

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2024.10.015

王国鸿, 李薇, 燕振刚. 甘肃省农牧交错区典型样带家畜生产系统碳平衡 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(10): 177-187.

甘肃省农牧交错区典型样带家畜生产系统碳平衡

王国鸿¹, 李薇², 燕振刚¹

1. 甘肃农业大学 信息科学技术学院, 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学 财经学院, 兰州 730070

摘要: 评估甘肃省农牧交错区典型样带的家畜碳平衡, 以猪、牛、羊为研究对象, 通过将家畜按月龄分为 4 个阶段, 运用生命周期法, 评估 1991—2020 年家畜碳排放规律和 2016—2020 年农牧交错区不同地区相同月龄的家畜生产系统的碳排放、碳吸收和碳平衡值, 单因素方差分析不同区域家畜的碳平衡差异性. 结果表明: ① 近 30 年碌曲县家畜的碳排放要远高于安定区和临夏县. ② 近 5 年来碌曲县 7—12 月龄家畜的平均碳排放量为 1.0209×10^5 kg/t, 占碳排放总量的 18.45%; 安定区为 5.273×10^4 kg/t, 占 9.52%; 临夏县为 4.135×10^4 kg/t, 占 7.5%. 碌曲县家畜碳排放年均增长率为 2.02%, 临夏县为 6.7%, 安定区为 20.57%. ③ 7—18 月龄家畜碳平衡值表明, 碌曲县的碳源作用显著强于安定区与临夏县 ($p < 0.05$), 而安定区的碳源作用与临夏县差异无统计学意义 ($p > 0.05$). 综合对比碌曲县、临夏县和安定区家畜碳平衡值, 得出家畜碳源能力随着海拔的升高而显著增强; 7—18 月龄的家畜是碳排放量贡献最大者, 占家畜碳排放总量的 75.6%.

关键词: 农牧交错区; 家畜生产; 碳平衡; 生命周期法

中图分类号: X324; S82

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2024)10-0177-11

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Carbon Balance of Typical Transected Livestock Production System in Agro-pastoral Area of Gansu Province

WANG Guohong¹, LI Wei², YAN Zhengang¹

1. College of Information Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. College of Finance and Economics, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

Abstract: The carbon balance of livestock in typical transects in agro-pastoral areas in Gansu Province was

收稿日期: 2023-02-14

基金项目: 甘肃省重点研发计划项目(21YF5FA095); 甘肃省高等学校创新基金项目(2021A-057); 甘肃省财政厅项目(GSCZZ-20160909-03); 国家自然科学基金项目(31660347).

作者简介: 王国鸿, 硕士研究生, 主要从事畜牧业温室气体排放研究.

通信作者: 燕振刚, 博士, 教授.

assessed. Taking pigs, cattle and sheep as the research subjects, by dividing livestock into 4 stages of age in month according to their ages in months, the life cycle method was used to evaluate the carbon emissions, carbon absorption and carbon balance values of livestock production systems of the same month age in 1991–2020 and in different areas of the agro-pastoral staggered area in 2016–2020, and the carbon balance differences of livestock in different regions were analyzed by one-way variance. The results show that: ① In the past 30 years, the carbon emissions of livestock in Luqu County were much higher than those in Anding District and Linxia County. ② In the past five years, the average carbon emissions of 7–12 months old livestock in Luqu County, Anding District and Linxia County were 1.0209×10^5 kg/t, 5.273×10^4 kg/t and 4.135×10^4 kg/t, accounting for 18.45%, 9.52% and 7.5% of the total carbon emissions, respectively. The average annual growth rate of livestock carbon emissions in Luqu County, Linxia County and Anding District was 2.02%, 6.7% and 20.57%, respectively. ③ The carbon balance values of livestock aged 7–18 months showed that the carbon source effect in Luqu County was significantly stronger than that in Anding District and Linxia County ($p < 0.05$), while the difference in carbon source effect between Anding District and Linxia County was not statistically significant ($p > 0.05$). Comprehensively comparing the carbon balance values of livestock in Luqu County, Linxia County and Anding District, it is concluded that the carbon source capacity of livestock increases significantly with the increase of altitude. Livestock aged 7–18 months are the largest contributor to carbon emissions, accounting for 75.6% of total carbon emissions.

Key words: agro-pastoral mosaic area; livestock production; carbon balance; life cycle approach

2010 年, Caro 等^[1]研究表明与牲畜有关的 CH_4 和 N_2O 的直接排放量大约占全球温室气体排放总量的 9% (IPCC 2007). 我国是以农业为主的大国, 在过去的 30 年里, 随着社会经济的快速发展, 牲畜养殖产业已经成为我国农业农村经济的主要产业. 据有关研究显示, 家畜生产产生的温室气体占全球人为导致温室气体排放量的近 30%, 已成为全球第 2 大温室气体排放源^[2]. 吴超超等^[3]和彭亚钊等^[4]分别研究了黄土高原—青藏高原过渡带农户和家畜生产系统的碳平衡; 李彩弟等^[5]研究了影响农产品碳排放及家畜甲烷排放的因素; 赵广永^[6]对反刍动物瘤胃甲烷产量预测模型进行了分析; Garrido 等^[7]通过对牲畜的肠道发酵和粪便管理产生的温室气体进行了评估; Kennady 等^[8]通过改善牲畜生产系统来降低甲烷的排放量; Xue 等^[9]研究了牲畜肠道发酵和粪便管理的甲烷排放; 林晓薇等^[10]主要围绕单位碳价格的影响因素展开了研究; 2010–2020 年中国大部分地区年均温呈显著上升趋势^[11]. 由此可见, 家畜碳排放的问题已经受到重点关注, 如何调整家畜养殖结构以更低的成本和更经济的方式降低碳排放是实现国家 2060 年碳中和目标、促进绿色农业生产发展的基础. 本研究采用生命周期评价方法, 评估 1991–2020 年家畜碳排放规律和 2016–2020 年甘肃农牧交错区典型样带安定区、临夏县、碌曲县的家畜碳排放、碳吸收和碳平衡值, 旨在为降低区域内农户牲畜碳排放提供决策依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域选取地处青藏高原与黄土高原过渡地带以农牧结合、种养兼具的临夏县, 地处甘肃省西南部青藏高原东部边缘以养殖家畜生产为主的碌曲县, 地处甘肃省中部半干旱农业气候区陇中黄土高原丘陵沟壑区以种植作物为主的安定区(表 1).

表 1 不同海拔梯度内的区域划分和气候条件

项目	安定区	临夏县	碌曲县
气候	温带大陆性气候	温带半湿润气候	青藏高原气候带高原湿润气候
平均海拔/m	2 200	2 287	3 500
年降雨量/mm	377	631	633~782
年平均温度/℃	7.2	5.9	2.3
每年无霜日/d	140	148	无绝对无霜期
年均日照时数/h	2 500.2	2 323.5	2 357.8
平均年末存栏量(2016—2020 年)/万头	39.71	30.37	57.45

1.2 数据来源

查阅 1991—2021 年甘肃省安定区、临夏县和碌曲县家畜(猪、牛和羊)出栏量、年末存栏量、畜禽产品产量、牲畜饲料粮消耗系数等,数据来自统计年鉴,包括《全国农产品成本收益资料汇编》《中国农村统计年鉴》^[12]和《甘肃省统计年鉴》,以及对农户家畜饲养情况的实地调研。

1.3 基于生命周期评价的家畜碳排放测算

本研究基于生命周期评价法(Life Cycle Assessment, 即 LCA)参考姚成胜等^[13]的研究,将家畜从出生到屠宰过程中产生的碳排放分为 5 部分:家畜饲料粮生产和运输加工过程中的碳排放、家畜肠胃发酵产生的碳排放、家畜粪便管理中产生的碳排放、家畜饲养过程中产生的碳排放、家畜产品加工过程中产生的碳排放。为了进一步研究相同月龄不同区域家畜的碳平衡,结合实地农户调研数据,将不同地区的家畜划分为 4 个月龄阶段:1—6 月龄、7—12 月龄、13—18 月龄、19—24 月龄(及以上),并利用相关碳排放系数计算得到该地区畜牧业的碳排放量。

1.3.1 家畜饲料粮生产和运输加工过程中产生的碳排放测算

家畜饲料原料一般需要经过种植、施肥、筛选、运输、碾碎、配料、混合等一系列加工后得到饲料,在此过程中引起的能源消耗导致产生的温室气体排放需要列入计算范围。家畜饲料粮在生产和运输加工过程中产生的碳排放量计算公式^[13]为:

$$FPP_i = \sum_{i=1}^n Q_i \times C_i \times q_{ij} \times (ef_{j1} + ef_{j2})$$

(1)

式中: FPP_i 代表家畜饲料粮生产和运输加工过程中产生的碳排放总量; i 表示家畜产品的种类,包括以猪、牛、羊肉为主的畜肉类产品、禽蛋以及牛奶; Q_i 表示第 i 类家畜产品的年产量; C_i 表示第 i 类畜产品的单位耗粮系数(来源于《全国农产品成本收益资料编》); q_{ij} 表示 i 为大豆、小麦、玉米等 j 类粮食在家畜饲料配方中的比例(家畜牛:精饲料中,饼类、玉米占比分别为 14.6%, 37.0%; 家畜猪:精饲料中,玉米占 56.15%; 家畜羊:精饲料中,饼类、玉米占比分别为 12.89%, 62.61%); ef_{j1} 表示 j 类粮食的种植过程中 CO_2 当量排放系数(表 2),其中因豆饼为大豆经第 1 次处理后得到的副产品,所以本研究中大豆种植所排放的温室气体忽略不计; ef_{j2} 表示 j 类粮食在运输加工过程中 CO_2 当量排放系数(表 2)。

1.3.2 家畜肠胃发酵产生的碳排放总量

以牛、羊为主的反刍家畜通过瘤胃发酵产生的气体主要成分为 CH_4 等温室气体,其产生的 CH_4 占有家畜胃肠道碳排放总量的 80% 以上,而非反刍家畜(马、驴)和单胃家畜(猪)等产生的 CH_4 等气体相对较少,家禽肠胃发酵产生的 CH_4 排放量极少可不予考虑。家畜肠胃发酵产生的 CH_4 气体计算公式为

$$TC_{\text{sw}} = \sum_{i=1}^n APP_i \times ef_{i1}$$

(2)

式中： TC_{sw} 表示畜禽胃肠发酵产生的甲烷气体排放量(万 t)； i 为牲畜种类； APP_i 表示第 i 类牲畜的年末存栏量(万头)； ef_{i1} 表示第 i 类牲畜胃肠道发酵甲烷排放系数。

表 2 各系统边界的碳排放系数

饲养过程	符号	碳排放系数	数值	单位	参考文献
饲料粮种植	ef_{j1}	玉米 CO ₂ 当量排放系数	1.500		[14]
		小麦 CO ₂ 当量排放系数	1.220		
	ef_h	化肥 CO ₂ 当量排放系数	3.283		
饲料粮运输加工	ef_{j2}	玉米 CO ₂ 当量排放系数	0.010 2		[15]
		小麦 CO ₂ 当量排放系数	0.031 9		
		大豆 CO ₂ 当量排放系数	0.101 3		
家畜饲养	p_e	家畜养殖用电价	0.427 5	元·(kW·h) ⁻¹	[15]
	ef_e	电能消耗 CO ₂ 当量排放系数	0.973 4	t·(MW·h) ⁻¹	
	p_c	养殖用煤单位支出	800	元·t ⁻¹	[16]
	ef_c	燃煤消耗 CO ₂ 当量排放系数	1.98		
家畜产品加工	MJ_u	猪肉一屠宰加工耗能系数	3.76	MJ·kg ⁻¹	[15]
		牛肉一屠宰加工耗能系数	4.37	MJ·kg ⁻¹	
		羊肉一屠宰加工耗能系数	10.40	MJ·kg ⁻¹	
		牛奶一加工耗能系数	1.12	MJ·kg ⁻¹	
		禽蛋一加工耗能系数	8.16	MJ·kg ⁻¹	
—	e	1°电热值	3.60	MJ	—
	etp_f	CO ₂ 当量转化为标准碳系数	0.272 8	—	[13]
	GWP_{CH_4}	CH ₄ 全球升温潜能值	21	—	[16]
	GWP_{N_2O}	N ₂ O 全球升温潜能值	310	—	

1.3.3 家畜粪便管理中产生的碳排放总量

家畜粪便处理过程中，在厌氧条件下会产生 CH₄ 气体，而在有氧条件下则主要产生 N₂O 气体，因此可将家畜粪便管理系统的碳排放分为 2 部分计算：

首先计算家畜粪便管理过程中产生的 CH₄ 排放量^[13]为：

$$TC_{mc} = \sum_{i=1}^n APP_i \times ef_{i2}$$

(3)

式中： TC_{mc} 表示家畜粪便管理过程中 CH₄ 气体排放量(万 t)； ef_{i2} 表示家畜粪便管理过程中第 i 类牲畜的 CH₄ 排放系数。

然后计算家畜粪便管理过程中产生的 N₂O 排放量^[17]为：

$$TC_{md} = \sum_{i=1}^n APP_i \times ef_{i3}$$

(4)

式中： TC_{md} 为家畜粪便管理过程中 N₂O 气体排放量(万 t)； ef_{i3} 表示家畜粪便管理过程中第 i 类牲畜的 N₂O 排放系数。

1.3.4 家畜饲养过程中产生的碳排放总量

由于在饲养家畜的过程中产生了能源消耗，如为家畜栏舍供暖供电等，消耗的电、煤炭等能源将直接或间接导致温室气体的排放。家畜饲养过程中产生的碳排放总量计算公式^[17]为：

$$TC_{sc} = \sum_{i=1}^n APP_i \times \frac{c_{ie}}{p_e} \times ef_e + \sum_{i=1}^n APP_i \times \frac{c_{ic}}{p_c} \times ef_c$$

(5)

式中: TC_{sc} 为畜禽饲养过程中产生的碳排放总量(万 t); i 为牲畜种类; c_{ie} , c_{ic} 分别为第 i 类家畜每只(头)在一个饲养周期内用电和用煤量的支出(元); p_e , p_c 分别表示家畜饲养过程中的电费单价及煤费单价(元); ef_e 表示饲养家畜过程中所用电能消耗的 CO_2 排放系数; ef_c 表示饲养家畜过程中所用煤炭消耗的 CO_2 当量排放系数(表 2).

1.3.5 家畜产品加工过程中产生的碳排放总量

在将家畜加工成肉产品的过程中, 其所消耗的能源会产生碳排放, 家畜产品加工产生的碳排放总量计算公式^[17]为:

$$TC_{sg} = \sum_{i=1}^n Q_i \times \frac{MJ_u}{e} \times ef_e$$

(6)

式中: TC_{sg} 表示家畜类产品加工过程中所产生的碳排放总量(万 t); i 表示畜产品的种类, 包括猪肉、牛肉、羊肉、禽蛋、牛奶; Q_i 表示第 i 类畜产品的年产量(万 t); MJ_u 表示第 u 类畜产品单位加工耗能系数; e 表示消耗 1° 电产生的热值; ef_e 表示电能消耗的 CO_2 当量排放系数(表 2).

1.3.6 基于生命周期标准家畜碳排放总量

畜牧业全生命周期中碳排放总量计算公式^[17]为:

$$TC_{TOTAL} = \left[\begin{aligned} &FPP_i + TC_{sw} \times GWP_{CH_4} + \\ &(TC_{mc} \times GWP_{CH_4} + TC_{md} \times GWP_{N_2O}) + TC_{sc} + TC_{sg} \end{aligned} \right] \times etp_f$$

(7)

式中: TC_{TOTAL} 为畜牧业碳排放总量(万 t); FPP_i , TC_{sw} , TC_{mc} 或 TC_{md} , TC_{sc} , TC_{sg} 分别为家畜饲料生产和运输加工、家畜肠胃发酵、家畜粪便管理、家畜饲养、家畜产品加工等 5 个环节按 CO_2 当量计算得到的碳排放量; etp_f 为单位 CO_2 当量转化为标准碳的系数; GWP_{CH_4} 为 CH_4 全球升温潜能值; GWP_{N_2O} 为 N_2O 全球升温潜能值(表 2).

1.4 家畜碳排放系数的确定

本研究测算的家畜种类包括猪、牛、羊, 由于马、驴、骡等数量相对较少, 故不在本研究范围内. 对于反刍动物温室气体排放系数参考《2006 年 IPCC 国际温室气体清单指南》^[17]、张哲瑜^[18]《生猪养殖企业温室气体排放核算方法研究》和郭娇等^[19]《中国畜牧业温室气体排放现状及峰值预测》等(表 3).

表 3 家畜碳排放系数

单位: $kg \cdot 年^{-1}$

家畜类别		1—6 月龄	7—12 月龄	13—18 月龄	19—24 月龄(及以上)	参考文献
猪	肠道 CH_4 排放系数	0.53	1.46	1.46	2.34	[18]
	粪便管理 CH_4 排放系数	—	1.38	1.38	1.38	
	粪便管理 N_2O 排放系数	0.19	0.19	0.19	0.19	
牛	肠道 CH_4 排放系数	19.20	33.90	42.50	47.80	[17]
	粪便管理 CH_4 排放系数	0.40	0.60	0.80	1.20	
	粪便管理 N_2O 排放系数	0.77	0.77	0.77	0.77	
羊	肠道 CH_4 排放系数	8.13	8.13	8.13	8.13	[19]
	粪便管理 CH_4 排放系数	0.28	0.28	0.28	0.28	
	粪便管理 N_2O 排放系数	0.09	0.09	0.09	0.09	

基于生命周期法的家畜生产系统碳排放测算方法,结合 2016—2020 年安定区、临夏县、碌曲县家畜年末存栏量和农户调查数据家畜同一种类不同月龄的质量,分别计算出近 5 年安定区、临夏县、碌曲县 4 个月龄阶段家畜的碳排放状况.从图 1 可知,家畜碳排放主要集中在 7—12 月和 13—18 月龄段内,占家畜碳排放总量的 66.24%,各月龄段中安定区和临夏县家畜碳排放总量明显低于碌曲县.近 5 年安定区 1—6 月龄家畜碳排放增长较快,从 2016 年的 1.555×10^4 kg/t 增长到了 2020 年的 3.302×10^4 kg/t,年均增长率为 20.72%.临夏县 1—6 月龄家畜碳排放量增长缓慢,从 2016 年的 1.712×10^4 kg/t 增长到 2020 年的 2.115×10^4 kg/t,年均增产率仅为 5.42%.碌曲县 1—6 月龄家畜碳排放则有所下降,从 2016 年的 3.745×10^4 kg/t 下降到 2020 年的 3.389×10^4 kg/t.7—12 月龄家畜的平均碳排放量碌曲县为 1.0209×10^5 kg/t,占碳排放总量的 18.45%,安定区为 5.273×10^4 kg/t,占 9.52%,临夏县为 4.135×10^4 kg/t,占 7.5%.家畜碳排放年均增长率碌曲县为 2.02%,临夏县为 6.7%,安定区为 20.57%.7—18 月龄家畜是碳排放量贡献最大者,占家畜碳排放总量的 75.6%.

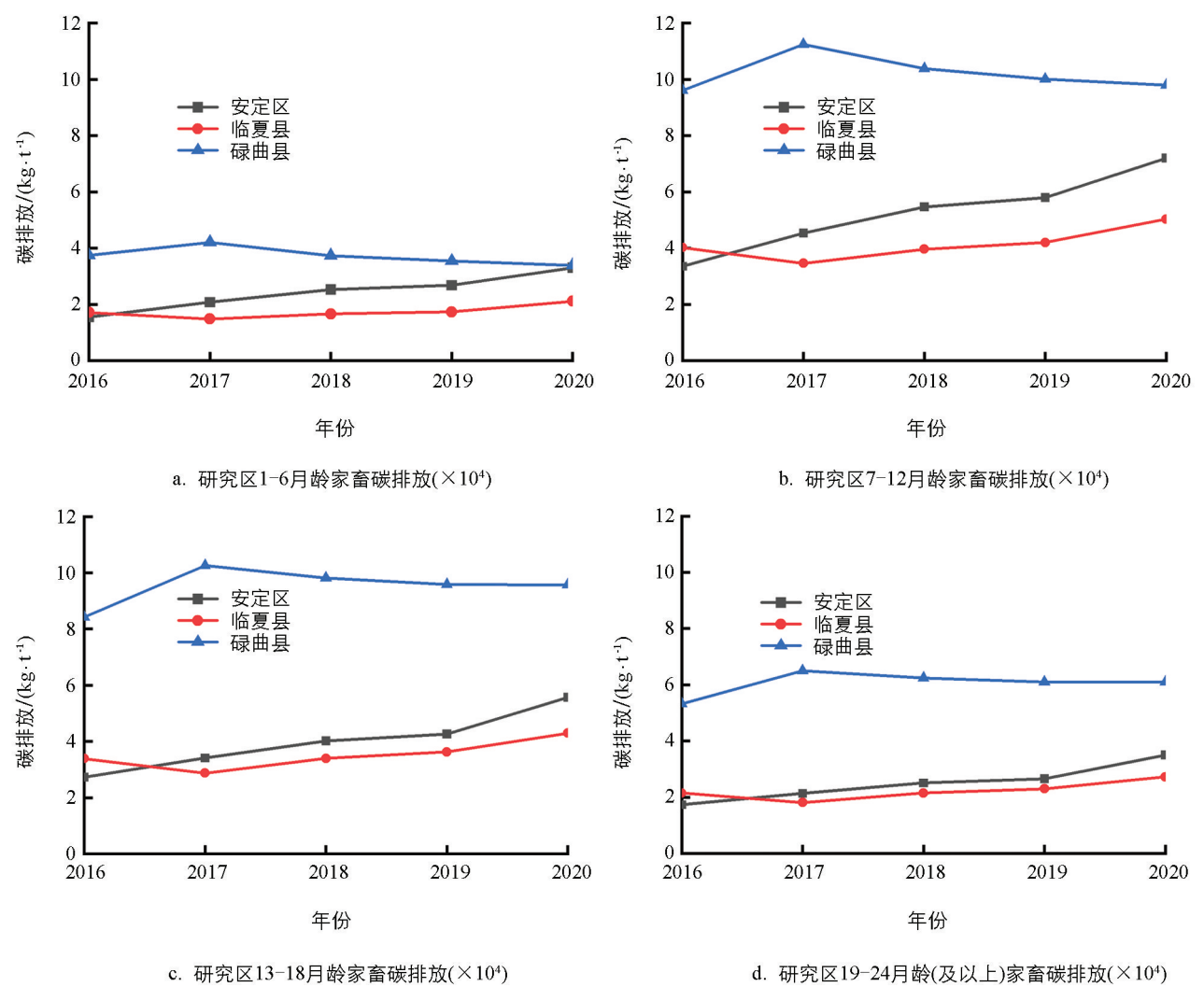


图 1 2016—2020 年安定区、临夏县、碌曲县不同月龄家畜碳排放总量

1.5 家畜碳吸收的测算

家畜生产的碳吸收主要包括肉、骨骼和毛皮的碳固定,但家畜总体碳吸收远小于碳排放,一般可以忽略不计^[3].家畜碳吸收的计算公式^[20]为:

$$CS_{\text{livestock}} = \sum_{i=1}^n CS_i = \sum_{i=1}^n (LW_i \times 0.2) \tag{8}$$

式中: $CS_{\text{livestock}}$ 表示家畜碳吸收量; i 为家畜类别; n 为家畜种类数量; CS_i 为第 i 类家畜数量的碳吸收量; LW_i 为第 i 种家畜的胴体质量。

从图 2 可知, 家畜的碳吸收远小于家畜碳排放, 其中碌曲县的家畜碳吸收要远高于安定区和临夏县。与安定区家畜碳排放量高于临夏县家畜碳排放量不同的是, 在 2016—2019 年间临夏县的家畜年均碳吸收量要高于安定区。总体看来, 研究区家畜碳吸收量呈缓慢增长的趋势。

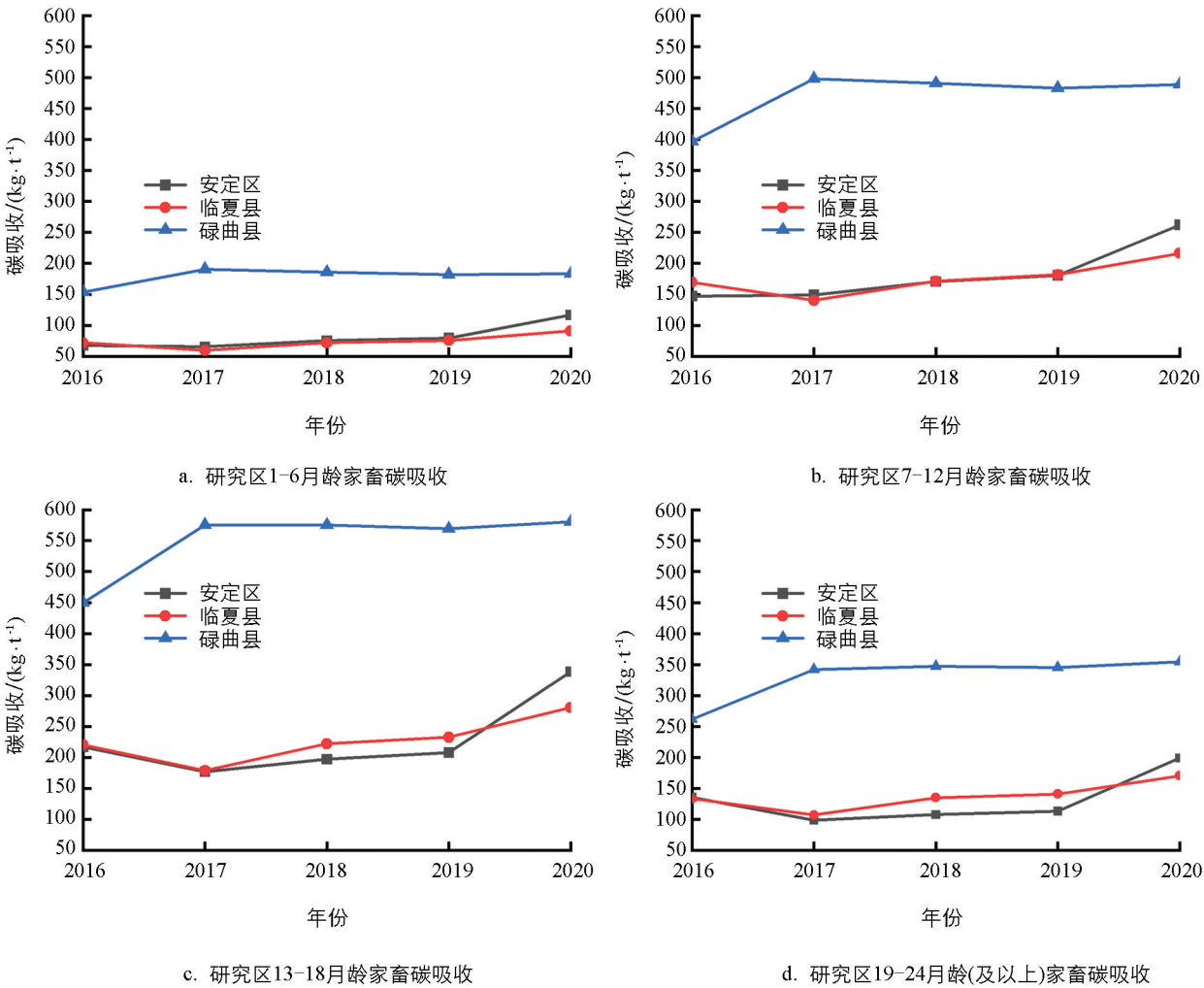


图 2 2016—2020 年安定区、临夏县、碌曲县不同月龄家畜碳吸收总量

2 家畜生产系统碳平衡

家畜生产碳平衡即碳吸收与碳排放的差值^[20], 公式为:

$$CB_{\text{livestock}} = CS_{\text{livestock}} - CE_{\text{livestock}} \tag{8}$$

式中: $CB_{\text{livestock}}$ 表示家畜碳平衡; $CS_{\text{livestock}}$ 表示家畜碳吸收; $CE_{\text{livestock}}$ 表示家畜碳排放。如果 $CB_{\text{livestock}}$ 家畜生产投入碳平衡的值小于零, 那么家畜生产系统就是一个碳源, 反之为碳汇^[11]。

由图 3 可知, 安定区、临夏县、碌曲县的家畜生产碳平衡值均小于 0, 因此研究区碳平衡表现为碳源, 其中碌曲县的碳源能力要明显强于安定区和临夏县, 这可能与其所处海拔(随海拔的升高而显著增强)、年均降雨量和年平均温度不同有关。

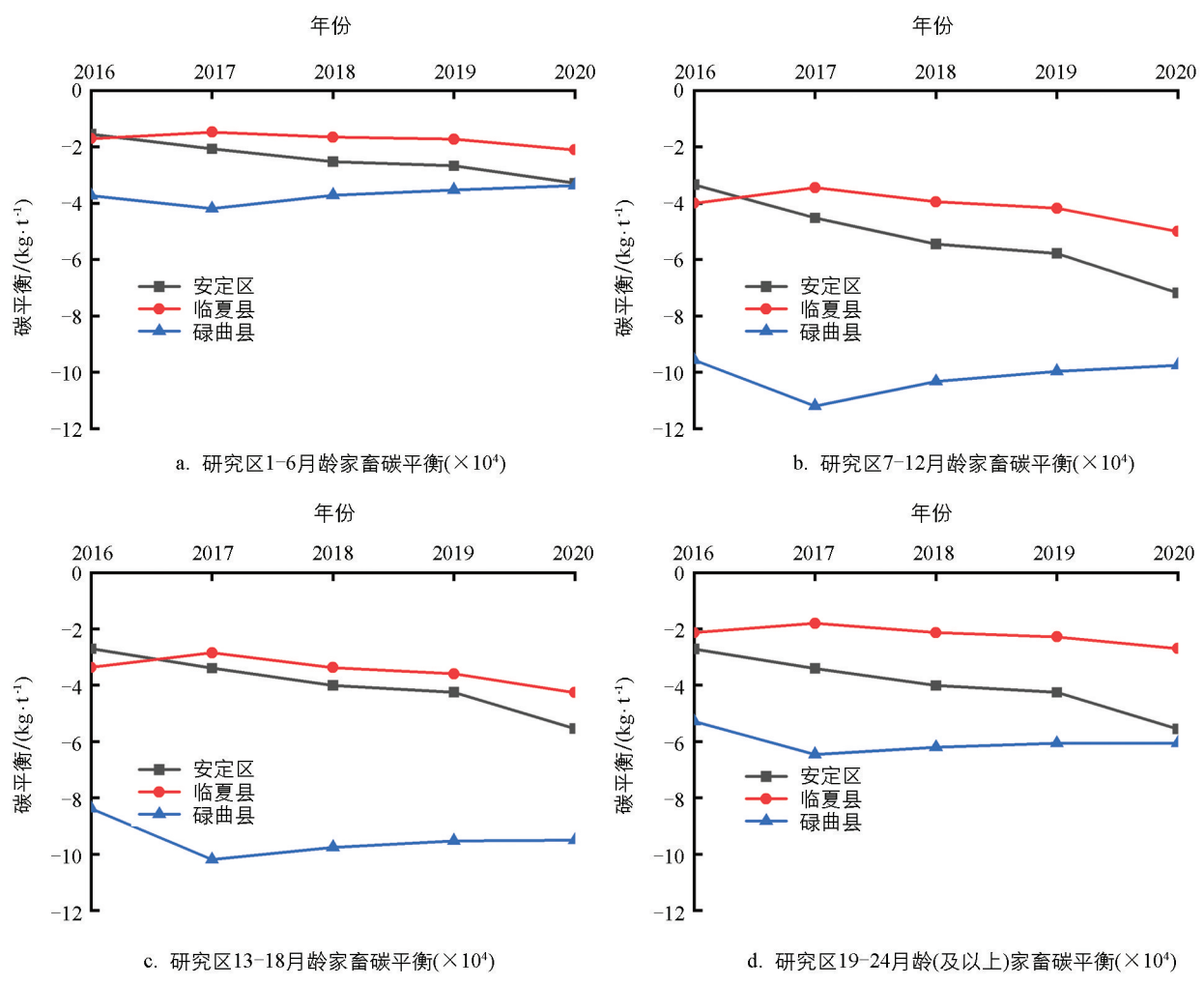


图 3 2016—2020 年安定区、临夏县、碌曲县不同月龄家畜总碳平衡值

3 结果与分析

3.1 评估 1991—2020 年家畜碳排放的时空规律

依据 1991—2020 年研究区家畜的年末存栏量和农户调查数据家畜不同种类的胴体质量，可分别计算出安定区、临夏县和碌曲县猪、羊、牛家畜的碳排放状况。由图 4 可知，从家畜种类视角来看，1991—2020 年家畜猪的碳排放总量要远小于羊和牛。研究区家畜猪的碳排放总量最小，为 1.873×10^5 kg/t，占研究区家畜(猪、羊、牛)碳排放总量的 2%；羊的碳排放总量最多，为 $9.124 1 \times 10^6$ kg/t，占 73%；其次为牛，牛的碳排放总量为 $3.131 04 \times 10^6$ kg/t，占 25%，这与研究区内饲养羊的数量要多于猪和牛有关。从不同区域来看，家畜猪在研究区中碳排放量相较于家畜羊和牛是最低的，安定区、临夏县、碌曲县家畜猪的碳排放量分别为 $1.182 1 \times 10^5$ kg/t， 6.404×10^4 kg/t， 5.05×10^3 kg/t，分别占当地家畜碳排放总量的 3.91%，2.34%，0.08%；家畜羊则是各县区内家畜碳排放量最大的，在安定区、临夏县、碌曲县的碳排放量分别为 $2.528 41 \times 10^6$ kg/t， $1.991 76 \times 10^6$ kg/t， $4.603 92 \times 10^6$ kg/t，分别占当地家畜碳排放总量的 83.73%，72.83%，68.84%。从总体上来看，家畜猪的碳排放量增长较为平稳，年均增长率仅为 1.33%，羊为 2.18%，牛为 2.47%，这与 2015 年后研究区内家畜牛的饲养量迅速增加有关。

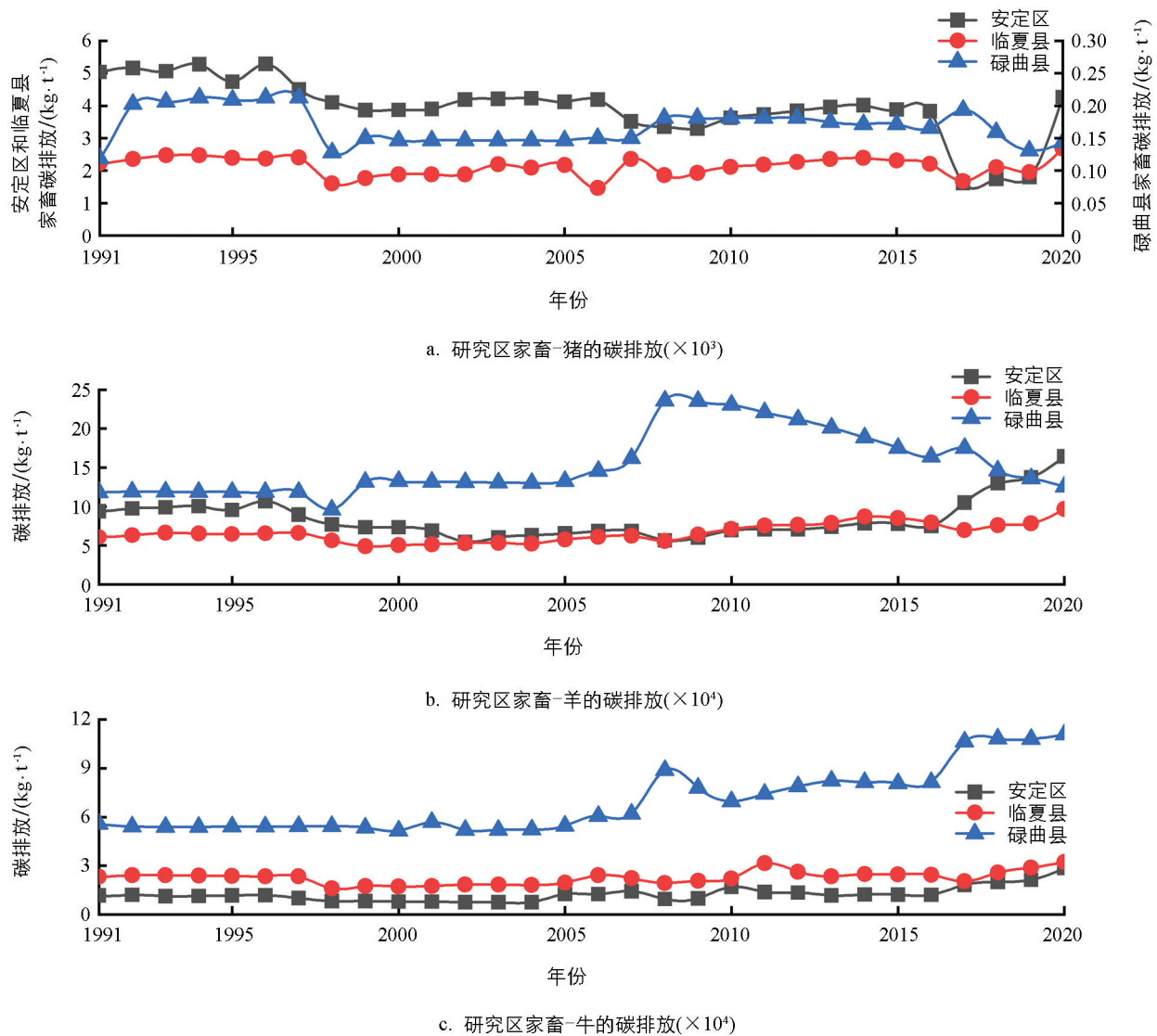


图 4 1991—2020 年安定区、临夏县、碌曲县猪、羊、牛的碳排放量

3.2 不同区域相同月龄家畜碳平衡显著分析

分析相同月龄段安定区、临夏县、碌曲县的家畜碳平衡值, 结果见表 4。本区域畜牧业以猪、牛、羊 3 种家畜为主, 并未将农户饲养的其他畜禽列入进来。

表 4 2016—2020 年甘肃农牧交错带 3 个区域家畜碳平衡 kg · t⁻¹

家畜月龄	安定区	临夏县	碌曲县	标准误	<i>p</i>
1—6 月龄	-2.422×10^4 b	-1.735×10^4 a	-3.706×10^4 c	2.77×10^3	29
7—12 月龄	-5.255×10^4 a	-4.117×10^4 a	-1.016×10^5 b	6.09×10^3	87
13—18 月龄	-3.980×10^4 a	-3.493×10^4 a	-9.471×10^4 b	4.93×10^3	344
19—24 月龄(及以上)	-3.989×10^4 b	-2.213×10^4 a	-6.017×10^4 c	4.34×10^3	1

注: 小写字母不同表示 $p < 0.05$, 差异有统计学意义。

由表 4 可知, 1—6 月龄和 19—24 月龄(及以上)的家畜在安定区、临夏县、碌曲县的碳平衡值具有统计
学意义($p < 0.05$); 7—12 和 13—18 月龄碌曲县的家畜分别与安定区、临夏县家畜的碳平衡值具有统计学
意义($p < 0.05$), 而安定区与临夏县不具有统计学意义($p > 0.05$)。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本研究对甘肃农牧交错区 1991—2020 年家畜生产系统碳排放状况进行了评估,得出家畜生产的碳排放量要远高于碳吸收量,即家畜生产碳平衡值均小于零,表现为碳源。这与陈军娟等^[20]研究的甘肃省农牧交错带家畜生态系统碳排放的研究结果一致,与吴超超等^[3]研究的黄土高原—青藏高原过渡带农户生产系统的碳平衡研究结果一致,与彭亚钊等^[4]研究的甘肃省青藏高原地区家畜生产碳排放随着海拔升高而显著增加的结果一致。本研究由于研究对象是区域内猪、羊、牛家畜(其余家畜不在计算范畴)的碳排放,当地的饲养量直接影响当地的畜碳排放量。根据实际农户调查和年鉴统计数据,研究区内家畜羊的饲养量要高于家畜猪和牛,所以从家畜碳排放总量分析来看,家畜羊的碳排放总量要高于牛,但若就单位家畜来看,家畜牛的温室气体排放效应要高于羊。Garrido 等^[7]则通过家畜肉类产品量研究家畜的碳排放,结果表明,单位家畜牛的碳排放量要大于羊和猪。甘肃省为欠发达地区,其农牧交错区典型样带的畜牧业要落后于发达地区,目前尚未达到绿色低碳农业的阶段。随着人类社会经济的不断发展,未来 20 年内畜禽产品需求量的增加,家畜碳排放仍会增加,因此研究区域内家畜碳排放,可为推进农业扩大开放、推动农业农村绿色发展、促进区域协调发展提供可行的政策建议^[11]。

研究结果发现 7—12 月龄段的畜生产碳排放要高于 1—6 月龄和 19—24 月龄(及以上),这可能与在此月龄段的畜产品需求量增加有关,因为此月龄段的猪和羊家畜大多已到出栏期,可为市场提供畜产品,加之后期处理畜产品时所消耗的大量能源直接或间接地导致碳排放量的增加。另外碌曲县饲养猪的数量要远小于安定区和临夏县,导致碌曲县家畜的碳排放要远高于安定区和临夏县,这与苏旭峰等^[16]研究的猪在畜牧业中的占比越高、碳排放越低结论相近。家畜生产过程中对温室气体排放贡献最大的牲畜是牛,碌曲县牛的年末存栏量远高于安定区和临夏县,导致碌曲县成为本研究区中碳排放强度最大的区域^[21-22],所以适当调整农户牲畜饲养结构,可有效减低牲畜碳排放量。

家畜生产系统碳排放评估还存在不确定性:首先是从甘肃省农牧交错区典型样带中选取“2 县 1 区”,所做的农户调研数据可能无法完全涵盖当地区域牲畜生产系统的所有变化;其次是研究对象为农户养殖的猪、牛、羊这 3 种家畜,并未将其他家畜列入研究范围内,加之农户家饲养牲畜喂食的饲料多为粗饲料,而牲畜在食用粗饲料后排放的温室气体要比食用加工过后的精饲料产生的温室气体排放量更大;另外农户家畜因受当地气候、海拔、年均日照时长以及年均降雨量等因素影响导致碳排放量存在差异。

4.2 结论

1) 1991—2020 年甘肃农牧交错区典型样带中碌曲县家畜猪的碳排放量最低,而牛、羊的碳排放量高且呈逐年上升趋势;安定区和临夏县猪、牛、羊家畜的碳排放呈逐年下降趋势,家畜碳源能力随着海拔的不断升高而显著增强。

2) 2016—2020 年甘肃省农牧交错带安定区、临夏县和碌曲县不同月龄段的畜(猪、牛、羊)的碳平衡值结果表明,碌曲县家畜在各个月龄段的碳源作用都要显著高于安定区和临夏县,7—18 月龄的家畜是碳排放量贡献最大者,占家畜碳排放总量的 75.6%。

参考文献:

- [1] CARO D, DAVIS S J, BASTIANONI S, et al. Global and Regional Trends in Greenhouse Gas Emissions from Livestock [J]. Climatic Change, 2014, 126(1): 203-216.
- [2] 戴小文, 杨雨欣. 2007—2016 年中国省域种植业碳排放测算、驱动效应与时空特征 [J]. 四川农业大学学报, 2020, 38(2): 241-250.

[3] 吴超超, 高小叶, 侯扶江. 黄土高原—青藏高原过渡带农户生产系统的碳平衡 [J]. 应用生态学报, 2017, 28(10): 3341-3350.

[4] 彭亚钊, 燕振刚. 甘肃省青藏高原地区家畜生产碳排放时空变化分析 [J]. 家畜生态学报, 2022, 43(11): 54-58.

[5] 李彩弟, 燕振刚. 农产品碳排放及家畜甲烷排放影响因素的研究 [J]. 青海农林科技, 2019(4): 53-56.

[6] 赵广永. 反刍动物瘤胃甲烷产量预测模型 [J]. 动物营养学报, 2014, 26(10): 3135-3139.

[7] GARRIDO A P, TOVAR B F, FONTANILLA J D, Assessment of Livestock Greenhouse Gases in Colombia between 1995 and 2015 [J]. Heliyon, 2022, 8(12): e12262.

[8] KENNADY V, BISWAL J, RAHMAN H. Amelioration of Methane Production from Livestock Production Systems through Effective Management Strategies [J]. Journal of Entomology and Zoology Studies, 2020, 8(3): 148-152.

[9] XUE B, WANG L Z, YAN T. Methane Emission Inventories for Enteric Fermentation and Manure Management of Yak, Buffalo and Dairy and Beef Cattle in China from 1988 to 2009 [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2014, 195: 202-210.

[10] 林晓薇, 潘庚飞. 我国碳生态补偿规划研究——基于东南地区七省一市实证分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(7): 130-138.

[11] 张计深, 陈笑蝶, 彭守璋. 2001—2100 年中国温度变化趋势及时空差异研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(12): 112-124.

[12] 国家统计局农村社会经济统计司. 中国农村统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1992-2017.

[13] 姚成胜, 钱双双, 李政通, 等. 中国省际畜牧业碳排放测度及时空演化机制 [J]. 资源科学, 2017, 39(4): 698-712.

[14] 孟祥海, 程国强, 张俊飏, 等. 中国畜牧业全生命周期温室气体排放时空特征分析 [J]. 中国环境科学, 2014, 34(8): 2167-2176.

[15] 孙亚男, 刘继军, 马宗虎. 规模化奶牛场温室气体排放量评估 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 296-301.

[16] 苏旭峰, 杨小东, 冉启英. 基于碳排放视角的中国畜牧业绿色增长分析 [J]. 生态经济, 2022, 38(4): 101-107.

[17] YAN Z, LI W, YAN T, et al. Evaluation of Energy Balances and Greenhouse Gas Emissions from Different Agricultural Production Systems in Minqin Oasis, China [J]. Peer J, 2019(7): e6890.

[18] 张哲瑜. 生猪养殖企业温室气体排放核算方法研究 [D]. 北京: 北京建筑大学, 2018.

[19] 郭娇, 齐德生, 张妮娅, 等. 中国畜牧业温室气体排放现状及峰值预测 [J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(10): 2106-2113.

[20] 陈军娟, 燕振刚, 李薇, 等. 基于系统动力学的民勤绿洲农业系统碳排放仿真模拟研究 [J]. 西南农业学报, 2022, 35(6): 1432-1440.

[21] 裴志永, 欧阳华, 周才平. 青藏高原高寒草原碳排放及其迁移过程研究 [J]. 生态学报, 2003, 23(2): 231-236.

[22] 姜明红, 刘欣超, 唐华俊, 等. 生命周期评价在畜牧生产中的应用研究现状及展望 [J]. 中国农业科学, 2019, 52(9): 1635-1645.

责任编辑 周仁惠