

引用格式: 祁慧博, 龙飞. 基于贝叶斯网络的控排企业林业碳汇需求机理与仿真研究[J]. 资源科学, 2018, 40(9): 1822-1830. [Qi H B, Long F. Mechanism and simulation of carbon emission control enterprises' forestry carbon sequestration demand based on Bayesian Network[J]. *Resources Science*, 2018, 40(9): 1822-1830.] DOI: 10.18402/resci.2018.09.12

基于贝叶斯网络的控排企业林业碳汇需求机理与仿真研究

祁慧博, 龙 飞

(浙江农林大学经济管理学院, 杭州 311300)

摘 要: 研究控排企业的林业碳汇需求, 对于引导企业科学选择减排路径与有效发挥林业碳汇抵消企业碳排放的作用而言至关重要。以控排企业为对象, 将其对林业碳汇抵消碳排放机制的认知与响应统一纳入贝叶斯网络, 从而揭示控排企业林业碳汇需求机理, 并从林业碳汇减排量、抵消比例、价格决定、风险承担等多个维度进行仿真。研究表明: 林业碳汇需求是控排企业自身及环境因素复杂作用的动态过程; 尽管在森林增汇与减排方面表现出较高的认知与认可, 但面对当前充裕的碳配额及不明确的林业碳汇市场预期, 控排企业期望林业碳汇占 CCER 的比例及购买林业碳汇的意愿并不高, 且倾向于林业碳汇的价格由政府主导, 而风险由交易双方共担。因此, 激发林业碳汇需求须在掌握控排企业阶段性特征的基础上, 通过碳交易制度创新, 推进排放配额管理及林业碳汇融入国家碳排放权交易体系, 同时稳定企业购买林业碳汇的收益预期。

关键词: 林业碳汇; 控排企业; 需求; 贝叶斯网络

DOI: 10.18402/resci.2018.09.12

1 引言

自《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》确定以市场机制减缓气候变化以来, 碳排放权交易市场发展受到中国政府的高度重视。中国 2011 年起开展碳排放交易试点工作, 2017 年底正式启动了全国统一碳市场, 现行试点碳市场持续运行, 并将逐步过渡到全国碳市场, 预计到 2020 年将有 10 万家企业被纳入。作为碳排放主体和碳市场交易主体的控排企业, 随着碳配额和减排技术改进空间的收紧, 势必在碳市场及相关政策发展中对中国经核证的减排量 (Chinese Certified Emission Reduction, 简称“CCER”) 抵消碳排放的灵活履约机制青睐有加。而在 CCER 项目中, 林业碳汇项目与传统的工业减碳项目不同, 前者除了具有独特的自然固碳作用, 还具有保护生物多样性、改善环境和自

然景观、提高林区农户经营收入等多重效益。尽管中国提出大力发展林业碳汇的目标, 但是与可再生能源等项目相比, 前者依然减排量低、项目风险大、开发成本高。因此, 探索控排企业的林业碳汇需求潜能, 以市场手段来增加控排企业的灵活履约选择, 以制度安排来调节生态环境相关者利益关系, 不仅对还原森林生态服务价值具有重要的理论意义, 对国家林业政策和林业碳汇项目实施具有积极指导作用; 而且对增强碳市场有效性和活跃度, 激励控排企业间接减排具有重大的实践价值。

控排企业的林业碳汇需求受多种因素的综合影响, 就企业内部而言, 对林业碳汇在应对气候变化中的作用及抵消机制等方面存在认知和行动上的差异, 同时由控排企业的节能减排技术水平、碳资产管理能力、生产规模、社会责任及市场竞争力

收稿日期: 2017-11-06; 修订日期: 2018-04-28

基金项目: 浙江省自然科学基金青年项目 (Q17G030042); 国家自然科学基金面上项目 (71473230); 国家自然科学基金青年项目 (71803180)。

作者简介: 祁慧博, 女, 山西太原人, 博士, 副教授, 主要从事资源环境经济与政策、森林碳汇经营管理研究。E-mail: huiboqi2005@126.com

通讯作者: 龙飞, E-mail: longf2007@163.com

2018年9月

等方面所决定。控排企业对林业碳汇需求的机理十分复杂,涉及诸多关联变量、互补信息、路径选择及不确定性,而上述机理在现有的关注企业减排效率、减排方式及对林业碳汇的支付意愿等相关研究中并未充分揭示。由此,本文基于贝叶斯网络模型,将控排企业特征及其与碳市场的关系、对碳汇抵消机制与林业碳汇的认知等纳入统一的控排企业林业碳汇需求机理研究模型,并以上海市电力、化工和钢铁三个高耗能行业146份企业调查问卷数据进行仿真,进而得出企业林业碳汇购买意愿、碳价决定与风险分担等的关联强度与先验概率。

2 文献述评

在碳排放权总量控制和交易(Cap and Trade,以下简称“C&T”)环境下,控排企业根据自身投入产出、发展阶段与经营特点,考虑林业碳汇项目履约机制与林业碳汇价格而做出经营决策^[1,2]。目前众多学者从宏观上分析了林业碳汇需求潜力提升中亟待解决的技术与制度保障问题^[3-6],以及中国林业碳汇需求方的竞争压力和阻碍因素^[7,8]。有学者构建行业总体排放权交易量的随机模型^[9,10],分析交易政策、市场规模、减排成本的离散程度对碳市场交易量的影响,或运用资源、环境与经济耦合的宏观计量经济模型分析企业选择CDM项目所产生经济与环境双重效益,定量分析得出包含林业碳汇在内的各类碳汇项目市场需求^[11-14]。

从微观企业层面,部分学者就企业通过采用绿色新技术、参与碳排放权交易以及投资碳汇项目等不同减排决策下的成本收益进行比较分析^[15-17],或以数学规划模型对企业减排决策进行实证研究,特别是采用考虑碳约束下需求不确定的报童模型或企业生产与存储模型,证实某些情景下购买配额比技术减排成本更低,C&T下企业预期利润增加、碳排放量减少^[18]。此外,专门针对控排企业林业碳汇需求的研究则主要采用了条件价值法(CVM),例如,Poudyal等研究了芝加哥气候交易所(CCX)成员的碳补偿类型偏好以及对城市森林碳信用的额外支付意愿^[19],类似,Roh等则分析了韩国销售企业对森林碳信用的支付意愿及其影响因素^[20]。

值得指出的是,尽管围绕控排企业对林业碳汇需求的相关问题研究日渐丰富和深入,但目前的宏

观经济模型对企业减排路径选择的影响因素分解并不透彻,微观经济学模型也未能将控排企业对林业碳汇的需求有条件地依赖多种控制因素而决策进行清晰表达。而且,囿于国内统一碳市场尚未正式开始交易,控排企业对林业碳汇需求的实践和信息不充分,不确定性极强,故通过文献梳理发现,现有针对控排企业微观经营主体的行为决策机理尚不明确。对微观与宏观层面的分析大多处于脱节状态,在得出微观研究结论或构建出单个企业的最优决策模型后,没有进一步推导至宏观市场需求。基于此,本文尝试采用新的技术方法,将微观企业与宏观行业的碳汇需求响应联系起来,采用贝叶斯网络不仅可以表达和分析控排企业对于碳市场交易的不确定性和概率性事件,把单个模型的影响分析结果进行整合,从而获得更多维和系统的仿真结果,而且有助于揭示控排企业的特征、控排企业对林业碳汇的认知及需求之间的内在关联。

3 控排企业对林业碳汇需求的机理分析

3.1 复杂系统网络与消费者行为理论

由于控排企业现阶段对林业碳汇需求不足,在研究控排企业对林业碳汇的需求问题上,仅能通过企业当前特征、认知状况、主观意愿来反映控排企业对林业碳汇的需求机理,由此需要复杂系统网络的分析框架。再借鉴消费者行为理论,控排企业对林业碳汇的需求产生亦是感知、认知、行为以及环境因素的动态过程,但此处仅讨论单项条件因果关系,切断需求因素之间的互动作用,主要考虑到多数控排企业对林业碳汇需求尚未发生,假设为静态无跨期的贝叶斯网络更为适合,并在感知前的多个环节增设被调查者的个人基本信息以侧面反映其所在企业的特点及其对林业碳汇需求的主观评判。因此,厘清上述因素之间的关系,可用于直接或间接影响企业林业碳汇需求的不确定性分析与决策支持研究。

3.2 贝叶斯网络模型

贝叶斯网络模型(Bayesian Network,简称“BN模型”)以贝叶斯公式为理论基础,是一种概率图模型,根据概率图拓扑结构,考察一组随机变量 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 及其 n 组条件概率分布的性质。贝叶斯网

络的形式化定义为: $BN(G, \Theta)$, 其中, G 代表有向无环图, G 的节点为随机变量 $X_i (i=1, \dots, n)$, G 的边即节点间的有向依赖, $n\Theta$ 表示所有条件概率分布的参数集合。若 $n=5$, 从以下简化 BN 模型 (见图 1) 可以看出, X_2 和 X_3 在 X_1 给定的条件下相互独立, X_4 的父母节点为 X_1 和 X_2 , X_5 的父母节点为 X_2 和 X_3 。

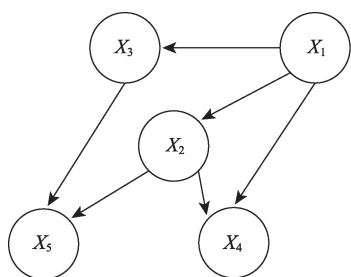


图1 简化的 BN 模型

Figure 1 The simplified BN model

则 $\{X_1, X_2, \dots, X_5\}$ 的联合概率分布为:

$$P(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) = P(X_1)P(X_2|X_1)P(X_3|X_1)P(X_4|X_1, X_2)P(X_5|X_2, X_3) \quad (1)$$

因此, 在贝叶斯网络构建中, 依次计算每个变量的有向分离 (D-separation) 的局部测试结果, 综合每个节点便得到贝叶斯网络。其算法过程为:

- (1) 选择变量的一个合理顺序 X_1, X_2, \dots, X_n ;
- (2) 在网络中添加节点 $X_i (i=1, \dots, n)$;
- (3) 在 X_1, X_2, \dots, X_n 中选择 X_i 的父母节点, 使 $P(X_i | \text{Parent}(X_i)) = P(X_i | X_1, X_2, \dots, X_{i-1})$;
- (4) 以上述构造方法, 保证全局概率要求, 即:

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | X_1, X_2, \dots, X_{i-1}) \\ = \prod_{i=1}^n P(X_i | \text{Parent}(X_i)) \quad (2)$$

BN 模型的仿真过程分为两步:

(1) 确定随机变量之间的结构关系, 即在给定一个数据样本集的前提下, 寻找一个与训练样本集匹配最好的网络结构, 该过程称为结构学习;

(2) 在给定网络结构与训练样本集后, 利用先验知识确定贝叶斯网络各节点的条件概率分布, 该过程称为参数学习。这两步法的优势在于每次估计只需要考虑一个局部概率分布函数, 而无须估计全局概率分布函数, 这就大大降低了模型估计的复杂性。贝叶斯网络参数确定后, 即可利用贝叶斯网络结构和各节点的条件概率, 在已知证据节点集合

的取值状态下, 计算证据节点的后验概率分布。贝叶斯网络能够根据各变量所对应的数据信息, 估计出相互之间复杂的概率相依性。并通过节点之间的链接而为多个变量之间的复杂依赖关系提供统一表达模型, 从而克服了主观判断的局限性和盲目性, 也避免了传统线性和非线性预测模型的过度拟合问题, 这有助于整合多维度信息, 提高目标变量预测的准确性。

3.3 理论模型的构建

根据以上分析框架, 在对关键节点的边际分析和链接反向调整, 以及模型有效性和稳健性检验的基础上, 本文构建了图 2 所示包含 20 个节点, 35 条有向链接的控排企业对林业碳汇的需求模型。其中, 每个节点代表一个随机变量 (用 “V11—V52” 表示), 每条有向链接代表变量间的直接依赖关系。每个节点均有一个概率分布, 从而同时赋予其定量和定性双重含义 (即结构与参数), 有助于利用数据间的关系反映需求机理并进行仿真研究。

将来自控排企业的被调查者的受教育水平、所处行业、职位及所在部门作为对林业碳汇需求感知的前置条件, 直接与其是否了解森林在气候变化中的作用、林业碳汇交易和 CCER 密切相关; 进一步拓展出对林业碳汇市场的环保作用、林业碳汇项目减排绩效、采用抵消机制带来的经济和社会效益等的认知, 及企业自身在低碳领域的发展水平和技术减排的特征等内部环境的判断; 以上述因素为基础, 考察企业在不同条件下对林业碳汇的购买意愿、CCER 的抵消比例、是否强制购买、碳价由谁决定、风险如何分摊等有关需求的发生概率, 或是逆向推出在一定的价格决定和风险分摊机制下, 企业对林业碳汇的购买意愿以及强制购买的必要性等, 从而完成了对控排企业林业碳汇需求机理的完整表现。

4 控排企业对林业碳汇的需求仿真

4.1 数据来源

目前国内控排企业的碳排放交易主要集中于上海、北京、深圳、广东、天津、重庆、湖北等 7 个碳交易试点。其中, 上海环境能源交易所的线上交易规模位列全国第三, 是国内唯一连续 3 年 100% 履约的试点碳市场, 2016 年该试点配额及 CCER 现货合计成交 2329.8 万 t, 成交额 1.7 亿元, 截止 2016 年,

2018年9月

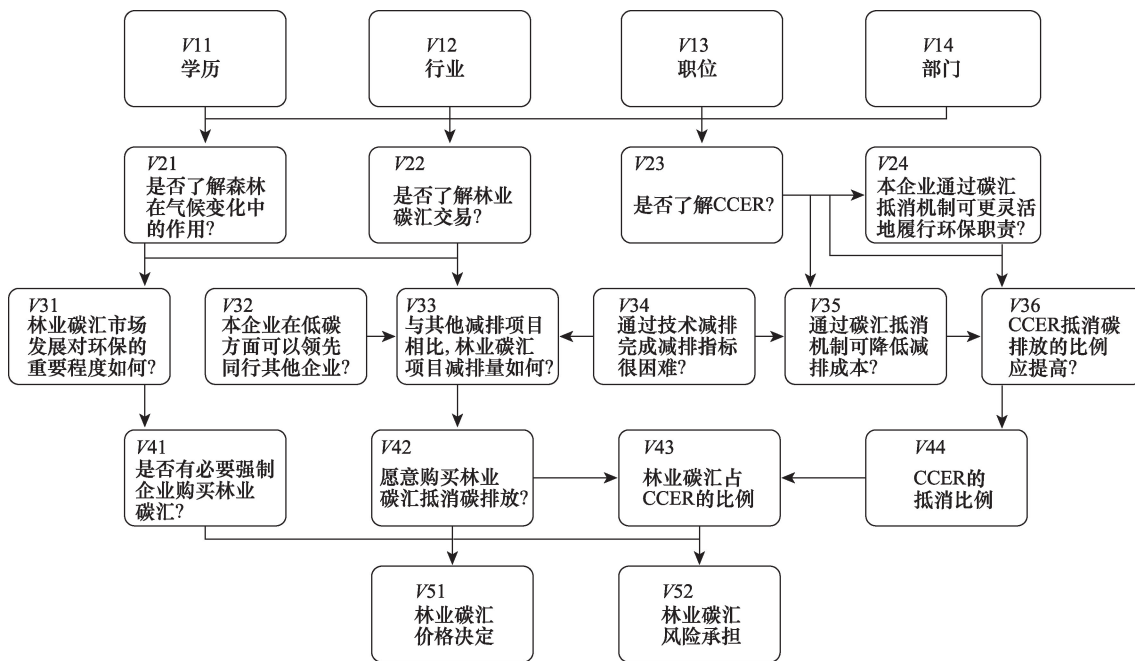


图2 反映控排企业对林业碳汇需求的贝叶斯网络结构

Figure 2 BN structure reflecting the forestry carbon sequestration demand by control enterprises

CCER 现货交易量累计排名全国第一。鉴于上海的控排企业所处的碳市场环境相对成熟与完善,课题组于2015年对上海168家碳交易试点企业中的电力、钢铁和化工企业进行问卷调查与关键信息人结构化访谈。三个行业各随机抽取8家企业,每个样本企业员工按照学历排序,为减少误差,去掉最高学历与最低学历的样本,每个行业抽取了50个员工样本,经过对回收问卷的审核,筛选了4份无效问卷,最终收回有效问卷146份,有效率97.33%。

4.2 研究结果

4.2.1 控排企业对林业碳汇需求的贝叶斯网络初始状态

在贝叶斯网络中,对各变量取值及分布概率进行初始定义,并借助问卷及访谈信息匹配多个随机变量构成的条件概率值,由此描述节点之间先验概率和后验概率的关系,形成控排企业对林业碳汇需求的贝叶斯网络初始状态。在146位被调查者中,认为林业碳汇价格应由市场决定、由政府决定以及由市场为主来决定的比例分别占38%、26%和31%;而认为林业碳汇的风险应由交易双方共同承担的比例则高达83%。当然,这一判断还间接受到被调查者的个人特征、对林业碳汇和抵消机制的认知的影

响,网络初始状态也反映出变量分布及变量关联。

4.2.2 控排企业对林业碳汇需求的贝叶斯网络仿真结果

调整贝叶斯网络初始状态中的部分参数(随机变量概率分布),并将其设置为控排企业期望达到的林业碳汇需求目标,在贝叶斯网络中通过机器学习方法,所有参数更新后将得出一组仿真结果。例如,将V43“林业碳汇占CCER的比例”设为目标变量,目标值为林业碳汇占比应在10%以上的认同概率达到100%,仿真结果如图3所示。与初始状态相比,如果控排企业一致赞成林业碳汇在CCER抵消碳排放量中的份额超过10%,则从其先验概率来讲,企业可接受的CCER抵消碳排放的比例与购买林业碳汇的意愿同时降低;从其事后影响来看,企业则对林业碳汇价格由市场决定的认同比例明显提升。这说明企业选择以较低CCER使用比例和林业碳汇购买意愿为前提的林业碳汇CCER比例上升,实则反映出企业对林业碳汇的需求不足,更深层次的诱因是面对碳配额发放充裕与抵消机制不完善的外部环境,企业没有减排的技术压力,也无法明确林业碳汇CCER能否用于后续的履约,进而与其他减排项目相比,控排企业对林业碳汇项目的

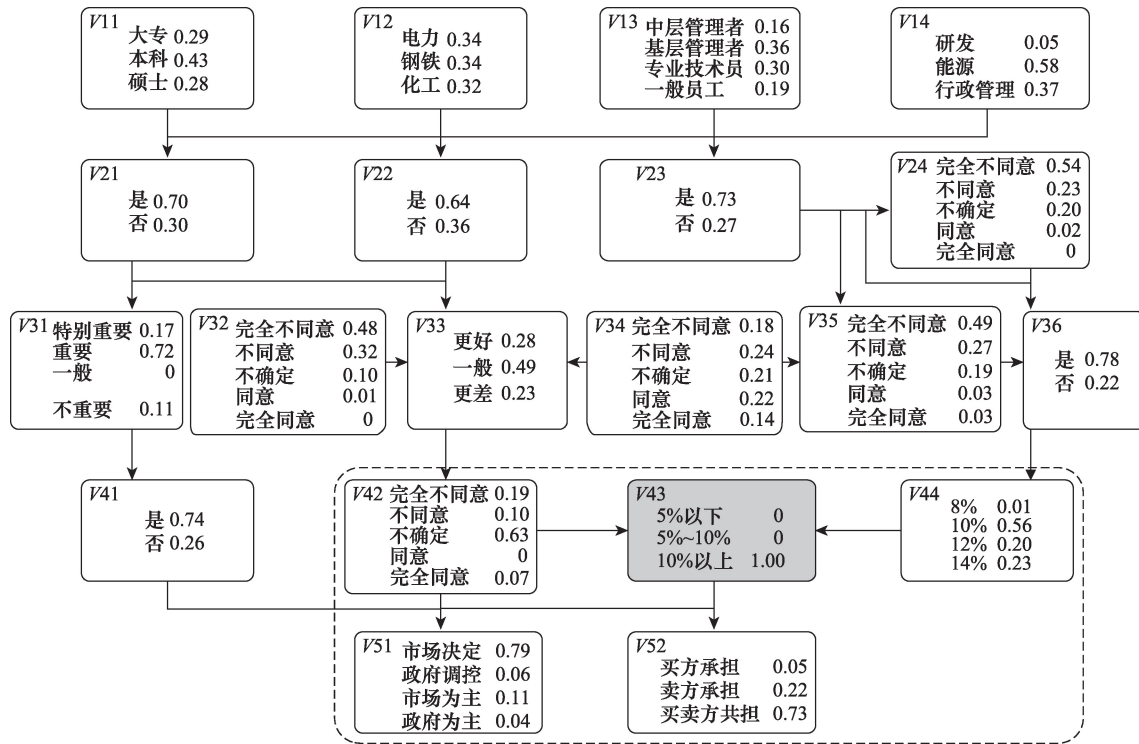


图3 控排企业林业碳汇需求的贝叶斯网络仿真结果

Figure 3 BN simulation result of the forestry carbon sequestration demand by control enterprises

注:灰色框内表示目标变量,虚线框内表示目标变量调整下的先验概率和后验概率。

减排量并没有过高的期望。

4.2.3 控排企业对林业碳汇需求的条件概率

根据控排企业对林业碳汇的需求机理,遵循如上

的仿真思路与贝叶斯规则,利用实地调研数据,通过改变状态参数,表1—表3展示了控排企业对林业碳汇认知、评价以及需求期望等的条件概率测算结果。

表1 控排企业对林业碳汇认知的条件概率

Table 1 Conditional probability of forest carbon sequestration cognition by control enterprises

P(个体特征 认知)		是否了解森林在 气候变化中的作用		是否了解林业 碳汇交易		是否了解 CCER	
		是	否	是	否	是	否
学历	大专	0.24	0.45	0.20	0.47	0.14	0.63
	本科	0.45	0.35	0.45	0.38	0.50	0.28
	硕士	0.30	0.20	0.35	0.15	0.36	0.09
行业	电力	0.36	0.32	0.32	0.38	0.33	0.36
	钢铁	0.33	0.35	0.34	0.33	0.34	0.33
	化工	0.31	0.33	0.34	0.29	0.33	0.31
职位	中层管理者	0.15	0.20	0.12	0.23	0.10	0.26
	基层管理者	0.40	0.23	0.38	0.30	0.40	0.28
	专业技术人员	0.30	0.26	0.33	0.23	0.33	0.23
	一般员工	0.15	0.30	0.17	0.25	0.16	0.23
部门	研发	0.04	0.08	0.50	0.06	0.03	0.10
	能源	0.64	0.41	0.62	0.47	0.65	0.49
	行政管理	0.32	0.51	0.33	0.46	0.32	0.40

2018年9月

表1中的概率值表示以“是否了解森林在气候变化中的作用”“是否了解林业碳汇交易”“是否了解CCER”为子节点并在确定取值下,以企业被调查者个体特征为父母节点的离散型变量概率分布。表1数据显示,若有证据表明控排企业被调查者100%了解森林在气候变化中的作用,则这些被调查者在学历上处于大专、本科、硕士的概率分别为0.24、0.45、0.30,职位为中层管理者、基层管理者、专业技术员和一般员工的概率分布为0.15、0.40、0.30和0.15。这种由认知确定性结果去逆推被调查者个体特征概率的方法,通过不同认知状态下的概率比较,可得到更多属性的信息,较为突出的归纳如下:

(1)尽管控排企业对林业碳汇的认知与企业被调查者个体特征之间的相关程度并不高,但个体特征依然是其对林业碳汇认知情况的先决条件。

(2)无论是对于森林在气候变化中的作用、林业碳汇交易,还是CCER,对这三者的了解往往以企业被调查者具有更高的学历、更多的来自于能源而非行政部门、更多的处于基层管理者和专业技术员的职位为前提。

(3)样本信息并未表现出不同行业的控排企业对林业碳汇的认知有明显差异,这与以钢铁、化工和电力三大行业为主的企业近乎同步被上海纳入配额管理范围有关。以被调查者认知所代表的企

业对林业碳汇的认知构成其对林业碳汇需求的第一环节。

表2中是以“与其他减排项目相比,林业碳汇项目减排量如何”这一评价为子节点,并分别在“更好”“一般”“更差”三种确定值下得出有关企业对林业碳汇认知和企业减排环境为父母节点的概率分布。如果所有被调查者均对林业碳汇减排绩效表示乐观,则通过后验概率看出,做出这种评价的被调查者中,有86%了解森林在气候变化中的作用,有84%了解林业碳汇交易,有62%完全不同意或不同意“通过技术减排完成减排指标很困难”这一陈述。相比对林业碳汇项目减排量评价为“一般”和“更差”的结果,评价为“更好”的对森林在气候变化中的作用和林业碳汇交易了解的概率较高,而对本企业在行业中低碳方面的表现总体反馈偏于谨慎,但不认同企业技术减排困难的概率在上升,故也体现出控排企业在适应C&T环境中的阶段性特征,即使意识到林业碳汇项目减排的优势,但在目前碳指标丰沛的情况下,企业减排压力较小且技术减排尚有一定的空间,这成为控排企业林业碳汇需求不足的根本原因。

表3中以“林业碳汇价格应如何决定”“林业碳汇风险应由谁承担”这两项林业碳汇市场期望为子节点,在确定值下得出控排企业对林业碳汇需求概

表2 控排企业对林业碳汇评价的条件概率

Table 2 Conditional probability of forest carbon sequestration evaluation by control enterprises

P(认知,环境 评价)		与其他减排项目相比,林业碳汇项目减排量如何		
		更好	一般	更差
是否了解森林在气候变化中的作用	是	0.86	0.70	0.62
	否	0.14	0.30	0.38
是否了解林业碳汇交易	是	0.84	0.59	0.59
	否	0.16	0.41	0.41
本企业在低碳方面可以领先同行其他企业	完全不同意	0.46	0.49	0.49
	不同意	0.37	0.28	0.32
	不确定	0.16	0.21	0.18
	同意	0.01	0.02	0.01
通过技术减排完成减排指标很困难	完全同意	0.00	0.00	0.00
	完全不同意	0.28	0.13	0.16
	不同意	0.34	0.23	0.18
	不确定	0.19	0.26	0.13
	同意	0.11	0.23	0.33
	完全同意	0.07	0.15	0.21

表3 控排企业对林业碳汇需求期望的条件概率

Table 3 Conditional probability of forest carbon sequestration expectation by control enterprises

P(需求 期望)		林业碳汇价格应如何决定				林业碳汇风险应由谁承担		
		市场决定	政府调控	市场为主, 政府为辅	政府为主, 市场为辅	买方承担	卖方承担	买卖双方共同承担
是否必要强制购买林业碳汇	是	0.69	0.71	0.84	0.81	0.83	0.51	0.81
	否	0.31	0.29	0.16	0.19	0.17	0.49	0.19
愿意购买林业碳汇用于抵消碳排放	完全不同意	0.16	0.17	0.34	0.06	0.06	0.03	0.29
	不同意	0.09	0.38	0.23	0.05	0.04	0.03	0.29
	不确定	0.48	0	0.06	0.02	0	0.26	0.22
	同意	0.13	0.24	0.19	0.37	0.38	0.39	0.10
	完全同意	0.13	0.20	0.19	0.50	0.52	0.29	0.10
林业碳汇占CCER的比例	5%以下	0.22	0.35	0.28	0.64	0.63	0.58	0.15
	5%~10%	0.40	0.56	0.62	0.17	0.17	0.19	0.64
	10%以上	0.38	0.08	0.10	0.19	0.20	0.23	0.21

率。这里的需求通过对林业碳汇强制购买的必要性、购买的意愿以及在CCER中的比例三个维度综合反映,从结果可以看出:

(1)若林业碳汇价格由政府和市场共同作用决定,其先决条件中林业碳汇的强制购买概率在80%以上,高于单纯依靠政府或市场来决定价格时的情景。

(2)企业购买林业碳汇用于抵消碳排放的意愿强烈(对此论述作答为“完全同意”和“同意”的概率和为87%~90%),将引致企业更高概率上期望林业碳汇价格由政府为主、市场为辅而决定,且买方愿意单独承担林业碳汇项目风险的概率上升。

(3)买卖双方共同承担林业碳汇风险的情况下,企业可接受的林业碳汇在CCER抵消碳排放的比例为5%以上、5%~10%和10%以上的概率分别为15%、64%和21%,碳交易市场的初衷依然是节能减排,CCER是配额制的补充而非减排的替代品,控排企业对于林业碳汇的需求固然是从企业成本收益核算上对碳交易市场政策变化的动态响应,但多数企业选择5%~10%的林业碳汇占CCER的比例,也与其对林业碳汇项目绩效评价、林业碳汇的认知程度等具有密切关系。再根据各试点年配额总量和各市场对CCER使用的比例限制,可以推算出各市场林业碳汇的最大理论需求量,这对于林业碳汇项目开发和林业碳汇CCER供给也具有参考意义。

5 结论与启示

本文基于贝叶斯网络方法,在C&T背景下着重

分析控排企业的林业碳汇需求机理,并利用碳交易试点上海市钢铁、化工和电力三个行业控排企业的146份调查问卷数据进行仿真,得出如下主要结论:

(1)控排企业对林业碳汇的需求不仅是受传统研究中政策、市场等独立因素的影响,而且是从企业自身出发的感知、认知、行为以及环境因素复杂作用下的动态过程。

(2)在以训练样本集匹配的贝叶斯网络结构中给出先验概率,发现企业对CCER的认知与本企业利用碳汇抵消机制减排、通过低碳环保行为来提升企业形象的判断高度相关;企业认为林业碳汇在CCER抵消碳排放量的比例是否提高以及提高至多少等方面也存在较强的相关性。

(3)在众多与控排企业林业碳汇需求有关的因素中,以“个体特征-认知-环境-评价-需求-期望”为线索,得出的条件概率为反映控排企业林业碳汇需求的复杂因果关系提供了统一的表达方式,如结合各试点的配额量与CCER使用比例,即可推算出控排企业林业碳汇的最大理论需求量。

(4)企业内部具有更高学历、来自能源部门的基层管理者和专业技术人员对于林业碳汇交易和CCER的了解程度更高;若被调查者均认为林业碳汇减排优于其他项目减排,其前提则是他们中超过80%的人了解森林在气候变化中的作用以及林业碳汇交易,但囿于目前碳交易市场配额超发与CCER机制不完善,技术减排在当前依然是多数控排企业

2018年9月

减排途径的首选,控排企业会因对林业碳汇市场预期不明确而削弱其购买林业碳汇的意愿,在买卖双方共同承担林业碳汇风险的情况下,64%的企业选择林业碳汇占CCER的比例为5%~10%;在林业碳汇价格由政府为主、市场为辅而决定的情景下,才有87%企业愿意购买林业碳汇。

综上所述,结合控排企业所面临的内外部环境,从企业林业碳汇需求分析得出以下几点启示:

(1)鼓励和引导企业购买林业碳汇以抵消企业碳排放量,但需给予控排企业较为稳定的林业碳汇市场发展预期,譬如跨地履约的灵活性、交易双方风险共担以及政府为主、市场为辅的价格决定等。

(2)控排企业目前对林业碳汇市场的认知程度以及林业碳汇减排量的认可程度较高,但却未转化为对林业碳汇CCER的直接有效需求,从企业角度来看,准入政策、配额价格、市场活跃性、控排企业刚需、全国统一碳市场的政策信号等条件欠缺,均使得CCER实际需求远低于最大使用上限。

(3)充分考虑林业碳汇的减排和增汇等多重效益及当前碳市场的发展阶段,若要进一步扩大控排企业对林业碳汇的需求,单靠CCER中的林业碳汇项目抵消机制将十分有限,如能以免费分配的方法将林业行业碳汇指标纳入碳排放权交易配额管理,同时逐步稳健收紧对控排企业初始碳配额的发放,将倒逼控排企业增加对林业碳汇的需求,甚至促进企业进行长期的林业碳汇项目投资。

参考文献(References):

- [1] Kesicki F, Strachan N. Marginal abatement cost (MAC) curves: confronting theory and practice[J]. *Environmental Science & Policy*, 2011, 14(8): 1195-1204.
- [2] Kossoy A, Guigon P. State and Trends of the Carbon Market 2012 [R]. Washington: World Bank Institute, 2012.
- [3] 刘伟平,戴永务.碳排放权交易在中国的研究进展[J].林业经济问题,2004,24(4):193-197. [Liu W P, Dai Y W. A review on the emission permits trade of carbon in China[J]. *Problems of Forestry Economics*, 2004, 24(4): 193-197.]
- [4] 林德荣,李智勇,支玲.森林碳汇市场的演进及展望[J].世界林业研究,2005,18(1):1-5. [Lin D R, Li Z Y, Zhi L. The evolution and prospect of forest carbon sinks market[J]. *World Forestry Research*, 2005, 18(1): 1-5.]
- [5] 武曙红,宋维明.森林管理项目纳入我国碳补偿自愿市场必要性分析[J].林业经济,2008,(12):53-56. [Wu S H, Song W M. Analysis of the necessity of improved forest management project being included into the market for voluntary carbon offset[J]. *Forestry Economics*, 2008, (12): 53-56.]
- [6] 曹玉昆,王建.林业在发展低碳经济中的作用研究[J].中国林业经济,2012,(3):53-55. [Cao Y K, Wang J. Research of the role of forestry in developing low-carbon economy[J]. *China Forestry Economics*, 2012, (3): 53-55.]
- [7] 赵庆建,温作民,张华明.CDM机制下森林碳汇潜力估算与市场开发政策创新[J].科技与管理,2011,13(6):56-59. [Zhao Q J, Wen Z M, Zhang H M. Forestry carbon sequestration analysis and market policy innovation of clean development mechanism in China[J]. *Science-Technology and Management*, 2011, 13(6): 56-59.]
- [8] 李怒云,龚亚珍,章升东.林业碳汇项目的三重功能分析[J].世界林业研究,2006,19(3):1-5. [Li N Y, Gong Y Z, Zhang D S. Forestry carbon sequestration projects in China[J]. *World Forestry Research*, 2006, 19(3): 1-5.]
- [9] Mandell S. Optimal mix of emissions taxes and cap-and-trade[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2008, 56(2): 131-140.
- [10] 安崇义,唐跃军.排放权交易机制下企业碳减排的决策模型研究[J].经济研究,2012,(8):47-58. [An C Y, Tang Y J. Research on decision model of enterprises' carbon emission reduction under emission trading system[J]. *Economic Research Journal*, 2012, (8): 47-58.]
- [11] Guthrie G, Kumareswaran D. Carbon subsidies, taxes and optimal forest management[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2009, 43(2): 275-293.
- [12] 王灿,陈吉宁,邹骥.基于CGE模型的CO₂减排对中国经济的影响[J].清华大学学报(自然科学版),2005,45(12):1621-1624. [Wang C, Chen J N, Zou J. Impacts of carbon emission reductions on the Chinese economy based on CGE[J]. *Journal of Tsinghua University (Sci & Tech)*, 2005, 45(12): 1621-1624.]
- [13] 周宏春.世界碳交易市场的发展与启示[J].中国软科学,2009,(12):39-48. [Zhou H C. Development of carbon market in the world and its implications[J]. *China Soft Science*, 2009, (12): 39-48.]
- [14] 姜霞,黄祖辉.经济新常态下中国林业碳汇潜力分析[J].中国农村经济,2016,(11):57-67. [Jiang X, Huang Z H. Analysis of China's forestry carbon sequestration potential under economic new normal[J]. *China Rural Economy*, 2016, (11): 57-67.]
- [15] 涂正革.中国的碳减排路径与战略选择—基于八大行业部门碳排放量的指数分解分析[J].中国社会科学,2012,(3):78-94. [Tu Z G. Strategic measures to reduce China's carbon emissions: based on an index decomposition analysis of carbon emissions in eight industries[J]. *Social Sciences in China*, 2012, (3): 78-94.]
- [16] 夏炎,范英.基于减排成本曲线演化的碳减排策略研究[J].中国软科学,2012,(3):12-22. [Xia Y, Fan Y. Study on emission re-

- duction strategy on evolutive CO₂ abatement cost curve[J]. *China Soft Science*, 2012, (3): 12–22.]
- [17] Vass M M. Renewable energies cannot compete with forest carbon sequestration to cost-efficiently meet the EU carbon target for 2050[J]. *Renewable Energy*, 2017, 107: 164–180.
- [18] 何大义, 马洪云. 碳排放约束下企业生产与存储策略研究[J]. 资源与产业, 2011, 13(2): 63–68. [He D Y, Ma H Y. Strategy of enterprise production and store under constraints of carbon emission [J]. *Resources and Industries*, 2011, 13(2): 63–68.]
- [19] Poudyal N C, Siry J P, Bowker J M. Urban forests' potential to supply marketable carbon emission offsets: a survey of municipal governments in the United States[J]. *Forest Policy & Economics*, 2010, 12(6): 432–438.
- [20] Roh T, Koo J C, Cho D S, *et al.* Contingent feasibility for forest carbon credit: evidence from South Korean firms[J]. *Journal of Environmental Management*, 2014, 144: 297–303.

Mechanism and simulation of carbon emission control enterprises' forestry carbon sequestration demand based on Bayesian Network

QI Huibo, LONG Fei

(School of Economics and Management, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: To guide enterprises for a scientific identification the path of emission reduction and effectively plays an offset role of forestry carbon sequestration to the carbon emissions. It is vital to study the enterprises' demand for forestry carbon sequestration. The carbon emission control enterprises, i. e., the cognition and response of forestry carbon sequestration carbon offset mechanism are integrated into a Bayesian network. The current study illustrated the mechanism of forestry carbon sequestration demand and simulated the multi-dimensions such as the emission reduction, offset ratio, price determination, and risk sharing of forestry carbon sequestration. The demand for forestry carbon sequestration is a dynamic process of the complicated action among the carbon emission control enterprises and the environmental factors. The carbon emission control enterprises did show a high recognition and accreditation of increasing carbon sink and reducing emission of forest. Confronted with the abundant carbon quota as well as the unclear expectation of forestry carbon sequestration, the expected proportion of forestry carbon sequestration to CCER and the willingness to buy forestry carbon sequestration are not high. And the prices of forestry carbon sequestration are inclined to be dominated by the government and the risks are expected to be shared by both trading parties. In order to stimulate the demand for forestry carbon sequestration, based on the stage characteristics of the carbon emission control enterprises, the government should promote the allocation of emission quotas and forestry carbon sequestration into the national carbon emissions trading system through the carbon trading system innovation, with stabilizing prospective earnings from purchasing of forestry carbon sequestration.

Key words: forestry carbon sequestration; carbon emission control enterprises; demand; Bayesian Network