

TOE理论视角下物流企业数字化转型驱动碳减排的多元实现路径

徐蕴菡, 初铭畅

辽宁工业大学经济管理学院, 辽宁 锦州

收稿日期: 2026年4月20日; 录用日期: 2026年5月9日; 发布日期: 2026年6月26日

摘要

跟着“双碳”战略一步步落地推进, 物流企业想要做到绿色低碳转型, 最关键的就是精准管控、压缩运营全流程产生的碳排放总量。本文选了国内46家上市物流企业作为研究对象, 利用TOE理论的分析框架, 分别从技术赋能、组织支撑、外部环境这几个维度入手, 用模糊集定性比较分析(fsQCA)的方法, 研究我国物流行业里数字化转型促进碳减排的多种实现路径。经过实证检验能发现, 没有哪一个单独的前因变量, 可以独自支撑企业做到高水平的碳减排, 想要拿到理想的减排效果, 需靠多维度条件一起配合、多条路径共同发力。结合组态分析最终的结果, 本文又整理出四类比较有代表性的实现路径, 分别是技术与组织协同联动型、规模与人才匹配支撑型、ESG主导搭配薄弱项补充型、全要素共同驱动型。这项研究理清了数字化转型影响物流企业碳减排过程中, 复杂的耦合因果逻辑, 可以为资源禀赋不同、发展阶段不通的物流企业设计绿色转型方案。

关键词

物流企业, 数字化转型, 碳减排, TOE理论, fsQCA, 组态路径

A TOE-Theory Perspective on the Multiple Pathways of Digital Transformation Driving Carbon Emission Reduction in Logistics Enterprises

Yunhan Xu, Mingchang Chu

School of Economics and Management, Liaoning University of Technology, Jinzhou Liaoning

Abstract

As the “dual carbon” strategy progressively advances, the key for logistics enterprises to achieve a green and low-carbon transition lies in precisely controlling and reducing the total carbon emissions generated throughout their entire operational process. This study selects 46 listed logistics enterprises in China as the research sample, employs the TOE theoretical framework, and starts from the dimensions of technological empowerment, organizational support, and external environment. By using the fuzzy-set Qualitative Comparative Analysis (fsQCA) method, this paper investigates the multiple realization pathways through which digital transformation promotes carbon emission reduction in China’s logistics industry. Empirical results show that no single antecedent condition alone can support enterprises to achieve a high level of carbon emission reduction. Rather, achieving the desired emission reduction effect requires the coordination of multi-dimensional conditions and the joint action of multiple pathways. Based on the findings of the configurational analysis, this paper summarizes four representative pathways: technology-organization synergy type, scale-talent matching support type, ESG-led weakness-supplementing type, and total factor co-driven type. This research clarifies the complex coupling causal logic by which digital transformation affects carbon emission reduction in logistics enterprises, and provides a reference for designing green transformation strategies for logistics enterprises with different resource endowments and at different development stages.

Keywords

Logistics Enterprises, Digital Transformation, Carbon Emission Reduction, TOE Theory, fsQCA, Configurational Pathways

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

物流行业总的碳排放量在全社会总排放里占比较高, 数字化转型为这个行业做到低碳发展提供了新的路径, 但是在实际操作时, 数字化资源投入的多少与实际减排效果之间, 并没有直接的线性关系[1], 最终效果如何, 一般由技术水平、内部管控制度、外部政策和市场环境等多种因素共同决定[2]。TOE 理论可以为这类涉及多维度影响的复杂问题提供系统性的分析思路。因此, 本文借助 TOE 理论的基础分析框架, 选了 46 家上市物流企业做研究样本, 用模糊集定性比较分析(fsQCA)的方法, 研究技术、组织、环境三个维度里六项前置因素对我国物流企业碳减排效果的作用路径, 总结出多条能落地用的减排方案, 为我国物流企业制定差异化的绿色转型策略提供理论支撑。

2. 理论分析与模型构建

TOE 理论的核心研究内容, 是技术、组织、环境三个维度的相互影响关系, 它主要用来分析这三类核心要素和企业经营表现之间的内在作用规律。本文以该理论作为分析基础, 分别从技术属性特点、内部组织支持、外部环境条件三个层面, 整理了物流企业推进数字化转型、实现碳减排目标的驱动因素和限制条件, 最终形成的研究逻辑框架见图 1。

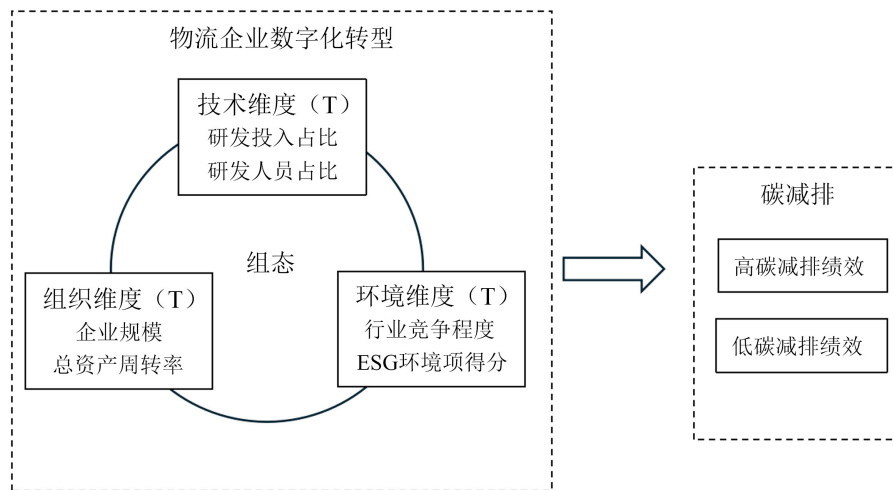


Figure 1. Research framework diagram

图 1. 研究框架图

2.1. 技术层面

技术维度挑选研发投入强度、研发人员占比，作为两项核心前置观测变量，现有研究表明，数字化转型不会直接影响碳排放水平，而是通过绿色技术更新、能源利用效率提高这类中间路径产生间接作用。^[3]研发投入占比能直观体现企业投入技术创新活动的资金规模，是判断企业科技创新战略优先级的主要指标，按照这个逻辑就能整理出全新的物流管理优化方向：依靠自行搭建物流管理系统、更新智能调度算法、更换新能源运载设备，最终达成碳排放管控的目标。研发人员占比则可以准确反映企业创新型人力资本的储备情况，这类技术人员能通过核心技术攻关、运营流程改造、生产工艺优化等路径，慢慢降低企业全生产运营流程对传统化石能源的依赖，帮助碳减排目标落地^[4]。结合以上推导，技术维度的两项核心前置指标最终确定为研发投入占比与研发人员占比。

2.2. 组织层面

从组织特性的分析角度来看，这次研究选取了两个前置影响变量：企业规模，和总资产周转率。企业规模的差异，直接决定了企业在做数字化建设时，能调动调配的资源总量有多少，这也是绿色转型目标能不能落地的基础保障。规模比较大的企业一般都有更充足的资金储备，内部的管理架构也更成熟，在推进数字化改造、减少碳排放总量上，比小企业更有落地推进的能力^[5]。总资产周转率是用来衡量企业经营情况的主要指标，可以直接反映出企业整体的运营效率，这个指标数值越高，说明企业优化资源配置的流转时间越短，对应的能源消耗水平也会更低，最终碳排放强度也能保持在较低水平^[6]。按照上面的推导逻辑，本文把企业规模和总资产周转率确定在组织维度中最核心的两个前置影响因素。

2.3. 环境层面

本文在环境维度划出两个前因变量，分别是行业竞争程度与 ESG 环境项得分，行业竞争程度能直接体现出企业在自身赛道里的市场位置，随着行业内部竞争不断变激烈，企业一般需要依靠技术更新迭代、优化管理方式这两个路径，达成控制成本和提高运营效率的发展目标。针对国内物流企业做的实证检验结果表明，企业自身的市场竞争能力和绿色绩效水平存在明显的正向关联，ESG 环境分项评分是第三方专业的 ESG 评级机构给出的，能全面衡量企业在环境治理效果、碳排放控制能力、资源使用效率这些方面的实际表现。企业这个维度的评分越高，一方面说明企业受到的外部环境合规监管约束更强，另一方

面也可以看出企业已经建立了比较完善的环境治理机制, 可以为企业主动进行碳减排行动提供制度和能力上的支撑[7]。按照上面的推导逻辑, 本文在环境维度最终确定了以行业竞争程度、ESG 环境项得分为核心的两个关键前因条件。

围绕 TOE 理论框架, 本文搭建了物流行业数字化转型助力碳减排的逻辑分析框架, 用来分析各个影响前置因素之间的耦合关联机制, 以及这类作用路径对碳排放治理效果产生的多维度影响逻辑。

2.4. 组态假设的提出

基于 TOE 理论框架, 本文认为物流企业数字化转型驱动碳减排并非依赖单一条件, 而是技术、组织、环境三个维度多个条件的协同作用。由于不同企业的资源禀赋和发展阶段存在差异, 实现高碳减排绩效可能存在多条等效路径。据此, 本文提出以下组态假设:

假设 H1: 技术维度的研发投入与组织维度的运营效率相结合, 可以形成内部驱动的减排能力, 即使外部环境条件不充分, 也能支撑高碳减排。

假设 H2: 组织维度的规模优势和人才储备, 在市场竞争压力较小的环境下, 能够替代对运营效率的高要求, 形成稳健型减排路径。

假设 H3: 外部环境压力可以与内部运营效率形成互补, 弥补企业在技术和规模上的不足。

假设 H4: 当技术、组织、环境三个维度的优势条件同时具备时, 将产生最强的减排驱动效果。

以上假设将在后续组态分析中进行检验。

3. 研究设计

3.1. 研究方法

本文将模糊集定性比较分析(fsQCA)作为主要研究工具, 目的是明晰国内物流企业达成碳减排目标的多元驱动路径。作为适合中小样本研究的分析方法, fsQCA 能较好捕捉多个要素之间复杂的相互影响作用, 辨析不同条件组态下得到相同产出结果的内在道理, 打破了传统回归分析只能检验单一变量单独作用效果的局限。这种方法还能有条理地整理出对最终结果产生作用的全部条件组合, 准确找出里面起到主要作用的关键影响因素, 能为物流企业制定符合自身发展特点的差异化碳减排方案给出实证方面的支撑。

3.2. 样本选择与数据来源

本文将国内 A 股市场的上市公司作为最初的筛选范围, 选取符合证监会 2012 年行业分类标准, 属于交通运输、仓储和邮政业板块的企业作为研究的基础对象。为了避免数据出错、保证实证结果可信, 研究过程中删掉了数据缺失占比太高的企业, 以及被标记为 ST 的风险警示类企业, 最后筛选出 46 个可用的研究样本, 覆盖了运输、仓储、供应链服务等多个细分领域。其中碳排放相关数据依靠手动整理企业公开披露的社会责任报告、可持续发展报告得到, 财务类指标从 Wind 数据库获取, ESG 评价框架里环境维度的分项得分, 直接用了第三方专业 ESG 评级机构公开的结果。

3.3. 变量设定

本研究选择碳减排绩效作为结果变量, 测算之前先对企业碳排放强度做对数转换再取倒数, 以此完成指标的正向化处理。碳排放强度是企业当年温室气体排放总规模(单位: 吨 CO₂ 当量)和同期营业收入(单位: 百万元)的比值, 最终用公式 $1/\ln(1 + \text{碳排放强度})$ 计算得到碳减排绩效, 该指标既可以直接体现每单位营业收入对应的碳排放水平, 也能对企业实际碳减排成效做精准评估。

本文依托 TOE 理论框架, 整理归纳出六个前因条件, 具体内容如下。(1) 技术层面: 包括研发投入强度(研发投入占营业收入的比重)、研发人员占比(研发人员数量占员工总人数的比重)。(2) 组织层面: 包括企业规模(对总资产取自然对数后得到的数值)、总资产周转效率(营业收入占总资产的比重)。(3) 环境层面: 包括行业竞争程度(计算方式为 1 除以企业在 46 家样本企业中的营业收入排名), 排名越靠前说明企业在行业内的竞争优势越明显; ESG 环境维度得分来自第三方机构公布的 ESG 评级结果, 用来衡量企业的环境管理能力。

3.4. 变量校准

用直接校准策略转换原始数据, 把数据映射到取值范围为[0, 1]的模糊隶属度区间。校准锚点的选择需考虑变量的实际分布特征。本研究中, 碳减排绩效这一结果变量在 46 家样本企业之间存在较大差异, 部分企业碳排放强度较低, 而部分企业则处于高位, 数据离散程度较高。为避免极端值对隶属度转换的干扰, 同时保留足够的区分度, 选取 0.75 分位数、0.5 分位数和 0.05 分位数分别作为完全隶属点、交叉点和完全不隶属点的阈值。完成校准后, 如果遇到隶属度刚好等于 0.5 的情况, 统一手动调整为 0.5001, 用来降低这个临界值对最终分析结果的影响。各个变量对应的校准锚点设置详见表 1。

Table 1. Variable calibration anchor points

表 1. 变量校准锚点

变量名称	完全隶属	交叉点	完全不隶属
碳减排绩效	0.135445498	0.039848258	0.014266709
研发投入占比	0.815	0.595	0.275
研发人员占比	6.3675	3.775	1.5925
企业规模	25.10607972	24.30542041	23.77048455
总资产周转率	0.584538375	0.338103423	0.205170147
行业竞争程度	0.876106195	0.707964602	0.548672566
ESG 环境分项得分	7.58	6.475	5.25

4. 结果分析

4.1. 必要条件分析

正式展开组态分析之前, 要先对全部前因条件(包括逻辑非变量)逐一检验, 判断它是不是达成高碳减排绩效的必要条件。当前学界一般把一致性阈值设定为 0.9, 超出该阈值的条件就可以被认定是必要条件, 本次必要性检验的相关结果已经汇总见表 2。

Table 2. Necessity analysis results of high carbon emission reduction performance

表 2. 高碳减排绩效的必要性分析结果

条件变量	一致性(Consistency)	覆盖度(Coverage)
研发投入占比	0.560125	0.566456
~研发投入占比	0.548950	0.514238
研发人员占比	0.560572	0.560071
~研发人员占比	0.590523	0.559509
企业规模	0.535539	0.523601

续表

~企业规模	0.585606	0.566609
总资产周转率	0.495753	0.482384
~总资产周转率	0.589629	0.573229
行业竞争程度	0.518105	0.489030
~行业竞争程度	0.601252	0.603139
ESG 环境分项得分	0.580688	0.563069
~ESG 环境分项得分	0.499776	0.487571

注：“~”指逻辑非，意为不存在。

结合表 2 的测算结果能够看出，所有前因条件的一致性数值都低于 0.9，这说明并不存在单个独立条件，可以成为高碳减排绩效达成的必要前提。也就是说，物流企业想要获得高碳减排绩效，没办法只靠单一要素完成，它是多个条件共同作用驱动得到的结果，这个结论也给接下来进行组态分析打下了可行的基础。

4.2. 条件组态分析

组态分析可以用来探究多个条件组合作用于特定结果时的充分性，结合现有研究的通用设置，本研究把原始一致性门槛值、PRI 一致性门槛值及案例频数临界值分别设为 0.8、0.7 与 1。再通过对比嵌套中间解与简单解的结果，就能识别出最终的作用路径：两类解答里都出现的要素归为核心条件，只在中间解中存在的要素归为边缘条件，简单解和中间解的具体内容见表 3 与表 4。

Table 3. Simple solution

表 3. 简单解

组态结果	原始覆盖度	唯一覆盖度	一致性
~研发人员占比*~企业规模*ESG 环境项得分	0.190434	0.04800179	0.891213
研发人员占比*企业规模*~行业竞争程度	0.209209	0.142155	0.846293
研发投入占比*~研发人员占比*总资产周转率	0.221725	0.0594546	0.892086
研发投入占比*总资产周转率*~行业竞争程度*~ESG 环境分项得分	0.126062	0.01654	0.851964
总体解一致性		0.488154	
总体解覆盖度		0.879936	

Table 4. Intermediate solutions

表 4. 中间解

组态结果	原始覆盖度	唯一覆盖度	一致性
研发投入占比*~企业规模*总资产周转率*~行业竞争程度*~ESG 环境分项得分	0.122038	0.016987	0.847826
研发投入占比*~研发人员占比*~企业规模*总资产周转率*~ESG 环境分项得分	0.126956	0.0245864	0.865854
研发投入占比*~研发人员占比*~企业规模*总资产周转率*~行业竞争程度	0.130979	0.0245865	0.898773
研发人员占比*企业规模*~总资产周转率*~行业竞争程度*ESG 环境分项得分	0.172105	0.13679	0.918854
~研发投入占比*~研发人员占比*~企业规模*总资产周转率*行业竞争程度*ESG 环境分项得分	0.0911935	0.049173	0.883117
研发投入占比*~研发人员占比*企业规模*总资产周转率*行业竞争程度*ESG 环境分项得分	0.0706303	0.0353151	0.814433
总体解一致性		0.425523	
总体解覆盖度		0.911334	

参考 Fiss 提出的分析思路, 通过嵌套对比中间解与简单解来确定核心条件和边缘条件[8]。具体规则为: 同时出现在中间解和简单解中的条件视为核心条件, 表示该条件对结果产生关键性影响; 仅出现在中间解中而未出现在简单解中的条件视为边缘条件, 表示该条件起辅助作用。简单解提供了最简约的条件组合, 中间解则包含了更完整的理论信息。以 H1a 为例: 简单解中有“研发投入占比*总资产周转率*~行业竞争程度*~ESG 环境分项得分”, 中间解中 H1a 为“研发投入占比*~企业规模*总资产周转率*~行业竞争程度*~ESG 环境分项得分”。对比可知, 研发投入占比与总资产周转率在两解中均出现, 故为核心存在条件; ~行业竞争程度和~ESG 环境项得分在两解中出现, 故为核心缺失; ~企业规模仅在中间解中出现, 故将其标记为边缘缺失。同理, 其他组态的判定逻辑一致, 最终得到 6 条组态路径, 详细结果见表 5。

Table 5. Configuration analysis
表 5. 组态分析

条件变量	高碳减排绩效的组态路径					
	H1a	H1b	H1c	H2	H3	H4
研发投入占比	●	●	●		⊗	●
研发人员占比		⊗	⊗	●	⊗	⊗
企业规模	⊗	⊗	⊗	●	⊗	●
总资产周转率	●	●	●	⊗	●	●
行业竞争程度	⊗		⊗	⊗	●	●
ESG 环境项得分	⊗	⊗		●	●	●
原始覆盖度	0.122038	0.126956	0.130979	0.172105	0.0911935	0.0706303
唯一覆盖度	0.016987	0.025864	0.0245865	0.13679	0.049173	0.0353151
一致性水平	0.847826	0.865854	0.898773	0.918854	0.883117	0.814433
总体解一致性	0.425523					
总体解覆盖度	0.911334					

注: ●表示核心条件存在, ⊗表示核心条件缺失, ●表示边缘条件存在, ⊗表示边缘条件缺失。

根据表 5 统计结果表明, 本次分析得到的整体一致性为 0.911334, 总体覆盖度为 0.425523, 说明最终提取出的 6 条组态路径, 可以覆盖 42.55% 的研究样本, 能够对结果的形成逻辑给出有效说明, 整体解释效果比较理想。梳理这六条路径后, 可以将其归为三种不同的驱动模式。

(1) 技术 - 组织协同型(H1a、H1b、H1c)

三种作用路径的核心限制条件, 都要求“研发投入强度处于较高水平”以及“总资产周转率表现优秀”, 作用效果不会受企业规模大小、外部经营环境变动的影响, 假设 1 成立。从 H1a 的推导结果来看, 中小企业可以依靠技术更新和运营效率提高两方面的支持, 顺利达成减排目标; H1b 与 H1c 在前期研究结论的基础上, 进一步排除了研发人员占比变量的干扰, 提到资本配置效率和运营周转效率共同作用, 就可以有效促进碳减排, 这个作用和企业研发团队的人员规模没有直接联系。

(2) 规模 - 人才协同型(H2)

要让这一作用路径成立, 需同时满足三个前提条件: 研发人员在全体员工里占比更高、企业规模排在行业前列, 以及所在行业的市场竞争程度偏低, 只有总资产周转率这一项处于接近缺失的状态, 假设 2 成立。这个结果足以说明, 规模以上企业可以依靠充足的研发人才储备和规模化经营的优势, 在市场竞

争压力比较小的行业环境中, 哪怕自身资产周转的运营效率存在一点小缺陷, 依旧可以顺利达成高水平碳减排的发展目标。

(3) ESG 主导 - 弱势补足型(H3)

这一构型的核心触发条件有三个, 分别是研发人员占比低、企业整体规模偏小, 以及 ESG 环境维度评分偏高, 边缘条件则是研发投入强度偏低、总资产周转率表现较好和行业竞争程度较高, 假设 3 成立。该结果表明, 如果企业同时面临研发投入不足、人员储备不够, 以及规模竞争力偏弱的先天劣势, 成熟的 ESG 治理基础、高效的资产周转能力与充分的外部市场竞争环境, 可以形成协同补充效应, 帮助企业达成高水平碳减排目标。

(4) 全要素驱动型(H4)

该配置需要满足“研发投入占比偏高”、“企业规模偏大”、“总资产周转率偏高”、“行业竞争水平偏高”以及“ESG 环境维度得分较高”这些前置要求, 只有研发人员占比这一项可以空缺, 假设 4 成立。该配置依托技术、组织、环境三大维度几乎全部核心要素共同发挥作用, 尽管它覆盖的样本占比最低, 但条件设置最为完整, 能稳定支撑高碳减排绩效的达成。

4.3. 稳健性检验

为确保研究结论的可靠性, 本文进行了两项敏感性分析。

第一, 调整 PRI 一致性阈值。将 PRI 一致性阈值从 0.7 提高至 0.75, 保持原始一致性阈值 0.8 和频数阈值 1 不变, 重新进行分析。结果显示, 组态数量仍为 6 条, 核心条件构成与表 5 基本一致, 仅个别边缘条件的符号发生变化, 总体解覆盖度和一致性变化幅度小于 5%。表明研究结果对 PRI 阈值设定不敏感。

第二, 调整频数阈值。由于样本量仅 46 家, 频数阈值通常设为 1。为进一步检验, 尝试将频数阈值设为 2, 发现组态数量减少至 5 条, 但保留的组态核心条件完全一致, 丢失的组态为覆盖度较低的 H4。考虑到中小样本研究中频数阈值设为 1 更常见, 且覆盖度较低的路径仍具有理论意义, 本文保留频数阈值 1 的设定。

综合以上敏感性分析, 本文的组态结果具有较好的稳健性。

5. 结语

本文以 TOE 分析框架为基础, 选取物流行业企业作为研究样本, 采用 fsQCA 方法从组态视角切入, 深入分析研发投入占比、研发人员占比、企业规模、总资产周转率、行业竞争程度、ESG 环境项得分这 6 项前因条件, 对企业碳减排绩效形成的联合作用机制。最终分析结果表明, 物流企业达成高水平碳减排的路径可归纳为四类, 分别是技术 - 组织协同型、规模 - 人才协同型、ESG 主导 - 弱势补充型和全要素驱动型, 相关结论可以为物流企业完善自身碳减排实施路径给出决策参考。

参考文献

- [1] 雷玉桃, 彭文祥. 数字化转型与企业碳排放——基于“倒 U”型关系的实证[J]. 统计与决策, 2025, 41(9): 179-183.
- [2] 周倩, 王树祥, 王孝莹. 组态视角下物流企业数字化对碳减排的影响路径研究[J]. 管理学报, 2023, 20(8): 1138-1147.
- [3] 何燕子, 黄雪纯. 技术创新与物流企业绿色供应链效率的耦合协调及影响因素[J]. 长沙大学学报, 2025, 39(3): 71-81.
- [4] 岳文也, 薛晓芳. 组态视角下企业碳减排路径研究[J]. 低碳世界, 2026, 16(1): 186-188.
- [5] 李存荣, 田子明. 异质性视角下数字化水平对物流企业经营绩效的影响[J]. 统计与决策, 2025, 41(16): 184-188.

- [6] 陈杰. 战略一致性视角下物流企业数字化转型策略优化研究[J]. 中国物流与采购, 2025(21): 79-80.
- [7] 樊茗玥, 汤越. 数字化情境下物流企业 ESG 表现提升企业竞争优势机制研究[J]. 经营与管理, 2025(5): 31-42.
- [8] Fiss, P.C. (2011) Building Better Causal Theories: A Fuzzy Set Approach to Typologies in Organization Research. *Academy of Management Journal*, **54**, 393-420. <https://doi.org/10.5465/amj.2011.60263120>