

DOI: 10.13332/j.1000-1522.20180198

基于分类分析的中国碳交易价格变化分析 ——兼对林业碳汇造林的讨论

张颖 张莉莉 金笙

(北京林业大学经济管理学院,北京 100083)

摘要:【目的】为了加强对中国碳交易市场价格的管理,推动林业碳汇造林的发展,调动碳汇造林者的积极性,本文对2013年以来中国碳交易试点的碳交易价格进行了分析,以期为相关管理决策提供参考。【方法】研究选取2013年6月至2018年3月中国碳排放权交易市场的实际交易数据,采取分类分析中聚类分析和判别分析的方法对2013年以来中国碳交易试点的碳交易价格进行分析。【结果】我国的碳排放权交易市场价格存在明显的波动性和规律性,每年6月或7月和1月及2月份是碳市场最为活跃的时期,且在周期性波动中,交易价格明显发生变化。碳交易价格共分为3类,即1—5月份交易价格为第1类;6—7月份交易价格为第2类;8—12月份交易价格为第3类。另外,在碳交易价格周期性波动中,每年4月份、9月份的碳交易价对价格划分的影响较大,且对交易价格类型的划分的影响显著。另外,研究还对林业碳汇造林进行了讨论,指出按目前的碳市场价格进行林业碳汇交易,其收益远低于当前的林业碳汇平均造林成本。目前的林业碳汇造林平均成本约为28 812.08元/hm²,造林30年的林业碳汇平均收益为14 102.58元/hm²。这是在目前的碳汇管理中迫切需要解决的问题。【结论】我国的碳排放权交易市场价格存在明显的波动和规律性,且价格的波动幅度较大。一年中的碳交易价格呈现3次近似的“V”字型变化。目前,我国林业碳汇造林的平均成本远高于按目前碳市场价格所获得的平均收益,从经济上来说是十分不划算的,这种情况应该引起人们的注意。

关键词:碳交易市场;交易价格;周期性波动;林业碳汇;平均收益;资源管理

中图分类号:S718.5; F307.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1522(2019)02-0116-09

引文格式:张颖,张莉莉,金笙. 基于分类分析的中国碳交易价格变化分析——兼对林业碳汇造林的讨论[J]. 北京林业大学学报,2019,41(2):116-124. Zhang Ying, Zhang Lili, Jin Sheng. Carbon trading price changes in China's carbon emission rights trading trials based on classification analysis: a discussion on forestry carbon sequestration afforestation[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2019, 41(2): 116-124.

Carbon trading price changes in China's carbon emission rights trading trials based on classification analysis: a discussion on forestry carbon sequestration afforestation

Zhang Ying Zhang Lili Jin Sheng

(School of Economics & Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: [Objective] In order to strengthen the management of China's carbon trading market price, promote the development of forestry and stimulate the initiative of carbon sequestration foresters, the study analyzed the carbon trading price of China's carbon trading pilot market since 2013, in order to provide reference for relevant management decision-making. [Method] The study selected actual transaction data of China's carbon emissions rights trading market from June 2013 to March 2018, and adopted the method of cluster analysis and discriminant analysis in classification analysis and analyzed the carbon

收稿日期: 2018-06-14 修回日期: 2018-09-16

基金项目: 全国统计科学研究重大项目“SEEA 框架下自然资源资产估价方法及负债表编制的统计规范研究”(2017LD03)。

第一作者: 张颖,教授,博士生导师。主要研究方向:资源、环境评价与核算,区域经济学。Email: zhangyin@bjfu.edu.cn 地址: 100083 北京市海淀区清华东路35号北京林业大学经济管理学院。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

trading trials price changes since 2013 in China. [**Result**] The results showed that China's carbon emissions trading trial price was fluctuant and regular. The period in June or July and January or February was the most active period of the carbon trading, and in periodic fluctuation of price, the transaction price changed obviously. Trading price played an important role. The price of carbon trading was divided into three categories, i. e. , the price of carbon trading from January to May was the first category, carbon trading price from June to July was the second category, and the trading price from August to December was the third category. In addition, in the periodical fluctuations of carbon trading prices, in every year in April and September, the price of carbon trading had a significant impact on the classification. Furthermore, the study also discussed forestry carbon sink afforestation, and pointed out that the revenue of forestry carbon sink afforestation was much lower than the current average cost of it. At present, the average cost of forestry carbon sink afforestation was about 28 812. 08 CNY /ha, and the revenue of forest carbon sink of 30 years was about 14 102. 58 CNY/ha, which was an urgent problem to be solved in current carbon trading management. [**Conclusion**] China's carbon emission trading market price has obvious fluctuation and regularity, and the fluctuation range of price is large. There are three similar "V" changes in the price of carbon trading over the course of a year. At present, the average cost of forestry carbon sink afforestation is much higher than the average revenue obtained at the current carbon market transaction price, which is not cost-effective economically, which should be noticed.

Key words: carbon trading market; trading price; cyclical fluctuation; forestry carbon sinks; average revenue; resource management

全球气候变暖是人类迄今所面临的最严重的环境问题。解决气候变暖问题的主要措施之一就是减少温室气体的排放。CO₂作为主要的温室气体,在全球温室气体减排中有着举足轻重的地位。自从《京都议定书》生效以来,各国对碳排放给予相当程度的关注^[1],我国也于2013年开始了7个省市的碳排放权交易试点。目前,已有8个省市加入了碳排放权交易试点,国家发改委也正式宣布于2017年12月19日启动全国碳交易市场^[2]。中国碳市场已超过欧盟成为全球最大的碳市场,但中国碳交易价格上下波动,基本维持在每吨30元人民币上下,很难满足减排的需要,也难以刺激碳汇造林的积极性。因此,加强对中国碳交易市场价格的管理,成为碳交易市场发展的重点,也成为碳排放权交易管理的难点。

1 研究背景

众所周知,自1992年联合国通过了《联合国气候变化框架公约》以来,1997年又通过了《京都议定书》。《京都议定书》规定,碳交易是促进全球温室气体减排的新途径。2009年联合国召开了《联合国气候变化框架公约》第15次缔约国会议,温室气体减排量,尤其是CO₂减排量成为各国关注的焦点。欧洲很多国家也成为倡导降低全球碳排放的先锋,并相继成立了很多碳交易所和环交所,促进减排工作的发展。领衔这些交易所的就是2003年建立的

欧盟碳排放交易体系(European Union Emission Trading Scheme, EU ETS)。该体系承担欧洲各国温室气体排放量核配规划工作,以减小CO₂的排放^[1]。在全球CO₂交易中,EUETS的碳交易约占全球碳排放量的一半。自碳排放权交易市场创立以来,根据统计,2006年全球碳市场交易额达到312.35亿美元,2010年接近1 419亿美元^[3]。2011年底,我国也批准在北京、天津、上海、广东、深圳、湖北、重庆7个省市开展碳排放权交易的试点工作。自从2013年开始交易以来,截至2017年9月,全国累计配额交易量达到1.97亿t CO₂当量,约45亿元人民币^[2]。全国约3 000家重点排放单位在这些试点市场进行了交易,涵盖了电力、钢铁、水泥等多个行业,为我国碳市场的全面开展打下一定的基础。

总体来看,我国碳市场的有效性不足,碳交易试点的市场碳价较低,很难发挥市场促进CO₂减排的作用。有关研究表明,按照目前的发展趋势,2020年后,碳价才有可能达到每吨200~300元人民币,才有可能起到促进企业减少CO₂减排的作用^[2~4]。

国内外对碳交易市场的价格都有一定的研究,尤其是Hritonenko等^[5]采用经济控制论的方法,把经济—生态看成一个大的控制系统,即经济—生态系统(Economic—ecological system, EES),并采用最优控制的方法对碳汇的价格进行了系统研究。Blyth等对政策作用、碳市场的风险和碳交易价格的形成等进行了深入研究^[6]。近年来,IPCC对全球农

业、林业和其他土地利用视角下的碳汇、碳源及其碳交易价格的研究较多^[7]，并且具有一定的参考价值。2016年，陈欣^[8]等对我国的7个碳交易试点的价格专门进行了研究，并对交易价格的驱动因素与结构性断点进行了分析。叶斌^[9]等研究了碳排放的影子价格。但是，对于2013年以来我国碳交易试点的交易价格分析，尤其是对不同时间交易价格的分段分析和相关模型的研究较少，对不同交易价格对林业碳汇造林的影响研究更少^[10]。因此，在此背景下，本文采用分类分析的方法，即主要采用该方法中聚类分析和判别分析的方法对2013年以来中国碳交易试点的交易价格进行分析，并建立碳交易价格的判别方程，以期为相关管理决策提供参考。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

本研究主要采取分类分析的方法进行研究。分类分析主要包括聚类分析和判别分析，是一种研究多变量分类的分析方法^[11]。聚类分析(Cluster Analysis)是根据事物在某些特征上的相似性或相异性，并按这些特性将事物划分成不同类别的方法。聚类分析的方法相当多，主要有系统聚类法和非系统聚类法。二者的主要步骤是选择变量、相似性测量、进行聚类和对聚类结果进行解释。本研究中主要采用系统聚类法，并根据中国碳交易试点的统计数据，把2013—2018年不同交易试点、不同年份的1—12月的碳交易量、交易价格等进行聚类，以寻求交易价格的变化规律。

判别分析(Discriminant Analysis)是一种由一个分类变量作为因变量，多个连续的判别变量作为自变量的多变量分析方法。判别分析与回归分析最大的不同在于因变量的量表不一样。回归分析因变量一般为连续数据，判别分析为分类变量^[11]。判别分析的基本模型为：

$$y = b_0 + \sum_{i=0}^k b_i x_i \quad (1)$$

式中： y 是判别函数值； x_i 为判别变量； b_i 为相对应的判别系数； $i=0,1,\dots,k$ ，为判别变量的个数。

本研究中针对不同年份和月份的碳交易价格类别，采用判别分析方法建立不同类型交易价格的判别函数。

2.2 数据来源

研究数据主要来源于中国碳排放交易网^[12]。我国碳排放权交易始于2013年6月17日。在开始交易中，主要包括7个试点省市区，即深圳、北京、上海、广东、天津、湖北、重庆。2017年1月，福建省也

加入碳排放权交易试点行列。因此，在数据收集过程中，主要列出8个碳排放权交易试点省市区，即深圳、北京、上海、广东、天津、湖北、重庆、福建(按试点交易开放顺序排列)。另外，在数据收集过程中，研究主要采用线上数据收集的方法进行碳交易价格和交易量的统计。根据中国碳排放交易网站所公布的碳交易行情变化图(碳K线)^[13]，将2013年6月至2018年3月的碳交易价格和交易量进行统计。统计中，选择每月最后一个交易日作为月份统计数据，并按时间序列和试点交易开放顺序整理成表。全国碳交易价格则采用8个试点碳交易价格加权平均值计算得到，交易量为权数，若一些试点交易没有交易量或交易价格的数据，计算中则不予计算或仅计算碳交易价格的算数平均值。最后，统计整理的2013—2018年8个碳交易试点省市和全国碳交易价格的面板数据如表1所示。

3 结果与分析

由表1的统计结果可以看出：2013—2018年试点地区碳交易成交量激增，交易价格出现明显上涨，价格的波动幅度较大，以2014年11—12月为例，2014年11月碳交易综合价格环比增长约126.56%，同年12月份的综合价格环比下降约51.45%。前期，最先试点的深圳、北京、上海的碳市场交易情况对全国碳交易价格影响较大，但从2014年4月起，由于湖北的碳交易量大幅上升，多次占据同期全国碳交易总额的50%以上，因此也成为影响全国碳交易价格的重要因素。另外，2013—2018年不同试点地区碳成交量激增也与不同试点地区密集出台相关政策有关。仅上海市2014年一年就出台相关碳交易政策8项多，2017年达到2项多^[2]。表1的数据显示，每年年初的碳交易成交量都较低，成交价格较高，除北京、上海外，各试点地区次月起都出现价格下降的趋势；直至7月左右，经历短暂的回升后，价格再次下跌(图1)。因此，不同时间碳交易价格的变化呈明显的季节性变化特征。

为了进一步研究全国碳交易价格的变化规律，分别采用聚类分析和判别分析的方法具体进行分析研究。

3.1 聚类分析

聚类分析中，设全国1—12月的碳交易价格分别为 P_i ， $i=1,2,\dots,12$ ，即 $P_i=P_1, P_2, \dots, P_{12}$ ，碳交易价格分类为 C_t (t 为碳交易价格的分类数)。采用SPSS 21.0进行聚类分析。

首先，采用K-Means聚类分析方法进行快速聚类，发现2013—2018年全国各碳交易试点省市不同

表1 2013—2018年8个碳交易试点省市交易价格统计

Tab. 1 Carbon trading price statistics from 2013 to 2018 in 8 carbon trading pilot provinces in China

省(市) Province(City)	年份 Year	月份 Month								年份 Year	月份 Month			
		6	7	8	9	10	11	12			1	2	3	4
深圳 Shenzhen	2013	29.00	29.00	53.60	64.16	76.53	79.63	66.00		2014	71.58	80.14	82.00	68.93
北京 Beijing	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.25	50.00		2014	50.80	51.78	56.86	53.15
上海 Shanghai	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.80		2014	33.00	40.00	40.00	39.06
广东 Guangdong	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.00		2014	60.00	60.00	61.50	70.88
天津 Tianjin	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.78		2014	25.68	29.49	33.56	37.00
湖北 Hubei	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		2014	0.00	0.00	0.00	24.45
重庆 Chongqing	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		2014	0.00	0.00	0.00	0.00
福建 Fujian	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		2014	0.00	0.00	0.00	0.00
全国 China	2013	29.00	29.00	53.60	64.16	76.53	79.63	29.79		2014	30.13	45.62	56.78	24.54
省(市) Province(City)		月份 Month								年份 Year	月份 Month			
		5	6	7	8	9	10	11	12		1	2	3	4
深圳 Shenzhen		74.99	64.32	61.59	54.70	49.50	41.40	41.98	38.94	2015	43.50	41.83	38.85	47.50
北京 Beijing		53.00	62.45	58.00	53.00	51.00	51.00	52.40	54.19	2015	53.00	54.50	50.00	50.45
上海 Shanghai		38.51	48.00	48.00	48.00	34.90	35.60	35.79	32.65	2015	31.90	32.20	27.75	26.60
广东 Guangdong		61.18	62.41	71.09	43.65	38.74	26.00	21.00	27.74	2015	20.68	20.88	28.16	25.81
天津 Tianjin		28.01	35.58	23.88	20.35	30.09	27.25	25.20	25.22	2015	24.96	24.53	25.31	24.13
湖北 Hubei		24.00	24.40	23.60	23.48	24.99	25.01	24.50	24.20	2015	24.15	21.44	26.20	25.50
重庆 Chongqing		0.00	30.74	30.74	30.74	30.74	30.74	30.74	30.74	2015	30.74	30.74	24.00	24.00
福建 Fujian		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2015	0.00	0.00	0.00	0.00
全国 China		34.96	42.91	23.75	34.24	27.30	30.80	28.95	26.82	2015	28.62	28.27	31.63	30.45
省(市) Province(City)		月份 Month								年份 Year	月份 Month			
		5	6	7	8	9	10	11	12		1	2	3	4
深圳 Shenzhen		42.42	41.01	31.70	34.50	42.90	41.57	42.61	38.90	2016	42.70	47.98	47.43	43.86
北京 Beijing		46.76	40.66	42.00	49.14	39.40	45.00	33.60	40.52	2016	38.90	38.00	33.94	49.70
上海 Shanghai		23.50	15.50	9.50	13.40	12.36	12.50	18.30	11.80	2016	9.20	9.80	6.70	4.94
广东 Guangdong		16.67	15.28	15.20	19.40	16.50	14.99	15.00	18.85	2016	15.01	15.96	14.23	11.89
天津 Tianjin		18.95	14.32	16.75	22.27	23.17	22.86	22.93	22.82	2016	22.80	23.03	23.13	23.15
湖北 Hubei		23.80	25.78	24.00	24.50	23.20	21.21	23.11	24.40	2016	22.20	23.52	21.62	16.77
重庆 Chongqing		24.00	18.00	15.00	15.00	15.00	10.40	12.50	12.50	2016	13.00	13.00	10.00	10.00
福建 Fujian		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2016	0.00	0.00	0.00	0.00
全国 China		24.51	25.90	24.02	26.47	23.86	25.19	33.25	24.61	2016	16.19	19.29	23.11	16.12
省(市) Province(City)		月份 Month								年份 Year	月份 Month			
		5	6	7	8	9	10	11	12		1	2	3	4
深圳 Shenzhen		35.71	46.36	36.29	25.54	31.98	29.83	26.51	29.00	2017	32.73	31.33	35.67	36.52
北京 Beijing		51.00	39.46	53.94	52.10	53.00	52.00	51.99	55.40	2017	50.35	54.98	52.14	49.98
上海 Shanghai		5.50	8.79	9.80	9.80	9.80	9.80	20.60	27.21	2017	36.80	38.28	39.07	37.00
广东 Guangdong		14.94	8.76	8.19	15.16	10.31	10.53	13.67	14.27	2017	17.77	14.63	15.37	14.56
天津 Tianjin		23.01	7.00	14.50	14.70	15.05	15.05	15.05	15.05	2017	15.05	15.05	13.55	13.55
湖北 Hubei		15.17	16.52	14.20	15.33	16.52	16.65	17.78	19.28	2017	18.04	16.91	16.96	16.22
重庆 Chongqing		10.00	10.00	10.00	21.07	34.69	39.60	39.60	14.22	2017	19.99	17.60	6.00	1.43
福建 Fujian		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2017	37.74	36.72	34.60	34.01
全国 China		29.66	8.35	14.23	15.37	23.06	29.06	29.83	21.78	2017	45.44	36.59	30.84	23.73

表1(续)
Tab. 1 (Continued)

省(市) Province(City)	月份 Month								年份 Year	月份 Month		
	5	6	7	8	9	10	11	12		1	2	3
深圳 Shenzhen	30.95	27.21	38.96	38.76	32.19	30.82	32.12	35.75	2018	33.40	39.15	41.84
北京 Beijing	52.53	50.33	50.97	51.00	51.00	50.66	57.71	54.00	2018	58.00	56.20	59.87
上海 Shanghai	35.40	36.37	31.50	25.20	24.80	29.58	32.97	35.00	2018	32.50	34.82	38.62
广东 Guangdong	13.98	12.85	11.64	12.81	13.50	13.44	14.23	12.91	2018	12.70	13.39	16.10
天津 Tianjin	13.55	8.51	8.51	8.51	8.51	8.51	8.51	8.51	2018	8.51	8.51	8.51
湖北 Hubei	16.71	13.58	13.01	12.76	13.81	13.96	14.88	15.68	2018	15.14	14.99	15.11
重庆 Chongqing	3.18	1.50	1.51	2.88	2.29	2.88	2.67	9.82	2018	31.93	31.93	24.00
福建 Fujian	27.41	25.47	31.60	33.30	20.00	28.10	24.83	21.79	2018	20.56	16.49	20.00
全国 China	15.81	11.10	12.99	12.82	10.14	13.61	30.83	14.97	2018	13.77	31.42	25.43

注:在全国碳交易价格统计中,一些试点省市缺少碳交易的数据,交易价格则按算术平均值计算。资料来源于文献[2,12-13]。Notes: in the statistics of national carbon trading price, some pilot provinces lack carbon trading data, and the trading price is calculated according to the arithmetic mean value. Data are cited from reference [2], [12] and [13].

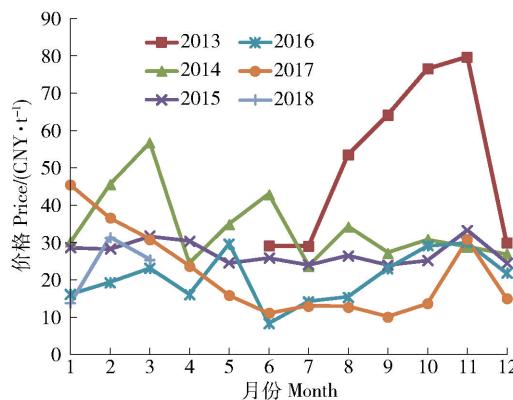


图1 2013—2018年1—12月全国碳交易价格变化

Fig. 1 National carbon trading price changes from January to December in 2013—2018

表2 2013—2018年全国8个碳交易试点1—12月份交易价格聚类结果

Tab. 2 Clustering results for 8 carbon pilot trading prices between January and December from 2013 to 2018 in China

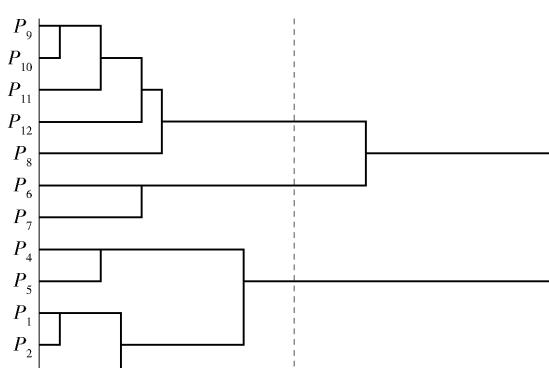
1—12月份碳交易价格 Carbon trading price from January to December(P_i)	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}
不同价格聚类结果 Clustering results for different prices ($C_t, t=3$)	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_8	P_6	P_7	P_4	P_5	P_1	P_2	P_3

图2 全国碳交易价格聚类分析树状图

Fig. 2 Dendrogram of cluster analysis of national carbon trading price

月份碳交易价格分为3类比较合适,即 $t=3$ 。此时Kaiser-Meyer-Olkin检验,即 $KMO=0.868 > 0.5$,巴特利特球体检验的 $P=0.00 < 0.05$,说明分类合适,也非常适合作聚类分析和判别分析。因此,再采用系统聚类方法对全国碳交易价格进行详细分析。具体的聚类结果如表2所示,聚类分析的树状图如图2所示。

由表2、图2的结果可以看出:全国和8个试点地区碳交易价格存在明显的规律性,即每年的1—5月份为一类,一般交易价格较高;6—7月份为一类,交易价格由年初的较高逐步变低;8—12月份为一类,交易价格又由年中的较低逐步走高。

聚类分析的方差分析表如表3所示。表3结果

说明各种变量都通过了显著性水平检验,说明聚类分析结果合理,真实反映了我国碳交易价格的变化情况。

3.2 判别分析

针对上面的分析结果,进一步采用判别分析的方法,定量给出不同月份碳交易价格的判别方程。判别分析中我们首先采用强入法进行分析,即把所有变量作为自变量,分类变量作为因变量进行分析。

判别分析结果的Wilks' Lambda检验见表4。

由表4的Wilks' Lambda值可以看出,采用强入法进行判别分析时,判别方程1和判别方程2的

表3 聚类分析的方差分析表(ANOVA)

Tab. 3 ANOVA of cluster analysis

变量 Variable	聚类 Clustering		误差 Error		F 值 F value	Sig. Sig.
	均方差 Mean square error	df	均方差 Mean square error	df		
P_1	3 504. 594	2	122. 826	33	28. 533	0. 000
P_2	4 146. 392	2	130. 564	33	31. 758	0. 000
P_3	4 280. 117	2	155. 574	33	27. 512	0. 000
P_4	4 819. 278	2	85. 792	33	56. 174	0. 000
P_5	4 380. 834	2	87. 695	33	49. 955	0. 000
P_6	4 662. 146	2	88. 059	33	52. 944	0. 000
P_7	4 706. 253	2	81. 908	33	57. 458	0. 000
P_8	3 459. 768	2	63. 359	33	54. 606	0. 000
P_9	3 133. 144	2	48. 860	33	64. 125	0. 000
P_{10}	2 738. 797	2	63. 523	33	43. 115	0. 000
P_{11}	2 325. 704	2	81. 144	33	28. 661	0. 000
P_{12}	2 273. 651	2	74. 563	33	30. 493	0. 000

表4 判别分析的 Wilks' Lambda 检验

Tab. 4 Test of Wilks' Lambda for discriminant analysis

方程检验 Equation test	Wilks' Lambda	卡方值 Chi-square	df	Sig.
方程1 Equation 1	0. 071	72. 634	24	0. 000
方程2 Equation 2	0. 071	72. 634	24	0. 000
方程3 Equation 3	0. 662	11. 360	11	0. 414

Wilks' Lambda 值为 0. 071, 接近于 0, 其显著性检验 $Sig. = 0. 000$, 小于 0. 05 的显著性水平, 说明判别方程有统计学意义。方程 3 的 Wilks' Lambda 值为 0. 662, 接近于 1, 其显著性检验 $Sig. = 0. 414$, 大于 0. 05 的显著性水平, 说明该判别方程的意义不大, 仍需要采用逐步判别分析的方法进行分析。此时, 采用强入法所求 3 个判别分析的系数如表 5 所示。因此, 采用强入法所求 3 个判别方程的具体形式如公式(2)所示。

进一步采用逐步回归的方法所求的判别方程的检验结果和系数如表 6、表 7 所示。

表5 采用强入法所求出的判别方程的系数

Tab. 5 Discriminant function coefficients of entered method

变量 Variable	判别方程 1 Discriminant equation 1	判别方程 2 Discriminant equation 2	判别方程 3 Discriminant equation 3
	P_1	0. 071	-0. 775
P_2	0. 221	2. 083	0. 775
P_3	-0. 219	-1. 194	-0. 343
P_4	0. 011	0. 931	0. 567
P_5	0. 001	-0. 557	-0. 406
P_6	0. 049	0. 116	-0. 002
P_7	-0. 084	0. 157	-0. 006
P_8	0. 032	-0. 076	0. 013
P_9	0. 166	0. 679	0. 276
P_{10}	-0. 055	0. 368	0. 181
P_{11}	-0. 050	0. 006	0. 143
P_{12}	0. 125	-0. 110	-0. 069
常数项 Constant	-2. 503	-41. 395	-10. 944

注: Fisher 线性判别函数。表 7 同此。Notes: Fisher's linear discriminant functions. Same as Tab. 7.

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 = -2. 503 + 0. 071P_1 + 0. 221P_2 - 0. 219P_3 + 0. 011P_4 + 0. 001P_5 + 0. 049P_6 - 0. 084P_7 + 0. 032P_8 + 0. 166P_9 - 0. 055P_{10} - 0. 050P_{11} + 0. 125P_{12} \\ C_2 = -41. 395 - 0. 775P_1 + 2. 083P_2 - 1. 194P_3 + 0. 931P_4 - 0. 557P_5 + 0. 116P_6 + 0. 157P_7 - 0. 076P_8 + 0. 679P_9 + 0. 368P_{10} + 0. 06P_{11} - 0. 11P_{12} \\ C_3 = -10. 944 - 0. 336P_1 + 0. 775P_2 - 0. 343P_3 + 0. 567P_4 - 0. 406P_5 - 0. 002P_6 - 0. 006P_7 + 0. 013P_8 + 0. 276P_9 + 0. 181P_{10} + 0. 143P_{11} - 0. 069P_{12} \end{array} \right. \quad (2)$$

表6 逐步回归的 Wilks' Lambda 检验

Tab. 6 Test of Wilks' Lambda for stepwise regression

步骤 Step	进入 Entered	统计量 Statistics	df ₁	df ₂	df ₃	F 值 F value			
						统计量 Statistics	df ₁	df ₂	Sig.
1	P_9	0.205	1	2	33	64.125	2	33	0.000
2	P_4	0.138	2	2	33	27.063	4	64	0.000

表7 逐步回归的判别方程的系数

Tab. 7 Discriminant function coefficients of stepwise regression

变量 Variable	判别方程 1	判别方程 2	判别方程 3
	Discriminant equation 1	Discriminant equation 2	Discriminant equation 3
P_4	0.065	0.509	0.230
P_9	0.117	0.771	0.404
常数项 Constant	-1.703	-31.293	-8.440

因此,采用逐步回归的方法求得的最终碳交易价格的分类判别方程为:

$$\begin{cases} C_1 = -1.703 + 0.065P_4 + 0.117P_9 \\ C_2 = -31.293 + 0.509P_4 + 0.771P_9 \\ C_3 = -8.440 + 0.230P_4 + 0.404P_9 \end{cases} \quad (3)$$

从方程(3)的最终结果可以看出,我国碳交易价格存在明显的季节波动性,且从2013—2018年每年的碳交易价格波动存在明显的3个类型,而且3类交易价格波动中受每年4月份、9月份的价格影响较大。

另外,从判别方程的后验结果来看,3个方程的全部样点回代检验的准确度分别为100%,说明判别方程有一定的可信度。同时,也反映出我国碳交易市场价格存在明显的季节波动性和规律性。实际上,2011年国务院出台《关于开展碳排放权交易试点工作的通知》后,2013年开始的碳排放交易试点市场,虽然交易量增长迅速,但为了平衡交易,国家发改委一定程度上控制着全国碳交易配额总量和分配方案,这在一定程度上造成了我国碳交易市场价格的季节性波动。因此,如何统一市场,均衡交易,也是我国碳市场管理所面临的一大难题。

4 讨 论

(1) 碳交易价格对林业碳汇造林和森林碳汇经营管理有重要的影响。试点省市碳交易价格不仅对碳排放权交易市场的交易量有重要的影响,也对我国林业碳汇造林有重要的影响。相关研究资料显示,国内外碳市场价格一直存在较大的波动,且存在较大的风险。2006年上半年国际碳排放权配额价格曾飙升至每份30欧元,而在2007年年初骤

降至每份0.1欧元^[14]。2008年,雷曼兄弟花费400万美元购买了中国国电集团公司62万t的碳排放权配额,平均6.5美元/t,但当时的国际市场平均价格为15.9美元/t^[3]。目前,我国许多地方营造碳汇林,并想在碳交易市场中分得“一杯羹”。有些地方营造了杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*)碳汇林,也有一些地方营造了杨树(*Populus* spp.)、桦树(*Betula* spp.)等碳汇林^[14]。根据2015年《中国林业统计年鉴》统计,国家储备林营造林面积5.71万hm²,总投资16.45亿元,单位面积营造林成本约为28 812.08元/hm²,折合约1 920.81元/亩^[15]。在不考虑培育周期的情况下,按照目前的经营管理水平,我国乔木林单位面积蓄积为89.79 m³/hm²,年均生长量为4.23 m³/hm²,按照每生长1 m³蓄积约吸收1.83 t CO₂,释放1.62 t O₂计算,每公顷年均吸收7.74 t CO₂^[16]。按照上面统计的数据,2017年全国8个试点省市1—12月份的碳交易的平均价格为21.57元/t CO₂。在不考虑时间因素的情况下,营造碳汇林每公顷的年均最大收入约为166.95元/hm²,折算成每亩约为11.13元/亩,远低于目前实际的造林成本。从经济上来说根本收不回成本,且十分不划算。另外,按目前碳汇的长周期造林30年计算,在目前的经营管理水平和碳交易市场价格下,30年时每公顷的林业碳汇收入约为14 102.58元/hm²,也远低于目前碳汇营造林成本28 812.08元/hm²,从经济上来说也是十分不划算的^[17-18]。因此,林业碳汇造林收益主要取决于碳市场价格的高低,这也是碳汇造林最主要的风险因素之一。从这点来说,切实做好碳市场价格的管理,才是促进碳市场健康发展的关键因素和影响碳汇经营管理的重要因素,这一点应引起充分的重视。

(2) 碳交易市场应建立以价格为中心的管理目标。自从我国碳交易市场2010年正式启动、2013年正式开市以来,目前已有9个碳交易市场开展试点交易,其中已有8个试点省市存在碳交易量并有成交额。截至2017年12月底,全国配额累计成交4.70亿t,成交总额104.9亿元^[13]。另外,从交易价格来看,2017年北京交易价格基本稳定在55~60

元/t, 上海和深圳试点处于 25~35 元/t 区间, 湖北、广东稳定在 15 元/t 上下, 差异较大。我国“十二五”规划提出了到 2015 年实现单位国内生产总值 CO₂ 排放比 2010 年下降 17% 的目标, 并强调要更多发挥市场机制对实现减排目标的作用, 并提出到 2020 年单位国内生产总值 CO₂ 排放比 2005 年下降 40%~45% 的目标。另外, 2017 年起我国有望建立全国统一的碳市场, 并提出通过建立自愿碳交易市场, 鼓励企业自愿参与碳减排交易^[13,15]。这些举措无疑有利于我国碳交易市场的发展, 但目前的碳市场缺少长期管理目标, 主要靠盲目的扩大交易规模, 靠政府推动来发展。从上述研究可以看出, 我国碳市场的建立应有长期的管理目标, 并建立以市场机制为主, 以价格为中心的管理目标, 减少交易价格大起大落的风险, 这样才有利于碳市场的持续、稳定、健康发展, 也才能真正有利于我国减排目标的实现。另外, 许多人在研究森林碳汇的过程中, 也把碳汇造林作为开展生态补偿新的途径, 如 2017 年北京市辖区内首个林业碳汇项目——顺义区碳汇造林一期项目成交量 1 197 t, 成交均价 36.00 元/t^[13]。这些价格能否满足生态补偿和生态文明建设要求的需要, 也值得持续关注。但无论怎样, 碳交易市场应建立以价格为中心的管理目标, 以确保森林在气候变化中作用的真正实现。

5 结 论

本文根据我国碳排放权交易市场的真实交易数据, 采用分类分析的方法, 对碳排放权交易价格的变化情况进行了分析, 并对林业碳汇造林的情况进行了讨论。研究表明:

(1) 我国碳排放权交易市场价格存在明显的季节性波动和规律性, 且价格的波动幅度较大。一般每年年初的碳交易成交价格较高, 成交量较低, 从第 2 月起碳交易价格开始下降, 到 4 月份左右最低, 其价格又开始上升, 然后又开始下降, 到 6—7 月, 碳交易价格又比较低, 再开始上升, 到年末又降低。每年年初的成交价格和 9—11 月份左右的成交价格都比较高, 但成交量往往较少。一年中的碳交易价格呈现 3 次 3 个近似的“V”字型变化。碳交易价格的这一变化规律对碳汇价格的管理有一定的参考意义。

(2) 采用聚类分析和判别分析的方法研究表明: 我国碳排放权市场交易额存在周期性波动, 且总体波动较大。每年 6 月或 7 月和 1 月及 2 月份是碳市场最为活跃的时期。且在周期性波动中, 交易价格起到重要的作用。研究结果表明, 1—5 份交易价格为第 1 类; 6—7 月份交易价格为第 2 类; 8—12 月

份交易价格为第 3 类。因此, 建立以碳交易价格为中心的碳市场管理机制, 是保证我国碳市场长期、平稳发展的根本, 也是减小碳市场风险的有效途径。

(3) 研究也表明: 在碳交易价格周期性波动划分中, 每年 4 月份、9 月份的碳交易价对交易价格划分的影响较大, 且对碳交易价格类型的划分的影响显著。事实上, 这两个月份的碳交易并非我国碳交易的活跃期, 但往往价格比较稳定。因此, 保持碳交易价格的稳定也是减少碳市场风险的途径之一。另外, 在碳交易配额的分配中, 如何保证交易价格的稳定, 也是目前面临的重要问题。

(4) 我国林业碳汇造林的讨论表明: 目前我国林业碳汇造林的平均成本约为 28 812.08 元/hm², 明显高于 30 年时的林业碳汇的平均收益 14 102.58 元/hm²。从经济上来说是十分不划算的。因此, 只有提高目前碳市场交易的价格, 并建立以价格为中心的管理目标, 才能弥补造林成本过高、林业碳汇收益的不足, 也才能真正发挥林业在气候变化、生态补偿和生态文明建设中的作用, 并保证我国碳市场合理、均衡的发展。

参 考 文 献

- [1] 曾诗鸿, 刘琦. 碳金融: 理论模型与探索 [M]. 北京: 知识产权出版社, 2013.
- Zeng S H, Liu Q. Carbon finance: theoretical model and exploration [M]. Beijing: Intellectual Property Publishing House, 2013.
- [2] 中国碳排放交易网. 全国碳交易市场将于 12 月 19 日启动, 百亿碳资产管理市场将启 [EB/OL]. [2017-12-15]. <http://www.tanpaifang.com/tanjiaoyi/2017/1215/61068.html>.
- China's Carbon Trading Network. The national carbon market will be launched on December 19, and the market for carbon asset management will begin [EB/OL]. [2017-12-15]. <http://www.tanpaifang.com/tanjiaoyi/2017/1215/61068.html>.
- [3] 刘倩, 王遥. 碳金融全球布局与中国的对策 [J]. 中国人口·资源与环境, 2010(8):64~69.
- Liu Q, Wang Y. Global distribution of carbon finance and China's countermeasures [J]. China's Population, Resources and Environment, 2010 (8): 64~69.
- [4] 邹亚生. 低碳经济背景下我国的碳金融发展之路 [J]. 中国金融, 2010(4):45~46.
- Zou Y S. The development of China's carbon finance under the background of low carbon economy [J]. China Finance, 2010, (4): 45~46.
- [5] Hritonenko N, Yatsenko Y. Mathematical modeling in economics, ecology and the environment [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [6] William B, Bunn D, Kettunen J, et al. Policy interactions, risk and price formation in carbon markets [J]. Energy Policy, 2009, 37(12):5192~5207.
- [7] Smith P, Bustamante M. Agriculture, forestry and other land use (AFOLU) [EB/OL]. [2018-04-20]. <http://ipcc.ch/pdf/>

assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf.

- [8] 陈欣,刘明,刘延. 碳交易价格的驱动因素与结构性断点:基于中国七个碳交易试点的实证研究[J]. 经济问题,2016(11):29-35.

Chen X, Liu M, Liu Y. The driving factors and structural breakpoints of carbon trading price :an empirical study based on seven carbon trading trials in China [J]. Economic Problems, 2016 (11) :29-35.

- [9] 叶斌,唐杰,陆强. 碳排放影子价格模型:以深圳市电力行业为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2012 (11):172-176.

Ye B, Tang J, Lu Q. Carbon emission shadow price model:taking Shenzhen power industry as an example [J]. China's Population, Resources and Environment, 2012 (11):172-176.

- [10] 张颖,吴丽莉,苏帆,等. 我国森林碳汇核算的计量模型研究[J]. 北京林业大学学报, 2010,32 (2):194-200.

Zhang Y, Wu L L, Su F, et al. Study on the measurement model of carbon sink accounting in China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2010, 32 (2) : 194-200.

- [11] 林震岩. 多变量分析:SPSS 的操作与应用[M]. 北京:北京大学出版社,2007.

Lin Z Y. Multivariate analysis;operation and application of SPSS [M]. Beijing: Peking University press, 2007.

- [12] 中国碳排放交易网. 碳 K 线[EB/OL]. (2013-06-17) [2018-04-19]. <http://www.tanpaifang.com/>.

China Carbon Trading Network. Carbon K line [EB/OL]. (2013-06-17) [2018-04-19]. <http://www.tanpaifang.com/>.

- [13] 中华人民共和国工业信息部,国家工商管理总局. 碳行情数据

[EB/OL]. [2017-10-01]. <http://k.tanjiaoyi.com/>.

Industrial Information Ministry, State Administration for Industry and Commerce, P. R. China. Carbon market data [EB/OL]. [2017-10-01]. <http://k.tanjiaoyi.com/>.

- [14] Zhang Y, Song W M, Irland L C. Forest carbon stocks change and silvicultural investment in China: the case of coniferous forests [J]. International Journal of Environmental Studies, 2015, 72(1):166-178.

- [15] 国家林业局. 中国林业统计年鉴(2015)[M]. 北京:中国林业出版社,2016.

State Forestry Bureau. China forestry statistics yearbook (2015) [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2016.

- [16] Grunewald K, Bastian O. Ecosystem assessment and management as key tools for sustainable landscape development: a case study of Ore Mountains Region in Central Europe [J]. Ecological Modelling,2015, 295:151-162.

- [17] 郭白滢,周任远. 我国碳交易市场价格周期及其波动性特征分析[J]. 统计与决策,2016,21: 154-157.

Guo B Y, Zhou R Y. Analysis of price cycle and volatility characteristics of carbon trading market in China [J]. Statistics & Decision, 2016, 21: 154-157.

- [18] Zhang Y, Chen J C, Hu M X, et al. Valuation of forest carbon sinks in China within the framework of the system of national accounts [J]. Journal of Forestry Research, 2016, 27(6):1321-1328.

(责任编辑 冯秀兰

责任编辑 赵秀海)