang, S. (2002) . IntanGible assets: Computers and organizational capital. *Brookings Papers on Economic Activity*, 2002 (1) , 137-181.

- Byun, J. H. (2018) . Korean business group and innovation company: Naver case. *The Review of Eurasian Studies*, 15 (3) , 155–173.
- Cai, J., Zheng, H., VaRDanyan, M., & Shen, Z. (2023) . Achieving carbon neutrality through green technoloGical progress: Evidence from China. *Energy Policy*, 173, 113397.
- Cainelli, G., & Mazzanti, M. (2013) . Environmental innovations in services: Manufacturing–services integration and policy transmissions. *Research Policy*, 42 (9) , 1595-1604.
- Calel, R., & Dechezleprêtre, A. (2016) . Environmental policy and directed technoloGical change: Evidence from the European carbon market. *Review of Economics and Statistics*, 98 (1) , 173-191.
- Carlin, B. I., Chowdhry, B., & Garmaise, M. J. (2012) . Investment in organization capital. *Journal of Financial Intermediation*, 21 (2) , 268-286.
- Carmeli, A., & Azeroual, B. (2009) . How relational capital and knowledge combination capability enhance the performance of work units in a high technology INDustry. *StrateGic Entrepreneurship Journal*, 3 (1) , 85-103.
- Chams, N., García-Blandón, J., & Hassan, K. (2021) . Role reversal! financial performance as an antecedent of ESG: The moderating effect of total quality manAGEMENT. *Sustainability*, 13 (13) , 7026.
- Chapple, L., Clarkson, P. M., & Gold, D. L. (2013) . The cost of carbon: Capital market effects of the proposed emission trading scheme (ETS) . *Abacus*, 49 (1) , 1-33.
- Chau, G., & Gray, S. J. (2010) . Family OWNership, boarD INdependence and voluntary disclosure: Evidence from Hong Kong. *Journal of International Accounting, Auditing and Taxation*, 19 (2) , 93–109.
- Chen, C. J., & Huang, J. W. (2009) . StrateGic human resource practices and innovation performance—The mediating role of knowledge manAGEMENT capacity. *Journal of Business Research*, 62 (1) , 104-114.
- Chen, J., Zhang, F., Liu, L., & Zhu, L. (2020) . Does environmental responsibility matter in cross-sector partnership formation? A leGitimacy perspective. *Journal of Environmental ManAGEMENT*, 261, 110205.
- Chen, P. C., & Hung, S. W. (2014) . Collaborative green innovation in emerGIng countries: a SOCial capital perspective. *International Journal of Operations & Production ManAGEMENT*, 34 (3) , 347-363.
- Chen, Y. S. (2008) . The driver of green innovation and green imAGE—green core competence. *Journal of Business Ethics*, 81 (3) , 531-543.
- Chen, Y. S., Lai, S. B., & Wen, C. T. (2006) . The influence of green innovation performance on corporate advantAGE in Taiwan. *Journal of Business Ethics*, 67 (4) , 331-339.
- Chen, Y., & Ma, Y. (2021) . Does green investment improve energy firm performance? *Energy Policy*, 153, 112252.
- Clarkson, P. M., Li, Y., RichaRDson, G. D., & Vasvari, F. P. (2008) . Revisiting the relation between environmental performance and environmental disclosure: An empirical analysis. *Accounting, Organizations and SOCiety*, 33 (4-5) , 303-327.
- Cole, M. A., Elliott, R. J., Okubo, T., & Zhou, Y. (2013) . The carbon dioxide emissions of firms: A spatial analysis. *Journal of Environmental Economics and ManAGEMENT*, 65 (2) , 290-309.
- Corrado, C., Hulten, C., & Sichel, D. (2005) . Measuring capital and technology: An expanded framework. In C. Corrado, J. Haltiwanger, & D. Sichel (Eds.) , *Measuring capital in the new economy* (pp. 11-46) . University of Chicago Press.
- Crook, T. R., Todd, S. Y., Combs, J. G., Woehr, D. J., & Ketchen Jr, D. J. (2011) . Does human capital matter? A meta-analysis of the relationship between human capital and firm performance. *Journal of Applied Psychology*, 96 (3) , 443-456.
- Cui, H., Dai, L., & Zhang, Y. (2021) . Organization capital and corporate innovation: Evidence from China. *Finance Research Letters*, 43, 101956.
- de Villiers, C., Naiker, V., & van Staden, C. J. (2011) . The effect of boarD characteristics on environmental performance. *Journal of ManAGEMENT*, 37 (6) , 1636–1663.

- Dechezleprêtre, A., & Sato, M. (2017) . The impacts of environmental regulations on competitiveness. *Review of Environmental Economics and Policy*, 11 (2) , 183-206.
- Delmas, M. A., & Pekovic, S. (2018) . Organizational configurations for sustainability and employee productivity: A qualitative comparative analysis appROAch. *Business & SOCIety*, 57 (1) , 216-251.
- Delmas, M. A., Nairn-Birch, N., & Lim, J. (2015) . Dynamics of environmental and financial performance: The case of greenhouse gas emissions. *Organization & Environment*, 28 (4) , 374-393.
- Demirel, P., & Kesidou, E. (2019) . Sustainability-oriented capabilities for eco-innovation: Meeting the regulatory, technology, and market demands. *Business Strategy and the Environment*, 28 (5) , 847-857.
- Doda, B., Gennaioli, C., Gouldson, A., Grover, D., & Sullivan, R. (2016) . Are corporate carbon manAGEMENT practices reducing corporate carbon emissions? *Corporate SOCial Responsibility and Environmental ManAGEMENT*, 23 (5) , 257-270.
- Du, K., Li, P., & Yan, Z. (2019) . Do green technology innovations contribute to carbon dioxide emission reduction? Empirical evidence from patent data. *TechnoloGical Forecasting and SOCial Change*, 146, 297-303.
- Eisfeldt, A. L., & Papanikolaou, D. (2013) . Organization capital and the cross-section of expected returns. *The Journal of Finance*, 68 (4) , 1365-1406.
- Elsayih, J., Datt, R., & Hamid, A. (2021) . CEO characteristics: do they matter for carbon performance? An empirical investigation of Australian firms. *SOCial Responsibility Journal*, 17 (8) , 1279-1298.
- Fujii, H., Iwata, K., Kaneko, S., & ManaGI, S. (2013) . Corporate environmental and economic performance of Japanese manufacturing firms: Empirical study for sustainable development. *Business Strategy and the Environment*, 22 (3) , 187-201.
- Ganda, F. (2019) . The impact of innovation and technology investments on carbon emissions in selected organisation for economic Co-operation and development countries. *Journal of Cleaner Production*, 217, 469-483.
- Ghisetti, C., & Rennings, K. (2014) . Environmental innovations and profitability: How does it pay to be green? An empirical analysis on the German innovation survey. *Journal of Cleaner Production*, 75, 106-117.
- Hart, S. L. (1995) . A natural-resource-based view of the firm. *Academy of ManAGEMENT Review*, 20 (4) , 986–1014.
- Hasan, M., & Cheung, W. K. (2018) . Organization capital and firm life cycle. *Journal of Corporate Finance*, 48, 556-578.
- He, R., Luo, L., Shamsuddin, A., & Tang, Q. (2022) . The value reLEVance of corporate investment in carbon abatement: The influence of national climate policy. *European Accounting Review*, 31 (5) , 1233-1261.
- Hillman, A. J., & Keim, G. D. (2001) . Shareholder value, stakeholder manAGEMENT, and SOCial issues: What's the bottom line? *StrateGic ManAGEMENT Journal*, 22 (2) , 125-139.
- Hoffmann, V. H., & Busch, T. (2008) . Corporate carbon performance INDicators: Carbon intensity, dependency, exposure, and risk. *Journal of INDustrial Ecology*, 12 (4) , 505-520.
- Hojnik, J., Ruzzier, M., & Manolova, T. S. (2018) . Internationalization and economic performance: The mediating role of eco-innovation. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1312-1323.
- Horbach, J., Rammer, C., & Rennings, K. (2012) . Determinants of eco-innovations by type of environmental impact—The role of regulatory push/pull, technology push and market pull. *EcoloGical Economics*, 78, 112-122.
- Hsu, S., S. W. Lin, W. P. Chen, and J. W. Huang. (2021) . CEO DUALITY, Information Costs, and Firm Performance. *North American Journal of Economics and Finance* 55: 101011.
- International Energy AGENCY. (2021) . *Net zero by 2050: A ROADmap for the global energy sector*.
- International Energy AGENCY. (2023) . *Global energy review: CO2 emissions in 2022*.
- IPCC. (2021) . *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

- Jaffe, A. B., & Palmer, K. (1997) . Environmental regulation and innovation: A panel data study. *Review of Economics and Statistics*, 79 (4) , 610-619.
- Jensen, M. C. (1986) . AGENCY costs of free cash flow, corporate finance, and takeovers. *The American Economic Review*, 76 (2) , 323-329.
- Jiang, K., Yan, X., Liu, N., & Wang, P. (2022) . Energy trade-offs in coupled ICM and electricity market under dynamic carbon emission intensity. *Energy*, 260, 125077.
- Kanagaretnam, K., Lobo, G. J., & Zhang, J. (2022) . Climate risk and organizational capital. *Journal of Corporate Finance*, 76, 102291.
- Kang, H., Cheng, M., & Gray, S. J. (2007) . Corporate governance and board composition: Diversity and INdependence of Australian boards. *Corporate Governance: An International Review* 15 (2) , 194–207.
- Kemp, R., & Pearson, P. (2008) . *Policy brief about measuring eco-innovation and magazine/newsletter articles*. UM Merit.
- Kiel, G. C., & Nicholson, G. J. (2005) . Evaluating boards and directors. *Corporate Governance: An International Review*, 13 (5) , 613-631.
- Kim, S. I., & Kim, Y. (2023) . Analysis of the relationship between investment inefficiency and climate risk and the moderating effects of managerial OWNership. *Environment, Development and Sustainability*, 25, 9337–9358.
- Klemetsen, M. E., Rosendahl, K. E., & Jakobsen, A. L. (2020) . The impacts of the EU ETS on Norwegian plants' environmental and economic performance. *Climate Change Economics*, 11 (01) , 2050006.
- Lee, K. H., & Min, B. (2015) . Green R&D for eco-innovation and its impact on carbon emissions and firm performance. *Journal of Cleaner Production*, 108, 534-542.
- Lee, S. Y. (2012) . Corporate carbon strategies in responding to climate change. *Business Strategy and the Environment*, 21 (1) , 33-48.
- Leung, W. S., Mazouz, K., Chen, J., & Wood, G. (2018) . Organization capital, labor market flexibility, and stock returns around the world. *Journal of Banking & Finance*, 89, 150-168.
- LEV, B., & Radhakrishnan, S. (2005) . The valuation of organization capital. In C. Corrado, J. Haltiwanger, & D. Sichel (Eds.) , *Measuring capital in the new economy* (pp. 73-110) . University of Chicago Press.
- LEV, B., Radhakrishnan, S., & Zhang, W. (2009) . Organization capital. *Abacus*, 45 (3) , 275-298.
- Li, D., Huang, M., Ren, S., Chen, X., & Ning, L. (2021) . Environmental legitimacy, green innovation, and corporate carbon disclosure: Evidence from CDP China 100. *Energy Policy*, 153, 112271.
- Li, T., Lu, C., & Xu, L. (2024) . The impact of organisation capital on inventory efficiency. *Accounting & Finance*.
- Liang, D., & Liu, T. (2017) . Does environmental management capability of Chinese INDUSTRIAL firms improve the contribution of corporate environmental performance to economic performance? Evidence from 2010 to 2015. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2985-2998.
- Lins, K. V., Servaes, H., & Tamayo, A. (2017) . SOCIAL capital, trust, and firm performance: The value of corporate SOCIAL responsibility during the financial crisis. *The Journal of Finance*, 72 (4) , 1785-1824.
- Liu, B., Tian, C., Li, Y., Song, H., & Ma, Z. (2018) . Research on the effects of urbanization on carbon emissions efficiency of urban agglomerations in China. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1374-1381.
- Liu, L. (2024) . Green innovation, firm performance, and risk mitigation: Evidence from the USA. *Environment, Development and Sustainability*, 26 (9) , 24009-24030.
- Luo, L. (2019) . The influence of institutional contexts on the relationship between voluntary carbon disclosure and carbon emission performance. *Accounting & Finance*, 59 (2) , 1235-1264.
- Luo, L., Tang, Q., & Lan, Y. C. (2013) . Comparison of propensity for carbon disclosure between developing and developed countries: A resource constraint perspective. *Accounting Research Journal*, 26 (1) , 6-34.

- Marin, G., & Vona, F. (2019) . Climate policies and skill-biased employment dynamics: Evidence from EU countries. *Journal of Environmental Economics and ManAGement*, 98, 102253.
- Martin, R., Muuls, M., & Wagner, U. (2013) . Carbon markets, carbon prices and innovation: Evidence from interviews with manAGERs. Paper presented at the Annual Meetings of the American Economic AsSOCiation, San Diego.
- Marwick, A., Hasan, M. M., & Luo, T. (2020) . Organization capital and corporate cash holdings. *International Review of Financial Analysis*, 68, 101458.
- Matsumura, E. M., Prakash, R., & Vera-Munoz, S. C. (2014) . Firm-value effects of carbon emissions and carbon disclosures. *The Accounting Review*, 89 (2) , 695-724.
- Matthews, H. S., Hendrickson, C. T., & Weber, C. L. (2008) . The importance of carbon footprint estimation boundaries. *Environmental Science & Technology*, 42 (16) , 5839-5842.
- Nekhili, M., Boukadhaba, A., & Nagati, H. (2021) . The ESG–financial performance relationship: Does the type of employee boarD representation matter? *Corporate Governance: An International Review*, 29 (2) , 134-161.
- O'Brien, R. M. (2007) . A caution regaRDing rules of thumb for variance inflation factors. *Quality & Quantity*, 41 (5) , 673-690. <https://doi.org/10.1007/s11135-006-9018-6>
- OECD. (2010) . *Eco-innovation in INDustry: Enabling green growth*. OECD Publishing.
- Ortiz-de-Mandojana, N., Bansal, P., & Aragón-Correa, J. A. (2019) . Older and wiser: How CEOs' time perspective influences long-term investments in environmentally responsible technoloGies. *British Journal of ManAGement*, 30 (1) , 134–150.
- Oyerogba, E.O. & Ogungbade O.I (2020) , Gender diversity of the corporate boarD and firm value: The case of Nigerian listed companies. *Global Journal of Accounting*, 6 (1) , 53-68.
- Peng, T., Ou, X., Yuan, Z., Yan, X., & Zhang, X. (2018) . Development and application of China provincial ROAd transport energy demand and GHG emissions analysis model. *Applied Energy*, 222, 313-328.
- Peters, R. H., & Taylor, L. A. (2017) . IntanGible capital and the investment-q relation. *Journal of Financial Economics*, 123 (2) , 251-272.
- Porter, M. E., & Van der LINDe, C. (1995) . TowaRD a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9 (4) , 97-118.
- Provaty, S. S., Hasan, M. M., & Luo, L. (2024) . Organization capital and GHG emissions. *Energy Economics*, 131, 107372.
- Razzaq, A., Wang, Y., Chupradit, S., Suksatan, W., & Shahzad, F. (2021) . Asymmetric inter-linkAGEs between green technology innovation and consumption-based carbon emissions in BRICS countries using quantile-on-quantile framework. *Technology in SOCiety*, 66, 101656.
- RE100. (2023) . *RE100 members*.
- Rehman, S. U., Kraus, S., Shah, S. A., Khanin, D., & Mahto, R. V. (2021) . Analyzing the relationship between green innovation and environmental performance in large manufacturing firms. *TechnoloGical Forecasting and SOCial Change*, 163, 120481.
- Rising, J., Bond, K., Besley, D., del Mar Lobo, M., Bukvic, D. L., Kotchen, M. J., ... & Wagner, G. (2023) . The effect of anthropogenic climate change on global economic output. *Nature Climate Change*, 13 (9) , 852-859.
- Rubashkina, Y., Galeotti, M., & VeRDolini, E. (2015) . Environmental regulation and competitiveness: Empirical evidence on the Porter Hypothesis from European manufacturing sectors. *Energy Policy*, 83, 288-300.
- Sadiq, M., Singh, J., Raza, M., & Mohamad, S. (2020) . The impact of environmental, SOCial and governance INDex on firm value: Evidence from Malaysia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10 (5) , 555-562.
- Schaltegger, S., & Csutora, M. (2012) . Carbon accounting for sustainability and manAGement: Status quo and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 36, 1-16.

- Schiederig, T., Tietze, F., & Herstatt, C. (2012) . Green innovation in technology and innovation manAGEment—an exploratory literature review. *R&D ManAGEment*, 42 (2) , 180-192.
- Shahrour, M. H., Arouri, M., Tran, D. V., & Rao, S. (2024) . Carbon consciousness: The influence of CEO OWNership. *Journal of Environmental ManAGEment*, 364, 121455.
- Singh, S. K., Del GIudice, M., Chierici, R., & Graziano, D. (2020) . Green innovation and environmental performance: The role of green transformational leadership and green human resource manAGEment. *TechnoloGical Forecasting and SOCial Change*, 150, 119762.
- Song, H., Zhao, C., & Zeng, J. (2023) . Can environmental manAGEment improve financial performance: An empirical study of A-shares listed companies in China. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1051-1056.
- Squicciarini, M., & Le Mouel, M. (2012) . *Defining and measuring investment in organisational capital: Using US microdata to develop a task-based appROAch* (OECD Science, Technology and INDustry Working Papers, 2012/05) . OECD Publishing.
- Subramaniam, M., & Youndt, M. A. (2005) . The influence of intellectual capital on the types of innovative capabilities. *Academy of ManAGEment Journal*, 48 (3) , 450-463.
- Sullivan, R., & Gouldson, A. (2013) . Ten years of corporate action on climate change: What do we have to show for it? *Energy Policy*, 60, 733-740.
- SurrOCA, J., Tribó, J. A., & Waddock, S. (2010) . Corporate responsibility and financial performance: The role of intanGible resources. *StrateGic ManAGEment Journal*, 31 (5) , 463-490.
- Tariq, M., Ma, Q., Mahmood, H., & Khan, Z. (2022) . The nexus between diGital economy and carbon dioxide emissions in China: The moderating role of investments in research and development. *Technology in SOCiety*, 68, 101910.
- Tauringana, V., & Chithambo, L. (2015) . The effect of DEFRA guidance on greenhouse gas disclosure. *The British Accounting Review*, 47 (4) , 425-444.
- Teece, D. J. (2019) . A capability theory of the firm: An economics and (strateGic) manAGEment perspective. *New Zealand Economic Papers*, 53 (1) , 1-43.
- Testa, F., Iraldo, F., & Frey, M. (2011) . The effect of environmental regulation on firms' competitive performance: The case of the building & construction sector in some EU reGIons. *Journal of Environmental ManAGEment*, 92 (9) , 2136-2144.
- Trinks, A., Mulder, M., & Scholtens, B. (2020) . An efficiency perspective on carbon emissions and financial performance. *EcoloGical Economics*, 175, 106632.
- UNFCCC. (2022) . *COP27 reaches breakthrough agreement on new "Loss and DamAGE" fund for vulnerable countries*.
- United Nations. (2015) . *Paris Agreement*.
- Wang, Y., & Zheng, Y. (2021) . Spatial effects of carbon emission intensity and reGIonal development in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 14131-14143.
- Wright, P., Kroll, M., Krug, J. A., & Pettus, M. (2007) . Influences of top manAGEment team incentives on firm risk taking. *StrateGic ManAGEment Journal*, 28 (1) , 81-89.
- Wu, G. L., Liu, Y., Tian, F. P., & Shi, Z. H. (2017) . Legumes functional group promotes soil organic carbon and nitrogen storAGE by increasing plant diversity. *Land Degradation & Development*, 28 (4) , 1336-1344.
- Xie, X., Huo, J., & Zou, H. (2019) . Green process innovation, green product innovation, and corporate financial performance: A content analysis method. *Journal of Business Research*, 101, 697-706.
- Xu, L., Fan, M., Yang, L., & Shao, S. (2021) . Heterogeneous green innovations and carbon emission performance: Evidence at China's city LEVel. *Energy Economics*, 99, 105269.
- Yalabik, B., & Fairchild, R. J. (2011) . Customer, regulatory, and competitive pressure as drivers of environmental innovation. *International Journal of Production Economics*, 131 (2) , 519-527.

- Yu, W., Ramanathan, R., & Nath, P. (2017) . Environmental pressures and performance: An analysis of the roles of environmental innovation strategy and marketing capability. *Technological Forecasting and Social Change*, 117, 160-169.
- Yu, Z., Khan, S. A. R., Ponce, P., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Jabbour, C. J. C. (2022) . Factors affecting carbon emissions in emerging economies in the context of a green recovery: Implications for sustainable development goals. *Technological Forecasting and Social Change*, 176, 121417.
- Zhang, D., Rong, Z., & Ji, Q. (2019) . Green innovation and firm performance: Evidence from listed companies in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 144, 48-55.
- Zhang, J. A., & Walton, S. (2017) . Eco-innovation and business performance: The moderating effects of environmental orientation and resource commitment in green-oriented SMEs. *R&D Management*, 47 (5) , E26-E39.
- Zhang, W., Li, G., & Guo, F. (2022) . Does carbon emissions trading promote green technology innovation in China? *Applied Energy*, 315, 119012.