

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20220912

• 绿色发展 •

日本农作物秸秆综合利用经验借鉴*

谢杰¹, 邵敬森¹, 孙宁¹, 王红彦²,
王亚静¹, 毕于运¹, 高春雨^{1*}

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 中国农业科学院农业信息研究所, 北京 100081)

摘要 [目的] 在碳达峰、碳中和背景下, 推进秸秆综合利用是农业温室气体减排的重要举措。日本秸秆综合利用水平稳居世界前列, 其成功经验对中国秸秆利用具有重要的借鉴意义。[方法] 文章基于文献分析和专家咨询的方法, 从秸秆还田、秸秆饲料化、秸秆乙醇、秸秆发电、秸秆收储运体系等5个维度, 系统总结了日本秸秆综合利用的技术模式、政策法规等方面的经验。[结果] 日本建立了以秸秆还田利用为主, 秸秆饲料化和能源化利用为辅的秸秆综合利用体系, 推广了高效的秸秆还田技术, 建立了完善的秸秆收储运体系, 通过不断研发创新秸秆饲料、秸秆乙醇、秸秆发电等技术, 同时出台一系列秸秆综合利用政策法规, 在秸秆综合利用方面积累了丰富的成熟技术与先进经验, 将秸秆综合利用发展成具有战略价值的典型产业。[结论] 借鉴日本的经验, 未来我国秸秆综合利用主要做好以下四个方面的工作: 一是推动建立秸秆收储运体系, 二是提高秸秆综合利用技术水平, 三是加大秸秆利用政策支持, 四是完善秸秆利用法规。

关键词 秸秆 日本 秸秆利用 政策 经验借鉴

中图分类号: S-01 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9121[2022]09-0116-10

0 引言

中国农作物秸秆产量大、种类多、分布广。《第二次全国污染源普查公报》显示, 2017年我国秸秆产生量为8.05亿t, 秸秆综合利用率为86.8%^[1]。秸秆“用则利, 弃则害”。近年来, 我国高度重视秸秆资源综合利用, 采取了一系列政策措施。目前, 我国农作物秸秆利用方式虽有诸多可圈可点之处, 但仍存在秸秆产业化关键技术不成熟、成本高、效率低、部分地区露天焚烧和随意丢弃现象仍屡禁不止等问题^[2,3]。在碳达峰、碳中和背景下, 秸秆直接还田及过腹还田, 能够培肥地力、改善耕地质量和提高土壤碳库, 秸秆能源化利用能够替代生产生活中使用的化石能源, 减少温室气体的排放, 促进农业农村减排固碳^[4]。因此, 借鉴国外秸秆综合利用的技术与经验, 做好中国农作物秸秆利用工作, 是促进农业温室气体减排的重要举措。

20世纪70—80年代日本存在严重的秸秆焚烧问题, 严重影响空气质量, 危及交通安全, 影响人体健康, 甚至引发火灾。2000年前后开始对秸秆焚烧进行管理, 提出了生物质发展战略, 将秸秆等生物质发展定位为战略性产业, 同时开展以秸秆还田循环利用为主, 以秸秆饲料化和秸秆发电、纤维素乙醇等秸秆离田新型能源化利用为辅的秸秆综合利用模式。到2008年, 秸秆焚烧得到有效控制, 以水稻秸秆为例, 日本水稻秸秆年产生量约为905万t, 其中687万t直接用于还田, 占比约为75.9%; 其次93万t用作牲畜饲料, 占比约为10.6%; 另有10.8%的稻草用于新型能源化等利用, 只有极少数难以处理的部分才会被焚

收稿日期: 2021-09-06

作者简介: 谢杰(1996—), 男, 云南丽江人, 硕士。研究方向: 农业资源管理与利用

*通讯作者: 高春雨(1978—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士、副研究员。研究方向: 农业资源管理与利用。Email: gaochunyu@caas.cn

*资助项目: 国家自然科学基金项目“农作物秸秆综合利用生态价值量估算方法研究”(41771569); “北方地区秸秆沼气集中供气工程冬季保温能源边际报酬分析”(41301626)

烧掉, 约占2.7%^[5]。日本结合自身的实际情况, 通过不断研究和探索, 在秸秆资源综合利用方面, 积累了大量成熟的技术模式, 配套出台了一系列发展战略和政策法规, 对中国推进秸秆资源综合利用具有重要的借鉴意义。

国内学者对日本秸秆综合利用方面开展了研究。高青华等从体系的概况、氨化原理及氨化秸秆的利用等方面介绍了日本用于反刍家畜的作物秸秆氨化处理体系^[6]。高国臣等阐述了日本青贮饲料的生产种类, 并介绍了防止二次发酵的技术^[7]。吴其祥介绍了日本有机肥生产和利用情况^[8]。印祥等介绍了日本集收割、脱粒、秸秆切碎还田等功能于一体的洋马半喂入联合收获机^[9]。李娜基于日本滋贺县、宫崎县农业废弃物循环利用及产业发展分析, 总结了日本的经验并提出了中国发展农业废弃物利用启示^[10]。从检索到的文献资料来看, 国内学者对日本秸秆综合利用的研究较少、系统性不足, 目前多以单项秸秆综合利用技术介绍为主。基于此, 文章从秸秆还田、秸秆饲料化、秸秆发电、秸秆乙醇、秸秆收储运体系等五个方面, 系统总结了日本秸秆综合利用的技术模式及配套政策等方面的经验, 并提出了对我国秸秆综合利用的政策建议。

1 秸秆还田

秸秆还田是日本秸秆综合利用的主要方式。还田方式主要以秸秆直接还田和堆肥还田为主, 直接还田以犁耕深翻还田和旋耕还田为主。日本地

处沿海地带, 为了预防台风吹散作物秸秆, 堵塞地下水道等问题, 以及促进秸秆快速腐解, 不影响下茬作物播种, 日本秸秆还田主要在秋季秋收后进行。通常在半喂入联合收割机上加装后置式切碎机, 在农作物机收的同时将秸秆粉碎抛洒在耕地表面, 经过一段时间干燥后, 再利用大功率的拖拉机, 通过犁耕或旋耕, 将其深翻到土壤中去, 转化为绿色肥料, 还田流程如图1所示^[11]。

日本因地因时开展秸秆还田工作。湿地主要采用犁耕深翻还田, 利用拖拉机牵引犁具将粉碎后抛洒在耕地表面的秸秆翻埋到耕作层以下, 还田深度一般在30cm以上, 秸秆在耕层以下自行腐解; 旱地主要采用旋耕还田, 作业机械直接将秸秆混埋在耕作层土壤中, 还田深度一般在15cm左右^[12]。为了促进秸秆还田时秸秆快速腐熟, 减少秸秆还田对下茬作物产量的影响, 按照还田秸秆的碳氮比配施氮肥, 喷洒秸秆催熟剂石灰氮, 喷洒剂量在2kg/hm², 在加快秸秆腐解的同时, 还具有抑制甲烷产生的作用^[13]。

除秸秆直接还田外, 日本注重秸秆堆肥还田。以厌氧性微生物菌剂为代表的秸秆处理技术, 在农作物秸秆发酵堆肥方面取得了显著的成效。日本琉球大学的比嘉照夫教授研制出来了新型复合微生物菌剂, 用该菌剂和适量水融合, 将配好的溶液均匀喷洒在秸秆上, 5~7d后就能完成发酵堆肥^[14]。日本微生物学家岛本觉也等从自然界中通过分离纯化获得酵素菌, 酵素菌对植物纤维基质具有极强的催化分解作用, 用于发酵秸秆时, 不仅发酵堆肥时间短, 秸秆成熟度好, 而且作为肥料施入土壤后能够增加土壤氮量, 有效减少病虫害发生, 增加农作物的产量^[15]。

日本政府高度重视秸秆还田工作, 配套出台了一系列法律政策。在法律方面, 2002年出台的《肥力促进法》中明确提出必须“依靠施用有机肥料培养地力, 在培养地力的基础上合理施用化肥”。2012年修订《肥料管理法》, 开始将无机肥料与牲畜粪便混合堆肥, 以促进堆肥的使用, 2020年新增“复合肥”类别, 可以根据农场的土壤条件, 按比例混合堆肥和无机肥料, 制成所需的复合肥^[16]。《可持续农业法》等相关法律法规对秸秆综合利用机械等农业机械的生产和使用进行规范, 制定实施目标, 设立设备、机械的引进等计划, 政府提供技术指导和金融信贷等支持^[17]。

在补贴方面, 堆肥过程中, 农业合作社、畜牧养殖户、堆肥利用团体等资源循环型农业推广利用主体, 可以按43%比例向政府申请生产设施维护费用补贴, 补贴费用1000日元以内向上取整。为了促进秸

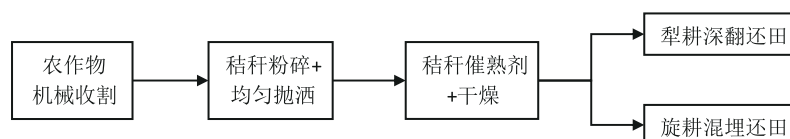


图1 日本秸秆还田流程

秆腐熟剂的使用,对于喷施石灰氮的种植户,政府按还田面积,给一定补贴。各县的补贴标准不一,如冈山县补贴标准为1.5日元/hm²,埼玉县补贴标准为1日元/hm²。对于购买相关还田机械的农民、农业合作社、企业、地方部门,政府都会给予一定的补贴。日本农业还田机械等购置补贴以外的费用由政府(或者银行)进行低息贷款予以解决,贷款利率比市场利率低30%~60%。除此之外,日本政府依托农民协会为农户提供农业机械信贷、技术培训、后期维修保养等社会化服务,以及出台减税和返还税款等优惠政策^[18]。

2 秸秆饲料

目前,日本秸秆饲料的收集、加工、储藏以及对家畜的供给和饲喂等均已经实现了机械化或自动化处理。日本秸秆饲料化利用技术处理途径有两种:一是秸秆的生物学处理,主要以秸秆饲料青贮为主,日本饲料青贮包括玉米全株青贮和牧草青贮,青贮技术已经十分成熟,一次做成的青贮饲料有的可以使用三四年之久^[19]。二是秸秆的化学处理法,分为碱化处理和氨化处理。日本研究者在40℃下用5%的NaOH碱化处理稻草1h,然后121℃条件下高压灭菌30min,可增加171%的纤维素含量,提高了纤维素的降解率。日本大规模推广稻草、高粱、麦秸等农作物秸秆氨化技术,经过氨化处理的秸秆饲料蛋白质含量比未经氨化处理的秸秆饲料可提高30%,消化率可达到50%^[20]。

日本在饲料品种选育和收割技术等方面进行了综合研究。在品种选育方面,积极研发高产、穗粒多、秆粗的饲用水稻品种,建立稳定的高产栽培技术,培育了たちすずか和たちあやか等新品种。新品种抗倒伏性强,含糖量高(可达10%~15%),茎的木质素含量低,易于消化,是高营养价值的饲料专用品种^[21]。在饲料作物收获方面,针对新型饲料专用品种,研发了联合收割机、通用饲料收割机、自走式打捆机、叶轮式脱壳机和粉碎机、V型槽式破碎机和自由锤式破碎机等专用机械,实现了机械化作业。V型槽式破碎机和自由锤式破碎机除了破碎生稻谷、干燥稻谷外,还可以在制备稻谷青贮饲料时作为粉碎机使用。自走式打捆机可以把饲用水稻制备成高质量的卷包青贮饲料,提高饲料的消化率和适口性^[22]。

在制备加工领域,研发了各种包装和制备机械,开发了低成本的水稻秸秆、稻壳青贮制备技术,提高饲料消化率^[22]。以稻壳加工制备青贮饲料的工艺流程为例,稻壳经过一次加水粉碎处理后,由传送带输送,二次加水使含水量适合发酵,粉碎后的稻壳装入集装袋中,将其脱气并用抽吸装置密封,制成青贮饲料,如图2所示^[21]。

日本除了常用的秸秆饲料加工技术外,开发了低成本的膨化发酵饲料加工制备技术。该技术主要将玉米秆、大麦秆、豆渣等原材料粉碎、蒸煮、搅拌,然后放入到含有酒精的水溶液中,使含水量增加到40%~60%,再经过静置两周发酵得到发酵饲料,具体流程如图3所示。在制备过程中,通过蒸煮降低了淀粉的分子量,提高了发酵质量,加入酒精,抑制病菌的生长,确保发酵饲料质量稳定。与普通混合饲料相比,该技术加工的发酵饲料营养成分含量高,发酵品质好,具有优良的消化率和适口性^[23]。

日本饲料供给量、供给率维持在一定水平。2019年年饲料供应量为2485.8万t,其中以玉米、高粱、小麦为原料制成的浓缩饲料有1979.9万t,占80%,浓缩饲料自给自足率达到77%,粗加工的青贮饲料、水稻秸秆为原料制成的粗饲料505.9万t,占20%。如图4所示。2019年日本浓缩饲料原

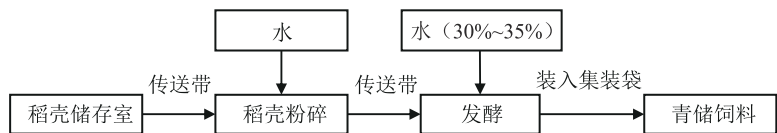


图2 稻壳加工制备青贮饲料工艺流程

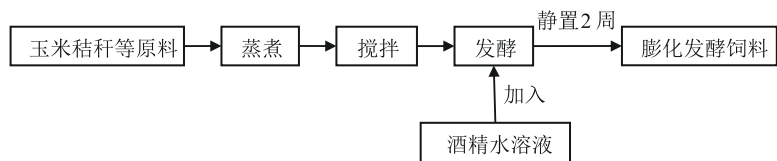


图3 日本膨化发酵饲料处理技术工艺

材料总计消耗2 416万t农作物秸秆,其中玉米秸秆消耗1 177万t,占比49%,水稻秸秆消耗283万t,占比10%,大豆、高粱等其他谷物消耗占为41%^[24]。

为确保国内养殖饲料供给,日本相关部门采取了一系列措施,促进秸秆饲料化利用。2010年开始实行补偿措施,对利用水田进行饲料作物种植的农户,政府补贴3 500日元/hm²,对种植饲料专用水稻的农户,政府补贴

8 000日元/hm²^[25]。2013年实行农户经营性收入稳定措施,在农户收入补偿措施基础上,设立废弃耕地利用补助金,对利用废弃耕地进行饲料作物种植的农户,政府补贴按土地条件补贴2 000~3 000日元/hm²。2016年政府设立农业建设补助金,支持建设国产稻草等粗饲料的生产、配置、保管措施^[26]。除此之外,日本建立稳定的秸秆供应机制,对于自行收集、打包秸秆供给畜牧农户的农协、企业和饲料生产组织给予定额补助,每公斤水稻秸秆定额补贴20日元,降低畜牧经营的生产成本,促进稳定经营;积极培育农业合作社或企业作为秸秆收集委托人,定期召开饲料研发利用和培训的相关会议,聘请专家到现场指导,培训农户掌握饲料相关生产技术^[27]。

3 秸秆乙醇

日本秸秆乙醇研究处于世界领先地位,乙醇发展经历了三代。第一代生物乙醇是以玉米、小麦、甘蔗、木薯等粮食或饲料谷物为原料生产生物乙醇,在技术上已经处于实用阶段。但由于与食品存在竞争关系,以粮食作为原料生产燃料引起了道德和社会层面的关注。第二代生物乙醇是以木质纤维素水稻秸秆等为原料生产生物乙醇,在技术处于研究示范阶段。目前,日本能够从水稻秸秆、小麦秸秆等木质纤维素中生产浓度为90%以上,比燃油具有更好的CO₂减排效果的生物乙醇,做到安全和成本并重。第三代生物乙醇是以藻类为原料,在技术处于初步研究阶段^[28-30]。

第二代生物乙醇生产技术主要从含有木质纤维素的稻草秸秆中生产生物乙醇,是日本目前大规模推广的乙醇转化技术。主要的生产工艺包括预处理、糖化、发酵、浓缩纯化等,具体流程如图5所示。预处理是破坏木质纤维素的结构,分离出纤维素、半纤维素和木质素的过程,有利于后续的糖化和发酵,目前预处理主要方法有水处理、酸处理、碱处理和有机溶剂处理4种。糖化是水解纤维素和半纤维素的过程,糖化的方法有两种,一是比较常用的酸处理方法,二是酶处理。发酵是酵母菌等微生物在厌氧条件下将糖化的糖分解为乙醇和CO₂的

反应。发酵生产的乙醇浓度在10%以上,需要进行浓度提纯,通常采用蒸馏法蒸馏乙醇和水形成的混合物,得到浓度为95%的乙醇。日本在膜分离技术应用方面技术先进,利用膜分离法提纯乙醇,可以得到纯度为99.5%的乙醇,可以直接与汽油混合作为汽车燃料使用^[31]。

CaCCO (Calcium Capturing by

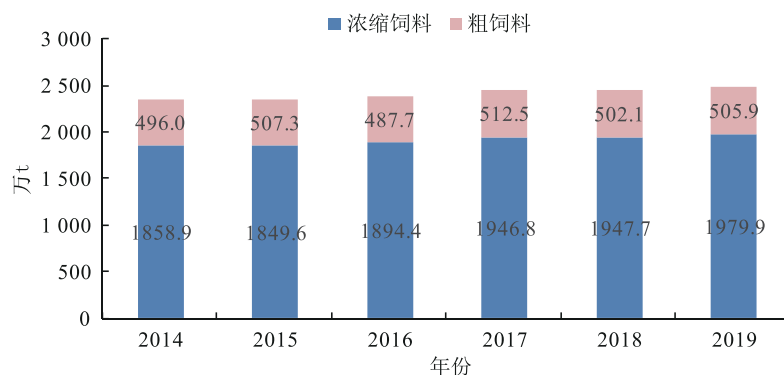


图4 2014—2019年日本饲料供应

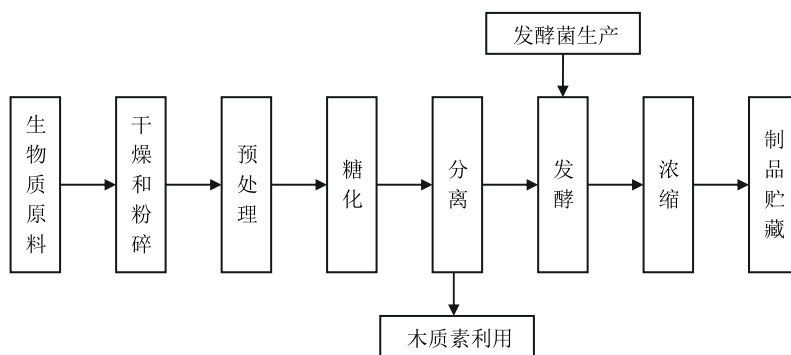


图5 日本第二代生物乙醇生产工艺

Carbonation)乙醇转化技术是日本较为成熟的小规模转化技术。CaCCO 工艺主要是用氢氧化钙预处理水稻秸秆,以增强多糖酶的糖化,其主要的生产工艺是混合粉碎、预处理、中和糖化发酵,具体流程如图 6 所示。首先将氢氧化钙和秸秆混合粉碎,在 120℃ 热处理装置中预

处理一小时,在反应容器中加入 CO₂ 气体和酵素中和糖化发酵,制取出糖化物,糖化物经发酵转换乙醇。该工艺的特点是适合小规模乙醇糖化发酵,采用 CO₂ 气体中和糖化发酵,后期不需要清洗设备,乙醇糖化成本低。目前,通过发酵糖液,制取乙醇之外,利用 CaCCO 工艺,还取得了琥珀酸、谷胱甘肽、色素、酶制剂等发酵物^[32]。

日本结合当地资源的利用情况,开展了使用各种原料生产生物乙醇的示范试验。2008 年日本政府开始推广以水稻秸秆和小麦秸秆为原料生产生物乙醇的项目,先后在北海道、秋田、兵库等地开展了生产验证试验和大规模示范项目,年产量分别达 1 040L、2.25 万 L 和 800L^[33]。2011 年日本建造了亚洲最大的以水稻秸秆为原材料的乙醇生产工厂,每年可从 250t 水稻秸秆中生产浓度为 99.9% 的 1 000kL 生物乙醇。2015 年日本研发出一种可移动的纤维素乙醇生产装置,该装置小巧灵活,农民可以单独购置,可广泛应用于发展中国家^[34]。日本乙醇主要与汽油按比例混合使用,主要混合汽油类型有 E3 (3% 混合) 和 E10 (10% 混合),截止 2016 年,生物乙醇在约 3 240 个加油站混装销售。

日本在促进秸秆乙醇利用发面,出台了一系列政策措施。2002 年末日本政府提出《日本生物质能综合战略》,指出要灵活地利用生物质能源,生产清洁能源的原料,替代石油等化石能源^[35]。2013 年日本开始第二代生物燃料创新计划,政府每年在生物质利用研发和推广方面预算支出超过 100 亿日元,主要用于补贴生物乙醇转基因品种、乙醇转化技术研发、乙醇生产设施设备购买^[36]。在税收方面,政府减免生物乙醇混合汽油税 58 日元/L;在生物乙醇生产中使用厂房需要缴纳 0.7%~1.4% 的房产税中,前 3 年可以申请房产税减免 50%;生产生物乙醇企业的企业,在缴纳公司所得税时,第一年可以申请设施成本 30% 的特别折旧费。除了补贴和税收外,日本政府还会提供优惠利率贷款政策,提高了相关部门生产和利用乙醇的积极性^[37]。

4 秸秆发电

日本很早就开始研究秸秆在发电方面的应用,开发了高性能的发电技术,在技术上处于成熟应用阶段。目前主要的发电技术有 3 种:一是秸秆直燃发电技术,秸秆直接在锅炉中燃烧,燃烧产生的热量通过汽轮机用于发电,也可以直接作为热源使用;二是热化学转换的秸秆气化发电技术,秸秆在高温的条件下,将部分秸秆转化为可燃气体,气体通过燃气轮机燃烧发电,气化发电产生可燃气体的能源效率高达 70% 左右;三是生物化学转换的甲烷发酵发电技术,在严格的厌氧环境和一定的温度、水分、酸碱度等条件下,秸秆经过微生物的厌氧发酵

产生甲烷气体,气体通过燃气发动机燃烧发电^[38]。近年来生物质燃料和煤混烧的混燃发电技术备受关注,目前已经运行的发电规模在 100~1 200MW 的混燃发电项目有 40 座^[39]。

日本政府将生物质发电作为 21 世纪可再生能源的发展重点,推行了

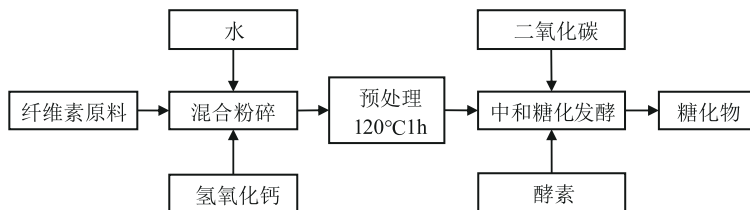


图6 日本CaCCO工艺制造糖化物工序

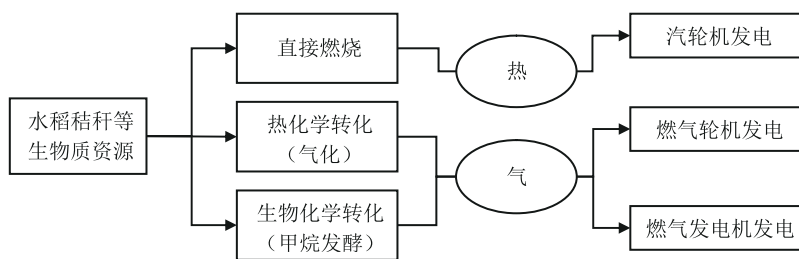


图7 日本秸秆发电方式

Feed-in-Tariff (FIT) 计划, 开发与利用秸秆等生物质发电技术, 2014—2020 年生物质能源发电新建累计装机容量增幅较大, 其中以农作物秸秆为原材料的生物质发电规模增速最快, 累计装机容量较大, 缓解了化石能源的消耗^[36]。2018 年日本农作物秸秆等生物质发电装机容量达到 2.90GW, 较 2015 年增长 22.60%, 日本 47 个都府县在不同程度上引进了生物质发电技术, 其中北海道、茨城县、爱知县, 福冈县累计生物质发电新规模装机容量达到 20 万 kW 以上。预计到 2030 年, 生物质发电装机容量达到 6.02GW, 生物质发电量达到 394 ~ 490kW·h, 农作物秸秆发电量占生物质发电量比例增至 3.7% ~ 4.6%, 秸秆和其他可再生能源发电占比 22% ~ 24%, 其他能源供应份额具体情况如表 1 所示^[40]。

日本在秸秆发电等生物质发电补贴方面, 形成了成熟的固定补贴机制。可再生能源发电补贴主要有两种: 一是支持可再生能源公司发展的事业补助金。私营企业独立引进可再生能源发电设备, 政府补贴费用支出的 1/3, 私营企业和地方组织部门合作开展引进可再生能源发电设备, 政府补贴费用支出的 2/3; 二是可再生能源利用补贴。地方公共部门引进可再生能源设备, 满足自己相关部门独立使用, 政府补贴费用支出的 1/2, 私营企业引进可再生能源设备自用, 政府补贴费用支出的 1/3^[40]。

2012 年日本政府制定实施了上网电价 (FIT) 制度, 促进秸秆生物质发电技术的开发与利用。上网电价制度是政府承诺电力企业在一定时期内以固定价格购买可再生能源发电的制度, 要求电力公司以政府固定价格长期向可再生能源生产商购买电力。政府以征税的形式向电力用户收取税, 补贴电力公司购买的部分成本, 并支持可再生能源生产商引入成本昂贵的可再生能源。除此之外, 日本逐步推进“绿色电力证书”和“绿色电力交易制度”等方式的绿色电力配额制, 促进可再生能源发电^[41]。

5 收储运体系

秸秆收储运体系建设对保障秸秆离田产业化利用具有不可替代的作用, 日本注重秸秆收集体系的建设。在日本稻草收集搬运体系可分为两类: 一是秸秆干燥收集体系。作物秸秆通过联合收割机排出后, 在田间翻转 2 ~ 3 次, 使含水量从刚收割时的 60% 左右降低到 15% 左右, 再进行打捆包装运输, 通过干燥收集的稻草很适合作为乙醇原料; 二是高含水量下密封收集体系。日本政府积极推广饲用秸秆氨化或微贮打捆密封储存技术, 对收割后的秸秆进行预干, 将含水量控制在 50% ~ 60% 左右, 再进行包装运输, 高水分下密封收集秸秆很适合作为青贮饲料^[42], 具体收集体系如图 8 所示。

日本在秸秆的收集打包、储存和运输等方面实现了全程机械化。在水稻收割方面, 主要有自脱联合收割机和通用联合收割机, 自脱联合收割机对水稻的穗尖部分进行脱粒, 稻草以长稻草的形式排出, 通用联合收割机需要将水稻脱粒, 稻草被切碎排出。在秸秆收集打包方面, 由农业株式会社等相关部门大规模地收集, 主要有“自由式”和“牵引式”捆包机, 可以把稻草收集打包成大小多种多样的长方体或圆柱形稻草卷包。在秸秆储存和运输方面, 由于大型卷包的重量在 150kg 以上, 所以从农场运出以及装载时使用卷筒夹和卷筒叉, 搬运时用专用的货车^[42-44]。

日本建立了稳定的秸秆供应体系,

表 1 2018 和 2030 年日本能源供应份额

能源种类	2018 年能源供应份额	2030 年能源供应份额
风煤炭	31.6	26
天然气	38.3	27
核	6	20 ~ 22
可再生能源发电	16.9	22 ~ 24
石油	7	3

注: 数据来源于资源能源厅《长期能源供需预测报告》

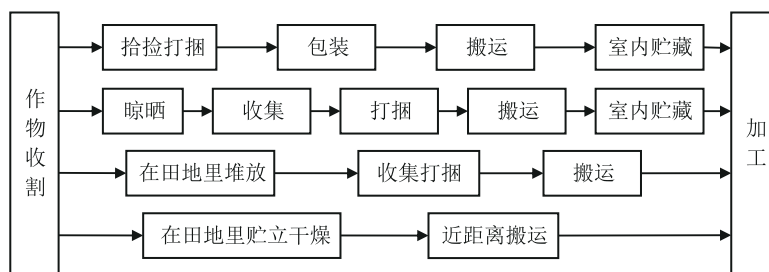


图 8 日本稻草收集搬运技术体系

采用合同制管理秸秆收储运过程。饲料、发电、生物燃料等秸秆利用企业业主,根据自身生产的实际情况,与农场主签订秸秆供应协议,协议有效期一般是五年制,内容包括秸秆供应量、供应的时间以及供应的价格。农场主在收获季节按照协议的内容,采用相应的联合收割机,将秸秆集中收集、打捆、包装、堆放储存,按照协议约定时间送至饲料厂、发电厂等^[45]。

日本政府为了鼓励稻草等秸秆离田产业化利用,出台了一系列的优惠政策。在秸秆收集、运输、贮藏方面,为了降低秸秆利用的企业、合作社等秸秆利用主体经营成本,政府补贴从秸秆收集、运输、贮藏到利用所需费用的50%^[46]。在秸秆综合利用机械方面,政府积极引进、研发和利用秸秆利用机械设备,对于购买秸秆收集机、打捆机、装载机、专用运输机等机械设备的秸秆利用主体,可以向政府申请购置成本30%~50%的补贴,对于后期秸秆设备机器保管、维修等费用,也可以向政府申请补贴。在秸秆供应方面,生产集团与畜牧养殖户等签订5年以上供货合同,供应量500t以上,稻草的政府固定补贴30日元/kg,这促进了秸秆的收集与利用^[45]。

6 经验借鉴

6.1 推动建立秸秆收储运体系

我国秸秆收储运体系仍处在初级发展阶段。日本建立“全程机械化+合同制管理+政府补贴+多元化产品”的秸秆收储运体系,打通了秸秆产业发展的“最初一公里”。借鉴日本的经验,未来我国在秸秆收储运体系建设方面应重点做好如下工作:一是加强秸秆收储运机械设备的研发,提高作物收割速率、秸秆打捆速率,努力实现收储运全程机械化,有效降低秸秆收储运人工成本。二是打造具有中国特色的秸秆收集模式,开展专业化、精细化的运管服务,采用不同的收集方式,做好秸秆原料前处理工作,满足饲用、燃用等不同需求。积极推广饲用秸秆氨化或微贮打捆密封储存技术。合理布局秸秆储藏点,方便农户出售秸秆,降低企业收购秸秆进厂成本,确保秸秆回收利用效应最大化。三是鼓励农户、秸秆收储运企业和秸秆利用企业建立长期合作关系,通过签订协议等方式,制定统一合理的秸秆收购价格,政府要补贴一定比例秸秆收储运过程中所需的费用,在秸秆运输过程中开通绿色通道,促进秸秆的回收利用。

6.2 提高秸秆利用技术水平

秸秆转化的技术问题是制约秸秆综合利用及产业化发展的瓶颈。日本秸秆加工机械设备相对先进,农作物秸秆综合利用技术水平较高。借鉴日本的经验,未来我国在秸秆综合利用技术研发与应用方面应重点做好如下工作:一是提高秸秆还田技术应用水平,因地制宜开展秸秆还田,切实推进秸秆还田补贴政策的实施,积极发展提供机械化还田服务的农机大户、家庭农场、农民合作社等组织。加快大马力拖拉机研发力度。二是加大秸秆发酵技术研发力度,结合化学、微生物学等相关技术,提高木质纤维素转化为糖类物质、脂肪酸以及乳酸水平,生产有机饲料、膨化饲料和生态饲料。三是加大秸秆能源转化技术研发与推广应用,不断引进和消化先进技术,积极推广秸秆乙醇、秸秆发电等新型能源化利用技术,在有条件的地区可以利用秸秆生产物质乙醇,与汽油混合作为车用动力燃料。

6.3 加大秸秆利用政策支持

日本逐步构建了以农作物秸秆循环利用及产业发展的专项财政补贴政策、税收政策以及金融政策为基础的政策体系,为秸秆利用营造良好的政策氛围。借鉴日本的经验,未来我国在秸秆利用政策体系建设方面应重点做好如下工作:一是开展区域补偿制度建设。建议以县域为单位,整县推进,全量利用,整合现有资金,可用于补贴县域内秸秆收储运体系建设,补贴秸秆还田、离田和综合利用的增量成本,对规模化秸秆利用企业,在主要技术和设备、重点投资环节按照资本金给予30%~50%补贴,扶持秸秆综合利用产业健康、持续发展。二是实行绿色电力配额制政策激励机制。我国生物质发电已较成规模,可以考虑取消上网电价补贴,以试点为基础,逐步推进“绿色电力证书”和“绿色电力交易制度”等方式的绿色电力配额制。三是完善税收激励机制。对从事秸秆加工利用与处理的企业减免增值税和所得税,

如秸秆发电企业,给予有关税费减免,对于燃料乙醇企业,可免征消费税。

6.4 完善秸秆综合利用法规

日本通过不断的实践与探索,构建了一套以《可持续农业法》《肥力促进法》《生物质条例》《循环型社会形成推进基本法》等为主的秸秆资源循环利用法律体系。借鉴日本的经验,未来我国秸秆利用法规体系建设应重点做好如下工作:一是依托《可再生能源法》,积极制定出一系列规范秸秆新型能源化利用的《生物质能条例》。目前我国还没有以秸秆生物质能源化利用为基本内容的相关条例法规,应加快立法进程,出台有关条例,明确秸秆利用发展方向和技术要求,重点扶持生物质发电、燃料乙醇等秸秆新型能源化利用项目,进一步构建与完善秸秆综合利用激励和处罚机制。二是制定《全国土壤肥力保养条例》,对秸秆直接还田、秸秆堆肥还田等有关重要内容做出具体规定,保障秸秆循环利用水平和耕地质量水平的稳步提升。三是在《畜牧法》《水土保持法》中添加秸秆养畜、秸秆覆盖还田等相关规定。四是结合地方秸秆综合利用实践,出台秸秆肥料化、饲料化、燃料化、基料化、原料化以及收储运体系等条例,明确适用范围、技术标准、配套政策等规定。

参考文献

- [1] 生态环境部办公厅. 第二次全国污染源普查公报, 2020.
- [2] 田宜水. 我国农作物秸秆综合利用产业促进政策研究. 中国农业资源与区划, 2020, 41(9): 28-36.
- [3] 毕于运, 高春雨, 王红彦, 等. 我国农作物秸秆离田多元化利用现状与策略. 中国农业资源与区划, 2019, 40(9): 1-11.
- [4] 霍丽丽, 姚宗路, 赵立欣, 等. 秸秆综合利用减排固碳贡献及潜力研究. 农业机械学报, 2022, 53(1): 349-359.
- [5] 塩津, 文隆服部, 太一朗, など. 日本におけるイネのバイオエタノール化. 農業および園芸, 2009, 84(6): 604-613.
- [6] 高青华, 郭玉泉, 张涛. 日本用于反刍家畜的作物秸秆氨化处理体系. 饲料广角, 2003(4): 25-35.
- [7] 高国臣, 齐宝林. 日本青贮饲料的生产与防止二次发酵的技术. 吉林农业科学, 2005(4): 51-52.
- [8] 吴其祥. 日本有机肥料的应用. 广西农业科学, 1987(5): 55-56.
- [9] 印祥, 金诚谦. 日本洋马半喂入联合收获机关键技术介绍. 农业工程技术, 2020, 40(3): 43-46.
- [10] 李娜. 日本农业废弃物循环利用及产业发展的经验与启示. 世界农业, 2015(8): 162-166.
- [11] Junichi Kamide, Present situation and problems on handling of rice straw in tohoku district. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 1976, 38(3): 418-422.
- [12] 飯田俊彰, 木村匡臣, 溝口勝, 等. 水稻作向けの ICT を活用した農業水利情報サービスの提供. 農業農村工学会誌, 2015, 83(4): 279-282.
- [13] 志賀一. 水田の有機物施用基準について. 日本土壤肥科学雑誌, 1984, 55(4): 374-380.
- [14] 秦生巨. 经弧菌专家秦生巨: 就 EM 菌相关问题与比嘉照夫教授商榷. 当代水产, 2015, 40(8): 65-67.
- [15] 刘旭凡, 冯紫曦, 孙家堂. 农户秸秆处理行为研究综述. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(S2): 412-415.
- [16] 蒋磊. 农户对秸秆的资源化利用行为及其优化策略研究[博士论文]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [17] 朱文玉. 我国生态农业政策和法律研究[博士论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.
- [18] 韩剑锋. 农机购置补贴政策的有效性及其运行机制研究[博士论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [19] 永西修. 稲わらの飼料としての再評価: わら類の有効活用とその展望. 日本草地学会誌, 2002, 48(4): 371-378.
- [20] 河本, 英憲, 山口, 等. 飼料イネのサイレージ発酵に及ぼす細切高密度詰込みの影響. 日本草地学会誌, 2009, 54(4): 323-327.
- [21] 浦川修司. 飼料イネと飼料用米の今後の展望(特集 飼料自給率向上に向けて). 農業食料工学会誌, 2014, 76(5): 365-370.
- [22] 浦川修司. 飼料用イネの収穫調製, 加工技術. 日本草地学会誌, 2017, 63(1): 38-42.
- [23] 山阿部正博, 小松正尚, 小松智彦, 等. 膨潤発酵飼料の給与が黒毛和種雌肥育牛の発育性および飼料効率に及ぼす影響. 山形農業報, 2019, 11(3): 31-40.
- [24] 森岡昌子, 恒川磯雄, 西村和志. 酪農経営におけるトウモロコシサイレージ多給の経済的効果—生産費統計との比較による経済性の評価—. 農業経済研究, 2020, 92(1): 22-27.
- [25] 成学, 金, Kim S. 農業者戸別所得補償制度の性格と限界, 山形大學紀要, 2013, 16(4): 229-239.
- [26] 中安健輔, 矢萩久嗣, 古谷道栄, 等. 飼料用初米を中心とした国産飼料資源の利活用試験. 茨城県畜産センター研究報告, 2020 (51): 6-9.
- [27] 菅野勉. 国産濃厚飼料の可能性を探る. 畜産の情報, 2017 (336): 2-5.
- [28] 農海邊健二, 井上雅文, 山田興一, 等. 木質バイオマスのエネルギー利用拡大に向けた技術評価—コストモデルの構築と技術シナリ

- オの策定一. 日本エネルギー学会誌, 2018, 97(10): 284–299.
- [29] 木内崇文. 自己熱再生技術を用いたバイオエタノール蒸留の省エネルギー化. エレクトロヒート, 2016, 37(3): 31–35.
- [30] Hasegawa F, Saga K, Kaizu Y, et al. Compression-grinding treatment of wet rice straw for bioethanol production. *Journal of the Japan Institute of Energy*, 2015, 94(3): 321–326.
- [31] 木内崇文, 古賀史, 荻荷葉月, 等. セルロース系バイオエタノール製造技術の開発: 高収量バイオエタノール製造技術の実証試験成果 (鉄鋼業を支える環境技術特集). 日本製鉄技報, 2021(417): 70–76.
- [32] 健徳, 山岸賢治, 正和池. 地域バイオプロセス構築のための稲わら糖化・発酵技術開発. *International Journal of Food Properties*, 2019, 9(2): 113–120.
- [33] Fumiaki, Takaka, Jota, et al. Suppression of CH₄ emission by rice straw removal and application of bio-ethanol production residue in a paddy field in Akita, Japan. *Agriculture*, 2017, 7(3): 21–21.
- [34] 马君, 马兴元, 刘琪. 生物质能源的利用与研究进展. 安徽农业科学, 2012, 40(4): 202–206.
- [35] 匂坂正幸. バイオマス利活用と社会的安全性. 安全工学, 2014, 53(6): 455–459.
- [36] 久保山裕史, 古俣寛隆, 柳田高志. 未利用木質バイオマスを用いた熱電併給事業の成立条件. 日本森林学会誌, 2017, 99(6): 226–232.
- [37] Ayoub N, Yuji N. Governmental intervention approaches to promote renewable energies—Special emphasis on Japanese feed-in tariff. *Energy Policy*, 2012, 43: 191–201.
- [38] Sone N, Yamagishi Y, Kurihara M, et al. Research on the feasibility of gasification power generation from woody biomass in urban parks. *Landscape Research Japan Online*, 2014, 77(5): 693–696.
- [39] 古俣寛隆, 石川佳生, 本藤佑樹. 木質バイオマス発電および熱電併給のライフサイクル环境影响と外部コストの評価. 日本 LCA 学会誌, 2017, 13(1): 73–83.
- [40] 竹内敬治. エネルギーハーベスティングの最新動向. 表面技術, 2016, 67(7): 334–338.
- [41] Nakano S, Arai S, Washizu A. Economic impacts of Japan's renewable energy sector and the feed-in tariff system: Using an input-output table to analyze a next-generation energy system. *Environmental Economics & Policy Studies*, 2017, 19(3): 555–580.
- [42] 加藤仁, 竹倉憲. 稲わら収集のダイナミクスモデル. 農業機械学会誌, 2012, 74(5): 338–342.
- [43] 薬日高靖之, 野田崇啓, 横江未央, 等. 自脱コンバインと汎用型飼料収穫機を利用した稲わら収集体系. 農業機械学会誌, 2012, 74(5): 343–347.
- [44] 大谷隆二. 汎用コンバインを活用した稲わらの迅速乾燥・収集体系. 農業機械学会誌, 2012, 74(5): 348–352.
- [45] 山口农林庁畜牧部. 耕種農家之連携稲草確保. <http://yamaguchi.lin.gr.jp/jyo2000/6jho5-03.htm#tree>.
- [46] Ishii, K, Furuichi T, Fujiyama A, et al. Logistics cost analysis of rice straw pellets for feasible production capacity and spatial scale in heat utilization systems: A case study in Nanporo town, Hokkaido, Japan. *Biomass & Bioenergy*, 2016, 94(11): 155–166.

LESSONS FROM JAPAN'S COMPREHENSIVE UTILIZATION OF CROP STRAW *

Xie Jie¹, Shao Jingmiao¹, Sun Ning¹, Wang Hongyan², Wang Yajing¹,
Bi Yuyun¹, Gao Chunyu^{1※}

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2. Agricultural Information Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract In the context of carbon peak and carbon neutrality, the research aims to promote the comprehensive utilization of straw as an essential element to reduce agricultural greenhouse gas emissions. Globally, the comprehensive utilization of straw in Japan is progressively in the lead and its successful experience has important reference significance for straw utilization in China. Based on the methods of literature analysis and induction, this article summarized the experience of the technical model, policies and regulations of the comprehensive utilization of straw from the five dimensions of straw returning to the field, straw for feed, straw ethanol, straw power generation, including the straw collection, storage and transportation system. The results showed that Japan established a comprehensive straw utilization system in returning straw to the field, supplemented by off-field feed

and energy utilization. And it promoted efficient straw return technology and established a complete straw collection, storage and transportation system. Through continuous research, Japan developed innovative technologies such as straw feed, straw ethanol, and straw power generation. In addition, Japan formulated a series of comprehensive straw utilization policies and regulations, and developed the comprehensive utilization of straw into a typical industry with strategic value. In conclude, we recommend the need for China to focus on four main aspects to improve the comprehensive utilization of straw in the future: Firstly, improving the straw collection, storage and transportation system. Secondly, improving the technical level of comprehensive utilization of straw. Thirdly, improving the straw utilization policy system, and finally improving the legal system of straw utilization.

Keywords crop straw; Japan; straw utilization; policy; experience for reference

·资讯·

建立健全农村职业教育培训体系

2020年教育部等九部门联合印发的《职业教育提质培优行动计划(2020—2023年)》中明确指出,我国职业教育应加快体系建设,着力把正在推进的改革任务落实、落地,向“大有作为”的实践阶段迈进。农村职业教育是支撑乡村振兴战略全面铺开的重要力量,其功能定向应精准对接乡村振兴各领域、各要素需求,尽快建立健全符合乡村建设要求的人才培养体系,以充分发挥农村职业教育对乡村经济社会发展的支撑作用。

建设“全链条”人才培养体系,顺应新时代农业农村现代化的需求。农村职业教育未扎根乡村特殊性、教学内容陈旧、教学实践与现实脱节等现实困顿极大地制约了农村职业教育的功能发挥。农村职业教育应及时进行内部改革,瞄准乡村振兴所需的技术人才、生产经营人才、公共服务人才、基层治理人才应达到的综合素养,革新课程设计和课程内容,创新教学设计和教学模式,构建服务乡村产业、生态、文化、人才、组织振兴的“全链条”人才培养体系。以云南省红河哈尼族彝族自治州绿春县深入推进农村职业教育改革为例,近年来该县直面乡村产业亟须转型升级、人才培养与社会发展需要严重脱节缺乏等困境,深化职业教育改革、激发农村职业教育内生动力,着力用好、用足现有政策及资源,引进知名职业教育集团,将职教改革部署转化为具体措施和行动,构建起全链条人才培养体系。绿春县积极整合当地农村职业学校专业资源,构建起与当地经

济结构调整相契合,包括园艺技术、农产品物流管理、智慧农业、现代服务等在内的专业群,实现了对工程人才、管理人才和治理人才的贯通培养,满足了当地一二三产业融合发展的新需求。同时,绿春县还依托上海市长宁区帮扶优势,孵化了电子电工、计算机应用等特色骨干专业群,解决了当地人才总量不足、人才培养契合度低等问题,提升了当地职业教育在农业农村现代化进程中的适应性。

创建“科教创”一体化服务体系,实现社会效益和经济效益的有机统一。消除广大农村地区对现代农业技术的“恐惧”,提升农业生产者对农业机械、新兴业态的适应能力离不开政府的财政投入与政策支持,更离不开科研、教育、创业指导等组成的一体化融合服务体系的支撑。农村职业教育应主动承担满足乡村社会发展需求的重任,引进先进农业现代化设备,依托教研资源和专业群建设搭建育种基地、创业平台,为农民提供生产教学、关键技术及管理经验推广、就业创业指导服务,实现由“说明书式”的教学到“手把手式”传授的过渡,从而通过创建“科教创”一体化服务体系提高农业职业教育的供给能力和人才培养与乡村建设的契合度。以苏州农业技术学院构建的“科教创”一体化服务体系为例,该院紧跟职业教育大改革大发展方向,自主转职能、提效能,坚持教学、科研和生产相结合,通过构建

(下转第137页)