

申屠留芳,刘 涵,吴 旋,等. 秸秆机械化还田技术及装备研究现状与展望[J]. 江苏农业科学,2022,50(15):1-6.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.15.001

秸秆机械化还田技术及装备研究现状与展望

申屠留芳¹, 刘 涵¹, 吴 旋¹, 孙星钊²

(1. 江苏海洋大学,江苏连云港 222005; 2. 连云港市元天农机研究所,江苏连云港 222000)

摘要:秸秆机械化还田对于提高秸秆还田质量、减轻劳动强度、提高土壤肥力有重要作用,对环境保护与农业可持续发展,尤其是对于我国实现“2030 年碳达峰,2060 年碳中和”的目标具有重要意义。但目前我国的秸秆机械化还田主要为秸秆粉碎还田和整秆还田,还田方式缺乏、形式单一、结构落后,缺乏基础研究与学科交叉,导致秸秆还田机械装备发展速度缓慢。本文对现有秸秆机械化还田技术与装备的应用现状进行分析,对不同机械化还田方式的特点与相关技术配套机具进行了阐述与比较,提出了秸秆焚烧快速还田,加强农机、农艺之间的结合,深入研究现有机型关键部件,利用旋风除尘装置解决秸秆炭化还田带来的污染问题的理念。同时对秸秆机械化还田技术与装备的发展趋势进行了展望,以期丰富秸秆机械化还田理论基础,为我国秸秆机械化还田技术创新和设备研发提供一定的参考和借鉴。

关键词:秸秆机械化还田;秸秆处理技术;秸秆还田机械现状;发展趋势

中图分类号: S233.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)15-0001-05

秸秆,古称藁,又称禾秆草,指水稻、小麦、玉米等农作物收获后遗留在田间的茎、叶等副产物,是农业生产中重要的可再生资源^[1]。我国是农业大国,2019 年我国农作物秸秆产量达 10.4 亿 t,可收集量约 9 亿 t,占全球秸秆资源总额的 25% ~ 30%^[2]。诸多研究表明,秸秆中含有丰富的有机质、氮、磷、钾及各种微量元素^[3],碳、氮、磷、钾的平均含量为 400、3、1、4.5 kg/t。秸秆还田可将作物吸收的大部分营养元素归还土壤,改善土壤土质,提高生态效益^[4],同时还能避免秸秆焚烧带来的环境污染问题,尤其是我国在农业碳达峰、碳中和进程中,通过绿色农机化生产和综合利用技术模式的应用,可以有效兼顾农业减排和粮食安全^[5]。此外,秸秆还田减少了化肥的使用从而降低了农民的种田成本^[6]。综上,秸秆还田对促进我国现代农业的可持续发展具有重大意义^[7]。

由于秸秆还田劳动强度大、时间短,为了保证还田质量、提高还田效率,现在普遍采用机械化还田,在机械化设备的广泛应用下,能够有效地提升秸秆的利用效率,实现综合利用的目标^[8]。本文拟

对秸秆还田技术及对应还田设备现状进行综述,并对其发展前景进行初探,以期为我国秸秆机械化还田技术的发展提供参考。

1 田间秸秆利用现状

1.1 国外田间秸秆的利用现状

秸秆还田作为保护性耕作技术重要的一部分,在世界上许多国家得到了重视和研究。经过几十年的发展,发达国家形成了秸秆-厩肥-化肥的“三合制”施肥制度。美国自 20 世纪 80 年代开始大力推广秸秆还田技术的应用,他们将水稻、小麦、高粱等农作物秸秆进行氨化处理,试验结果表明,氨化秸秆饲料的蛋白质含量提高了 30%,消化率达到 50%^[9]。秸秆沼气工程在西欧国家十分常见,该模式的主要特点在于:将秸秆与动物粪便混合沤制沼气并以其为纽带提供能源,再将沼渣还田使用。德国是沼气发展水平最为先进的国家,其沼气发电量占每年发电总量的 3.4%^[10]。瑞典、奥地利的模式与德国相似并且他们拥有足够的农田对沼液和沼渣进行消化^[11]。

1.2 国内田间秸秆的利用现状

目前,我国秸秆田间利用以秸秆机械化还田为主,形成了“秸秆还田+旋耕”“秸秆粉碎+根茬破茬机”“联合收获机+切碎还田装置”等多种模式,播种联合作业机是目前还田作业的热点。秸秆除

收稿日期:2021-08-31

基金项目:连云港高新区科技项目(编号:HZ201904)。

作者简介:申屠留芳(1965—),浙江东阳人,博士,教授,主要从事农产品结构设计与农业装备设计与制造研究。E-mail:747256317@qq.com。

直接还田外还可充当肥料^[12],可以与化肥联合使用以增加土壤肥力,刘勤等研究表明,对于乌栅土和红壤性水稻土,与单一施加化肥相比,在秸秆与化肥的联合作用下,土壤的腐殖酸 C、胡敏酸 C 与富里酸 C 的比例明显提高,土壤的有机质得以改善^[13]。但现阶段仍存在部分直接焚烧还田的情况,众多学者对秸秆焚烧对土壤的影响进行了研究,王爱玲研究了秸秆焚烧还田与秸秆覆盖还田的生态效应,对比直接还田,秸秆焚烧后土壤水分蒸发快,土壤含水量降低且对环境污染大,但焚烧还田的除草效果好,可使部分病虫害减轻^[14]。秸秆还可作为畜牧饲料,例如玉米秸秆经过热喷处理后,制作的饲料质地柔软、味道芳香,营养价值和利用价值高。

2 我国秸秆机械化还田的技术模式

秸秆机械化还田是最直接、最有效的还田模式,在我国农业生产中应用时间较长,经验的积累和技术的改进使得不同地区形成了能适应当地农业发展需求的技术模式和工艺方法,机械化还田具有优化土壤结构、改善土壤肥力、实现抗旱保墒的技术优势。我国目前农业生产中秸秆机械化还田的技术模式与配套机具呈现多样化,但主要技术手段以秸秆粉碎还田、根茬粉碎还田与整秆还田为主。

2.1 秸秆粉碎机械化还田

秸秆粉碎机械化还田技术通过机械粉碎装置将作物的茎秆、茎叶粉碎将其抛撒覆盖于地表,还田机通过旋耕装置将其翻压并归还土壤。研究表明,该技术作业质量好、秸秆处理量大,秸秆全量直接还田能够提高土壤肥力,并且能改善农田生态环境^[15],但还田量过大或还田作业不均匀易造成土壤微生物(秸秆转化的微生物)与作物幼苗争夺养分的情况,这导致了土壤病原菌数量的增加,打破了土壤生态系统的平衡状态^[16],目前秸秆粉碎后直接翻压还田的弊端已经较为突出,例如还田后的小麦根部病虫害及赤霉病害时有发生^[17],这严重影响未来作物的产量及质量。庄秋雨等研究表明,将药物处理剂与肥料掺杂使用,能降低害虫对甘薯的危害程度,且对肥料的肥效影响不大^[18]。

2.2 根茬粉碎机械化还田

根茬粉碎机械化还田是为了加快秸秆腐烂速度,利用根茬粉碎机将站立在垄上的根茬(地上及地下 10 cm 内部分)直接粉碎并均匀混拌在耕层中,一次完成灭茬、碎土作业,该技术主要适用于

轮作制度地区的玉米、高粱、大豆等粗茎作物,可有效避免人工处理根茬费时、费工、费力的情况,具有作业质量好、改良土壤和减少土肥流失的优点^[19]。

2.3 整秆机械化还田

秸秆整秆机械化还田是一种通过机械作业,将摘穗后直立于田间的秸秆沿机具作业方向翻埋或倒秆覆盖的还田模式,随着时间的推移,秸秆逐渐腐烂并且可改善土壤的理化性质,加快土壤的生物质循环^[20],该模式的优点是减少土壤受到风、水等自然侵蚀,加深了耕层深度,起到保水保墒的作用^[21]。但在实际生产中,该还田方式操作难度大,对机具的马力、工作性能要求高,严重影响下茬作物的机械化播种,整秆还田同样容易造成病虫害,赵子俊等研究表明,玉米螟在秸秆覆盖下老熟幼虫安全过冬率达 93.8%^[22]。

3 秸秆机械化还田的配套机具

3.1 整株秸秆还田机

整株秸秆还田机是一次性将秸秆梳压并耕翻从而将秸秆埋入沟底的还田机械,该类型机械可以省去秸秆粉碎、灭茬等作业工序,可有效减少作业次数,提高作业质量。图 1 为水稻秸秆整株还田机,该机器由主轴带动高速旋转的切草刀将秸秆割断,并由埋草弯刀从正斜面切开土块,切出沟底将秸秆向外推移,最终完成还田工作^[23],该机具操作简单、劳动强度小,但埋草弯刀设置过紧密,与切草刀配合不当会造成部分秸秆无法整体切除的情况。图 2 是国外架杆压倒田间覆盖机,该机器可实现大规模、高效率作业,但整秆翻埋还田主要使用的工具是铧式犁,长期使用会导致作业后的土壤形成犁底层,不利于作物的生长。

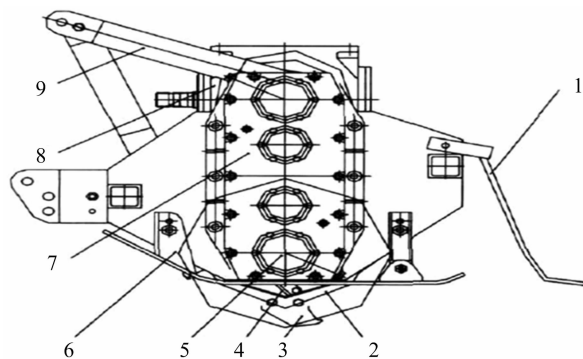


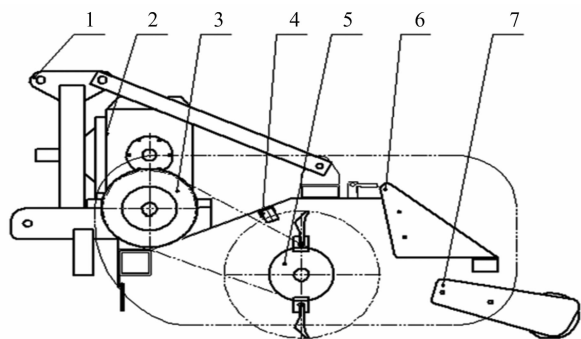
图1 水稻秸秆整株还田机



图2 架杆压倒田间覆盖机

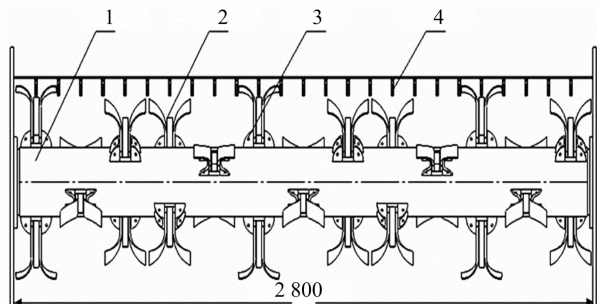
3.2 秸秆粉碎还田机

秸秆粉碎还田机是通过动刀、定刀切碎秸秆,通过动刀架的高速旋转使被连续喂入机壳的秸秆不断被切碎并将其抛撒覆盖于地表并耕翻后埋入土壤的还田机械。图3、图4是黑龙江农业工程科学研究院徐峰等研制的1JH-280型秸秆粉碎还田机^[24],该机器可将收获后的玉米秸秆粉碎并均匀地抛撒在地面上,秸秆粉碎长度至8 cm以下且不影响来年春季的免耕播种作业要求,但对于其采用正旋刀具会造成已耕土壤重耕,壅土明显、铲草严重、能耗大等问题还有待解决。



1—机架总成; 2—变速箱; 3—皮带传动组合; 4—定刀组件;
5—粉碎刀轴; 6—尾板; 7—限深辊组合

图3 1JH-280 型秸秆粉碎机总体机构示意



1—刀轴; 2—Y型甩刀; 3—刀座; 4—定刀组合

图4 1JH-280 型秸秆粉碎机动力传送示意

3.3 秸秆还田联合作业机

目前,秸秆还田作业正朝着联合作业机械方面

发展,联合作业机作业功能多样,可同时完成深耕、旋耕、施肥等作业,一机多用,作业效率高^[25]。针对南方多熟制稻作区难以用人畜力及常规机械埋覆还田的实际情况,华中农业大学张国忠研制了一种船式旋耕埋草机^[26](图5),该机器不影响原配机具的使用,广泛适用于割茬高度为0~700 mm的水稻、油菜、小麦等深、浅泥脚水田的埋草与耕整作业,一次完成压秆、旋耕、埋秆、碎土、平地等多道联合作业工序,秸秆覆盖率达94.6%;但翻埋于土壤中的粉碎秸秆分布不均匀,压实后易形成块状板结,不利于作物的播种。由约翰迪尔公司生产的搭载秸秆还田机的8320RT(图6),在实现收割、还田联合作业的基础上还能够双向驾驶,实现了操作的简易性、快捷性,但该机具体积大,单次作业面积广,作业成本高,不适应一般农户的需求。

4 我国秸秆机械化还田存在的问题

4.1 机具进行秸秆粉碎作业质量差

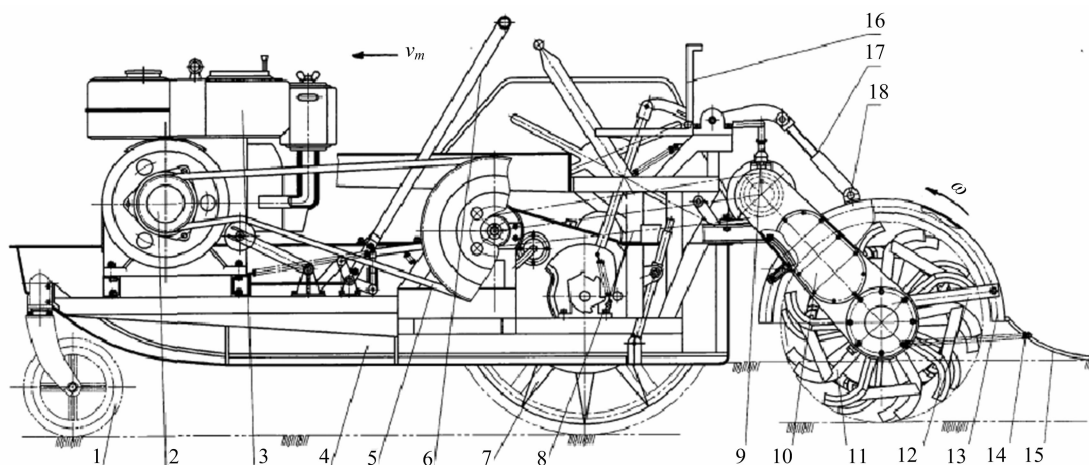
我国是世界秸秆产量大国,当前的秸秆还田机械化技术虽然基本普及,但仍然面临着还田不彻底、粉碎效果差、深耕不到位的问题,秸秆还田窗口期短,未及时还田处理的秸秆腐烂后易转移到附近水体,对其造成污染,作物收获后秸秆经过机械切碎抛撒后多成条带状分布,对下茬的田间管理带来不便^[27],例如高性能半喂入式联合收获机的切碎装置在秸秆切碎后不能全幅抛撒,仍然存在还田后一半幅秸秆量偏大、另一半偏小的问题^[28]。秸秆还田后的不完全深耕作业导致土壤紧实度提高,抑制了种子的呼吸作用,降低了土壤水分利用率,最终造成农作物减产。

4.2 缺乏基础研究与学科交叉

农作物秸秆机械化还田及综合利用是一项专业性较强的工作,但目前地方农业部门对秸秆机械化还田研究不够透明、彻底,没有形成先进的科学技术与研究成果^[29],秸秆利用方式粗放、利用效率低下,甚至部分农村地区还存在秸秆焚烧现象,这对秸秆资源造成了极大的浪费,同时也对土质造成了破坏,不符合国家秸秆还田的要求,对人的健康发展和人身安全埋下了隐患。

4.3 秸秆还田机具繁杂导致与农艺要求不配套

目前所拥有的秸秆还田机的开发种类与数量众多,但基本上仅限于机具结构上的改进,能够根本上改变机械的作业原理^[30],实质上大幅度提升作



1—导向轮；2—动力输出轴；3—柴油机；4—船体；5—带传动装置；6—操纵装置；7—行走装置；8—第一级传动装置；9—离合器；10—第二级传动装置；11—旋耕埋草刀辊；12—撑杆；13—罩壳；14—加压弹簧；15—托板；16—提升装置；17—悬挂装置；18—悬挂座

图5 船式旋耕埋草机总体结构



图6 约翰迪尔 8320RT

业性能的机具较少。各地区由于地理位置与气候条件不同,垄宽、垄高均有所差异,这导致还田机具与农艺要求脱节,同时联合机组的配套动力大,一次性投入成本高,这在一定程度上制约着农业还田机械的发展。

5 我国秸秆机械化还田存在问题的解决对策

5.1 发展基于循环农业的秸秆综合利用模式

加强秸秆类生物质资源化技术的发展,利用秸秆类生物质制备燃料乙醇一直是世界各国研究的热点,有关部门应加强对基础性的研究,实现秸秆制备乙醇的大规模、工业化生产。加强不同变量下秸秆炭化对土壤物理性质、化学性质、微生物种群的影响,董水丽等研究了秸秆焚烧对土壤养分及水分的影响^[31],相较于普通还田,秸秆就地焚烧使 0~20 cm 土层土壤有机质、全氮、碱解氮含量降低 16.9%、11.1%、6.6%,土壤含水量降低 4.8%,但 Verma 发现,高强度的火烧使土壤容重增加,中低强度的焚烧则无显著影响^[32],针对此可设计出秸秆焚

烧还田机,在机具设计冷却与除尘装置,相较于传统还田方式,在短暂的秸秆处理窗口期内快速处理秸秆,既可以增加土壤的有机成分,又保证了环境免受污染。

5.2 发展基于减碳、循环创新理念的秸秆利用模式

在碳达峰、碳中和以及乡村振兴的双重背景下,农业农村减排尚存在巨大缺口和空间,成熟的秸秆资源化利用技术仍未得到广泛推广。对此,可针对现有秸秆机械化还田技术及后续的秸秆利用进行有效创新,加强低碳绿色农机装备的研发力度,减少秸秆机械化还田过程中二次碳排放问题,构建“秸秆—基料—食用菌”“秸秆—成型—燃烧—农户”“秸秆—青贮饲料—养殖业”等产业模式^[33],实现农民生活与农业生产之间的有机循环,最后通过购机补贴、金融支持等农机化政策,提高对低碳绿色农机装备技术的支持力度,探索农业碳交易政策,实现碳达峰、碳中和下秸秆绿色利用模式。

5.3 秸秆还田机与农艺相结合

农艺、生物工程技术与农用机械相结合是农用机械化的必由之路^[34],在采用秸秆机械化还田的同时,实施配套的农艺栽培措施(覆盖栽培、抛秧、免耕直播等),同时研发相应的生物制剂加速秸秆的腐解,国家也可针对现有大农场秸秆还田制定农艺路线,生产厂家据此设计配套机具,再针对实际还田作业中存在的问题,依此进行优化、二次设计,实现机具与农艺的合理匹配。

5.4 加强对秸秆切碎装置关键部件的研究

秸秆切碎装置是保证秸秆粉碎抛撒作业的关键

键机构,其中刀片是粉碎机构中的关键部件,针对老式的 L 型刀片,贾洪雷等设计的 V-L 型刀片^[35],在作业效果及稳定性方面均有大幅提升;针对秸秆粉碎后抛撒不均匀,王庆杰等进行了创新设计,以地表为支撑面,采用曲柄连杆往复运动原理对秸秆进行切割处理^[36],相较于原始的甩刀式切碎,该方法使秸秆粉碎后不漏粉、抛撒均匀,为后续的免耕播种提供了良好的作业环境。

6 秸秆机械化还田的发展趋势及展望

秸秆机械化还田已经被农业农村部作为一项农机化技术大力推广,对我国农业的发展具有重要意义,目前秸秆机械化还田正在朝着以下几个方向发展。第一,秸秆机械化还田联合作业。联合收割机使作业成本下降,适宜于大范围耕作,符合向大面积、农场式耕作模式转变。第二,秸秆还田较强的适应性。未来机具的仿形能力、防堵装置更加适应山区、丘陵等不同地形的作业,还田机具的性能可满足不同作业深度、作物类型、不同秸秆还田量的需求,机具综合性能大大提高。第三,秸秆机械还田作业智能化。如今电液控制技术与传感器测量技术已经广泛应用于农机控制系统的设计工作中,可基于现有北斗卫星导航技术研发秸秆机械化还田作业精准管理系统,未来秸秆还田必然向轨迹监控、灵活调度、分类统计分析趋势迈进,精准化的管理也会提高秸秆机械化还田的作业效率。第四,加大对秸秆热解机械炭化技术的研究。通过热解技术将秸秆内丰富的养分和能源资源以及有机碳加以分离进行分别利用,有机碳和养分重回农田补充土壤养分库,能源资源供机具利用,同时设计增湿、增重-粗除尘-细除尘的烟气除尘组合工艺,在秸秆机械炭化还田的同时减少对环境的污染,践行以节约资源、保护环境、提升地力为主要目标的秸秆机械化还田新技术、新措施,必能实现我们藏粮于地的目标。

参考文献:

- [1]姚春竹. 秸秆还田机械化技术研究现状与展望[J]. 南方农机, 2019,50(2):27.
- [2]候其东,鞠美庭. 秸秆类生物质资源化技术研究前沿和发展趋势[J]. 环境保护,2020,48(18):65-70.
- [3]杨丽,刘文,兰韬,等. 我国秸秆还田技术与标准的现状研究[J]. 中国农业信息,2017(21):12-17.
- [4]郑侃,陈婉芝,杨宏伟,等. 秸秆还田机械化技术研究现状与展望[J]. 江苏农业科学,2016,44(9):9-13.
- [5]刘天,云菲,蒋伟峰,等. 农田施用生物炭的固碳减排效应及其影响因素综述[J]. 江苏农业科学,2021,49(18):7-13.
- [6]万毅林. 稻-菜轮作条件下秸秆还田与化肥减量配施对作物产量及土壤性质的影响[D]. 重庆:西南大学,2015:1-3.
- [7]王立刚,李虎,邱建军,等. 田间管理措施对土壤有机碳含量影响的模拟研究[J]. 中国土壤与肥料,2010(6):29-37.
- [8]杨帆. 农作物秸秆机械化综合利用技术[J]. 农机使用与维修,2021(6):139-140.
- [9]Zorrilla-Rios J, Owens F N, Horn G W, et al. Effect of ammoniation of wheat straw on performance and digestion kinetics in cattle[J]. Journal of Animal Science, 1985,60(3):814-821.
- [10]孙家宾,尹显智. 德国可再生能源政策与沼气工程简介[J]. 四川环境,2014,33(3):171-174.
- [11]Lantz M, Svensson M, Björnsson L, et al. The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden - Incentives, barriers and potentials[J]. Energy Policy, 2007,35(3):1830-1843.
- [12]王广然. 秸秆还田技术的应用与发展[J]. 农机使用与维修, 2019(11):112.
- [13]孙星,刘勤,王德建,等. 长期秸秆还田对土壤肥力质量的影响[J]. 土壤,2007,39(5):782-786.
- [14]王爱玲,高旺盛,洪春梅. 华北灌溉区秸秆焚烧与直接还田生态效应研究[J]. 中国生态农业学报,2003,11(1):142-144.
- [15]洪春来,魏幼璋,黄锦法,等. 秸秆全量直接还田对土壤肥力及农田生态环境的影响研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2003,29(6):627-633.
- [16]司剑林,孔黎明. 玉米秸秆还田后茬小麦苗期发黄的原因及防治措施[J]. 现代农业科技,2009(19):83.
- [17]张承胤. 玉米秸秆还田对小麦根部病害的化感作用研究[D]. 保定:河北农业大学,2007:4-5.
- [18]庄秋丽,王生军,黄玉波,等. 药物掺混肥对甘薯和花生产量及虫蛀率的影响[J]. 河南农业科学,2012,41(2):105-107.
- [19]蒙瑞祥. 我国机械化秸秆还田技术发展现状及趋势[J]. 乡村科技,2021,12(8):121-122.
- [20]李芙蓉. 滨海滩涂盐渍土覆盖阻盐控盐 and 土壤质量提升技术模式研究[D]. 马鞍山:安徽工业大学,2013:10-14.
- [21]魏项森. 概述传统机械化旱地耕作与保护性耕作[J]. 拖拉机与农用运输车,2002,29(5):12-13.
- [22]赵子俊,林忠敏,牛荣山. 旱地玉米免耕秸秆覆盖条件下病虫害发生特点及防治技术研究[J]. 山西农业科学,1994,22(3):37-40.
- [23]李琳,李明灏. 船式旋耕埋草机:CN304767945S[P]. 2018-08-10.
- [24]徐峰,安龙哲,孙毅,等. 1JH-280 型秸秆粉碎还田机的研究[J]. 农机使用与维修,2020(11):12-14.
- [25]宋健鹏. 大垄双行秸秆深埋还田机的设计与参数优化[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2018:10-13.
- [26]张国忠,许绮川,夏俊芳,等. 1GMC-70 型船式旋耕埋草机的设计[J]. 农业机械学报,2008,39(10):214-217.
- [27]庄秋丽,黄玉波,姜秀芳,等. 农作物秸秆还田及其有效还田方式的研究进展[J]. 中国农学通报,2019,35(22):38-41.

张洁雯,刘建国,蔡墩旭,等. Dof 转录因子在植物碳氮代谢中的调控作用综述[J]. 江苏农业科学,2022,50(15):6-13.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.15.002

Dof 转录因子在植物碳氮代谢中的调控作用综述

张洁雯^{1,2}, 刘建国², 蔡墩旭¹, 陈日远¹, 朱云娜², 宋世威¹

(1. 华南农业大学园艺学院, 广东广州 510642; 2. 韶关学院英东生物与农业学院, 广东韶关 512005)

摘要:碳、氮代谢是植物体内最重要的两大代谢,对作物生物量积累与品质形成具有重要作用。在生产中,多依赖增加施肥量来提高作物产量,导致环境污染与不可持续发展,因此迫切需要选育高氮素利用效率的作物品种。植物氮素利用效率的提高,不仅依靠提高植物对氮肥的吸收能力,还需要考虑协调碳、氮代谢之间的关系。作为协调靶基因整个应答网络表达的主要调节因子,转录因子能影响整个应答网络中所涉及的代谢物变化。DNA 结合单指蛋白(DNA binding with one finger,Dof)转录因子是植物中特有的转录因子,参与调控植物组织分化、种子萌发、物质代谢等生理生化过程。重点综述 Dof 转录因子在植物碳、氮代谢中的调控作用,在植物碳代谢中,Dof 转录因子主要参与光合作用途径中关键基因和光合代谢产物的调控;在氮代谢中,Dof 转录因子主要通过调控氮的吸收、转运和同化途径的关键基因促进氮同化,并通过协调碳氮代谢的平衡提高植物对氮素的利用效率,改善植物的品质和产量,这给利用 Dof 转录因子协调植物碳氮代谢关系、提高氮素利用效率和农艺性状的深入研究奠定了基础。

关键词:Dof 转录因子;碳代谢;氮代谢;氮素利用效率;调控作用

中图分类号:S184 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)15-0006-08

氮是植物生长发育所必需的大量元素之一,生产中存在施用量大、利用率不高、产品器官易积累硝酸盐、环境污染等问题,提高氮素利用率是农业

生产中提高产量亟待解决的重要问题^[1]。一般来说,提高植物氮素利用效率一方面可以通过改善栽培条件而达成,另一方面可以通过调节植物体内碳氮代谢基因表达网络的调控因子来实现^[2-3]。然而,一些研究表明,仅从氮吸收、代谢途径的某个基因着手提高氮素利用效率,对作物增产效果并不显著。蔡红梅超表达水稻硝酸根转运蛋白基因 *NRT*、铵离子转运蛋白基因 *AMT*、谷氨酰胺合成酶基因 *GS* 等氮吸收、代谢相关的基因,结果表明,转基因植株氮代谢途径相关基因水平明显提高,但产量无显著变化^[4]。包爱丽进一步研究发现,超表达水稻 *GS*、*AMT* 基因导致核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶基因 *RUBISCO*、磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶基因 *PEPC*、*GS* 等碳氮代谢关键基因表达模式发生明显

收稿日期:2021-12-20

基金项目:广东省自然科学基金(编号:2019A1515011680);广东省教育厅项目(编号:2019KTSX164);韶关市科技攻关项目(编号:200810224537535);韶关学院博士科研启动项目(编号:99000613);广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队项目(编号:2021KJ131)。

作者简介:张洁雯(1996—),女,广东茂名人,硕士研究生,研究方向为蔬菜栽培生理与分子生物学。E-mail: hnzyzjw@stu.scau.edu.cn。

通信作者:朱云娜,博士,讲师,主要从事蔬菜栽培生理与分子生物学研究,E-mail: zhuyn326@126.com;宋世威,博士,教授,主要从事设施园艺生理生态与分子生物学研究,E-mail: swsong@scau.edu.cn。

[28]何毅. 农作物秸秆还田机械化技术应用及发展趋势分析[J]. 农业开发与装备,2013(7):56-57.

[29]董晓芳. 农作物秸秆综合利用的机械化技术探究[J]. 农业开发与装备,2018(1):138,140.

[30]戴飞,韩正晟,张克平,等. 我国机械化秸秆还田联合作业机的现状与发展[J]. 中国农机化,2011,32(6):42-45,37.

[31]董水利,王海仓. 焚烧秸秆对土壤养分及水分的影响[J]. 陕西农业科学,2011,57(3):90-92.

[32]Verma S, Jayakumar S. Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: a review[J]. Proceedings of the

International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 2012,2(3):168.

[33]李云燕,崔涵,朱启臻. 从碳达峰碳中和目标愿景看乡村环境治理的困境与出路[J]. 行政管理改革,2021(8):32-38.

[34]杜长征. 我国秸秆还田机械化的发展现状与思考[J]. 农机化研究,2009,31(7):234-236.

[35]贾洪雷,姜鑫铭,郭明卓,等. V-L 型秸秆粉碎还田刀片设计与试验[J]. 农业工程学报,2015,31(1):28-33.

[36]王庆杰,刘正道,何进,等. 砍切式玉米秸秆还田机的设计与试验[J]. 农业工程学报,2018,34(2):10-17.