秸秆生物质综合利用的现状分析

王颖洁[1]，张朋[2]，宋晨愿[1]，查向浩[1, 3]

（1.喀什大学化学与环境科学学院，新疆喀什844000；2.喀什大学马克思主义学院，新疆喀什844000；3.新疆生物类固废资源化工程技术研究中心，新疆喀什844000）

摘要：秸秆是农作物种植生产的主要农副产品。近年来，秸秆被禁止燃烧，如何处理农业固废秸秆现已成为农民最大的困扰。我国的豆类秸秆和禾本科秸秆资源非常丰富，但是利用率却非常低，大面积无法被利用的秸秆直接造成土地资源的浪费以及种植环境的污染。为营造良好的耕种环境，保护农田的正常生态循环系统，高效节约土地资源，促进农业经济发展，本文以小麦秸秆、玉米秸秆、水稻秸秆和棉花秸秆的多样化预处理为例，归纳、总结并分析了秸秆资源化综合利用技术的优缺点，提出了完善秸秆再利用的建议和措施。

1秸秆分类和综合利用现状

秸秆通常被认为是某些植物茎和叶的总和，是一种富含纤维素、半纤维素、木质素以及氮、磷、钾、钙、镁等多种营养元素的生物质资源，具有重要的科学研究价值。农作物秸秆种类多样，豆类植物的秸秆主要包括黄豆、蚕豆、豌豆、红豆、羽扇豆和花生藤蔓等。禾本科作物秸秆主要包括大麦、小麦、燕麦、黑麦、稻草、高粱、玉米和薯类藤蔓等。本文以常见的小麦秸秆、玉米秸秆和水稻秸秆为例，阐述秸秆的多样化利用，以期为提高农户经济收益，改善环境，进而推动自然资源的可持续利用提供路径。

1.1小麦秸秆

小麦秸秆纤维短、杂细胞较多、硅的含量较高，常作为传统的造纸原料，但在制造纸浆过程中排放的污染物无法实现有效治理，容易造成较为严重的环境污染[1]。研究表明，对于麦秆制浆造纸的治污方法是安装正规的碱回收装置，但该装置成本过高，而造纸企业大多是中小企业，往往拿不出大量资金，成为制约中小型造纸企业正常发展的难题。

此外，小麦的茎秆还含有少量的粗蛋白和脂肪，因此非常适合用作饲料，特别适合反刍动物[2]。成熟小麦用小麦联合收割机收获后，用打捆机对麦秸进行捡拾打捆，用粉碎机加工，能提高适口性，通过提供适量的优质饲料和充足的水分，可以有效地满足反刍动物的营养需求，从而降低饲养成本。

小麦秸秆可用于还田，主要有2种具体方法：（1）采用免耕覆盖沃土技术。该技术操作简单，省时省力、节约资金，可促进土壤系统生态循环，是目前有效利用小麦秸秆的主要方式。小麦收割时将小麦秸秆平铺田面并施用“腐秆剂”[3]，根据气候时节选择松土时间，连续免耕，这样可使土壤越来越肥沃。（2）小麦秸秆腐熟还田技术。通过利用腐熟剂中的木质纤维素降解菌，在适宜的温度、湿度、通气量和pH值条件下，可以有效地将小麦秸秆中的木质纤维物质降解成简单的有机物质，从而大大提高小麦秸秆的利用率和经济效益[4]。其腐殖质以及矿物养分可促进小麦秸秆腐熟后再还田，这种还田方式具有自动化程度高、环境效益好、科学配比肥效高和短周期产量高等特点。

1.2玉米秸秆

玉米秸秆属于重要的可再生资源[5]，具有分布面积广、质量轻、占地面积大等特点。据统计，我国玉米秸秆年产量约2亿t，有近1亿t的玉米秸秆资源可实现综合利用。玉米秸秆综合利用技术包括饲料转化技术、培育食用菌技术、粉碎还田技术、生物秸秆反应堆技术等[6]。在反刍动物的饲养过程中也使用玉米秸秆[7]，但由于其蛋白质含量偏低，钙和磷的比例不能满足草食家畜的生长发育所需，为了保证饲料的营养平衡，必须将其他有益的成分，如动物蛋白质或非蛋白氮物质等添加进去[8-9]，才可满足动物营养所需。

玉米秸秆不仅可以用来生产饲料，还可以用来培养食用菌。首先将玉米秸秆粉碎，然后加入磷肥、氮肥、石灰水等，控制好温度，定期翻动，使所有原材料都得到充分发酵。在玉米秸秆及其他原料发酵15d后，技术人员可以将这些熟料用塑料袋包装整理起来，用来生产平菇、鸡腿菇和银针菇等食用菌，这样不仅可以大大降低食用菌培养的成本，而且农民也可以利用玉米秸秆发展食用菌种植产业，从而获得更多的经济效益。利用玉米秸秆的潜力，发挥其最大价值[10]。

玉米秸秆粉碎还田技术是一种直接、方便和有效的秸秆利用技术[11]。在玉米完成收获，秸秆还处于绿色状态时，

农民通过粉碎机将玉米秸秆粉碎，将其均匀撒在农田表面以提高土壤养分。这种方式需要选择最佳时机，即玉米秸秆含水量在30%以上时容易粉碎且腐熟速度快、利于更新土壤的腐殖质和有效调控农田的生态环境。

生物秸秆反应堆技术能够将玉米秸秆转化为CO_2、热量以及其他的营养物质，这种反应堆可以推动温室中蔬菜等植物的光合作用，不但有效提高地面温度，而且减少农作物的病虫害，优化蔬菜、水果的品质[12]。

1.3水稻秸秆

近年来，我国水稻秸秆产量稳定在20000万t左右。水稻秸秆主要分布在中南和华东地区，其次是东北和西南地区，少量分布于西北和华北地区[13]。水稻秸秆作为饲草有一定利用价值，经物理、化学和生物等方法处理后，水稻秸秆适口性和瘤胃降解率有明显提高[14]。但是其用作饲料时也有一定的限制，首先是农机和农艺条件有限，秸秆收割和饲料加工的设备水平较低且费用昂贵，增加了秸秆利用的成本；其次是水稻秸秆中细胞壁的成分较大，其凝聚态结构、纤维素层次结构降低了动物消化秸秆的利用率[15]；最后是我国水稻种植分布面积广，种类繁多，具有的营养价值也有所不同，相关研究较少。

在秸秆还田方面，部分地区采用机械化还田的方式[16]，这种方式有效解决了大量秸秆就地还田或水稻秸秆腐烂或焚烧带来的相关环境污染的问题，且很好地改善了土壤环境，但只适用于部分地区，有一定的局限性。

2秸秆利用的环境效益和经济效益

2.1对生态环境的影响

秸秆资源化利用对生态环境有着极大的价值，若将秸秆直接进行焚烧处理，不仅会造成土壤肥效降低，而且还会使空气污染加重。通过对秸秆的资源化综合利用，既可以为人们带来可观的经济效益，也能节约资源，保护生态环境，是推动经济社会发展绿色化也是实现高质量发展的关键环节[17]。

2.1.1对土壤环境的影响。秸秆还田可以显著改善土壤的物理特征，其中最显著的表现是降低土壤的容重，改善土壤的孔隙度，提升土壤的保水能力。经过还田处理，0~10cm厚的低层土壤的孔隙率可以达12%以上；而20~30cm厚的深层土壤的孔隙率可达30%以上[18]。就降低土壤容重而言，秸秆直接还田和在农田深埋之间虽存在显著差异，但两者在改善土壤渗透性等方面都发挥了积极作用。

秸秆还田对土壤化学方面的主要影响是土壤固碳量的增加。增加秸秆还田总量可以增加土壤中的养分总量和提高土壤吸收养分的能力[19]；通过施肥和还田的结合，可以有效地维持土壤中各种元素的平衡，同时也能够提升土壤中有机物的含量，从而达到改善土壤质量的目的。通过秸秆还田，还可以显著提高土壤的生物活性，其中包括促进土壤微生物的繁殖和酶的活性。研究表明，随着秸秆还田量的增加，土壤中的有益菌数量也会呈正相关增长[20]。此外，经过腐熟处理的秸秆还田还可以显著提高土壤中的有益菌的数量，从而达到更好的还田效果。例如玉米秸秆还田处理可以把土壤酶活性提高到137.4mg/kg，显著增强土壤呼吸强度。如果采取长期的秸秆还田处理，可以显著提升土壤的脲酶活性和碱性磷酶活性，从而有效地促进土壤吸收化肥[21]。

2.1.2对大气环境的影响。土壤释放CO_2中有相当部分来源于还田秸秆和残留根系的分解。以玉米秸秆为例，在其种植的前3年，大部分秸秆都在分解过程中转化为CO_2[22]。与未还田的情况相比，将小麦秸秆或玉米秸秆还田后，大量的有机碳被转化，从而显著降低了对大气的污染；此外，甲烷菌活动也是导致土壤中CH_4排放总量增加的重要因素。因此，专家学者们在这方面的研究结果基本一致，即将小麦秸秆或玉米秸秆还田后，可以显著提高土壤中CH_4的排放总量[23]。

2.1.3对作物光合作用的影响。通过正确施肥，可以显著提高植物的光合作用效率，从而促进其生长发育，提升叶绿素的含量，有效地提高农作物的产量。如种植冬小麦，其种植区域广泛，对土壤要求较高。适当数量的玉米秸秆还田可以抑制灌溉中后期叶绿素a的降解，调节光合速率[24]。在施用过程中与氮肥科学搭配，可以显著提高光合速率和蒸发率。就产量而言，玉米秸秆还田可以提高作物肥料输送速率，从而有效改善土壤质量，增加土壤有机物含量，提高土壤结构、水分保持能力和透气性，使作物根系更加坚固，并且可以调节土壤水分、温度和通气性，为小麦的生长提供一个适宜的环境[25]。

2.2秸秆利用的经济效益

秸秆生物质循环利用不仅具有较好的经济价值，还具有较高的环境效益。秸秆生物质循环利用的经济效益表现在以下几个方面。（1）增加农民收入，例如秸秆发酵成有机肥料后，可直接用于土地改良，提高作物产量。（2）节省成本，通过秸秆生物质能源的利用，可以降低对传统燃料的依赖。同时，秸秆肥料也可以替代化肥，降低农业生产成本[26]。（3）促进地方经济发展。秸秆生物质循环利用可以形成完整的产业链，从原料采集、加工、运输到销售等环节均可为失业人群提供就业机会，为社会创造价值。（4）降低环境治理成本。通过秸秆生物质循环利用，可以有效减少焚烧、填埋等不当处理方法对环境的影响，从而降低环境治理成本[27]。总之，秸秆生物质资源化循环利用有多重经济效益。正确利用秸秆生物质可以为国家、地方和农民带来可观的经济收益。秸秆还田增加土壤肥效，减少肥料用量；秸秆制生物质燃料、纤维丝、发电、产气、制板、饲料等都可产生经济效益[28]。

3棉花秸秆综合利用现状分析

我国每年的棉花产量约占全球总产量的25%，棉花收获后，大量的秸秆废弃物可达约4000万t[27-30]，可被广泛地应用到工业、农业、畜牧业、能源环境保护等各行业，从而为社会带来巨大的经济效益。

3.1作为建筑材料

近年来，棉花秸秆被广泛应用于建筑材料领域中，如制造建筑隔音板、保温材料等，其性能优良，深受市场青睐。然而，由于其抗折强度较低，容易受到硫酸盐的侵蚀，耐久性有待提高。此外，工程中使用的盐渍土，可能出现盐胀、溶陷、腐蚀和吸湿软化等问题[31]。为了提高盐土的强度和稳定性，可利用棉花秸秆，其纤维可以作为一种有效的加筋材料，应用于水泥土和混凝土中，可以显著提升它们的整体韧性，从而更好地满足工程建设的要求。

3.2作为生物质能源

随着工业的现代化发展，工业采矿、冶炼、化工等行业所产生的重金属离子随其工业废弃物进入水体中，许多有毒物质和难以降解的污染物严重影响水环境。目前对废水的处理非常严格，据学者研究，吸附法[32]是一种从废水中除去重金属离子的高效且经济的方法，通过改用棉秆纤维素，可以大大降低废水处理的成本，同时还能够提高吸附效果，而且这种方法更加环保，现已成为一种更加经济实惠的废水处理技术[33]。以农业废弃物棉花秸秆为原料，经过改性生物炭处理后，可以有效地去除PPCPs污染物，如氧氟沙星和布洛芬，从而改善水质。此外，该技术也为农业废弃物棉花秸秆的资源化利用开辟出一条全新的道路[34]。通过利用棉花秸秆，还可以制备出多种形式的生物质能源，如热能、沼气和液体燃料，这些能源可以有效地替代传统的化石燃料，从而实现清洁能源的可持续发展。

3.3作为农业有机肥料

棉花秸秆可以作为农业有机肥料，通过堆肥、压实等方法提高肥料的质量和效果，使其更好地供给农作物营养元素。通过采用机械化的方式，棉花秸秆可以被有效地还田肥料化利用，其中2种最常见的方法是直接粉碎还田和堆沤发酵还田。其中，直接粉碎还田需要在棉花采摘后，使用大型农业机械将棉花秸秆收割，然后经过翻耕或旋耕，将粉碎后的棉秆作为肥料直接埋入农田，具有机械化程度高、速度快、成本低等优势，可以有效地提高棉花秸秆的还田效率，减少农药的投入，提升农业的经济效益[35]。

3.4作为动物饲料

研究表明，棉花秸秆的主要成分含量受到多个因素的影响，包括种植地区、品种、收获时机、施肥水平、储藏条件以及其他相关技术手段。这些因素共同决定了棉花秸秆的质量，从而使其具有良好的可持续性，提高其生产效率[36]。1998年，许国英等[37]开始研究新疆地区的棉花秸秆，发现它的营养价值极为丰富，不仅包括钙、磷、粗蛋白质和木质素[34-38]，还有可能被用于生产优质的动物饲料。因此，他们认为新疆的棉花秸秆有望成为一种理想的动物饲料来源。

4生物质秸秆综合利用策略与展望

现阶段，生物质秸秆在多行业实现综合利用，人们在秸秆还田、秸秆作饲料、秸秆作生物质新能源以及有机肥料的过程中，研究了工业化、规模化、量化和广泛的现代化利用技术，减少焚烧产生的二次污染[39]，在实现经济可持续发展的同时达到了保护环境和资源节约的目的。为促进秸秆资源的高效利用和实现乡村振兴目标，政府和相关部门必须给予充足的资金和政策支持，建立示范点[40]，同时鼓励企业投入资金、人力、物力等方面资助，加快推进秸秆生

物质综合利用产业的发展。此外，还应大力推广秸秆综合利用技术，并加强相关科学研究，以解决在这一进程中面临的技术难题[41]，提高生物质能源利用效率。（1）加强生物质化学品的开发利用。利用化学方法将秸秆的木质素、纤维素等转化为生物质化学品，如生物燃料、淀粉和醇类、木质素等，实现生物质资源的高效利用[42]。（2）研究用稻草造纸或秸秆编织装饰的方法，进一步开发和完善针织产品和技术市场。（3）科学高效地利用稻草生产木糖醇和活性炭。（4）通过推广机械秸秆技术，进一步完善秸秆饲料的深加工，促进畜牧业绿色发展。

参考文献：

[1]王文芳，王伦，鲁智文.关于小麦秸秆综合利用技术研究[J].农家参谋，2019，37（6）：98.

[2]牛敏.会宁县小麦秸秆饲料化加工利用方式探讨[J].甘肃畜牧兽医，2022，52（6）：13-16.

[3]周腰华，王亚静.我国秸秆综合利用政策演变、特征与展望[J].辽宁农业科学，2023，64（1）：48-55.

[4]李佳男，杨长琴，束红梅，等.小麦秸秆还田后茬棉田土壤NO_3--N和酚酸变化对棉苗根系生长的影响[J].中国生态农业学报（中英文），2023，31（8）：868-876.

[5]郑洪兵，郑金玉，罗洋，等.玉米秸秆粉碎不同量级还田对土壤养分的影响[J].吉林农业科学，2014，39（5）：38-42.

[6]冯晓辉.玉米秸秆综合利用技术推广[J].世界热带农业信息，2023，61（5）：25-27.

[7]胡明哲.玉米秸秆饲料化利用[J].当代畜禽养殖业，2020，41（2）：44-50.

[8]付晓晶.玉米秸秆在草食家畜中的应用[J].中国畜禽种业，2022，18（11）：120-122.

[9]张平.玉米秸秆饲料化途径的研究进展[J].农家参谋，2020，38（8）：138.

[10]薛冰.玉米秸秆饲料打包贮制利用技术应用简析[J].现代畜牧兽医，2022，51（4）：88-92.

[11]刘永平.临夏州玉米秸秆饲料化利用现状及发展对策[J].畜牧业环境，2020，36（8）：20.

[12]路杨，任金平，张金花，等.玉米秸秆堆肥对番茄产量和品质的影响[J].吉林农业大学学报，2016，38（5）：587-589.

[13]陈熙，张徐彬，朱旺，等.我国水稻秸秆利用现状和饲用加工技术研究进展[J].中国稻米，2023，29（2）：24-27，33.

[14]李骅，赵汝东，李超，等.水稻秸秆微贮制备饲料的试验[J].沈阳农业大学学报，2021，52（3）：329-335.

[15]邱进，吴明亮，方友祥，等.水稻秸秆利用研究现状与发展趋势[J].当代农机，2015，44（4）：72-75.

[16]王金峰，杨东泽，王震涛，等.水稻秸秆双轴深埋还田机设计与试验[J].农业机械学报，2023，54（4）：21-30.

[17]中共中央宣传部.习近平新时代中国特色社会主义思想学习纲要［M].北京：学习出版社，人民出版社，2023.

[18]朱捍华，黄道友，刘守龙，等.稻草易地还土对丘陵红壤有机质和主要物理性质的影响[J].应用生态学报，2007，18（11）：2497-2502.

[19]丛宏斌，赵立欣，孟海波，等.农林废弃物高效循环利用模式与效益分析[J].农业工程学报，2019，35（10）：199-204.

[20]孔德刚，张帅，常晓慧，等.坡耕地中秸秆深施蓄水效果的试验研究[J].东北农业大学学报，2011，42（2）：48-53.

[21]谢佳贵，侯云鹏，尹彩侠，等.施钾和秸秆还田对春玉米产量、养分吸收及土壤钾素平衡的影响[J].植物营养与肥料学报，2014，20（5）：1110-1118.

[22]王伊琨，于跃跃，贾小红，等.秸秆资源利用及秸秆还田生态环境效益的研究进展[J].安徽农学通报，2019，25（10）：111-113，134.

[23]邹洪涛，王胜楠，闫洪亮，等.秸秆深还田对东北半干旱区土壤结构及水分特征影响[J].干旱地区农业研究，2014，32（2）：52-60.

[24]李岩，王立中，王中华，等.秸秆生物质循环利用的现状分析[J].现代盐化工，2022，49（4）：13-15.

[25]王文博，王晓红.秸秆资源利用及秸秆还田生态环境效益的分析[J].农村经济与科技，2020，31（2）：14，26.

[26]杨祖庆.秸秆综合利用的途径及技术[J].粮食问题研究，2007，24（4）：47-49.

[27]周全曾，陈玖章，吕晓杰.农作物秸秆能源化利用研究探讨[J].农业技术与装备，2009，25（2）：40-42.

[28]王晶.棉花秸秆炭对土壤微生物群落组成和功能的影响[D].石河子：石河子大学，2020.

[29]马文鹏，赵宇曦，刘斌，等.基于文献计量学的棉花秸秆研究现状与热点分析[J].中国沼气，2023，41（1）：13-20.

[30]苏强.棉花秸秆纤维混凝土抗硫酸盐侵蚀性能试验研究[D].淮南：安徽理工大学，2020.

[31]凌一波，薛颖昊，王家平，等.近20年来新疆农作物秸秆资源量变化、现状分析及综合利用探讨[J].中国农业资源与区划，2023，44（1）：130-139.

[32]李家乐.棉花秸秆活性炭的制备及其CO_2吸附性能分析[D].湖北：武汉轻工大学，2019.

[33]封玉.棉花秸秆生物炭的制备和改性及其对PPCPs类污染物的吸附探究[D].济南：山东师范大学，2019.

[34]杨子山.长期棉花秸秆还田和深松提高棉花产量的机理[J].中国棉花，2022，49（12）：24.

[35]张文喆.棉秆、番茄酱渣混合微贮条件优化及其在肉羊养殖中的应用[D].石河子：石河子大学，2022.

[36]徐润雪.焦作市农作物秸秆综合利用研究[D].沈阳：沈阳农业大学，2018.

[37]许国英，热合木都拉，马英杰.棉花秸秆的饲用价值研究[J].新疆畜牧业，1998，14（3）：10-11.

[38]包慧芳.棉花秸秆微贮饲料复合菌系构建及发酵机理研究[D].北京：中国农业大学，2019.

[39]闫杨.秸秆资源综合利用费用效益评价研究[D].北京：北京化工大学，2019.

[40]宋杰.中国秸秆利用的节能减排仿真：气候变化减缓[D].大连：大连理工大学，2017.

[41]刘娅.农作物秸秆治理与综合利用[J].辽宁农业科学，2003，44（1）：18-23.

[42]乔立丹.黑龙江省Q市秸秆焚烧治理研究[D].哈尔滨：哈尔滨工程大学，2021.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/204173.html