

河南省种植业碳排放动态演化分析

孙康, 解月, 负鸿琬, 何泽军* (河南农业大学经济与管理学院, 河南郑州 450046)

摘要 选取河南省 2006—2020 年相关数据, 运用碳排放系数法测算种植业碳排放状况, 在此基础上运用灰色 GM(1,1) 预测模型, 预测 2021—2030 年种植业碳排放发展趋势。结果表明, 河南省种植业碳排放总量和排放强度呈现上升—下降的变化特征, 且碳排放峰值出现在 2015 年; 化肥是河南省种植业碳排放的最主要碳源; 种植业碳排放存在一定空间集聚效应, 主要分布在豫东、豫南和豫北地区; 预测发现 2021—2030 年河南省种植业碳排放总量和碳排放强度呈现进一步下降趋势。

关键词 种植业碳排放; 动态分析; 灰色 GM(1,1) 预测模型; 河南省

中图分类号 X 322 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)01-0046-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.01.011



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis on the Dynamic Evolution of Carbon Emissions from Planting Industry in Henan Province

SUN Kang, XIE Yue, YUN Hong-wan et al (School of Economics and Management, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450046)

Abstract This article selected the relevant data of Henan Province from 2006 to 2020, the carbon emissions of the planting industry was measured by the carbon emission coefficient method, on this basis, the grey GM(1,1) prediction model was used to predict the development trend of carbon emissions of planting industry from 2021 to 2030. The results showed that the total carbon emissions and emission intensity of the planting industry in Henan Province showed a change feature of rising-declining, and the peak of carbon emissions occurred in 2015. Chemical fertilizers were the most important source of carbon emissions from the planting industry in Henan Province; carbon emissions from the planting industry had a certain spatial agglomeration effect, mainly distributed in eastern Henan, southern Henan and northern Henan. It was predicted that the total carbon emission and carbon emission intensity of the planting industry in Henan Province will show a further downward trend from 2021 to 2030.

Key words Carbon emissions of the planting industry; Dynamic analysis; GM(1,1) prediction model; Henan Province

碳达峰、碳中和目标作为当前各部门、各领域的一项重点工作, 已成为全社会高度关注和热议的话题。种植业减排固碳是实现我国碳达峰、碳中和的重要组成部分。河南作为我国农业大省和粮食生产核心区, 用全国 6.0% 的耕地生产了全国 10.1% 的粮食和 25% 以上的小麦, 种植业在河南省农业发展中起着重要作用。但在种植业生产中存在着能源浪费和高碳排放等问题, 严重制约了河南省农业高质量发展, 节能减排刻不容缓。

农业碳排放与生态环境息息相关, 因此很多学者围绕农业碳排放进行了相关研究。不少学者认为碳排放系数法已成为农业碳排放测度的重要方法^[4-7]。吴贤荣等^[8-9]认为我国农业碳排放量总体呈波动上升态势, 农业碳排放强度呈上升发展态势; 张茱楠等^[10-11]对山东省近年来农业减排进行了研究; 杨滨键等^[12]从种植业碳减排成本的角度对 2000—2018 年山东省种植业碳排放进行了测算, 同时对省内区域差异进行了比较与动态趋势变化分析; 李远玲等^[13]基于县域视角分析了湖南省农业碳排放的时空特征; 张红丽等^[14-15]从农业碳排放与经济增长关系视角分析了农业碳排放的状况; 张志高等^[16]对 1993—2015 年河南省农业碳排放及其时空演变进行了分析; 朱通雅^[17]研究了长江经济带农业碳排放影响因素的贡献值, 认为农业经济发展对长江经济带碳排放起到极大的促进作用, 而农业生产效率、劳动力规模和生

产结构对农业碳排放有较为显著的抑制作用。总体来看, 相关研究主要揭示了农业碳排放的发展现状和演变特征, 但未能进一步揭示未来一定时期内农业碳排放的发展趋势。

综上所述, 国内外学者对农业碳排放进行了多视角的研究, 研究成果日趋丰富, 研究方法不断创新, 但还存在有待进一步丰富和拓展的地方: 一是在研究视角上, 大多数学者都是基于大农业的宏观视角进行的相关研究, 较少有学者从种植业微观角度出发进行碳排放的相关研究; 二是在研究内容上, 很少有学者对未来一定时期内河南省种植业碳排放情况进行趋势预测分析。因此, 笔者以河南省种植业碳排放为切入点, 运用碳排放系数法对河南省 2006—2020 年种植业碳排放进行测算, 在此基础上使用灰色 GM(1,1) 预测模型对河南省 2021—2030 年种植业碳排放情况进行预测分析, 为促进传统农业向低碳农业发展模式转变、推动河南省农业高质量发展提供一定的现实依据和政策参考。

1 资料与方法

1.1 数据来源及说明 该研究选取河南省 2006—2020 年农药、化肥、农膜、灌溉、土地翻耕和农用柴油等相关数据均来自《河南省统计年鉴》; 其中农药数据选取农药施用实物量, 化肥数据选取化肥施用折纯量, 农膜数据选取农用塑料薄膜使用量, 灌溉数据选取灌溉面积为准, 土地翻耕数据选取以当年农作物总播种面积为准, 农用柴油数据选取农用柴油使用量。由于 2020 年的相关数据暂未公布无法获取, 因此将 2016—2019 年相关数据的平均数值来代替 2020 年的相关数据。

1.2 研究方法

1.2.1 碳排放系数法。 该研究基于农业物质投入方面, 结

基金项目 中国工程院战略咨询重点项目(2019-XZ-68); 河南科技智库调研课题(HNKJZK-2021-31C)。

作者简介 孙康(1996—), 男, 河南泌阳人, 硕士研究生, 研究方向: 农业资源与区划。* 通信作者, 教授, 博士生导师, 从事农业经济管理研究。

收稿日期 2022-02-16

合河南省实际情况及数据的可获取性,选择农药、化肥、农膜、灌溉、土地翻耕和农用柴油 6 种植业碳排放源,对河南省的种植业碳排放量进行测算。种植业碳排放计算公式如下:

$$E = \sum E_i = \sum (T_i \times \delta_i) \quad (1)$$

式中, E 为种植业碳排放总量, E_i 为各类碳源碳排放量, T_i 为各碳排放源投入量, δ_i 为各碳源的碳排放系数。参考前人研究成果^[18-19],种植业的碳排放源和碳排放系数如表 1 所示。

据此获得种植业碳排放强度:

$$A = \frac{E}{B} = \frac{\sum E_i}{B} = \frac{\sum (T_i \times \delta_i)}{B} \quad (2)$$

式中, A 为种植业碳排放强度, B 为耕地面积。

表 1 碳排放源及碳排放系数

Table 1 Carbon emission sources and carbon emission coefficients

碳排放源 Carbon emission source	碳排放系数 Carbon emission coefficient	参考来源 Reference source
化肥 Chemical fertilizer	0.895 6 kg/kg	West 等 ^[5] 、美国橡树岭国家实验室
农药 Pesticide	4.934 1 kg/kg	美国橡树岭国家实验室
农膜 Agricultural film	5.18 kg/kg	南京农业大学农业资源与生态研究所
农用柴油 Agricultural diesel	0.592 7 kg/kg	政府间气候专门委员会 (IPCC)
土地翻耕 Land ploughing	312.6 kg/km ²	中国农业大学生物与技术学院
灌溉 Irrigation	266.48 kg/hm ²	West 等 ^[5]

1.2.2 灰色 GM(1,1) 预测模型。灰色系统理论是由邓聚龙教授创立的适用于少数据、贫信息建模的方法理论,广泛应用于农业、工业等社会经济发展的各个层面,能够通过部分已知信息的挖掘,获取有价值的信息,进而对系统未来的演变规律进行合理的描述^[20]。GM(1,1) 模型是灰色预测理论中重要的组成部分,其中以邓聚龙教授提出的均值 GM(1,1) 应用最为广泛,该研究基于 GM(1,1) 模型少数据、低误差的建模特点展开研究,以期能够准确拟合河南省种植业碳排放量在未来的演化趋势特征。灰色 GM(1,1) 模型的建模原理参考李俊等^[21-22]的相关研究。

构建河南省种植业碳排放测算体系,运用碳排放系数法,结合河南省种植业发展实际情况,首先测算出 2006—2020 年河南省种植业碳排放总量、排放强度和碳排放结构的具体变化情况;其次测算河南省 18 个地市在“十一五”至“十三五”各个发展时期种植业碳排放总量和排放强度发展状况,探索在一定时期内河南省种植业碳排放空间演化特征;最后运用灰色 GM(1,1) 预测模型,预测河南省 2021—2030 年种植业碳排放发展趋势,以期为河南省种植业绿色、低碳发展提供具有针对性的对策建议。

2 结果与分析

2.1 河南省种植业碳排放时空特征分析

2.1.1 碳排放总量时序演变特征。从碳排放总量来看,根据表 2 可知,2006—2020 年河南省种植业碳排放总量呈现出上升—下降的变化特征。2006—2015 年为第 1 阶段,种植业

碳排放总量呈现上升趋势,从 2006 年的 654.72 万 t 增长至 2015 年的 874.71 万 t,增长 33.60%,年均增长率为 3.36%;2016—2020 年为第 2 阶段,种植业碳排放总量呈现下降趋势,从 2016 年的 872.26 万 t 下降至 2020 年的 788.80 万 t,下降 9.57%,年均增长率-1.91%。可见河南省种植业碳排放总量在 2015 年达到峰值(874.71 万 t)。究其原因,为了转变农业发展方式,推进农业绿色低碳可持续发展,农业农村部(原农业部)于 2015 年 2 月 17 日下发《到 2020 年农药化肥零增长行动方案》,河南省积极响应这一行动,适度减少农药化肥的使用,种植业发展与资源环境之间的矛盾得到缓和,表明河南省种植业碳排放总量得到一定控制。

2.1.2 碳排放强度时序演变特征。种植业碳排放强度是指种植业碳排放总量与耕地面积之比,该数值越大表明单位耕地面积的碳排放量越大。由表 2 可知,2006—2020 年河南省种植业碳排放强度也是呈现上升—下降的变化特征。2006—2015 年种植业碳排放强度呈现增加趋势,从 2006 年的 909.03 kg/hm² 增加至 2015 年的 1 079.11 kg/hm²,增长 18.71%,年均增长 1.87%;2016—2020 年种植业碳排放强度呈现下降趋势,从 2016 年的 1 075.40 kg/hm² 下降至 2020 年的 966.61 kg/hm²,下降 10.12%,年均下降 2.02%。由此可知,河南省种植业碳排放强度增减变化幅度大于碳排放量变化幅度。

2.1.3 碳排放结构演变特征。从河南省种植业碳排放结构(表 2 和图 1)来看,2006—2020 年河南省农药、化肥、农膜、灌溉、土地翻耕和农用柴油产生的碳排放量程度均有所不同,所占比例分别为 7.46%、73.07%、9.54%、1.58%、0.56%、7.79%。根据碳排放量所占比例把碳排放源分为 3 类:第一类是化肥,第二类是农药、农膜和农用柴油,第三类是灌溉和土地翻耕。河南省种植业各类碳源碳排放量从大到小依次为化肥>农膜>农用柴油>农药>灌溉>土地翻耕。化肥是河南省种植业碳排放的最主要碳源,占碳排放总量的 73.07%,在 2006—2020 年河南省化肥碳排放量经历了先增加后减少的趋势,在 2015 年达到峰值(641.33 万 t),说明河南省在种植业生产过程中存在大量、不科学施用化肥现象,下一步应该在种植业生产过程中在保证粮食安全的前提下,控制化肥施用总量,提高化肥使用效率。灌溉和土地翻耕产生的碳排放量较少,未来随着节水农业和农业技术水平的发展,灌溉和土地翻耕的碳排放污染将会进一步降低。

2.1.4 碳排放空间演化特征。为了更好地厘清河南省各地区种植业碳排放的具体发展情况,该研究选取“十一五”至“十三五”各个发展时期相关数据,测算河南省 18 个地市 3 个发展时期的种植业碳排放具体情况。用每 5 年相关数据的平均数代表每一个时期内河南省种植业碳排放水平进行测算分析,结果如表 3 所示。通过进一步计算发现,3 个时期内周口市、商丘市、南阳市、驻马店市、信阳市、新乡市和安阳市的碳排放总量均值都在 50 万 t 以上,分别为 94.21 万、82.94 万、100.56 万、76.37 万、57.14 万、54.51 万和 51.52 万 t,属于高碳排放区域。从地域分布来看,高碳排放区域主要分布

表 2 2006—2020 年河南省种植业碳排放总量和碳排放强度

Table 2 Total carbon emission and carbon emission intensity of planting industry in Henan Province from 2006 to 2020

年份 Year	碳排放量 Carbon emission//万 t							碳排放强度 Carbon emission intensity//kg/hm ²
	农药 Pesticide	化肥 Chemical fertilizer	农膜 Agricultural film	灌溉 Irrigation	土地翻耕 Land ploughing	农用柴油 Agricultural diesel	合计 Total	
2006	57.24	464.55	61.12	12.30	4.37	55.14	654.72	909.03
2007	58.22	489.70	56.58	13.39	4.40	57.14	679.43	955.90
2008	58.77	517.20	67.70	12.47	4.43	58.91	719.48	998.97
2009	59.90	563.04	73.25	12.58	4.45	61.76	774.98	946.01
2010	61.63	586.75	76.15	12.70	4.48	63.95	805.66	985.22
2011	63.50	603.37	78.53	12.88	4.49	63.96	826.73	1 012.92
2012	63.30	612.98	80.39	13.01	4.50	63.83	838.01	1 029.84
2013	64.19	623.67	86.92	12.42	4.56	67.21	858.97	1 055.16
2014	64.09	632.07	84.69	12.75	4.61	68.75	866.96	1 066.90
2015	63.50	641.33	83.92	13.33	4.65	67.98	874.71	1 079.11
2016	62.71	640.38	84.49	13.40	4.66	66.62	872.26	1 075.40
2017	59.55	632.92	81.48	13.47	4.61	64.49	856.52	1 055.83
2018	56.05	620.46	79.15	13.52	4.62	61.60	835.40	1 023.98
2019	52.89	597.11	78.11	13.63	4.59	59.32	805.65	990.21
2020	48.76	587.73	76.25	13.85	4.53	57.68	788.80	966.61

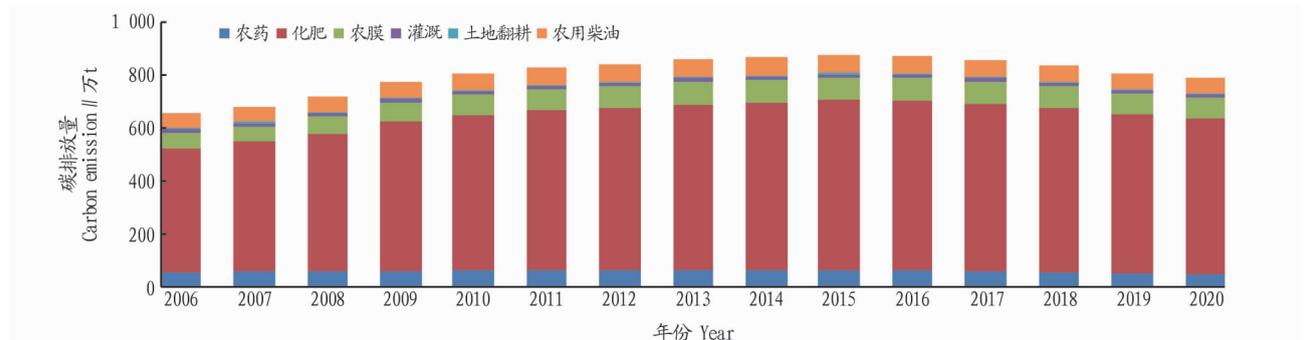


图 1 2006—2020 年河南省种植业碳排放结构

Fig. 1 Carbon emission structure of planting industry in Henan Province from 2006 to 2020

表 3 “十一五”至“十三五”时期河南省 18 个地市种植业碳排放情况

Table 3 Carbon emissions of planting industry in 18 cities in Henan Province during the period from the 11th Five Year Plan to the 13th Five Year Plan

地区 Area	“十一五”时期 The 11th Five Year Plan		“十二五”时期 The 12th Five Year Plan		“十三五”时期 The 13th Five Year Plan	
	排放总量 Total emissions 万 t	排放强度 Emission intensity kg/hm ²	排放总量 Total emissions 万 t	排放强度 Emission intensity kg/hm ²	排放总量 Total emissions 万 t	排放强度 Emission intensity kg/hm ²
郑州 Zhengzhou	28.96	878.72	30.55	932.21	24.91	791.43
开封 Kaifeng	34.58	808.21	38.68	931.89	39.96	954.06
洛阳 Luoyang	24.90	586.37	28.46	658.29	28.40	655.05
平顶山 Pingdingshan	34.76	1 020.16	40.77	1 270.22	38.04	1 182.97
安阳 Anyang	41.68	1 020.41	58.32	1 424.91	54.56	1 336.92
鹤壁 Hebi	7.48	710.75	8.97	748.71	8.74	731.14
新乡 Xinxiang	49.80	1 096.81	56.91	1 186.11	56.83	1 198.13
焦作 Jiaozuo	23.11	1 200.73	23.88	1 223.12	17.82	945.83
濮阳 Puyang	27.44	1 017.08	31.46	1 111.13	33.03	1 173.29
许昌 Xuchang	29.13	846.78	33.44	947.57	26.20	777.39
漯河 Luohe	16.82	891.84	19.81	1 042.79	15.61	1 019.97
三门峡 Sanmenxia	11.34	635.46	12.76	719.81	12.32	692.19
南阳 Nanyang	90.28	907.80	107.09	1 015.59	104.32	989.44
商丘 Shangqiu	65.80	913.94	91.04	1 288.90	91.98	1 290.74
信阳 Xinyang	48.48	612.56	64.21	764.34	58.74	694.02
周口 Zhoukou	83.90	982.23	95.64	1 117.12	103.09	1 201.43
驻马店 Zhumadian	68.13	798.78	78.87	830.14	82.11	864.78
济源 Jiyuan	2.97	714.42	3.31	715.61	3.41	740.59

在豫东(周口、商丘)、豫南(南阳、信阳和驻马店)和豫北(新乡、安阳),种植业碳排放存在一定的区域差异性和空间集聚效应,说明河南省种植业碳排放受自然地理环境影响较大。从3个发展时期来看,河南省种植业碳排放总量和碳排放强度总体呈现出低—高一低的发展状况,“十一五”时期碳排放总量整体较高,伴随着“两山理论”、高质量发展理念的深入贯彻和人们生态环保理念的提升,“十三五”时期种植业碳排放出现下降趋势。通过对河南省一定时期种植业碳排放的测算,发现河南省种植业碳排放情况符合环境库兹涅茨曲线的基本理论,当经济发展水平较低时,碳排放程度较轻,但随着经济社会发展和人们收入水平增加,碳排放由低趋高,碳排放增长程度随经济的增长而加剧;当社会经济发展到一定水平后,或者说达到某个临界点或拐点后,随着经济社会的进一步发展,碳排放又由高趋低,其种植业生态环境得到逐步改善。

2.2 河南省种植业碳排放预测分析 运用灰色 GM(1,1) 预测模型测算河南省 2021—2030 年种植业碳排放发展趋势,结果如表 4 所示,通过预测分析发现,测算得到的数据分析总体趋势符合当下和今后一定时期经济社会发展的现实状况。从碳排放数量来看,2021—2030 年河南省种植业碳排放总量为 607.40 万~768.46 万 t,整体处于逐步下降趋势,下降了 20.96%,年均下降 2.10%,下降幅度远大于 2016—2020 年的下降幅度。通过预测数值可以看出 2021—2030 年河南省碳排放总量平均值约为 685.12 万 t,整体处于相对较低水平。从碳排放强度来看,2021—2030 年河南省种植业碳排放强度为 733.09~940.25 kg/hm²,整体处于下降水平,下降了 22.03%,年均下降 2.20%。由此看来,2021—2030 年河南省种植业单位耕地面积碳排放强度不断减少,碳源投入逐步减少。说明河南省意识到粗放型农业增长方式造成的资源消耗和生态环境恶化,积极响应国家号召,减少种植业碳排放。颁布出台了一系列相关减少农业碳排放、优化农业资源环境的方案,如《河南省人民政府关于加快推进农业高质量发展建设现代农业强省的意见》《关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的实施意见》《河南省农药化肥零增长行动方案》等措施强调农业资源保护和高效利用,大力发展节水、节肥、节药、节地农业,积极发展生态循环农业,引导农业绿色、低碳、高质量发展。相关政策的继续实施和农民生态环保理念的进一步提升,预计未来河南省种植业碳排放量将会进一步减少,为我国早日实现碳达峰、碳中和作出积极贡献。

3 结论与建议

3.1 结论

(1) 河南省种植业碳排放总量和碳排放强度均呈现上升—下降的变化特征,且碳排放总量在 2015 年达到峰值。

(2) 各类碳源碳排放量从大到小依次为化肥>农膜>农用柴油>农药>灌溉>土地翻耕,化肥是碳排放的最主要源头,占 73.07%。

(3) 在“十一五”至“十三五”3 个发展时期中,河南省种植业碳排放总量和碳排放强度均呈现出低—高一低的发展

水平;从地域分布来看,碳排放存在一定的空间集聚效应,主要分布在豫东、豫南和豫北地区。

表 4 2021—2030 年河南省种植业碳排放预测值

Table 4 Predicted value of carbon emissions of planting industry in Henan Province from 2021 to 2030

年份 Year	碳排放总量 Total carbon emission 万 t	碳排放强度 Carbon emission intensity kg/hm ²
2021	768.46	940.25
2022	748.63	914.60
2023	729.32	889.66
2024	710.51	865.39
2025	692.18	841.79
2026	674.33	818.83
2027	656.94	796.50
2028	639.99	774.77
2029	623.48	753.64
2030	607.40	733.09

(4) 通过预测分析发现 2021—2030 年河南省种植业碳排放总量和碳排放强度将呈现进一步下降趋势且碳排放强度下降幅度大于碳排放总量。

3.2 建议

(1) 政府应该进一步倡导绿色、低碳发展理念,加强对农业绿色生产新技术的研发和推广应用;实施“减肥减药”行动方案,根据作物种类和土壤土质,进行测土配方、精准施肥,进行结构性减肥,提高化肥利用效率。

(2) 豫东整个区域 99% 以上都是平原地带,应该进行土地资源的整合,发挥种粮大户和新型农业经营主体的作用,进行集中连片大规模的机械化种植,利用先进科技引领种植业高质量发展的同时降低碳排放。

(3) 豫南地区处于亚热带湿润性季风气候向暖温带半湿润季风气候的过渡带且有低山丘陵分布,小麦和水稻是当地主要种植的农作物,低山丘陵地带适宜茶树和中药材种植,应该进一步调整种植业产业结构,发展地区特色种植业,进行稻—鱼、稻—虾共作,打造全国艾草、月季特色种植基地,在调结构、育特色中结构性减排降碳,培育高效生态农业示范区。

(4) 豫北地区位于黄河以北地区,是主要的棉花产区和国家优质高筋小麦基地。该区域地势平坦,多为平原地带,且有黄河、海河两大水系,培育耐旱、高效、优质小麦品种,发展节水灌溉高效种植业。

参考文献

- [1] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis [C]//STOCKER T F, QIN D, PLATTNER G K, et al. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [2] 田云, 张俊飏. 农业碳排放国内外研究进展 [J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(3): 203-208.
- [3] AICHELE R, FELBERMAYR G. Kyoto and the carbon footprint of nations [J]. Journal of environmental economics and management, 2012, 63(3): 336-354.
- [4] DUBEY A, LAL R. Carbon footprint and sustainability of agricultural production systems in Punjab, India, and Ohio, USA [J]. Journal of crop improvement, 2009, 23(4): 332-350.

- [17] 杨术环,刘慧林,高晓鹏. 2011年辽宁省草原灾害预测及防控对策[J]. 现代畜牧兽医,2011(4):48-50.
- [18] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 森林生态系统服务功能评估规范:GB/T 38582—2020[S]. 北京:中国标准出版社,2020.
- [19] 庄文发,陈冲. 辽宁草原建设现状及建议[J]. 现代畜牧兽医,2008(3):24-25.
- [20] 刘慧林,崔蕾. 辽宁省草原资源与生态监测报告[J]. 现代畜牧兽医,2011(10):49-51.
- [21] 李璐. 试论辽宁草地生态系统的功能价值[J]. 防护林科技,2020(12):56-57.
- [22] 李雨萍,肇恒哲. 辽宁省牧草种子生产现状及发展对策[J]. 草业科学,1993,10(5):17-19.
- [23] 何兴元,陈玮,徐文铎. 辽宁天然林植被特征与可持续发展[C]//中国植物学会. 中国植物学会七十周年年会论文摘要汇编(1933—2003). 北京:高等教育出版社,2003:181.
- [24] 刘慧林,庄文发,王国山,等. 辽宁省草原资源监测结果与对策[J]. 现代畜牧兽医,2008(7):25-27.
- [25] 张茵,姜楠. 辽宁省草原生产力及生态现状分析[J]. 新农村(黑龙江),2018(30):118.
- [26] 邵玉田. 极耐盐碱的饲料作物——朝牧一号稗子[J]. 新农业,2011(6):24.
- [27] 马凤江,杨姝,杜桂娟. 生态草原建设及牧草引进选育开发工作进展[J]. 农业经济,2021(2):31-33.
- [28] 安秀英,郝洪漳. 给辽宁草业提个醒[J]. 中国畜牧业通讯,2001(5):8-9.
- [29] 边革,刘玉英,孙宝成. 辽宁省苜蓿产业发展历史回顾与建议[J]. 现代畜牧兽医,2010(10):42-45.
- [30] 辽宁省农业科学院草业研究所部分优质牧草、草坪品种简介[J]. 辽宁农业科学,2003(6):55.
- [31] 李连波,杨晓峰. 浅谈辽宁省牧草产业发展面临的问题与对策[J]. 辽宁农业职业技术学院学报,2003,5(4):35-36,46.
- [32] 王辉,郑家明,郭晓坡. 辽宁省牧草业发展存在的问题及其解决办法[J]. 农业经济,2003(9):14-15.
- [33] 黄晶. 辽宁省草业发展现状[J]. 新农业,2019(15):59-60.
- [34] 高鹤. 促进林草成果转化助推产业良性发展:辽宁省林业技术推广“十三五”发展情况[J]. 新农业,2021(5):38-39.
- [35] 马凤江,杨姝,杜桂娟. 辽宁省粮改饲及秸秆饲料化利用现状与建议[J]. 农业经济,2017(12):12-13.
- [36] 陶金山,金成宇. 辽宁草原管理踏上信息化高速路[J]. 中国畜牧业,2015(21):52-53.
- [37] 刘慧林,陶金山,张道宏. 辽宁省草原资源管理系统的设计与应用[J]. 草业科学,2014,31(2):334-341.
- [38] 孔晓蕾. 关于建立黑龙江寒地牧草种质资源档案的研究探索[J]. 种子科技,2020,38(7):24,28.
- [39] ZHANG M H,ZHOU Q P,FENG Q S,et al. Study and development of forage germplasm database based on geographic information system (GIS) and VB.net[J]. Pratacultural science,2010,27(4):102-105.
- [40] 李志勇,孙启忠,李鸿雁,等. 分子标记技术在牧草种质资源研究中的应用[J]. 草原与草坪,2010,30(5):91-96.
- [41] SA K J,KIM D M,OH J S,et al. Construction of a core collection of native *Perilla* germplasm collected from South Korea based on SSR markers and morphological characteristics[J]. Scientific reports,2021,11:1-13.
- [42] 周艳春,王志锋,于洪柱,等. 吉林省野生牧草种质资源的考察与搜集[J]. 草业科学,2011,28(2):196-200.
- [43] 张美艳,薛世明,蔡明,等. 西双版纳野生牧草种质资源调查及评价[J]. 草地学报,2017,25(1):155-164.
- [44] 黄春琼,刘国道,白昌军. 热带牧草种质资源收集、保存与创新利用研究进展[J]. 草地学报,2015,23(4):672-678.
- [45] 王鹤桦,刘金海,雷宇鸣,等. 豫南大别山区野生牧草种质资源搜集与评价[J]. 黑龙江畜牧兽医,2021(17):89-95,103.
- [46] HANSON J,ELLIS R H. Progress and challenges in Ex Situ conservation of forage germplasm:Grasses,herbaceous legumes and fodder trees[J]. Plants,2020,9(4):1-16.
- [47] QUESENBERY K,MUNOZ P,BLOUNT A,et al. Breeding forages in Florida for resistance to nematodes[J]. Crop & pasture science,2014,65(11):1192-1198.
- [48] 金京波,王台,程佑发,等. 我国牧草育种现状与展望[J]. 中国科学院院刊,2021,36(6):660-665.
- [49] 刘志鹏,周强,刘文献,等. 中国牧草育种中的若干科学问题[J]. 草业学报,2021,30(12):184-193.
- [50] 程方方. 我国野生牧草种质资源的研究现状与存在问题[J]. 畜牧兽医科技信息,2019(4):161.
- [51] 严学兵,王成章,郭玉霞. 我国牧草种质资源保存、利用与保护[J]. 草业科学,2008,25(12):85-92.
- [52] 洪军,陈志宏,李新一,等. 我国牧草种质资源收集保存现状与对策建议[J]. 中国草地学报,2017,39(6):99-105.
- [53] 张国权,吴立伦. 牧草良种繁育基地的建立[J]. 四川畜牧兽医,2004,31(4):14-16.

(上接第49页)

- [5] WEST T O,MARLAND G. A synthesis of carbon sequestration,carbon emissions,and net carbon flux in agriculture:Comparing tillage practices in the United States[J]. Agriculture ecosystems & environment,2002,91(1/2/3):217-232.
- [6] 师帅,李翠霞,李媚婷. 畜牧业“碳排放”到“碳足迹”核算方法的研究进展[J]. 中国人口·资源与环境,2017,27(6):36-41.
- [7] 胡婉玲,张鑫鑫,王红玲. 中国农业碳排放特征及影响因素研究[J]. 统计与决策,2020,36(5):56-62.
- [8] 吴贤荣,张俊鹰,田云,等. 中国省域农业碳排放:测算、效率变动及影响因素研究:基于DEA-Malmquist指数分解方法与Tobit模型运用[J]. 资源科学,2014,36(1):129-138.
- [9] 黄燕,周买春,陈瑛. 中国与巴西农业碳排放动态变化及影响因素分析[J]. 世界农业,2018(6):116-121.
- [10] 张奕楠,张兰婷,韩立民. 农业生态效率评价及提升路径研究:基于山东省17个地级市的实证分析[J]. 生态经济,2021,37(4):118-124,131.
- [11] 曹俐,王莹,雷岁江. 山东省农业碳排放的时空特征与脱钩弹性研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(17):250-256.
- [12] 杨滨键,孙红雨. 种植业碳减排成本测度与区域责任机制构建:以山东省为例[J]. 生态经济,2021,37(9):102-107.
- [13] 李远玲,王金龙,杨伶. 基于县域尺度的湖南省农业碳排放时空特征分析[J]. 中国农业资源与区划,2022,43(4):75-84.
- [14] 张红丽,刘芳. 新疆农业碳排放与农业经济增长的响应关系[J]. 江苏农业科学,2018,46(22):358-363.
- [15] 刘丽娜,王春好,袁子薇,等. 区域农业碳排放 LMDI 分解和脱钩效应分析[J]. 统计与决策,2019,35(23):95-99.
- [16] 张志高,袁征,李贝歌,等. 基于投入视角的河南省农业碳排放时空演化特征与影响因素分解[J]. 中国农业资源与区划,2017,38(10):152-161.
- [17] 朱通雅. 农业碳排放的驱动因素与退耦效应研究:以长江经济带为例[J]. 安徽农业科学,2021,49(24):118-121,135.
- [18] 李波,张俊鹰. 基于投入视角的我国农业碳排放与经济发展脱钩研究[J]. 经济经纬,2012,29(4):27-31.
- [19] 段华平,张悦,赵建波,等. 中国农田生态系统的碳足迹分析[J]. 水土保持学报,2011,25(5):203-208.
- [20] 刘思峰,杨英杰,吴利丰,等. 灰色系统理论及其应用[M]. 7版. 北京:科学出版社,2014.
- [21] 李俊,宋松柏,郭田丽,等. 基于分数阶灰色模型的农业用水量预测[J]. 农业工程学报,2020,36(4):82-89.
- [22] 赵桂生,张海运,刘爱军,等. 基于等维递补灰色GM(1,1)模型的我国农业灌溉用水量预测分析[J]. 数学的实践与认识,2018,48(4):299-304.