

秸秆还田是秸秆资源化利用的现实途径

陈云峰^{1, 2}, 夏贤格^{1*}, 杨利^{1, 2}, 刘波^{1, 2}, 张敏敏^{1, 2}, 聂新星^{1, 2}

(1. 农业农村部废弃物肥料化利用重点实验室, 湖北 武汉 430064;
2. 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 湖北 武汉 430064)

摘 要: 秸秆资源化利用主要包括农业利用(肥料化、饲料化、基料化)和工业利用(燃料化、原料化)两大类。在国家层面上, 目前的原则为“多元利用、农用优先”, 但对于肥料化、饲料化、基料化这三化并没有设立优先原则。本文在比较秸秆农业利用的历史、与农业产业结构调整的关系、自然适应性、经济效益、生态效益等后, 认为在当前农业形势下, 秸秆还田是最优、最现实的农用模式。此外, 还从秸秆腐解规律及其调控的角度证明了秸秆还田是一个可以长期持续的过程。因此, 建议在国家层面上树立“多元利用、农用优先、还田为主”的秸秆资源化利用原则, 并从秸秆还田补贴、农机农艺配套、病虫草害控制及新型秸秆腐熟剂等方面进一步完善当前的秸秆还田政策及技术。

关键词: 秸秆还田; 秸秆肥料化; 秸秆饲料化; 秸秆基料化; 有机碳周转

农作物秸秆是成熟农作物茎叶(穗)部分的总称, 光合作用一半以上的产物存在于秸秆中, 因此, 秸秆又称为“另一半农业”^[1]。中国作为一个农业大国, 每年秸秆产量近 10 亿 t, 约占世界秸秆总产量的 25%^[2]。秸秆的自然资源禀赋特征(表 1)决定了秸秆可以进行肥料化、饲料化、燃料化、基

表 1 三大主要农作物秸秆资源禀赋特征

利用途径	资源特性	水稻	小麦	玉米	参考文献
肥料化	养分含量(%)				[3]
	N	0.83	0.62	0.87	
	P ₂ O ₅	0.27	0.16	0.31	
	K ₂ O	2.06	1.23	1.34	
饲料化、基料化 及原料化	营养成分(%)				[4]
	粗蛋白	4.0	4.4	9.6	
	纤维素	38.8	43.2	36.0	
	半纤维素	19.7	14.2	7.9	
	木质素	6.3	7.9	4.3	
能源化	热值(kg/kJ)				[5]
	燃烧	15 349			
	沼气发酵供热	20 934			
	气化供热	4 818			

收稿日期: 2019-11-08; 录用日期: 2020-01-19
基金项目: 湖北省技术创新专项重大项目(2018ABA091); 湖北省农业科学院重大研发成果培育专项(2017CGPY01); 农业农村部废弃物肥料化利用重点实验室开放基金(KLFAW201705)。
作者简介: 陈云峰(1979-), 男, 湖北蕲春人, 研究员, 博士, 主要从事农业废弃物资源化利用、土壤生态学和土壤肥料学研究。
E-mail: chen971314@163.com。
通讯作者: 夏贤格, E-mail: 13607123195@139.com。

料化和原料化利用(图 1), 俗称“五化”。“五化”中, 肥料化主要利用秸秆氮磷钾养分及有机碳, 饲料化主要利用粗蛋白和纤维, 燃料化主要利用其热值, 基料化主要利用木质素, 原料化主要利用纤维素。相较于有机肥、饲料、饼粕、煤、木材等, 秸秆的养分、营养成分、热值均较低^[6], 但生物量高, 因此, 秸秆的利用主要是资源化利用而不是高值化利用。

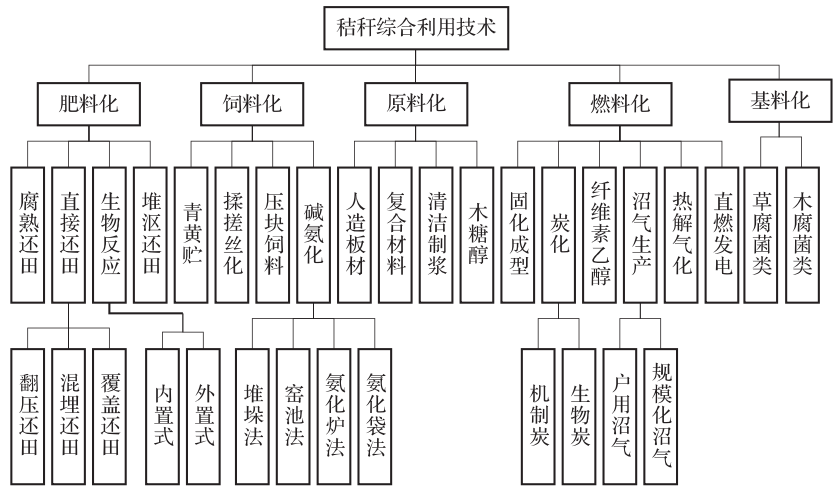


图 1 秸秆综合利用技术^[7]

在“五化”利用中，肥料化、饲料化及基料化为农业利用，燃料化和原料化为工业利用。目前，在国家层面发布的多个文件中，如《农业部办公厅、财政部办公厅关于开展农作物秸秆综合利用试点，促进耕地质量提升工作的通知》、《农业部关于实施农业绿色发展五大行动的通知》中，均提出秸秆资源化采取“多元利用、农用优先”的原则，但此原则并没有规定在农业利用中又以哪种方式为主。由于秸秆利用原则的制定，将从国家层面上影响资金的布局和技术开发的导向，具有重大意义，因此有必要进一步细化秸秆利用的原则。本文在比较秸秆三大农业利用模式特点的基础上，建议秸秆资源化利用原则除“多元利用、农用优先”外还应加上“还田为主”，并对当前秸秆还田存在的问题做了分析，以资大家借鉴。

1 秸秆农业利用模式分析

1.1 秸秆农业利用模式与农业产业结构调整

秸秆农业利用模式可从时间和空间两方面分析。表 2 显示了 20 世纪 80 年代至今，秸秆肥料化（主要指秸秆直接还田、腐熟还田）、饲料化、基料化利用的相对比例。从表中可以看出饲料化利用率呈现下降的趋势，基料化利用率虽然较低，但稳步上升，而秸秆还田率相对较高且逐步上升，2016 年已超过 50%，但相对国外发达国家，中国秸秆还田率仍较低。在空间上，石祖梁等^[15]将中国秸秆产区划分为黄淮海地区、西北区、西南区、东南区、东北区 5 个区，其中黄淮海区、东南区肥料化利用率超过 60%；西北区肥料化、饲料化利用率分别为 48.0% 和 35.1%；东北区分别为 45.6% 和 28.3%；西南区为 43.7% 和 20.3%。这表明，秸秆还田实际上已经是秸秆资源化最主要的利用方式。

表 2 秸秆农业利用历史变化

国家	年代	秸秆还田 (%)	饲料 (%)	基料 (%)	参考文献
中国	20 世纪 80 年代	<20	—	—	[8]
	20 世纪 90 年代	15.2	30.9	—	[9-10]
	2000	36.6	22.6	—	[11]
	2006	30.0	18.0	2.3	[12]
	2006 ~ 2007	24.3	29.9	—	[10]
	2009	28.6	25.7	1.9	[13]
	2011	37.9	13.8	—	[14]
	2015	43.2	18.8	4.0	[3]
	2016	53.9	23.4	5.0	[15]
	国外发达国家 (日本、美国、英国)	68 ~ 75	—	—	[16]

秸秆农业利用模式相对比例随着农业产业结构调整而变化。种植业既是秸秆的来源也是秸秆的归宿之一。相对饲料化和基料化来说,秸秆还田产业链最短(表3),是最简单的资源化利用模式。由于粮食生产始终是农业第一要务,因此,秸秆还田的面积不会随着农业结构的调整而有较大的波动,只不过还田方式有所变动。以湖北省为例,20世纪90年代初,湖北省以秸秆覆盖还田为主,2006年后以秸秆粉碎还田为主^[17]。此外,即使大量秸秆离田,但根茬部分的秸秆量依然很大,甚至超过收割的秸秆量^[13],这部分秸秆是很难被饲料化或基料化的。因此,无论农业产业结构如何调整,秸秆还田始终是秸秆资源化利用的主要模式之一。

表3 秸秆农业利用产业链对比

秸秆利用类型	产业链	产业链相对长度
秸秆还田	秸秆-粉碎/翻埋-土地	短
饲料化	秸秆-收储运-加工-草食家畜-粪污-土地	长
基料化	秸秆-收储运-加工-食用菌-菌渣-土地	长

畜牧业虽然体量大,但主要畜种中,猪、鸡并不消耗秸秆,牛、羊尽管消耗大量玉米秸秆和水稻秸秆,但这些秸秆只是牛羊的辅料而不是主料,加之牛羊养殖规模波动较大,因此秸秆饲料化利用规模并不稳定。食用菌产业近年发展迅速,已成为种植业中继粮食、蔬菜、果树、油料之后的第五大产业^[18],但与饲料化利用类似,秸秆只是食用菌种植的原料之一,而不是主料。因此,相比秸秆还田与种植业的密切关系,饲料化、基料化与相应产业的联系较弱。

竞争性需求分析也表明秸秆还田是秸秆资源化

利用最现实的途径。随着国家“藏粮于地、藏粮于技”战略的实施,秸秆还田的规模将进一步扩大,而饲料化利用则受到一定限制。根据《全国草食畜牧业发展规划(2016~2020年)》,到2020年秸秆饲料化利用量为2.4亿t,年均增速0.2%。若以中国每年农作物秸秆产量近10亿t估算^[2],秸秆饲料化利用率在24%,相对较低。方放等^[19]对黄淮海地区秸秆进行竞争性需求分析,结果表明随着产业结构的调整,秸秆饲料化利用将减少48.4万t,而还田利用还有一定的提升空间。

1.2 秸秆农业利用自然适应性评价

农作物秸秆自然属性决定了大部分秸秆均可“五化”利用,但同一秸秆对不同利用方式的适应性是不一样的。左旭等^[20]以玉米秸秆为例,根据秸秆直接饲喂的适口性及营养成分,将秸秆直接饲喂的自然适应性分为适宜、较适宜及不适宜三类;根据秸秆在现实经济技术条件下可加工饲喂的可能性,将秸秆加工饲喂的自然适应性划分为适宜与不适宜两类;根据有机肥品质分级的方法,将秸秆肥料化自然适应性划分为适宜、不适宜两类;根据秸秆种植食用菌的效果,将秸秆种植食用菌自然适宜性划分为适宜、不适宜两类。根据此种分类方法,中国主要作物秸秆(玉米、小麦、水稻、油菜)自然适应性评价如表4。从表中可以看出,玉米、小麦、水稻、油菜秸秆均适合加工饲喂、还田及基料化,但直接饲喂效果普遍不好,这说明秸秆饲料化自然适应性不如还田及基料化。此外,秸秆还田时,秸秆所含养分100%归还于土壤中,但秸秆饲料化后,其50% N、72% P₂O₅、76.5% K₂O最终归还于土壤中^[11],这说明秸秆饲料化对秸秆养分的利用较低。

表4 中国主要农作物秸秆自然适应性评价

秸秆种类	秸秆饲料化		秸秆还田	秸秆基料化	参考文献
	直接饲喂	加工饲喂			
玉米	茎秆较适宜、叶梢适宜	适宜	适宜	适宜	[20]
水稻	较适宜	适宜	适宜	适宜	[3, 6, 21]
小麦	较适宜	适宜	适宜	适宜	[3, 6, 22]
油菜	不适宜	适宜	适宜	适宜	[23]

1.3 秸秆农业利用模式经济效益比较

秸秆利用最主要的推动力来源于经济效益。饲料化的效益主要表现在降低饲料投入,还田的效益表现在减少化肥施用量、提高作物产量,此外,与秸秆

饲料化和基料化利用相比,还田不需要对秸秆进行收储运,从而大大降低成本;基料化的效益表现在节约原料投入。表5对比了秸秆的几种农用方式的经济效益,从中可以看出,秸秆还田的效益高于饲料化。

表 5 秸秆利用模式经济效益对比

秸秆利用模式	利用方法	经济效益		计算方法	参考文献
		单位	金额		
饲料化	水稻秸秆替代饲料	元/t	256	1 kg 稻秸替代 0.201 kg 饲料，1 kg 麦秆可替代 0.117 kg 饲料，饲料价格 1.87 元/kg；将 1 kg 秸秆作为饲料需额外投入机械费、人工费等成本 0.12 元。	[24]
	小麦秸秆替代饲料	元/t	99		
秸秆还田	化肥 + 稻麦秸秆周年还田对比化肥	元/hm ²	3 414 ~ 3 858	稻麦两季秸秆还田和不还田处理，化肥、农药、灌溉、种子、机械成本相同，但秸秆离田（不还田处理）成本为 3 000 元/hm ² ，而还田成本为 450 元/hm ² ，相较于不还田，稻麦周年增产 431.7 ~ 534.3 kg/hm ² 。详细计算方法见吴玉红等 ^[25] 。	[25]
基料化	秸秆替代木屑种植蘑菇	元/t	1 540	以农作物秸秆为食用菌栽培主要原料成本为 277 220 元/hm ² 菇房，以木屑为主要原料成本为 585 123 元/hm ² 菇房，秸秆消耗量为 199 937 kg/hm ² 菇房。	[24]

1.4 秸秆农业利用环境效益比较

秸秆加工饲喂反刍动物，改善了秸秆在动物消化道发酵效果，从而减少 CH₄ 排放（表 6），但秸秆饲料化会带来粪污形成二次污染，其综合环境效益目前还未见报道。基料化主要污染源为菌渣。秸

秆还田对温室气体的影响比较复杂，一方面秸秆还田提高了 CO₂、CH₄ 排放量，但另一方面秸秆还田又有较好的固碳效果，其综合温室效应可以通过全球综合增温潜势指标来估算，但目前秸秆还田对全球综合增温潜势的影响并没有一致的结论^[28]。

表 6 秸秆饲料化和还田对温室气体排放的影响

秸秆利用类型		温室气体 / 减排	增减	增减量		参考文献
				单位	数值	
饲料化	氨化（黄牛）	CH ₄	减	%	16 ~ 30	[26]
	粉碎、颗粒化	CH ₄	减	%	10	[27]
秸秆还田		CO ₂	增	—	—	[28]
		CH ₄ （稻田）	增	Tg/年（全国）	3.318	
		N ₂ O	没有一致结论	—	—	
		固碳	增	Tg/年（全国）	34.4	
		全球综合增温潜势	没有一致结论	—	—	

2 秸秆还田可持续性分析

综合比较秸秆农业利用各模式的自然适应性、经济效益、环境效益及与农业产业结构的关系，不难发现秸秆还田是目前秸秆资源化利用的最佳模式。但在生产实际中，秸秆还田还存在很多问题，导致部分人员否定秸秆还田。比如，与化肥相比，秸秆养分含量低、释放慢，短期内作物增产效果不明显，甚至下降^[3]；秸秆还田量过高、秸秆粉碎程度及还田深度不够、留茬过高、氮肥不配套等，造成作物出苗差、黄化；秸秆中携带的病原体、虫卵、草籽等在还田过程中进入土壤，带来病虫害问题^[16, 29-31]。从科学的角度讲，这些问题的出现

是因为对秸秆腐解规律及调控方法认识不足。了解秸秆在土壤中的转化、分配、周转规律，秸秆还田的影响因子及秸秆还田病虫害发生原因后，可以通过农业管理措施对这些负面因素进行调控，从而保证秸秆长期还田。

2.1 秸秆有机碳在土壤中的转化、分配及周转
秸秆的主要成分是纤维素类碳水化合物，秸秆除提供给土壤养分外，更重要的是将碳元素还给土壤，维持土壤碳平衡。我国土壤有机质总体偏低，平均有机质含量只有欧洲土壤 1/3 ~ 1/2，土壤有机质含量低于 1% 的面积占全国耕地面积 26%，棕壤有机质含量多为 1% ~ 1.5%，褐土多在 1% 左右，且近年来东北土壤有机质平均含

量下降较快,下降幅度为 32.3%^[32]。因此,我国部分土壤处于一种碳饥渴状态,急需秸秆还田补充碳源。长期秸秆还田试验表明,在施用化肥条件下,长期秸秆还田土壤有机碳含量平均提高 19%^[3]。

秸秆进入土壤中后,被微生物同化,一部分进入微生物体作为微生物的一部分,一部分以 CO₂ (少量以 CH₄) 的形式损失,一部分被土壤微生物分解成简单化合物,然后同微生物生命活动产物(如氨基酸、肽等)形成腐殖质,进入有机碳库。有机碳库分类很多,根据土壤有机碳的存在方式及稳定性,可划分为活性有机碳、缓效性有机碳和稳定性有机碳^[33]。活性有机碳易于矿化,转化周期短;缓效性有机碳是活性有机碳向稳定性有机碳转化的过渡性有机碳,可反映土壤有机碳的固定趋势;稳定性有机碳指与细粒矿物质紧密结合,不易被微生物分解或植物利用的有机碳,其含量的增加有利于土壤有机碳固定。杨艳华等^[33]综述了秸秆碳的分配,认为 42% ~ 79% 的秸秆碳转化为 CO₂ 进入大气,1.9% ~ 13.9% 转化为土壤活性有机碳,约 10% 转化为缓效性有机碳,部分缓效性有机碳再进一步转化为稳定性有机碳,被固定于土壤中。可见,秸秆碳只有少部分进入土壤碳库,进入稳定性碳库的更少。秸秆碳进入土壤碳库后将进一步周转,相较于老碳(土壤中原有有机碳),新碳(秸秆碳)在土壤中的周转是比较快的。王金洲^[34]整合分析结果表明,玉米秸秆碳平均周转时间为 9.5 年,而老碳平均分解速率为 112 年。Balesdent 等^[35]研究结果表明,新碳周转时间为 15 ~ 22 年,而老碳周转时间达 600 ~

1 400 年。显然,秸秆在土壤中的转化、分配及周转行为的研究成果为可持续秸秆还田提供了一些理论依据。

在秸秆还田条件下,土壤有机碳的演变趋势可以采用模型模拟,如 Roth C、DNDC、CENTURY 等。Wang 等^[36]应用 Roth C 模型预测了秸秆还田条件下郑州潮土表土层(0 ~ 20 cm)和吉林公主岭黑土固碳速率,结果表明自 2008 年以后的 30 年,郑州潮土表土层每年固碳速率平均为 C 0.3 Mg/hm²,吉林公主岭黑土为 C 0.10 Mg/hm²。贺美等^[37]应用 DNDC 模型预测了秸秆还田条件下,40 年内东北黑土地有机碳平均每年递增 0.31%。这些结果进一步印证长期秸秆还田是可行的。

2.2 秸秆还田影响因子

影响秸秆碳在土壤中输入、转化、分配及周转过程的因子都直接或间接影响了秸秆还田效果。这些因子很多(表 7),包括自然因子(气候、秸秆本身特性)、土壤性质和农业管理措施。自然因子一般不可调控,但在很大程度上决定了秸秆还田的最终效果,如东北水热条件较差,导致秸秆很难腐解,而南方水热条件好,秸秆就容易腐烂;小麦秸秆比油菜秸秆难以腐解。土壤理化性质决定了秸秆腐解的环境,土壤微生物则驱动了秸秆腐解。农业管理措施既可以直接调控秸秆还田效果,如调节秸秆留茬高度和粉碎程度,也可以通过调控土壤理化性质和生物学性质间接调控秸秆还田。目前,研究较多的调控因子有秸秆腐熟剂、留茬高度、秸秆粉碎程度、氮肥施用量及运筹、耕作等,这些因子对秸秆还田的影响见表 7。

表 7 秸秆还田影响因子对秸秆还田过程的影响及调控方法^[34, 38]

影响因子	对秸秆还田过程的影响	调控难易程度	最优范围	调控手段
气候因子	温度、降水 影响秸秆分解速率、CO ₂ 和 CH ₄ 排放、腐殖化速率。	不可调控		
土壤性质	土壤类型 不同土壤类型土著微生物不同,影响秸秆碳的转化和分配。	不可调控		
	成土母质 矿物结构不同,对有机碳的保护程度不同,从而影响秸秆碳的转化和分配。	不可调控		
	土壤质地 影响土壤有机碳的分布及保护惰性有机碳。	较难调控		外源有机质
	温度 影响秸秆分解速率。	难调控	30 ~ 40℃	
	含水量 直接影响土壤透气性、微生物数量及活性,进而影响秸秆碳的分解转化速率,尤其是秸秆碳分解与转化的前期阶段。	难调控	60% ~ 75%	灌排水

续表				
影响因子	对秸秆还田过程的影响	调控难易程度	最优范围	调控手段
有机质	影响微生物生物量和活性，进而影响秸秆碳的分解转化速率。	易调控		外源有机质
土壤微生物	驱动秸秆碳转化的内在动力，决定了还田秸秆碳转化与分配过程。	较难调控		秸秆腐熟剂
秸秆特性	碳氮比、结构组成不同种类秸秆纤维素、半纤维素和木质素含量差异较大，从而导致秸秆在土壤中分解速率差异较大。	不可调控	木质素 <10%、磷含量高、多酚类物质含量低	
农业管理措施	作物品种及产量	决定秸秆特点及秸秆碳输入量。	易调控	各种农业管理措施
	秸秆管理（留茬高度、粉碎程度、半量或全量还田、耕作）	主要影响秸秆输入量、形态、分布，从而影响秸秆还田过程。	易调控	收割、耕作方式
	氮肥	主要调节碳氮比，从而影响秸秆还田过程。	易调控	调节氮肥用量和基追比
	灌溉	通过调节土壤含水量，从而影响秸秆腐解速率。	易调控	水分管理

2.3 秸秆还田对病虫草害的影响

秸秆还田对农作物病虫草害的影响没有一致的结果。表 8 显示，秸秆还田既可以加重病虫草害，也可以降低病虫草害。秸秆加重病虫草害的主要原因往往是秸秆携带病原体、虫卵、草籽等，还田过程中这些病原体、虫卵、草籽等被还入土壤中，从

而加重病虫草害的发生。若还田秸秆不带有害源，作为一种有机碳源，秸秆腐解过程会产生一些化感物质，会调节土壤食物网的结构和功能，进而抑制一部分病虫害^[42, 49]。因此，若从源头上控制还田秸秆的有害源，就能控制秸秆还田对作物的负面作用。

表 8 秸秆还田对病虫草害的影响

病虫草害	农业管理措施	秸秆还田后病虫草害发生趋势	参考文献
病害	小麦 - 水稻，免耕	水稻纹枯病、灰飞虱、条纹叶枯病：上升	[39]
	水稻单作	水稻叶瘟病、穗颈瘟病、纹枯病、鞘腐病：上升	[40]
	玉米 - 小麦	小麦茎基腐病：上升	[41]
	玉米单作	玉米纹枯病：上升	[42]
	小麦 - 玉米	小麦赤霉病：上升	[43]
	小麦 - 水稻，稻草覆盖还田	小麦纹枯病：降低	[44]
	双季稻，免耕覆盖	晚稻纹枯病：下降	[45]
	双季稻，翻耕还田	晚稻纹枯病：下降	[45]
	小麦 - 玉米，翻耕	小麦纹枯病：下降	[46]
	玉米秸秆内置还田	番茄常见病害（苗期猝倒病、根腐病、青枯病、枯萎病）总和：下降	[47]
虫害	番茄连作，大蒜秸秆还田	番茄根结线虫病：下降	[48]
	小麦秸秆还田，盆栽种植番茄	番茄根结线虫病：下降	[49]
	水稻单作	水稻潜叶蝇、负泥虫：上升	[40]
草害	小麦 - 水稻，免耕	水稻杂草：下降	[39]

续表

病虫害害	农业管理措施	秸秆还田后病虫害害发生趋势	参考文献
	小麦-水稻, 旋耕	水稻杂草: 下降	[39]
	小麦-水稻, 翻耕	水稻杂草: 上升	[39]
	油菜-水稻, 翻耕	水稻杂草: 密度下降, 多样性下降	[50]
	小麦-水稻, 旋耕	小麦杂草密度: 下降	[51]

3 结论与建议

现阶段秸秆资源利用模式中, 最主要的是饲料化和秸秆还田两种模式。相较于秸秆饲料化利用模式, 秸秆还田有着更好的自然适应性和经济效益, 更轻简的利用方式, 且更匹配当前的农业产业结构, 尽管秸秆还田有一定的副作用, 但在认识秸秆还田规律后, 这些副作用均可采用农业管理措施进行控制。因此, 笔者认为, 在当前形势下, 应在国家层面上树立“多元利用、农用优先、还田为主”的原则, 进而完善当前的秸秆还田政策。

建议在“多元利用、农用优先、还田为主”的原则上, 从以下几个方面加强秸秆还田政策及技术研究:

(1) 加大秸秆补贴力度, 转变秸秆还田补贴方式

秸秆禁烧对农民来说加大了人工成本、机械成本、农药施用成本等, 对政府来说则减少了污染、CO₂ 排放, 秸秆还田培肥耕地更是国家利益。因此, 秸秆还田是一种公益事业, 国家应从战略层面出发制定优惠或鼓励措施引导农民进行秸秆还田。当前, 国家秸秆还田补贴范围过窄, 主要集中在黑龙江、安徽、浙江等少数省市。部分省市补贴不持续, 如湖北省 2006 ~ 2012 年实施有机质提升项目, 对秸秆还田进行补贴, 项目完成后, 则又恢复到“有政策无资金”的状况。由于全国粮食生产区秸秆年年产生, 小范围的补贴、不持续的补贴, 将很难提高农民秸秆还田的积极性。此外, 秸秆还田补贴的对象主要是农机合作社、种植大户和一些生产秸秆腐熟剂的厂家, 而农户却没有补贴, 因此, 农民秸秆还田积极性并不高, 对政策满意度较低^[52]。建议在今后的补贴政策中, 转变补贴方式, 通盘考虑各方面秸秆还田的贡献, 按贡献度进行补贴。

(2) 加大农机农艺相结合

农业规模化决定了今后秸秆还田的主要过程均

由机械完成。秸秆留茬、粉碎、翻埋、秸秆腐熟剂施用等过程均涉及到机械化, 参与的机械主要是收割机和旋耕机。但目前的收割机和旋耕机工作时并没有考虑到秸秆还田的需求。秸秆还田条件下, 收割机收割时, 要明确秸秆留茬高度及秸秆粉碎程度; 旋耕机松土时, 要明确秸秆翻埋深度; 秸秆腐熟剂的施用需要专门的配套机具, 这一整套参数需要农艺部门提供给农机部门, 从而实现农机农艺配套、秸秆机械还田标准化。

(3) 加大秸秆还田病虫害害发生规律及防控研究

秸秆焚烧过程中, 一并将秸秆上的病原菌、虫卵、草籽等杀死。秸秆不焚烧还田后, 这些病虫害害将进入土壤中。秸秆还田条件下的病虫害害发生规律及防控研究, 当前还是一个课题。今后要加大对主要农作物秸秆还田过程中病虫害害的发生规律、病原体与土壤微生物之间的关系、秸秆腐解后的次生产物对病虫害的影响研究, 在源头上控制秸秆还田引起的病虫害害。

(4) 加大新型秸秆腐熟剂的开发

目前的秸秆腐熟剂功能单一, 除促腐外, 没有其他功能, 在剂型上主要是粉状, 施用时需要人工撒入, 受风等因素影响较大, 难以推广。建议在功能上, 将促进作物生长的菌剂、生防菌剂与秸秆腐熟剂复合, 开发具有促腐、促生、防病等多功能的秸秆腐熟剂, 提高秸秆腐熟剂的商品性; 在剂型上, 开发液态秸秆腐熟剂及施用装备, 与收割机配合, 在收割时即将秸秆腐熟剂喷至粉碎的秸秆上, 减少工序, 便于秸秆腐熟剂的推广。

参考文献:

[1] 尹成杰. 捡回另一半农业的再思考[J]. 农村工作通讯, 2018(3): 44-48.
[2] 田慎重, 郭洪海, 姚利, 等. 中国种养业废弃物肥料化利用发展分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(S): 123-131.
[3] 宋大利, 侯胜鹏, 王秀斌, 等. 中国秸秆养分资源数量及替代化肥潜力[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1):

- 1-21.
- [4] 邢廷铤, 方热军, 谭支良, 等. 我国作物秸秆营养价值及其利用研究[J]. 农业现代化研究, 1993, 14(6): 373-379.
- [5] 张培栋, 杨艳丽, 李光全, 等. 中国农作物秸秆能源化潜力估算[J]. 可再生能源, 2007, 25(6): 92-95.
- [6] 任鹏飞, 刘岩, 任海霞, 等. 秸秆栽培食用菌基质研究进展[J]. 中国食用菌, 2010, 29(6): 11-14.
- [7] 国家发展和改革委员会和农业部. 秸秆综合利用技术目录(2014)[R]. 2014. [2019-08-05]. http://www.moa.gov.cn/ztzl/mywrfz/gzgh/201509/20150915_4829555.htm.
- [8] 刘晓勇, 李书田. 中国秸秆养分资源及还田的时空分布特征[J]. 农业工程学报, 2017, 33(21): 1-19.
- [9] 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.
- [10] 高利伟, 马林, 张卫峰, 等. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 173-179.
- [11] 高祥照, 马文奇, 马常宝, 等. 中国作物秸秆资源利用现状分析[J]. 华中农业大学学报(自然科学版), 2002, 21(3): 242-247.
- [12] 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, 2008, 24(12): 291-296.
- [13] 农业部科教司. 全国农作物秸秆资源调查与评价报告[J]. 农业工程技术(新能源产业), 2010(2): 2-5.
- [14] 张国, 逯非, 赵红, 等. 我国农作物秸秆资源化利用现状及农户对秸秆还田的认知态度[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(5): 981-988.
- [15] 石祖梁, 贾涛, 王亚静, 等. 我国农作物秸秆综合利用现状及焚烧碳排放估算[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(9): 32-37.
- [16] 赵秀玲, 任永祥, 赵鑫, 等. 华北平原秸秆还田生态效应研究进展[J]. 作物杂志, 2017(1): 1-7.
- [17] 周先竹, 胡正梅, 胡群中, 等. 湖北省秸秆综合利用的战略思考[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(3): 530-532.
- [18] 李玉. 中国食用菌产业发展现状、机遇和挑战—走中国特色菇业发展之路, 实现食用菌产业强国之梦[J]. 菌物研究, 2018, 16(3): 5-11.
- [19] 方放, 李想, 石祖梁, 等. 黄淮海地区农作物秸秆资源分布及利用结构分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(2): 228-234.
- [20] 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.
- [21] 李彬, 高翔, 刘玉涛, 等. 江苏水稻秸秆资源饲料化利用技术研究[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(5): 100-104, 134.
- [22] 冯文晓, 陶莲, 陈国顺, 等. 小麦和水稻秸秆作为反刍动物饲料资源的生物降解技术研究进展[J]. 中国草食动物科学, 2016(3): 59-61.
- [23] 王磊, 王亚静, 高春雨, 等. 中国油菜秸秆资源量估算及其资源化利用[C]//2015年中国农业资源与区划学会学术年会. 北京: 中国农业资源与区划学会, 2015.
- [24] 高雪松. 秸秆循环利用模式、物流能流分析及功能评价[D]. 雅安: 四川农业大学, 2011.
- [25] 吴玉红, 郝兴顺, 田霄鸿, 等. 秸秆还田与化肥配施对汉中盆地稻麦轮作农田土壤固碳及经济效益的影响[J]. 作物学报, 2020, 46(2): 259-268.
- [26] 董红敏, 李玉娥, 陶秀萍, 等. 中国农业源温室气体排放与减排技术对策[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 269-273.
- [27] 董红敏, 林而达, 杨其长. 中国反刍动物甲烷排放量的初步估算及减缓技术[J]. 生态与农村环境学报, 1995, 11(3): 4-7.
- [28] 马小婷, 隋玉柱, 朱振林, 等. 秸秆还田对农田土壤碳库和温室气体排放的影响研究进展[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(6): 14-20.
- [29] 穆长安, 李志. 秸秆还田对黄淮地区农作物病虫害的影响及防治对策[J]. 安徽农业科学, 2016(11): 179-180.
- [30] 刘凤艳, 龚振平, 马先树, 等. 秸秆还田对水稻病虫害发生的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2010(8): 75-78.
- [31] 谢中卫. 秸秆还田对玉米病虫害草害的影响及防治对策[J]. 现代农业科技, 2015(21): 140-141.
- [32] 徐明岗, 卢昌艾, 张文菊, 等. 我国耕地质量状况与提升对策[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(7): 8-14.
- [33] 杨艳华, 苏瑶, 何振超, 等. 还田秸秆碳在土壤中的转化分配及对土壤有机碳库影响的研究进展[J]. 应用生态学报, 2019, 30(2): 312-320.
- [34] 王金洲. 秸秆还田的土壤有机碳周转特征[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [35] Balesdent J, Wagner G H, Mariotti A. Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by carbon-13 natural abundance[J]. Soil Science Society of America Journal, 1988, 52(1): 118.
- [36] Wang J Z, Lu C A, Xu M G, et al. Soil organic carbon sequestration under different fertilizer regimes in north and northeast China: Roth C simulation[J]. Soil Use & Management, 2013, 29(2): 182-190.
- [37] 贺美, 王迎春, 王立刚, 等. 应用DNDC模型分析东北黑土有机碳演变规律及其与作物产量之间的协同关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 9-19.
- [38] 赵永存, 徐胜祥, 王美艳, 等. 中国农田土壤固碳潜力与速率: 认识、挑战与研究建议[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(2): 191-197.
- [39] 张大伟, 李凤博, 卞新民. 不同耕作方式与秸秆还田对直播稻田土壤容重及病虫害草害影响研究[C]//高旺盛, 孙占祥. 中国农作制度研究进展. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2008. 401-408.
- [40] 夏艳涛, 吴亚晶. 秸秆还田对水稻病虫害及产量影响研究[J]. 北方水稻, 2013(6): 43-45.

- [41] 陆宁海, 杨蕊, 郎剑锋, 等. 秸秆还田对土壤微生物种群数量及小麦茎基腐病的影响 [J]. 中国农学通报, 2018, 35 (34): 102-108.
- [42] 王汉朋. 秸秆还田对玉米纹枯病发生及流行的影响 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
- [43] 乔玉强, 曹承富, 赵竹, 等. 秸秆还田与施氮量对小麦产量和品质及赤霉病发生的影响 [J]. 麦类作物学报, 2013 (4): 113-117.
- [44] 缪荣蓉, 刁春友, 张银贵, 等. 浅稻覆盖稻草及秸秆还田对小麦纹枯病的控制作用 [J]. 植保技术与推广, 1998 (4): 10-12.
- [45] 张小燕, 邓钦阳, 李冬霞, 等. 水稻秸秆还田方式对稻纹枯病发生的影响 [J]. 广西植保, 2008, 21 (3): 11-13.
- [46] 王振跃, 施艳, 李洪连. 玉米秸秆还田配施生防放线菌 S024 对麦田土壤微生物及小麦纹枯病的影响 [J]. 生态学杂志, 2011, 30 (2): 121-124.
- [47] 乔俊卿, 刘卮洲, 余翔, 等. 集成生物防治和秸秆还田技术对设施番茄增产及土传病害防控效果研究 [J]. 中国生物防治学报, 2013, 29 (4): 547-554.
- [48] 徐金强, 刘素慧, 刘庆涛, 等. 大蒜秸秆还田对温室番茄连作土壤微生物及根结线虫病的影响 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45 (17): 91-93, 97.
- [49] 曹志平, 周乐昕, 韩雪梅. 引入小麦秸秆抑制番茄根结线虫病 [J]. 生态学报, 2010, 30 (3): 765-773.
- [50] 陈浩, 张秀英, 吴玉红, 等. 秸秆还田与氮肥管理对稻田杂草群落和水稻产量的影响 [J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35 (6): 500-507.
- [51] 李贵, 王晓琳, 张朝贤, 等. 水稻秸秆还田结合炔草酯对禾本科杂草和小麦生长发育的影响 [J]. 植物保护学报, 2015, 42 (1): 130-137.
- [52] 盖豪, 颜廷武, 何可, 等. 基于农户视角的秸秆机械化还田服务绩效评价及其障碍因子诊断 —— 来自冀、鲁、皖、鄂四省的调查 [J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27 (11): 205-216.

Straw return is the realistic way of straw resource utilization

CHEN Yun-feng^{1, 2}, XIA Xian-ge^{1*}, YANG Li^{1, 2}, LIU Bo^{1, 2}, ZHANG Min-min^{1, 2}, NIE Xin-xing^{1, 2} (1. Key Laboratory of Fertilization from Agricultural Wastes, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan Hubei 430064; 2. Institute of Plant Protection and Soil Science, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan Hubei 430064)

Abstract: Currently, utilization of crop straw in China can be classified into agriculture and industry utilization, respectively. Agriculture utilization make straw as forage, fertilizer or base material for edible mushrooms, and industry utilization make straw as energy or the raw material for industry processing. At the national level, the current principle is “multiple-ways utilization, agricultural utilization first”, but there is no prioritizing principle for the three types of fertilizer, feed, and base material. In this study, we have compared the history, natural adaptability, economic benefits, ecological benefits of the three ways of straw utilization, as well as the relationships between the three ways of straw utilization and the farming structure. The results show that straw return is the best way of straw agriculture utilization at current agriculture. In addition, the study demonstrates that straw return is sustainable in terms of straw decomposition law and its regulation. In conclusion, the principle of straw utilization should be supplied with “straw return mainly” besides with “multiple-ways utilization, agricultural utilization first” at the national level. Also we suggest that the government adjust the policies of straw return subsidies and the scientists improve the technologies of integration of agricultural machinery and straw return, pest and weed control and specialized straw decomposition additives, so as to extent the application of straw return.

Key words: straw return; straw fertilization; straw feeding; straw materialization for mushroom; organic carbon turnover