我国农村秸秆资源利用的综合效应评价

许山晶，尹晓青

（南京大学经济学院，江苏南京210093；中国社会科学院农村发展研究所，北京100732）

摘要：农作物秸秆进行资源化利用是解决秸秆焚烧问题的重要途径，也是实现循环农业和低碳经济的有效手段。为评价全国农作物秸秆资源的综合利用状况，本文基于DPSIR模型建立秸秆资源利用综合效应评价体系，对全国及30个省市（不含西藏）的秸秆资源利用综合效应进行评价。结果显示，我国秸秆资源利用效应总体水平不高，并存在地区间差异，不同省区利用秸秆资源的模式具有差异性和一定的趋同性。政府的财政投入、基层管理与工程建设等响应举措最能反映并影响秸秆资源利用的综合效应。在具体指标中，处理农业废弃物沼气工程数量、农村沼气池产气量、秸秆资源可利用量、草食家畜数量、农村人均能源消费量和农村能源管理推广机构数目等指标对秸秆资源利用综合效应的影响较大。要提高秸秆综合利用效应水平，要重视秸秆能源化和饲料化利用外，而且要尊重地区间发展模式的不同。

改革开放以来，中国的农业增长取得了举世瞩目的成就，但随之而来的资源浪费和环境污染问题，已经成为农业可持续发展的严重制约。进入新时代，为贯彻落实绿色发展理念，改善农村人居环境，推动农业绿色转型发展，各级政府需要在推动农业增长的同时，尽可能地推动资源节约、耕地质量提高和农村环境改善。加快农作物秸秆资源化综合利用、禁止直接焚烧，成为其中重点工作之一。

秸秆是农业生产系统中非常重要的生物质资源。我国18亿亩耕地，近年来每年农作物秸秆资源理论产量约为9.0亿吨[1]。农作物光合作用产生的能量有50%以上储存在作物秸秆中，据统计，我国秸秆资源占主要生物质资源的72.2%[2]，是生物质资源最重要的组成部分[2]。秸秆中富含氮、钾、磷、镁、钙等重要元素以及粗纤维和有机质，具有很大的利用价值[3]。

回顾我国农作物秸秆的资源化利用过程，可以发现，我国秸秆利资源经历了从直接利用、到禁烧，再到综合利用的过程转变。20世纪70年代前，我国农作物秸秆大多作为薪柴、肥料和牲畜饲料被直接利用。自80年代起，随着农作物单产和总产量增加，作物秸秆产生量大增，同时，由于农村生活水平提升、劳动力减少，农村直接利用秸秆的比例大幅下降，由于没有找到好的解决方案，出现地区性、季节性、结构性的秸秆过剩。因此，秸秆露天焚烧成为很多地区的处理方式，由此带来严重的资源浪费和环境污染问题。2008年国务院办公厅印发了《关于加快推进农作物秸秆综合利用的意见》，目标是全面推行秸秆禁烧，同时推动秸秆资源实现综合利用。在政府政策指引和扶持下，传统的秸秆利用方式逐步发生着转变。概括起来，一是秸秆肥料化利用。作为一种重要的有机肥资源，秸秆还田在我国农业生产中一直被大力提倡，秸秆经过加工发酵后在耕地中施用，在一定程度上实现养分替代，从而实现化学氮肥替代和减量，有助于减轻化学氮肥施用产生的不良环境影响[4]。秸秆还田在增加土壤有机质、改善土壤保肥蓄水能力等方面作用显著，是农业废弃物资源化利用的重要途径。二是秸秆燃料化利用。秸秆可以通过固化成型、直燃发电、生物气化等方式实现能源化利用，能减少秸秆直接露天燃烧带来的环境污染。在当前环保政策趋严的背景下，秸秆能源化综合利用成为清洁能源的重要补充。三是秸秆饲料化处理利用。1吨普通秸秆的营养价值约与0.25吨粮食的营养价值相当，当秸秆经过青贮、氨化、微贮等处理技术后，营养价值大幅度提高，可以作为反刍动物的饲草料，节约饲料粮消耗，并形成循环利用模式。四是秸秆基料化利用，是以秸秆为主要原料制作富含营养的有机固体物料，为动植物生长提供良好的生存环境，可用于食用菌的栽培、育苗和垫料制作等。五是秸秆原料化利用。将秸秆进行工业化加工，制作为建材、纸张等，实现循环利用。从秸秆利用的多样化发展趋势看出，除了政府重视外，技术进步为秸秆利用开辟的新途径和方法，秸秆利用由过去传统农业领域发展到现代工业、能源领域，秸秆的综合效益快速提升。

尽管秸秆综合利用途径和去处不同，但通过秸秆资源的转化利用，能够产生显著的综合效益。从既有研究来看，秸秆资源化利用的综合效应表现在几个方面。一是减少污染物排放，带来显著的环境效益。秸秆焚烧是雾霾的季节性污染源之一，禁绝秸秆焚烧是许多大气污染严重地区的紧迫任务。二是促进能源替代。秸秆气化清洁能源在诸多方面与煤炭、石油、天然气等常规化石能源相似，具有可存储、可运输等特点，各地实践中，表现最为突出的是农村沼气池建设，它可以补充农村清洁能源供给，降低传统能源消耗，减少污染物排放[5]。三是促进农业发展和农民增收。有些地区在秸秆资源化利用中整合新技术，推动农作物秸秆利用和转化，改善了传统利用过程中的低效问题，提高了种植业和养殖业的经济效益。此外，通过秸秆加工利用的产业链延伸增值，资源再生利用节约成本，产生较高的经济效益。

我国政府十分重视秸秆利用问题，并把秸秆禁烧和综合利用工作当作资源和环境保护的重大项目，从技术、生产和市场的角度出发，在资金、政策等方面给予有力扶持与推动，极大地促进了秸秆综合利用这项工作的广泛开展，取得

了瞩目的成就[6]。根据农业农村部的报告，2019年我国秸秆综合利用率平均水平已达85.45%，但不同地区秸秆综合利用水平和效应存在着较大差异。因此，本研究认为，如果能对我国不同省份农村秸秆资源利用状况进行评价和比较分析，结果不仅能反映出农村秸秆资源化利用的综合效应水平，而且能够呈现出农村秸秆资源化利用中的短板和关键因素，对进一步完善秸秆资源化利用政策具有参考价值。

为了能全面较好地反映秸秆资源化利用综合效应，本研究对秸秆利用的综合效应的测度从多角度展开，包括能源替代、环境效应、牲畜饲料、营养土壤、农民增收，为相关研究提供一个新的视角。

一、文献综述

有关农作物秸秆资源的利用绩效的研究，多数研究文献采用不同的方法，着重对秸秆资源利用产生的资源替代效应、生态环境效益、经济效益或社会效益的度量和分析。有学者通过计算秸秆的热值、燃烧含硫量、热能效率等数据，评价秸秆资源利用的资源替代和环境效应[7-9]；有的研究利用替代成本法，情景分析法等方法，选择适当的评价指标构建秸秆资源利用的环境效益评价体系，对秸秆不同利用方式的环境效益进行分析和比较[10-12]。对秸秆利用的经济效应，部分学者采用NPV净现值法、成本收益法方法对秸秆资源不同利用方式的经济投入与收益进行分析，定量测算出经济效应[13-15]。国内当前研究中，也有研究采用评价指标体系对秸秆资源利用效应进行研究的成果，史乔丹构建了秸秆肥料化利用绩效评价体系，选择了总资产增长率、产品合格率、能源消耗率，契约农户流动率等评价指标，对典型地区的秸秆肥料化利用绩效进行评价[16]。崔晓雪等利用层次分析法，以秸秆饲料化，秸秆发电和秸秆糖醇化三种资源化利用途径为基础，对吉林省秸秆资源产业化利用的成效进行分析，利用成本费用收益率、产业发展能力、销售利润率、新增就业岗位数、资源替代效益、碳排放减少量、秸秆能量转化率等指标，对秸秆资源化利用的综合效应进行评价[17]。罗岚建立了秸秆利用效益综合评价指标体系，从经济效益、生态效益和社会效益三个角度分析秸秆资源不同利用方式产生的综合效应[18]。杨晓东以作物秸秆的基料化利用为研究对象，探讨了“秸秆—菌料—肥料”利用模式所产生的综合效益[19]。马秋颖以东北地区较为典型的秸秆利用方式的综合效益作为评价对象，选用资源循环利用率、能量转化率、成本费用收益率、资源替代效益等9个指标对秸秆资源化利用的效益进行测算和评价[20]。

通过以上文献回顾分析可以发现，目前对秸秆资源利用效应的研究多数角度单一，尚缺乏评价体系和评价目标更广泛的研究。

二、秸秆资源利用综合效应评价模型的建立

借鉴现有研究，本研究尝试采用DPSIR模型构建我国农村秸秆资源综合利用效应的评价指标，从驱动力、压力、状态、影响和响应5个维度共19个指标，对农村秸秆资源化利用状况进行量化评价。

（一）DPSIR模型（Driving forces-Pressure-State-Impact-Responses)

DPSIR是一种研究社会生态系统的模型，最初主要被应用于环境问题评价，之后扩展到可持续发展问题的研究，对自然资源的利用效应评价研究亦具有较好的适用性。DPSIR模型中，对系统的评价从驱动力、压力、状态、影响和响应五个维度上展开，共同反映评价对象的特征；而且不同维度之间相互影响与作用，能够探究评价对象系统内部各因素发展的相关联系，揭示其发展机制，在此基础上制定解决问题的对策与方法。

DPSIR模型具有清晰、层次性较强、简单明了的特点，为农村秸秆资源利用效应评价指标体系的构建提供了一个较好的基本框架，DPSIR模型的基本框架如图1所示。

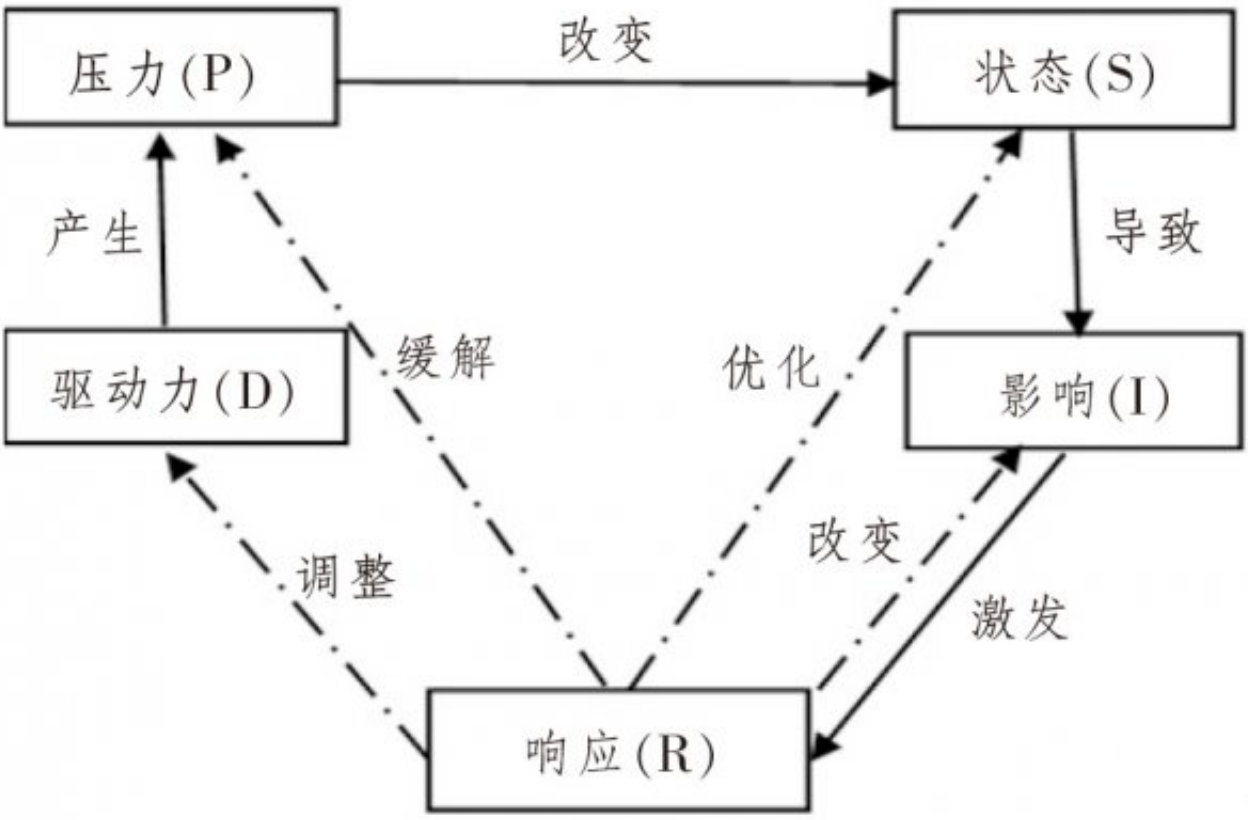

图 1 DPSIR 模型结构图

（二）评价指标选择

DPSIR框架中，根据不同评价体系的需求，每个维度又可以分成若干种指标。结合已有研究基础，本文选取能够体现评价对象主要特点的评价指标，构建农村秸秆资源利用综合效应评价指标体系。

驱动力是指人类活动及自然环境对于评价目标的基础性作用，包括自然驱动力和经济社会驱动力两方面的因素[22]。对于秸秆资源利用系统来说，地形、气候和自然灾害等自然因素的影响较为复杂，且在省级层面上，难以用数据表述，因此本文主要选择人均GDP、人口自然增长率、种植业产值占农林牧渔业总产值的比重、耕地面积作为驱动力评价指标。其中人均GDP、人口增长表征经济驱动力；种植业占比和耕地资源面积表征秸秆的资源驱动力指标。

压力通常指的是通过驱动力的作用之后进一步产生的、更为直接作用到研究对象的因素[23]。本文选择草食家畜数量、农村人均能源消费量和农村沼气池产气量作为需求压力指标。秸秆是草食家畜的主要饲料来源之一[24]，草食家畜的数量越多，对秸秆资源的需求越大；农村消耗的能源越多，能源需求越大，从而对秸秆资源的需求越大；秸秆是农村制备沼气的主要原料之一[25]，农村沼气池产气量（规模）越大，对秸秆的需求越大。另一方面受教育程度的提升提高了人们对于秸秆资源的认知水平和利用水平[26]，故选择乡村人口受教育程度作为人口素质压力指标。

状态因素主要表征的是在驱动力与压力作用下系统所处的资源状态和环境状态。影响状态维度的是通过系统内部作用导致的状态变化的最终影响效果，通常包括经济影响和环境影响两个方面，可使用定量计算或定性分析得出相关指标。本文选取秸秆资源可利用量和农作物播种面积作为状态指标，农作物播种面积越大，种植规模越大，利用秸秆的综合效应水平越高[27]。

影响指的是评价系统状态变化的最终影响效果。秸秆资源的利用对人类生产和生活和资源环境具有显著影响，表现在经济和环境等多个方面。本文选择农村居民的人均种植业收入和恩格尔系数来表征秸秆资源利用对经济方面的影响[28]，选择氮氧化物排放量和农用化肥施用量减少比例表征秸秆资源利用对环境方面的影响。秸秆资源的利用一方面有助于提升农村居民种植业收入及生活水平，另一方面有助于减少废气中氮氧化物的排放量[29]，并通过还田替代化肥的使用。影响层因素与秸秆利用系统息息相关，是对于秸秆资源利用效应水平的表征。

响应维度的涵义是人类对于压力和影响层面的调整和反应。在驱动力和压力作用下系统的状态发生变化，对人类生产生活产生影响，为了更好地利用秸秆资源，人类所做出的政策调整、基层管理、产业发展、技术变更等举措就是“响应”。本文选择R&D经费占GDP比重和农村能源经费投入作为政策响应指标，选择农村能源管理推广机构数目作为基层响应指标，选择处理农业废弃物沼气工程数量作为产业响应指标，选择农作物机收水平作为技术响应方面的指标[26]。人类各方面的响应举措是秸秆资源利用水平高低的直接反映。

在上文对各准则层分析的基础上选择相应的评价指标，其单位、方向（符号）及具体计算方法如表1所示。

表 1 秸秆资源利用综合效应评价指标体系

目标层	准则层	指标层		单位	方向	计算方法
我国农村秸秆资源利用的综合效应评价	驱动力（D）	D1	人均 GDP	万元/人	正	GDP/人口数
		D2	人口自然增长率	‰	正	统计年鉴直接获取
		D3	种植业产值占比	%	正	种植业产值/农林牧渔业产值
		D4	耕地面积	千公顷	正	统计年鉴直接获取
	压力（P）	P1	草食家畜数量①	万只	正	标准羊单位转换
		P2	农村人均能源消费量	吨/人	正	（能源消费量×农村能源消耗比例）/乡村人口数
		P3	农村沼气池产气量	万立方米	正	统计年鉴直接获取
		P4	乡村人口受教育程度	%	正	1－乡村文盲率
	状态（S）	S1	秸秆资源可利用量	万吨	正	$Stu=\sum_{i=1}^{n} Cr_i \cdot Ra_i \cdot \lambda_i$②
		S2	农作物播种面积	千公顷	正	统计年鉴直接获取
	影响（I）	I1	农民人均种植业收入	元/人	正	农村人均可支配收入×种植业收入比例
		I2	农村居民恩格尔系数	%	负	统计年鉴直接获取
		I3	氮氧化物排放量	万吨	负	统计年鉴直接获取
		I4	农用化肥施用量减小比例	%	正	（去年施用量－当年施用量）/去年施用量
	响应（R）	R1	R&D 经费占 GDP 比重	%	正	R&D 经费/GDP
		R2	农村能源经费投入	万元	正	统计年鉴直接获取
		R3	处理农业废弃物沼气工程数量	处	正	统计年鉴直接获取
		R4	农村能源管理推广机构数目	个	正	统计年鉴直接获取
		R5	农作物机收水平	%	正	机收面积/播种总面积

三、我国秸秆资源利用的综合效应评价

基于构建的农村秸秆资源利用评价指标体系，利用官方发布的统计数据，对2017年全国不同省区农村秸秆资源利用综合效应水平进行测度，并进行区域比较分析。

（一）数据来源

本文所采用的数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国人口和就业统计年鉴》和《中国农业统计资料》等。标准羊单位换算比例来源于冯秀等人的研究[30]，农村能源消耗比例来源于罗国亮等人的研究[31]。由于2017年度数据的缺失，分析中以2016年的农村能源经费投入、处理农业废弃物沼气工程数量和农村能源管理推广机构数目替代2017年的数据，其中2017年上海市农村能源经费投入以2015年的数据替代。

（二）数据处理

数据分析中选择了层次分析-熵值法。首先使用层次分析法确定主观权重，使用熵值法确定客观权重，然后根据主

、客观权重进一步计算出各指标综合权重。最后使用得到的综合权重对标准化后的数据进行计算，依次得到各指标层、准则层及目标层的评价值。具体计算步骤参考相关文献[32-35]。

（三）评价结果

根据层次分析-熵值法，对准则层和指标层各指标的主观、客观及综合权重进行计算，计算结果如表2所示。

表 2 秸秆资源利用综合效应评价体系各指标权重结果

目标层	准则层	主观权重	客观权重	综合权重	指标层	主观权重	客观权重	综合权重
我国农村秸秆资源利用的综合效应评价	驱动力(D)	0.079 4	0.154 1	0.057 7	D1 人均 GDP	0.108 6	0.328 8	0.151 4
					D2 人口自然增长率	0.113 5	0.163 5	0.078 7
					D3 种植业产值占比	0.504 6	0.185 4	0.396 6
					D4 耕地面积	0.273 3	0.322 3	0.373 4
	压力(P)	0.238 1	0.292 1	0.328 1	P1 草食家畜数量	0.446 7	0.219 4	0.360 1
					P2 农村人均能源消费量	0.170 6	0.323 2	0.202 7
					P3 农村沼气池产气量	0.316 4	0.354 5	0.412 2
					P4 乡村人口受教育程度	0.066 4	0.102 9	0.025 1
	状态(S)	0.285 7	0.113 6	0.153 1	S1 秸秆资源可利用量	0.833 3	0.568 1	0.868 0
					S2 农作物播种面积	0.166 7	0.431 9	0.132 0
	影响(I)	0.142 9	0.126 7	0.085 4	I1 农民人均种植业收入	0.353 6	0.368 4	0.507 4
					I2 农村居民恩格尔系数	0.070 1	0.129 6	0.035 4
					I3 氮氧化物排放量	0.392 9	0.121 0	0.185 2
					I4 农用化肥施用量减小比例	0.183 4	0.381 0	0.272 1
	响应(R)	0.254 0	0.313 5	0.375 7	R1 R&D 经费占 GDP 比重	0.059 0	0.111 9	0.029 2
					R2 农村能源经费投入	0.105 5	0.271 5	0.126 7
					R3 处理农业废弃物沼气工程数量	0.387 6	0.354 3	0.607 6
					R4 农村能源管理推广机构数目	0.176 6	0.187 1	0.146 2
					R5 农作物机收水平	0.271 3	0.075 2	0.090 2

进一步计算我国各省区农村秸秆资源利用的综合效应评价值，计算结果如表3所示。

表 3 2017 年我国秸秆资源利用综合效应评价结果

地区	驱动力指标	压力指标	状态指标	影响指标	响应指标	综合评价值
北京	0.223 7	0.141 1	0.000 0	0.838 9	0.060 7	0.153 7
天津	0.281 5	0.177 1	0.024 8	0.820 1	0.105 8	0.187 9
河北	0.417 2	0.290 9	0.568 0	0.242 6	0.328 9	0.350 8
山西	0.436 4	0.124 0	0.200 4	0.299 4	0.122 3	0.168 1
内蒙古	0.455 5	0.388 0	0.544 5	0.276 9	0.145 6	0.315 3
辽宁	0.195 4	0.196 5	0.336 8	0.322 2	0.205 7	0.232 1
吉林	0.267 3	0.175 4	0.595 0	0.305 1	0.090 9	0.224 3
黑龙江	0.695 4	0.257 1	1.000 0	0.310 3	0.228 5	0.389 9
上海	0.315 2	0.220 9	0.006 2	0.762 1	0.063 1	0.180 4
江苏	0.421 9	0.126 4	0.457 8	0.421 3	0.274 2	0.274 9
浙江	0.306 4	0.074 7	0.075 4	0.638 2	0.367 3	0.246 2
安徽	0.344 2	0.089 7	0.539 3	0.314 4	0.204 7	0.235 6
福建	0.169 7	0.094 2	0.057 9	0.490 0	0.208 6	0.169 8
江西	0.272 1	0.224 5	0.291 2	0.386 6	0.428 2	0.327 8
山东	0.435 2	0.338 6	0.801 9	0.289 2	0.460 7	0.456 8
河南	0.535 5	0.409 4	0.980 7	0.276 0	0.333 2	0.464 1
湖北	0.332 0	0.317 6	0.433 3	0.379 1	0.338 8	0.349 3
湖南	0.313 3	0.361 1	0.4288	0.313 7	0.724 8	0.501 3
广东	0.324 3	0.150 4	0.178 4	0.297 6	0.310 2	0.237 3
广西	0.373 9	0.429 9	0.265 0	0.255 0	0.150 3	0.281 4
海南	0.216 7	0.115 1	0.015 8	0.309 2	0.084 5	0.110 8
重庆	0.423 5	0.162 6	0.148 2	0.325 2	0.235 2	0.216 6
四川	0.453 9	0.785 4	0.532 4	0.302 9	0.368 0	0.529 6
贵州	0.452 3	0.307 7	0.204 4	0.323 9	0.207 9	0.264 1
云南	0.361 4	0.629 5	0.294 7	0.264 3	0.162 0	0.360 3
陕西	0.546 8	0.142 3	0.184 0	0.258 3	0.182 2	0.186 1
甘肃	0.550 1	0.253 9	0.176 6	0.356 2	0.102 3	0.206 1
青海	0.166 6	0.294 8	0.015 9	0.286 2	0.046 7	0.153 2
宁夏	0.390 5	0.154 5	0.049 3	0.291 4	0.096 0	0.136 6
新疆	0.619 9	0.270 8	0.496 2	0.250 9	0.121 2	0.270 8
平均值	0.376 6	0.256 8	0.330 1	0.372 6	0.225 3	0.272 7

（四）评价结果分析

1.影响因素分析

在DPSIR框架内就各指标对秸秆资源利用的综合效应进行评价，结果（见图2、图3所示）表明：

（1）比较各准则层指标，综合权重最大的是响应层，对秸秆资源利用综合效应提高的贡献率为37.57%，表明人类对秸秆资源的处理措施最能反映和影响秸秆资源利用综合效应的高低；其次是压力层，对秸秆资源利用综合效应的贡献率为32.81%，说明秸秆资源需求增加和人口素质提升对秸秆资源利用综合效应的提升和影响水平较高；状态层对目标层的贡献率为15.31%，表明秸秆资源利用系统所处的状态对秸秆资源利用综合效应的反应和影响水平中等；影响层和驱动力层对目标层的贡献率分别为8.54%和5.77%，说明秸秆资源利用系统对经济和环境的影响以及社会经济发展带来的驱动力对秸秆资源利用综合效应的反应和影响水平较低。

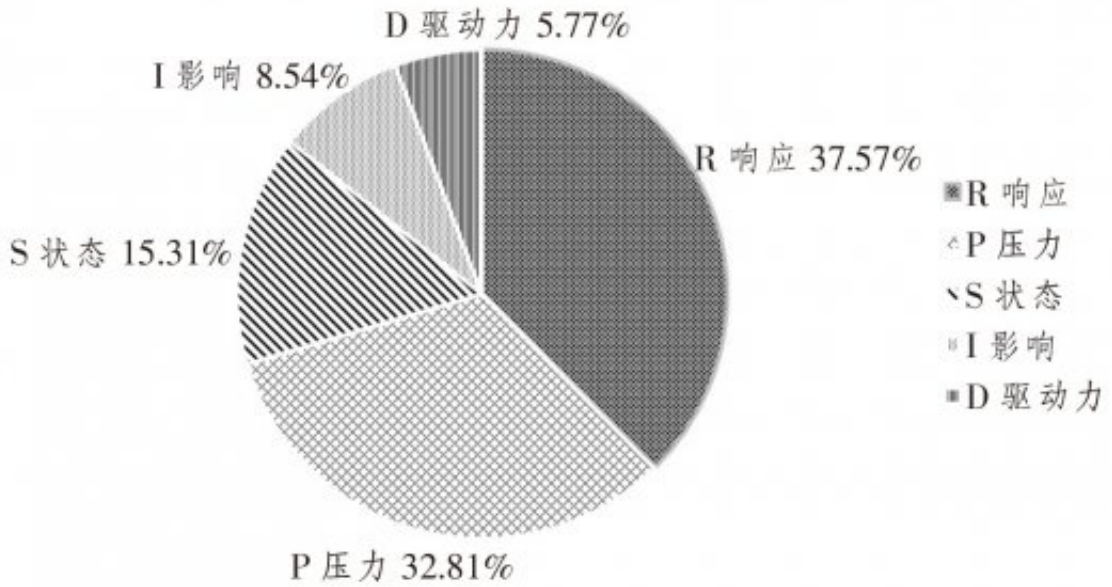

图 2 秸秆资源利用综合效应评价体系准则层权重

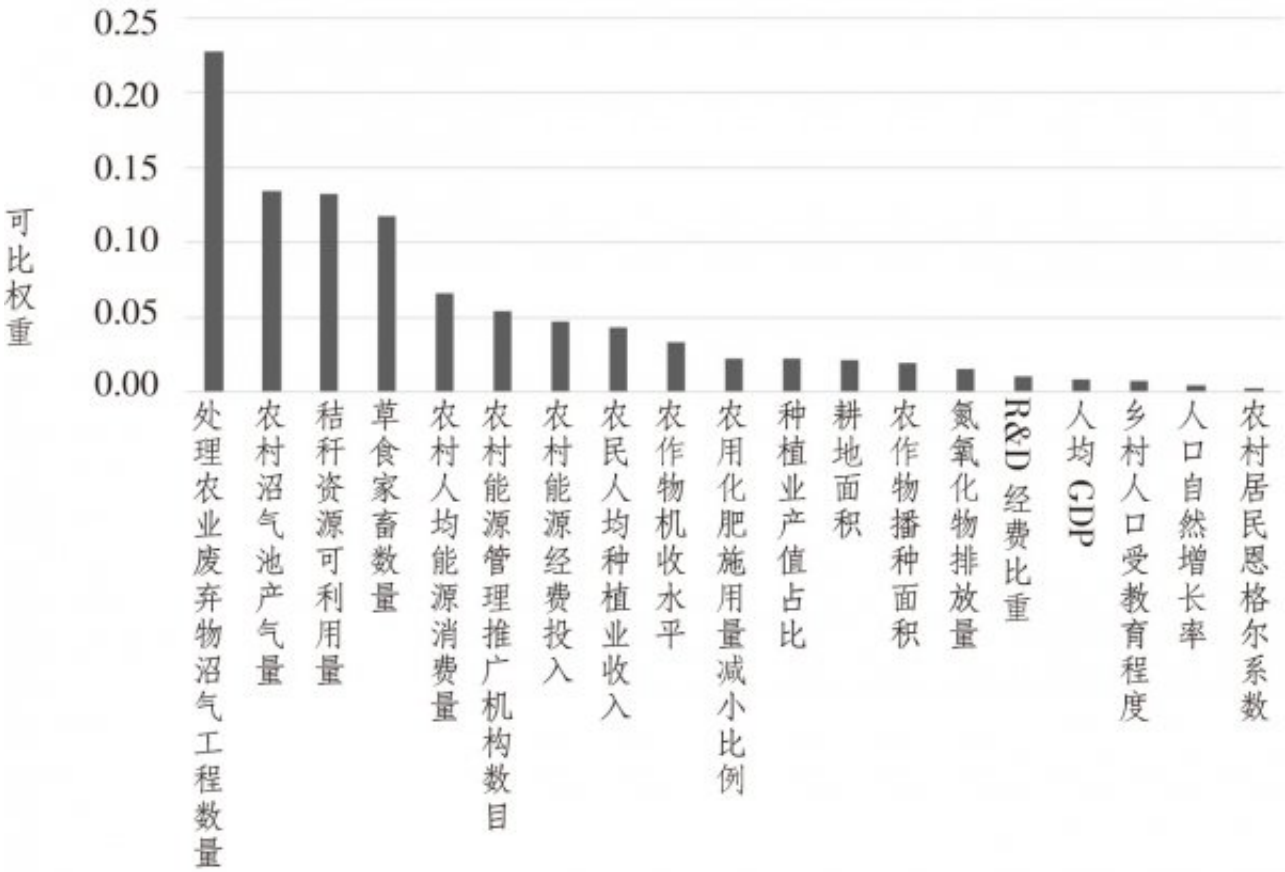

图 3 秸秆资源利用综合效应评价体系指标层可比权重

（2）在所有指标层的评价指标中，处理农业废弃物沼气工程数量对秸秆利用综合效应具有最显著作用，其次是农村沼气池产气量，由此说明农村沼气化是秸秆资源化利用的重要途径。秸秆资源可利用量，即秸秆资源供给状况对于利用综合效应影响也较大，这可能是由于秸秆的规模化利用有助于提升利用效应。草食家畜饲养数量对秸秆综合利用效应增加亦具有较明显正向作用，由此表明秸秆饲料化利用有助于秸秆利用综合提高。除以上四个指标之外，权重位于中位数以上的指标还包括农村人均能源消费量、农村能源管理推广机构数目、农村能源经费投入、农民人均种植业

收入、农作物机收水平，说明农民对于能源的需求、基层能源管理推广机构的建立和农村能源经费的投入、农民人均种植业收入和农作物机收水平对秸秆资源的综合利用效应具有较强的正面影响和反应能力。

2.秸秆资源利用综合效应省际差异分析

2017年我国秸秆资源利用综合效应平均值为0.2727，秸秆资源利用综合效应水平高于全国平均值以上有12个省区，低于全国平均值以下有18个省区。由于全国较为多数的省区的秸秆资源利用效应水平位于均值以下，一定程度上说明全国总体利用效应水平不高。为更为直观地分析和比较秸秆利用综合效应水平的地域分布和空间差异，使用等间距方法，用E表示测算出的秸秆资源利用综合效应水平，将其划分为五个等级：E≥0.45代表综合利用效应水平高；0.35≤E<0.45为综合利用效应水平较高；0.25≤E<0.35为综合利用效应水平中等；0.15≤E<0.25为综合利用效应水平较低；E≤0.15为综合利用效应水平低，绘制全国秸秆利用综合效应水平的地理分布图。

综上，各省区之间秸秆利用效应差异较大。秸秆资源利用综合效应排名位于前五位的是四川、湖南、河南、山东、黑龙江；排名位于后五位的是山西、北京、青海、宁夏和海南。比较全国排名最高的四川省和排名最低的海南省，四川的秸秆利用综合效应水平为海南水平的4.78倍，差异显著。

按照我国耕作制度区划[36]，考察不同分区的秸秆资源综合评价的区域平均水平，并与全国均值比较，结果表明，我国西南区秸秆资源利用综合效应水平最高，其次是华北区和长江中下游区；东北区秸秆利用的综合效应水平处于中等，蒙新区、黄土高原区和青藏区利用秸秆的综合效应水平较低。

3.省际秸秆资源利用模式分析与比较

依据各省区不同准则层指标的评价值，确定各地秸秆资源的利用模式。具体研究方法如下：将计算得到的经加权后的准则层评价值由高到低进行累加，当累加值达到目标层评价值70%时，则得出该p个（p为已累加准则层的个数）准则层代表了该省区利用秸秆资源的模式。将全国30个省区按照秸秆资源利用综合效应水平的高低进行秸秆资源利用模式的归纳，结果如表4所示。

由于各省区具有不同的资源、经济和政策条件，所以秸秆资源利用系统表现出的特征不同，也就拥有不同的秸秆资源利用模式。根据全国30个省区的特征，共归纳出七种秸秆资源利用模式（见表4）。结果表明，各省区中，秸秆资源化利用综合效应水平中等及以上的地区利用模式的趋同性更显著，综合效应偏低的地区利用模式呈现多样性，具体如下。

表 4 我国各省区秸秆资源利用模式类型

秸秆资源利用模式	综合效应水平高	综合效应水平较高	综合效应水平中等	综合效应水平较低	综合效应水平低	省区个数
RPS	河南、山东	河北、黑龙江	内蒙古、新疆、贵州、江苏、湖北	辽宁、广东、安徽、吉林	–	13
RP	四川、湖南	云南	广西、江西	–	–	5
PRI	–	–	–	天津、重庆	宁夏、海南	4
PI	–	–	–	上海、北京、青海	–	3
RPD	–	–	–	甘肃、陕西	–	2
RI	–	–	–	浙江、福建	–	2
RPSI	–	–	–	山西	–	1

注：RPS：响应—压力—状态模式；RP：响应—压力模式；PRI：压力—响应—影响模式；PI：压力—影响模式；RPD：响应—压力—驱动力模式；RI：响应—影响模式；RPSI：响应—压力—状态—影响模式

第一，RPS（响应—压力—状态）和PR（压力—响应）是主要的秸秆资源利用模式，同时也是综合效应水平较高的利用模式，具有推广价值。全国以PR为主要利用模式的省区有5个，其中四川省最为突出，其秸秆资源利用综合效应水平居于全国首位；从指标层来看，四川省草食家畜饲养数量大，农村沼气池产气量高，因此，用作饲料和沼气原料的秸秆需求量大；此外，政府和相关部门对秸秆资源化利用问题响应积极，采用的是典型的压力—响应模式。RPS模式是在压力—响应模式的基础上增加状态层条件，以RPS为利用模式的省区有13个，其中较为典型的是河南，其秸秆利用综合效应虽不及四川高，但仍然保持相对较高水平；从指标层面来看，这些地区秸秆资源和耕地资源丰富，为秸秆资源的利用提供了优良的状态条件，此外，资源需求压力和相关部门响应积极程度较高。除了以上两类典型地区外

，还有一些利用效应水平中等或较低的省区亦采用以上两种模式，显示出利用模式的趋同性和利用水平的差异性并存的现象，这种现象一方面是由于秸秆资源利用系统本身对于响应和压力的强调，另一方面与各地之间的相互学习和融合有关。

第二，秸秆资源利用效应水平较低的16个省区中，秸秆利用模式呈现出多样性，归纳起来有以下几种：RPS（响应—压力—状态）、PRI（压力—响应—影响）、PI（压力—影响）、RPD（响应—压力—驱动力）、RI（响应—影响）和RPSI（响应—压力—状态—影响）模式。从指标层面来看，一是部分省区缺乏足够的政府响应或缺乏利用秸秆的压力，二是部分省区秸秆资源可利用量、农作物播种面积等方面相对处于较低水平，尚不具有资源优势条件，导致整体利用效应水平较低。

四、研究结论及建议

我国是世界上农作物秸秆资源生产大国，农作物秸秆产量大、种类多、分布广，近年来随着作物产量逐年上升，农作物秸秆产量也呈不断增长趋势。为全面贯彻党的十九大精神和习近平生态文明思想，奋力开创生态文明建设的新局面，要牢固树立新发展理念，将提高秸秆综合利用水平，作为实现提升耕地质量、改善农业农村环境、实现农业高质量发展、绿色发展的重要举措。为了对我国农作物秸秆综合利用状况进行系统分析，本文引入DPSIR模型，构建了农村秸秆资源综合利用的评价体系，对2017年我国不同省区秸秆资源利用综合效应进行测度分析，研究结果表明：

第一，我国不同省区的秸秆资源综合利用效应水平差异较大，大部分省区秸秆资源利用效应水平较低。2017年我国秸秆资源利用综合效应的评价均值为0.2727，按照省级综合评价值的大小将全国30个省区划分为五个等级：我国秸秆资源综合利用效应水平高的省区有四川、湖南、河南和山东，处于较高的省区有河北、黑龙江和云南，处于中等水平的省区有7个，处于较低水平的省区有14个，宁夏、海南处于水平最低的省区。秸秆资源综合利用效应接近和低于全国中等水平的省区占比76.67%，表明我国大部分地区的秸秆资源利用效应水平较低。按照分区计算，我国西南区、华北区和长江中下游区秸秆资源利用综合效应水平较高，东北区利用秸秆的综合效应水平中等，蒙新区、黄土高原区和青藏区利用秸秆的综合效应水平较低。

第二，综合权重的大小反映出各指标层对准则层、准则层对目标层的影响水平。比较各准则层指标，综合权重最高的是响应层，对秸秆资源利用综合效应提高的贡献率为37.57%，表明人类对秸秆资源的处理措施对秸秆资源利用综合效应提高具有显著促进作用；其次是压力层，表明秸秆资源需求的增加和人口素质的提升对秸秆资源利用综合效应的提升具有较高影响水平；再者是状态层，表明秸秆资源利用系统所处的状态对秸秆资源利用综合效应的反应和影响水平中等；影响层和驱动力层对目标层的贡献率较低，表明秸秆资源利用系统对经济和环境的影响以及社会经济发展带来的驱动力对秸秆资源利用综合效应提高的影响水平较低。由此说明，政府、企业与农户对秸秆资源化利用采取的行动和举措是影响秸秆资源利用综合效应水平高低最显著的因素；其次是表征秸秆资源需求压力因素也有较高的影响力；而驱动力对秸秆资源利用效应的反应水平最低。

第三，基于所有指标层的评价指标的可比权重大小，可以看出处理农业废弃物沼气工程数量、农村沼气池产气量、秸秆资源可利用量和草食家畜数量对秸秆资源利用的综合效应提高具有显著促进作用；农村人均能源消费量和农村能源管理推广机构数目对秸秆资源利用的综合效应提高有较强的促进作用，农村能源经费投入、农民人均种植业收入和农作物机收水平对秸秆资源利用的综合效应提高有一定的促进作用。

第四，我国各省区由于具有不同的资源、经济和政策条件，所以秸秆资源利用系统的主导子系统不同，导致各地秸秆利用的模式具有差异性。全国各省区的秸秆利用模式大致可以归纳出七种，结果显示，秸秆资源利用效应水平中等及以上的地区都采用了RPS（响应—压力—状态）模式或PR（压力—响应）模式，表明这两种模式在一定意义上具有推广和学习的价值。秸秆资源利用效应水平中等以下的地区利用模式较多样，利用水平较低或低的省区劣势条件较多且缺乏优势条件，从而导致秸秆资源利用子系统薄弱，所采用的利用模式发展不成熟，利用效应水平低下。

在推动秸秆资源化综合利用效应的道路上，我们既要关注秸秆资源利用综合效应水平高的省份，也要关注秸秆资源利用效应水平较低的省份，加强地区间交流和学习，推动全国秸秆资源化利用总水平的提高。为进一步推进秸秆资源化利用，提升利用秸秆的综合效应，提出以下几点建议：

一是继续强化政府引导与政策扶持。基于省级层面的分析，秸秆资源利用系统中，政府和相关部门的响应举措及资源需求等压力对提高秸秆综合利用效应具有显著作用。由于技术及成本等问题的限制，目前各地秸秆不同资源化的途径发展并不平衡，如部分省区将利用秸秆制备新型能源和饲料化作为秸秆利用的主要途径，有些地区以发展农村沼气产业和秸秆饲料产业为重点。所以，不同地区的政府要适时出台相应的扶持政策和产业规划，增大资金投入，扩大秸秆资源需求。

二是各地要积极开展示范试点工作，发挥龙头企业引领作用。推进秸秆规模化利用，秸秆资源可利用量是影响秸秆利用综合效应的关键因素之一。对于不同资源量水平的地区应当因地制宜，应当选择不同的发展模式。在秸秆资源较丰富的地区培育代表性龙头企业，发挥地区秸秆产业的示范带头作用。秸秆资源比较稀缺的地区往往会面临秸秆资源量达不到规模生产要求的问题，阻碍了秸秆的资源化利用，对此可通过建立乡镇秸秆统一收集点等方式完善秸秆资源的收储运体系，以促进秸秆的规模化利用。

三是加强基层管理推广机构建设，提高资金补贴力度。农村能源管理推广机构数目和能源经费投入对秸秆资源利用的综合效应有较大贡献率，说明基层的管理推广机构建设和政府相关财政政策具有关键作用。基层乡镇干部可通过多渠道宣传增大科普教育的推广力度，利用横幅、短信、传单、标语等形式进行政策推广和知识普及，提高公众对秸秆资源化利用重要性的认识。

四是引进和开发相关技术，提升机械化水平。农作物机收水平是影响秸秆资源化利用综合效应的重要因素，因此提升技术水平和机械化水平对秸秆资源的利用具有重要意义。技术的提升需要将引进和开发相结合，一方面要学习秸秆利用技术较先进国家的技术原理和经验，引进其他国家先进的人才和设备；另一方面要鼓励国内对于秸秆资源化利用技术的相关研究，促进科研资源整合，提升秸秆收集、储存、运输及利用的相关技术水平。

参考文献

[1] 柴如山，王擎运，叶新新，等.我国主要粮食作物秸秆还田替代化学氮肥潜力[J].农业环境科学学报，2019(11)：2583-2593.

[2] 秦世平.农作物秸秆气化的效果和前景——关于山东省莱州市秸秆气化集中供气的调查(上)[J].农业机械.2001(11)：37-38.

[3] 贾凡，刘青松，姜达.农作物秸秆不同利用产生的环境效应[J].农业技术与装备，2013(10)：4-6+8.

[4] 杨晨璐，刘兰清，王维钰，等.麦玉复种体系下秸秆还田与施氮对作物水氮利用及产量的效应研究[J].中国农业科学，2018(9)：1664-1680.

[5] 任峰，刘应宗，牛东晓，等.农村生物质能资源利用效能综合评价研究[J].软科学，2011(9)：20-23，30

[6] 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(3)：87-91.

[7] 文雯.烧掉的财富——农作物秸秆综合利用发展空间巨大[J].环境经济，2005(5)：49-51+7.

[8] MEENU H, SACHIN K, ANUJ K C, et al. A review on bioprocessing of paddy straw to ethanol using simultaneous saccharification and fermentation[J]. Process Biochemistry, 2019(85): 125-134.

[9] GEOFFREY P, HAMMOND, ROSS V M. MANSELLA. A comparative thermodynamic evaluation of bioethanol processing from wheat straw[J]. Applied Energy, 2018(224): 136-146.

[10] 赵会静，夏小江，王堃鼎，等.基于污染物排放控制的秸秆利用生态效益评价[J].农业展望，2019(1)：80-85.

[11] 任继勤，于佩显.秸秆综合利用对节能减排的贡献效应研究[J].科技管理研究，2017(18)：235-240.

[12] 崔和瑞，马涛，艾宁.秸秆发电的环境价值分析[J].经济研究导刊，2011(11)：32-33.

[13] 宋静，邱坤.基于 NPV 法的秸秆沼气集中供气工程经济效益分析[J].中国沼气，2016(6)：77-79.

[14] 赵贵玉，齐艳玲，吕洋.农作物秸秆发电经济效益分析[J].农学学报，2017(3)：86-90.

[15] 平英华，彭卓敏，夏春华.江苏秸秆机械化还田经济效益分析与财政补贴政策研究[J].中国农机化学报，2013(6)：50-54+61.

[16] 史乔丹.大庆秸秆肥料化利用绩效评价研究[D].大庆：黑龙江八一农垦大学，2019.

[17] 崔晓雪，聂英.吉林省玉米秸秆主要利用方式综合效益评价[J].农民致富之友，2019(1)：136-136.

[18] 罗岚.农作物秸秆资源循环利用效益研究[D].成都:四川师范大学，2008.

[19] 杨晓东.农作物秸秆基料化利用技术及效益分析[J].农业科技与装备，2017(12)：41-43.

[20] 马秋颖.东北地区玉米秸秆主要利用方式成本效益分析研究[D].北京：中国农业科学院，2017.

[21] REENA S. International Frameworks of Environmental Statistics and Indicators[J]. Inception Workshop on the Institutional Strengthening and Collection of environment Statistics，2002(4).

[22] 孟颖.基于 DPSIR 模型的耕地资源可持续利用评价研究[D].南京：南京师范大学，2010.

[23] 于伯华，吕昌河.基于 DPSIR 模型的农业土地资源持续利用评价[J].农业工程学报，2008(9)：53-58.

[24] 王雨晴，韩学平.玉米秸秆饲料化途径的研究进展[J].饲料研究，2019(7)：117-120.

[25] 靳贞来，靳宇恒.国外秸秆利用经验借鉴与中国发展路径选择[J].世界农业，2015(5)：129-132.

[26] 苗续.黑龙江省农户秸秆利用行为及影响因素分析[D].哈尔滨:东北农业大学，2018.

[27] 孟杨.洱海流域上游种植户对水稻和大蒜秸秆资源化利用的实证研究[J].北方园艺，2018(7)：179-186.

[28] 王明新，叶倩，王迪，等.中国秸秆优质化能源开发利用特征及影响因素[J].资源科学，2019(10)：1791-1800.

[29] 王茜.秸秆成型燃料提质及清洁燃烧特性研究[D].济南：山东大学，2017.

[30] 冯秀，李元恒，李平，等.草原生态补奖政策下牧户草畜平衡调控行为研究[J].中国草地学报，2019(6)：132-142.

[31] 罗国亮，张嘉昕，郭晓鹏，等.我国农村能源发展状况与未来展望[J].中国能源，2019(2)：37-43+24.

[32] 胡嘉.基于 DPSIR 模型的攀枝花市盐边县水资源可持续利用评价研究[D].雅安:四川农业大学，2016.

[33] 吴殿廷，李东方.层次分析法的不足及其改进的途径[J].北京师范大学学报(自然科学版)，2004(2)：264-268.

[34] 花威.AHP 中判断矩阵的几种构造方法综述[J].长江工程职业技术学院学报，2014(4)：65-66.

[35] 储敏.层次分析法中判断矩阵的构造问题[D].南京:南京理工大学，2005.

[36] 崔蜜蜜，蒋琳莉，颜廷武，等.基于资源密度的作物秸秆资源化利用潜力测算与市场评估[J].中国农业大学学报，2016(6)：117-131.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/193323.html