

甘肃中部地区秸秆资源产量及潜力估算

罗峰,张浩珍,杨婕妤,陈强强

(甘肃农业大学财经学院,甘肃 兰州 730070)

摘要:“粮改饲”试点的甘肃中部地区属农牧交错区,农作物秸秆资源丰富,草食家畜饲草需求量大,秸秆饲料化利用势在必行。以中部地区 2012~2016 年主要农作物的经济产量为依据,采用草谷比和可收集系数法,估算甘肃中部地区秸秆可收集利用量;以草食家畜日均采食量为标准,测算秸秆载畜发展潜力。结果表明:甘肃中部地区可收集秸秆资源总量为 252.80 万 t,其中玉米秸秆占比 72.51%,秸秆资源呈增长趋势;可收集秸秆实际载畜量为 345.15 万羊单位,理论发展潜力为 577.17 万羊单位,秸秆载畜牧业发展潜力巨大。

关键词:秸秆;草谷比;畜牧承载力;发展潜力;甘肃中部

中图分类号:S816 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2021)01-0113-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2021.01.015

随着畜产品需求量的日益增长和饲料价格的持续上涨,秸秆资源的开发利用持续受到国家的重视与关注。2015 年“粮改饲”政策试行以来,饲草料种植面积不断扩大,对缓解“人畜争粮”矛盾,补充草食家畜饲草料供给缺口发挥了显著作用。然而,受限于农户观念、技术、资金、机械化等诸多因素,粮、经、饲三元种植结构尚未形成,“以粮养畜”的草牧业发展缓慢,且经济效益较低。因此,加快当地丰富的农作物秸秆资源的饲料化利用,是实现农牧产业融合发展的重要选择。本研究在对甘肃中部地区作物秸秆资源测算的基础上,估算了秸秆饲料化利用的畜牧承载力,以期对种植结构调整提供理论依据,进而促进畜牧产业发展,构建种养结合的节能循环型农牧发展模式,促进中部地区经济增长。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区为甘肃中部地区,地处黄土高原沟壑区,位于黄土高原、青藏高原、内蒙古高原 3 大高原交接处,包括兰州市、白银市、临夏州、定西市等 4 市(州),19 个县(区)。中部地区土地资源丰富,国土总面积 6.13 万 km²,总人口 1021.83 万人;区域耕地面积 148 万 hm²,占总面积的 23.4%,是以雨养农业为主的农业区,种植作物以小麦、玉米、薯类为主,养殖业较为发达。研究区农作物秸秆资源丰富,但秸秆资源综合化利用结构不尽合理,秸秆资源化利用和畜牧业综合发展问题亟待解决,农作物秸秆如何科学合理的资源化利用迫在眉睫。

1.2 秸秆资源估算方法与数据来源

准确界定秸秆是估算秸秆资源量的前提。本研究基于广义视角对秸秆的界定,即收获作物的主要农产品后剩余在田间的副产品,主要包括农作物的根、茎、叶^[1]。通过查阅整理历年《甘肃统计年鉴》,获得研究区主要农作物小麦、玉米和马铃薯种植情况及畜牧饲养情况,选取农作物草谷比参数、秸秆可收集系数,对历年主要农作物秸秆资源总量和秸秆资源畜牧业发展潜力进行估算。

收稿日期:2019-00-00; **修回日期:**2019-12-23

基金项目:甘肃省社科项目:“草原生态补偿政策下甘肃省农牧民可持续生计研究—基于可持续生计框架”(19YB127)

作者简介:罗峰(1993-),女,甘肃会宁人,硕士。

E-mail:977936502@qq.com

陈强强为通讯作者。

E-mail:jjglxy666@126.com

1.2.1 秸秆资源总量估算方法

(1)理论秸秆资源总量估算方法
采用国际通用草谷比法来估算农作物秸秆资源量。计算公式如下：

$$S_{oi}=C_i(1-G_i)\times R_i$$
 (1)

式中： S_{oi} 为区域*i*作物理论秸秆资源总量； C_i 为*i*作物经济产量； G_i 为*i*作物的果实水分系数； R_i 为*i*作物秸秆籽粒比值，即草谷比取值；*n*为作物的种类，本研究的主要作物包括小麦、玉米、马铃薯；*n*=3。

对玉米草谷比的取值，本研究选取左旭^[2]关于玉米草谷比的甘肃实地调查样本所得数据，最终取值为1.32；小麦草谷比的取值，以王晓玉^[3]通过对区域划分及实地样方观测，获得甘肃地区小麦草谷比取值为1.27为参照；张启霞^[4]通过对甘肃省定西市马铃薯的农田样方观测试验，研究得出定西市马铃薯草谷比为1.05，本文研究区为包括定西市在内的甘肃中部地区，考虑定西市与甘肃中部地区的环境条件基本相近，故马铃薯草谷比取值同上。不同作物果实系数的取值参照罗怀川^[5]对农田生态系统的研究(表1)。

表 1 甘肃中部地区主要农作物秸秆资源量估算主要参数

Table 1 Main parameters of estimated straw resources of main crops in central Gansu

作物	草谷比	果实水分系数/%
小麦	1.27	7
玉米	1.32	7.71
马铃薯	1.05	76.9

(2)可收集秸秆资源总量估算方法

秸秆资源可收集利用量是指在现实耕作管理尤其是农作物收获管理条件下，可以从田间收集，并为人们利用的秸秆资源的最大数量。秸秆资源可收集利用量一般根据秸秆资源的总产量和其可收集利用系数来计算。公式表示为：

$$S_{1i}=S_{oi}\times W_i$$
 (2)

式中， S_{1i} 为*i*作物秸秆资源可收集利用量； W_i 为秸秆资源可收集利用系数；*i*=1为小麦，*i*=2为玉米，*i*=3为马铃薯。

相对于草谷比参数取值研究，对于农作物秸秆资源可收集系数取值的研究相对较少。仇焕广^[6]等人基于不同机械与人工收割的面积比例加权，得出小麦、玉

米、水稻的可收集系数分别为0.74、0.95、0.8；崔明^[7]等人依据区域划分，通过对不同区域作物机械收割、留茬高度进行调查，综合学者文献已有秸秆残留量，推算得出小麦可收集系数为0.76；玉米为0.96；毕于运^[8]等以黄淮海地区的作物留茬高度为依据，基于实地调研得出，中国农作物玉米和小麦秸秆可收集系数为0.83，马铃薯为0.6。本研究综合学界研究成果，考虑到毕于运^[8]基于实地调研和大量统计分析，得到更为精准的中国农作物的秸秆可收集系，具有更高的可信性和权威信。因此，本研究参考毕于运对可收集秸秆资源系数的取值(表2)。

表 2 作物可收集系数参数取值

Table 2 Values of crop collectable coefficient parameters

作物	仇焕广	毕于运	催明
小麦	0.74	0.83	0.76
玉米	0.95	0.83	0.96
马铃薯	—	0.6	—

1.2.2 研究区秸秆饲料畜牧承载力估算方法 可收集作物秸秆资源的理论载畜量依据草食家畜年末存栏量和羊单位日采食量1.8kg进行计算^[9-10]，而可收集秸秆的实际载畜量以秸秆饲料化的利用率为系数，以可收集秸秆理论载畜量为基数进行估算。可收集秸秆理论载畜与实际载畜量之差即为可收集秸秆载畜的发展潜力。

(1)可收集秸秆理论畜牧承载力及实际畜牧承载力估算公式：

$$W_0=\frac{S_{ii}}{36_5N}$$
 (3)

$$W_1=\frac{S_{ii}\times B}{36_5N}$$
 (4)

式中： W_0 为可收集秸秆资源理论畜牧承载力； W_1 为可收集秸秆资源实际畜牧承载力； S_{ii} 为秸秆资源可收集利用量； N 为羊日均饲草量， $N=1.8\text{ kg/d}$ ^[9-10]； B 为秸秆饲料化利用率， $B=59.6\%$ ^[11-12]。

(2)可收集秸秆资源畜牧养殖潜力估算公式：

$$R=W_0-W_1$$
 (5)

R 为秸秆载畜量发展潜力(羊单位)； W_0 为可收集秸秆资源理论畜牧承载力(羊单位)； W_1 为可收集秸秆资源实际畜牧承载力。

2 结果与分析

2.1 秸秆资源量估算与分析

2012~2016 年,作物秸秆理论产量整体呈先增后降的趋势,由 2012 年的 224.80 万 t 增长至 2015 年 273.07 万 t,而 2016 年下降至 251.20 万 t。甘肃中部地区主要秸秆资源来自小麦和玉米,占农作物秸秆资

源总量的 94.14%。其中,小麦年平均 54.67 万 t,占秸秆总量的 21.63%;玉米年均可收集秸秆总量为 183.29 万 t,占秸秆总量的 72.51%;马铃薯年均秸秆总量仅为 14.84 万 t,占秸秆总量的 5.87%(表 3)。甘肃中部地区以玉米作物种植为主,玉米秸秆是该地区主要的秸秆来源。

表 3 2012~2016 年甘肃中部地区主要农作物秸秆资源量及构成

Table 3 The amount and composition of straw resources of main crop in central Gansu Province from 2012 to 2016 万 t						
作物	2012	2013	2014	2015	2016	年均
小麦	54.60	51.75	56.38	56.99	53.63	54.67
玉米	156.13	179.73	196.31	201.14	183.14	183.29
马铃薯	14.07	15.67	15.08	14.94	14.43	14.84
秸秆总量	224.80	247.15	267.77	273.07	251.20	252.80

表 4 2012~2016 年甘肃中部地区主要作物秸秆资源总量

Table 4 Total straw resources of major crops in central Gansu Province from 2012 to 2016 万 t									
秸秆总量	地区	2012	2013	2014	2015	2016	合计	平均	占比/%
理论总量/万 t	兰州市	37.90	40.21	41.98	40.59	39.58	200.26	40.05	12.86
	白银市	66.20	73.61	79.66	83.12	76.41	379.00	75.80	24.34
	定西市	104.22	114.95	128.02	132.21	114.67	594.07	118.81	38.15
	临夏州	69.01	76.24	79.92	79.99	78.65	383.81	76.76	24.65
可收集总量/万 t	兰州市	30.94	32.79	34.24	33.10	32.26	163.33	32.67	12.92
	白银市	54.14	60.26	65.25	68.15	62.60	310.40	62.08	24.56
	定西市	83.24	91.64	102.85	106.33	92.06	476.12	95.22	37.67
	临夏州	56.48	62.46	65.43	65.49	64.28	314.14	62.83	24.85

2.1.1 研究区秸秆资源区域分布 2012~2016 年甘肃中部地区各市主要农作物秸秆可收集总量占比的大小依次为:定西市 37.67%>临夏州 24.85%>白银市 24.56%>兰州市 12.92%。种植业主要集中于耕地面积较大的定西市、白银市,定西市 2012~2016 年均可收集秸秆资源总量为 95.22 万 t 位居首位,白银市以 62.08 万 t 排第 2,而兰州市属于工业城市,耕地面积相对较少,秸秆资源总量最少为 32.67 万 t(表 4)。表明,作物秸秆资源区域差异显著,中部地区秸秆资源形成以通渭县、会宁县、安定区、陇西县为核心的集聚区。秸秆资源总量的作物构成,四市的小麦、玉米、马铃薯秸秆资源总量差异较大,可收集小麦秸秆资源总量均最少,玉米秸秆反之(图 1)。这与各市自然环境、农作物播种面积、作物经济产量有较大关系。

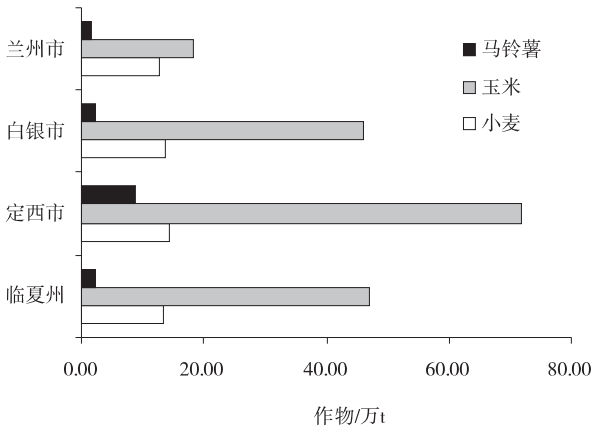


图 1 2012~2016 年甘肃中部地区可收集秸秆资源总量的作物构成

Figure 2 Crop composition of total straw resources collected in central Gansu from 2012 to 2016

2.1.2 研究区可收集秸秆资源总量变化趋势 2012~2016 年甘肃中部地区可收集秸秆资源总量整体呈先增后减趋势。玉米秸秆总量的年度变化与中部秸秆资源总量变化基本相似,而小麦和马铃薯秸秆总量基本保持平稳波动(图 2)。2012~2016 年秸秆总量的变动大致可以分为“一增、一平、一减”3 个阶段。“一增”是指 2012~2014 年快速增长,由 2012 年的 224.80 万 t 增长至 2014 年的 267.77 万 t,年均增速 5.48%,期间,甘肃省全膜双垄沟播玉米推行,玉米种植面积大幅度增加。“一平”是指 2014~2015 年甘肃中部地区秸秆总量增加 5.30 万 t,增长缓慢。“一减”是指 2015~2016 年秸秆资源总量减少至 251.20 万 t,因甘肃中部地区地处温带大陆气候,属于旱作农区,作物种植受限于自然条件,2016 年甘肃中部地区旱灾面积为 $335.07 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ^[12],导致秸秆资源量较 2015 年相比减少了 17.87 万 t,作物秸秆丰欠受自然条件影响极为显著。

2.2 农作物秸秆资源畜牧养殖潜力分析

2.2.1 秸秆资源理论载畜量及实际载畜量 2012~2016 年甘肃中部地区秸秆载畜量整体呈先增后减的

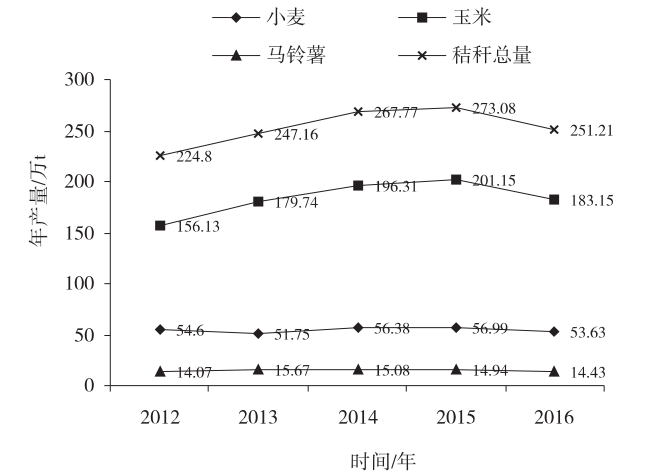


图 2 2012~2016 年甘肃中部地区主要作物可收集秸秆年产量
Figure 2 Annual yield of straw collected of major crops in central Gansu from 2012 to 2016

趋势,可收集秸秆资源年均理论载畜量为 577.17 万羊单位,年均实际载畜量为 345.15 万羊单位,秸秆载畜发展潜力巨大(表 5)。由于甘肃中部地区秸秆饲料化利用率较低,加之农户对秸秆资源化利用的认知不足,且秸秆饲料化利用受限于技术、资金、机械等多方因素,导致秸秆资源的实际载畜量与理论载畜量相差较大。

表 5 2012~2016 年甘肃中部地区可收集秸秆资源畜牧载畜及发展潜力

Table 5 Livestock-carrying capacity and development potential of straw resources collected in central Gansu from 2012 to 2016						万羊单位
载畜量	2012	2013	2014	2015	2016	平均
可收集秸秆实际载畜量	305.89	336.31	364.36	371.59	341.81	345.15
可收集秸秆理论载畜量	513.24	564.28	611.34	623.47	573.51	577.17
秸秆资源载畜发展潜力	207.35	227.97	246.98	251.88	231.70	232.02

2.2.2 可收集秸秆资源草食家畜载畜发展潜力估算 秸秆资源草食家畜载畜发展潜力,即指在现有草食家畜总量的基础上,提高秸秆资源的饲料化利用率可增加的草食家畜总量。秸秆资源草食家畜载畜发展潜力为理论载畜量减去实际草食家畜总量;根据公式(5)计算得到,2012~2016 年甘肃中部地区可收集秸秆资源草食家畜载畜发展潜力(表 5)。2012~2016 年甘肃中部地区年均可收集秸秆资源总量 252.80 万 t,秸秆资源年均理论载畜量为 577.17 万羊单位,而秸秆资源实际饲用率仅 59.60%,年均实际载畜量 345.15 万羊单位。可收集作物秸秆资源理论载畜发展潜力 232.02 万羊单位,接近现有草食家畜总量的 3 倍之多,这意味着甘肃中部地区秸秆资源丰富,理论上可承载 232.02

万羊单位的草食家畜发展空间。若提高秸秆饲料化利用率,不仅能增加畜牧养殖效益,同时减少秸秆焚烧、弃置等粗放的处置方式,改善环境。

3 讨论

我国粮食产量逐年攀升,作物秸秆数量随之增多,国家对秸秆资源化利用日益重视,使得秸秆资源量也成为农业生产的产量目标,学者关于秸秆资源做了大量研究^[13-17]。就农区秸秆利用方式来看,农户秸秆处置方式呈现出多元化特征,饲料化利用和燃料利用成为最重要的利用方式,这与当地悠久的养殖习惯相符合,同时农户就地取“柴”,直观地折射出当地生态环境严酷、农村能源匮乏的现实。同时,秸秆的弃置和露天

焚烧并存,造成资源浪费和污染环境^[18-20]。秸秆作为草食家畜饲料,含丰富的营养价值,每 7.6kg 鲜玉米秸秆所含的营养成分相当于 1kg 玉米粒^[21],甘肃中部地区属农牧交错区,秸秆资源丰富,秸秆饲料化具有较高的利用价值,并且符合当前我国“粮改饲”农业改革发展方向^[22]。

近年来,我国经济发展水平提高,饮食结构发生变化,肉产品需求增加,而草地资源退化,加剧了饲料需求与供给之间的矛盾,农作物秸秆作为优质粗饲料,可弥补草食家畜饲草需求^[23,24]。学者们关于农作物秸秆饲料化利用主要是从技术、工艺、政策、对策等角度进行了研究^[25-31]。对于秸秆载畜潜力的估算研究较少。而正确合理地估算秸秆载畜潜力及其经济效益,是秸秆饲料化利用技术改进及相关政策制定的前提,对秸秆饲料化利用具有重要意义。本研究以羊单位日均采食量为依据,在全面估算秸秆资源量的基础上,科学合理地计算秸秆载畜潜力及其经济效益,对未来草食家畜养殖具有指导意义,同时为制定畜牧业发展规划提供了依据。另外,当前的秸秆载畜潜力的分析基本都是基于历史数据的经验概算,对未来动态变化和潜力预判,尤其是基于种植结构调整和资源利用率提升情景下载畜量的情景模拟分析不足,是今后学术界研究的重要方向。

在推行“粮改饲”,发展草食节粮型畜牧业的背景下^[32-33],甘肃中部地区秸秆饲料化利用率由 2010 年的 47.5% 提高至 2014 年的 59.6%。畜牧强省战略的提出及各项秸秆资源化利用政策的出台,使得秸秆饲料化利用率增长较快,但仍远低于新疆等畜牧强省。2017 年召开的中国肉羊产业发展大会指出,玉米的整体消耗中,仅 1% 用于居民食用,而用作饲料所消耗的占比高达 41%,导致畜牧养殖效益低下。且畜牧业仅停留在牧区,农业仅停留在农区,农牧产业相脱离,为实现农牧业高效生产,农牧结合的新型种养模式势在必行。本研究估算得出甘肃中部地区秸秆载畜可发展潜力高达 232.02 万羊单位,但是由于受自然环境、农户观念和意愿及相关政策等诸多因素影响,使得甘肃中部以定西、白银为首的种植大市,目前仍存在农牧结合不够,并没有根本上改变人畜争粮的局面,仍处在以粮养畜的困境,农牧结合的种养模式有待探索。

草原超载过牧,草地退化严重,加剧了环境恶化。政府相继出台了各项政策,虽对草地资源环境压力有

所缓解,但是对于畜牧业发展成效并不显著。因此以秸秆饲料为突破口发展畜牧业,补给饲草料供给缺口,可实现农牧业融合发展的绿色循环农业。长期以来,作物秸秆被界定为农业附属产品,对作物秸秆资源的综合利用方式与利用效率提升方面研究还需进一步深入。目前关于秸秆养畜的研究分析了其意义、可行性以及经济效益,但是忽略了秸秆养畜过程中产生的环境效益,同时,对于畜牧业发展方面,如何实现产加销、贸工农一体化,通过延长产业链条,提升秸秆养畜的效益方面还需进行深入研究。

4 结论

本研究估算得出 2012~2016 年甘肃中部地区年均可收集秸秆资源总量为 252.80 万 t,仍有 102.13 万 t 的秸秆资源利用方式不尽合理,被焚烧、闲置等。就秸秆资源的作物构成来看,研究区主要农作物秸秆资源以玉米秸秆为主,产量为 183.29 万 t,其次为小麦秸秆,马铃薯秸秆最少,仅占秸秆资源总量的 5% 左右;就秸秆资源的区域分布来看,定西市的秸秆资源总量位列四市之首,白银市次之,其次为临夏州,兰州市最少;中部地区形成以会宁、通渭、安定区、陇西县为集聚的秸秆资源丰富区。2012~2016 年甘肃中部地区可收集秸秆资源理论载畜量为 577.17 万羊单位,但是秸秆资源饲料化利用率仅为 59.60%,致使可收集秸秆实际载畜量为 345.15 万羊单位。这意味着甘肃中部地区理论上秸秆资源丰富,在现有载畜量的基础上还可承载 232.02 万羊单位的草食家畜,同时表明,秸秆资源在畜牧养殖方面利用不足。草食家畜饲喂方式缺乏合理性,丰富的秸秆资源并没有得到科学合理高效的利用,反而因其焚烧、闲置等不科学的利用方式造成环境污染及其他问题,大量的秸秆资源被浪费,这不仅极大的制约了畜牧产业发展,还阻碍了整个农牧区经济的可持续发展。

2005 年以来,国家相继出台了秸秆综合利用的系列政策,旨在提高秸秆资源利用效率、缓解环境负外部效应,加之甘肃省“畜牧强省战略”的出台,为秸秆资源饲料化利用提供了有力的政策支持,但秸秆饲料化利用效率依然较低。应加大秸秆饲料加工技术的研发和推广,完善秸秆饲料化利用的政策保障体系,增加农户饲料化利用意愿,探索种养结合的新型农牧发展模式,实现农牧产业增效共赢。

参考文献:

- [1] 王亚静,毕于运,高春雨. 中国秸秆资源可收集利用量及其适宜性评价[J]. 中国农业科学,2010,43(9):1852—1859.
- [2] 左旭,王红彦,王亚静,等. 中国玉米秸秆资源量估算及其自然适宜性评价[J]. 中国农业资源与区划,2015,36(6):5—10+29.
- [3] 王晓玉,薛帅,谢光辉. 大田作物秸秆量评估中秸秆系数取值研究[J]. 中国农业大学学报,2012,17(1):1—8.
- [4] 张启霞. 甘肃省定西市作物秸秆资源利用与低碳农业发展研究[D]. 成都:四川师范大学,2014.
- [5] 罗怀良. 川中丘陵地区近 55 年来农田生态系统植被碳储量动态研究—以四川省盐亭县为例[J]. 自然资源学报,2009,24(2):251—258.
- [6] 蔡亚庆,仇焕广,徐志刚. 中国各区域秸秆资源可能源化利用的潜力分析[J]. 自然资源学报,2011,26(10):1637—1646.
- [7] 崔明,赵立欣,田宜水,等. 中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价[J]. 农业工程学报,2008,24(12):291—296.
- [8] 毕于运. 秸秆资源评价与利用研究[D]. 北京:中国农业科学院,2010.
- [9] 韩长赋. 中国农业年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2012:23—36.
- [10] 高鸿宾. 中国畜牧业年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2012:123—147
- [11] 甘肃省“十三五”农业系列规划汇编(甘肃省“十三五”秸秆饲料化利用规划)[R]. 2017.
- [12] 中国统计局. 甘肃统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2006—2016.
- [13] 钟华平,岳燕珍,樊江文. 中国作物秸秆资源及其利用[J]. 资源科学,2003,25(4):62—67.
- [14] 韩鲁佳,闫巧娟,刘向阳,等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报,2002,18(3):87—91.
- [15] 谢光辉,王晓玉,任兰天. 中国作物秸秆资源评估研究现状[J]. 生物工程学报,2010,26(7):855—863.
- [16] 袁葵洲,官春云. 影响油菜收获指数的几个生理因子[J]. 作物学报,1997(5):580—586.
- [17] 潘晓华,邓强辉. 作物收获指数的研究进展[J]. 江西农业大学学报,2007,25(1):1—5.
- [18] 刘巽浩,高旺盛,朱文珊. 秸秆还田的机理与技术模式[M]. 北京:中国农业出版社,2001:55—61.
- [19] YANG Shi-jian, HE Hong-ping, LU Shang-ling, *et al.* Quantification of Crop Residue Burning in the Field and Its Influence on Ambient Air Quality in Suqian, China [J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(9): 1961—1969.
- [20] 王效华,郝先荣,金玲. 基于典型县入户调查的中国农村家庭能源消费研究[J]. 农业工程学报,2014,30(14):206—212.
- [21] 迟文明. 谈农作物秸秆的综合利用[J]. 农机使用与维修,2019(10):106.
- [22] 曹志宏,黄艳丽,郝晋珉. 中国作物秸秆资源利用潜力的多适宜性综合评价[J]. 环境科学研究,2018,31(1):179—186.
- [23] 刘海燕,邱玉朗,魏炳栋,等. 秸秆生物学处理研究进展[J]. 中国奶牛,2012(4):22—25.
- [24] 兰晓玲,郭玉明,贺俊林. 我国秸秆饲料化利用技术研究综述[J]. 安徽农学报,2013,19(13):103—104.
- [25] 郑梦莉,王凯军,张佩华,等. 农作物秸秆饲料化技术研究进展[J]. 中国饲料,2017(11):5—8+14.
- [26] Theerattananoon K, Xu F, Wilson J, *et al.* Physical properties of pellets made from sorghum stalk, cornstover wheat straw, and big bluestem[J]. Industrial Crops and Products, 2011, 33(2): 325—332.
- [27] 肖宏儒,钟成义,秦广明,等. 农作物秸秆平模压缩成型技术研究[J]. 中国农机化,2010(1):58—62,66.
- [28] 李汝莘,耿爱军,赵何,等. 碎玉米秸秆卷压过程的流变行为试验[J]. 农业工程学报,2012,28(18):30—35.
- [29] 马彦华,武佩,宣传忠,等. 生物质振动压缩固体成型试验系统设计[J]. 农化研究,2014(6):210—214
- [30] 王瑞丽,魏楷峰,刘洋,等. 饲料用秸秆丝化多频快速压缩成型工艺参数优化[J]. 农业工程学报,2016,32(21):277—281.
- [31] 陈超玲,杨阳,胡林,谢光辉. 中国各省市区秸秆资源管理政策发展述评[J]. 中国农业大学学报,2017,22(11):1—16.
- [32] 冯源,吴景刚. 秸秆饲料加工利用技术的现状与前景[J]. 农机化研究,2006,26(6):44—46.

(下转 125 页)