



赵雪涵,王麒,曾宪楠,等. 秸秆还田下灌溉方式对水稻生长发育的影响研究现状及展望[J]. 黑龙江农业科学, 2019(11):137-141.

秸秆还田下灌溉方式对水稻生长发育的影响研究现状及展望

赵雪涵¹,王麒²,曾宪楠²,宋秋来²,孙健¹

(1. 东北农业大学,黑龙江 哈尔滨 150030;2. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:本文在国内外大量研究成果的基础上,概述了秸秆还田、灌溉方式及二者结合的条件下对水稻生长发育、产量、品质等方面的影响研究现状,分析存在的问题,并提出相应的对策,展望了秸秆还田下灌溉方式对水稻生长发育影响未来的研究方向和趋势,为今后的相关研究提供理论依据。

关键词:秸秆还田;灌溉方式;水稻

水稻(*Oryza sativa* L.)是世界主要粮食作物之一,其中90%的水稻种植分布于亚洲^[1],同时也是我国主要粮食作物之一,超过65%的人口以稻米为主食,其总产约占粮食作物总产的40%,稻米消费需求量大^[2]。据统计,我国水稻秸秆每年产生量约为2亿t,且有逐年增加趋势,水稻秸秆中富含碳、氮、磷、钾及多种微量元素,是农业生产中重要的营养源^[3]。水稻秸秆还田具有增加土壤养分、改善土壤物理性状、减少土壤流失、提高产量等诸多积极效应^[4]。当前众多科研工作者在水稻秸秆还田对秸秆腐解规律^[5-6]、土壤养分吸收与积累^[7-8]、土壤理化性状^[9-10]、水稻生长发育与产量及品质^[11]、温室气体排放^[12-13]等方面进行了大量研究,对探索秸秆还田效应,提高水稻秸秆的利用率做出了相应的贡献。与此同时,水稻是高耗水作物,生产过程中需水量大,其用水量占农业用水总量的65%以上^[14],而传统的灌溉方式水资源浪费巨大,利用率低^[15]。近年来为在一定程度上缓解农业用水紧张,国内外学者在灌溉方式对水稻生长发育的影响方面进行了大量研究,如“浅、湿、晒”灌溉技术^[16-18]、间歇灌溉技术^[19]、控制灌溉技术^[20]等,对水稻生产的可持续发展起到了积极作用。

为此,本文通过对近年来秸秆还田下灌溉方式对水稻生长发育的影响进行简要概述,分析存在的问题,并提出相应的对策,以期对水稻秸秆还

田下水分管理提供理论参考,促进水稻生产的可持续发展。

1 水稻秸秆还田对水稻的影响

1.1 在水稻生长发育进程方面

秸秆还田对水稻生长发育前期起抑制作用,但能促进水稻中后期的生长发育^[21-24],如郝建华等^[25]研究发现,麦秸还田不利于拔节前水稻群体的发展,而有利于拔节期至抽穗期、抽穗期后水稻群体发展;徐国伟^[26]研究指出,秸秆还田与实地氮肥管理下水稻生长发育特性与秸秆未还田相比,秸秆还田降低了生育前期的分蘖数、叶面积指数(LAI)、叶绿素含量(SPAD)值和干物质积累,而抽穗及以后则差异不明显。究其原因,一是秸秆中C/N比值相对较高,秸秆初期腐解时,会大量争夺土壤中的氮素,导致水稻前期生长受到抑制^[27],二是秸秆还田后产生的有害物质对水稻根系生长产生危害,对水稻的生长发育起到了一定的抑制作用,随着秸秆还田量的增加,这种作用越强,到了中后期由于养分的释放,土壤氮素得到显著提升,水稻生长发育得到了促进^[28]。

1.2 在水稻产量及其构成因素方面

张洪熙等^[24]研究表明,小麦秸秆还田处理下水稻有效穗数有所减少,但是每穗粒数、结实率、千粒重却均有增加;徐国伟等^[29]发现,水稻直播条件下有效穗数随着麦秸还田量的增加而降低,结实率、千粒重表现为先增加后降低,秸秆还田量(7.5 t·hm⁻²)过大,则每穗粒数明显减少,从而导致产量降低;张磊等^[30]通过研究发现,秸秆翻压还田方式在增产效果上优于覆盖还田方式,粉碎还田方式增产效果优于整秆还田方式;殷世伟等^[31]研究发现,与秸秆表面还田相比,麦秸埋入土壤处理水稻有效穗数有所降低,每穗粒数、结实

收稿日期:2019-08-11

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0300106);黑龙江省水稻现代农业产业技术协同创新推广体系。

第一作者简介:赵雪涵(1994-),女,在读硕士,从事水稻栽培育种研究。E-mail:1244880874@qq.com。

通讯作者:孙健(1984-),男,博士,副教授,从事水稻遗传育种研究。E-mail:sunjian8416@163.com。

率与千粒重提高,产量增加;杨滨娟等^[32]发现,秸秆还田配施不同比例化肥可以提高植株干物质积累速率、群体生物量,合理改善土壤养分,保证较高的水稻增产潜力;王丹丹等^[33]在 1 年的砂壤土质下稻-麦轮作田间试验下发现,短期免耕与秸秆还田降低了土壤肥力并导致水稻显著减产;杨力等^[34]研究发现,与秸秆不还田相比,秸秆还田处理增加了穗粒数,提高了产量,增产幅度达到 3.0%~9.9%。综上可知,秸秆的还田量、还田方式、肥料运筹、还田时间等因素均会对水稻产量及其构成因素产生影响。

1.3 在稻米品质方面

李晓峰^[35]研究指出,秸秆全量还田显著增加稻米的蛋白质含量,降低垩白率、垩白大小和垩白度,同时还可增加稻米的长宽比,改善了稻米的营养品质和外观品质,食味值小幅度提升,有利于蒸煮食味品质的改善;徐国伟等^[36]研究表明,秸秆还田与实地氮肥管理有利于改善稻米的外观品质、营养品质和食味品质;刘世平等^[37]通过研究发现,水稻免耕套种与秸秆还田可提高稻米蛋白质含量,降低直链淀粉含量,使胶稠度变软,优化稻米品质,而水稻移栽秸秆还田条件下蛋白质含量提高,直链淀粉含量略增,胶稠度变硬,食味品质有变劣的趋势。

1.4 在稻田温室气体方面

CO₂、CH₄、N₂O 是重要的农业源温室气体^[38],对温室效应的贡献率近 80%^[39]。众多研究表明,秸秆还田能够促进稻田中甲烷大量释放,加重农田温室气体的排放和全球增温潜势(GWP)^[40-47]。李成芳等^[48]通过研究指出,随着秸秆还田量的增加,稻田土壤固碳减缓全球变暖的贡献相应增加,净 GWP 随之降低,而逯非等^[49]研究发现,随着秸秆还田的广泛推行,稻田增排甲烷的温室效应会大幅抵消土壤固碳的减排效益。在稻田中进行实际生产活动时,刘田等^[50]建议在稻谷收割后的排干期进行秸秆还田,使作物秸秆在好氧条件下被降解后再进行下一期的淹水处理、施加氮肥、水稻种植等,可在一定程度上平衡秸秆的有效利用和对温室效应的贡献。

2 灌溉方式对水稻的影响

水稻作为需水量最多的粮食作物,受水资源与灌溉条件的影响较明显^[51]。灌溉方式的改变对水稻的生长发育、产量以及稻米品质的形成均会产生一定的影响。

2.1 在水稻生长发育方面

林贤青等^[52]通过研究水稻好气灌溉条件下

的生理特性发现,通过适当降低灌溉量,充分利用雨水,能够促进根系和地上部器官生长,促使水稻分蘖早发,提高分蘖成穗率,改善株型结构,增加叶面积指数(LAI),提高单位面积生物量。徐芬芬等^[53]通过研究发现,与常规灌溉相比,间歇灌溉能够促进水稻低位分蘖萌发,抑制无效分蘖,促进地上部分光合产物积累和根系生长及光合产物运转。朱士江等^[54]研究指出,灌溉方式的改变并不会改变分蘖的基本规律,只影响分蘖增加或减少的幅度,最终影响分蘖成穗率。

2.2 在水稻产量及其构成因素方面

杨生龙等^[55]通过多年不同灌溉试验研究,发现适度节水对水稻产量影响不大,而过度节水则会导致严重减产。王成才等^[56]、王瑞等^[57]研究发现湿润灌溉能够实现水稻有效增产,而李轲等^[58]发现,淹水灌溉处理下水稻的产量和叶片水分利用效率都高于湿润灌溉。此外,干湿交替灌溉是目前水稻生产中应用最为广泛的节水灌溉技术,具有显著节水效果,已在亚洲主要水稻生产国推广应用^[59-61],其对水稻产量的影响,因土壤质地、土壤落干程度以及水稻生长季节温度和降雨量等因素不同而异,对产量的影响结果不完一致^[62-66]。控制灌溉是近年来发展起来的一项新的节水灌溉方式,其以不同生育期不同的根层土壤水分作为下限控制指标,确定灌水时间、灌水次数和灌水定额^[67]。有研究表明,控制灌溉水稻的理论测产比常规灌溉提高 4.6%,实收产量比常规灌溉提高 5%~10%^[68]。控制灌溉能有效地把水稻需水规律、高效利用水资源和促进粮食增产有机地结合起来,达到了较高的作物产量和用水效益^[69]。

2.3 在稻米品质方面

有研究表明湿润灌溉使稻米的糙米率、直链淀粉含量增加,胶稠度提高,粒长变长,粒宽变小,总体上稻米品质有所改善^[68];轻度干湿交替处理能够改善稻米加工品质,而重度干湿交替则会降低稻米品质^[70-72],而合理运筹氮肥与干湿交替灌溉有机结合起来有利于水稻产量提高和改善稻米品质^[73-74];控制灌溉比常规灌溉能够提高稻米的加工品质、营养品质^[67]。此外,邓定武等^[75]发现,长期湿润灌溉会使土壤沉降收缩,导致含水量长期偏低,对杂交水稻品质不利;吕银斐等^[76]研究表明,湿润灌溉能够增加稻米的垩白粒率和垩白度,恶化稻米的外观品质。

除上述对水稻生长发育、产量、及稻米品质影响以外,灌溉方式还对稻田温室气体的排放产生重要影响^[77],这是由于灌溉方式直接影响土壤含

水量,从而影响水稻的呼吸作用,直接对稻田温室气体产生与排放产生影响^[78]。目前控制灌溉对稻田温室气体减排上取得一定进展,其作用机理已初步探明:由于该技术能够适时调亏水分,抑制有害物质的产生,促进毒害物质分解,抑制土壤甲烷细菌的活性^[67],稻田甚至还可以成为吸收甲烷的汇^[79]。

3 秸秆还田下灌溉方式对水稻的影响

3.1 在水稻生长发育方面

节水灌溉与秸秆还田相结合在一定程度上能够促进水稻的生长发育,为高产打下基础,张武益等^[80]通过盆栽试验发现,干湿交替灌溉能够有效抵消秸秆还田带来的不利影响,促使水稻提前分蘖,利于水稻后期干物质的积累;王伟等^[81]在秸秆还田条件下发现,浅湿调控灌溉对控制水稻茎蘖量起积极作用,同时使水稻株高降低,易于合理群体结构的构建;赵宏亮等^[82]通过研究发现,秸秆还田条件下节水灌溉在一定程度上有利于水稻中前期分蘖数的提高,降低水稻成熟期植株高度,在秸秆全量还田的前提下,灌溉水量的适当减少对提升水稻中前期叶片和茎鞘干物质积累量起正面作用,而在水稻生长发育后期,适当的补充水分供给能够增加分蘖成穗率。

3.2 在水稻产量及品质方面

周龙艳^[83]研究表明,在秸秆全量还田条件下,干湿交替灌溉对水稻产量的影响显著高于常规灌溉。王伟等^[81]研究发现在秸秆还田地,当施氮量为 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,浅湿调控灌溉可以有效提高水稻产量。张武益等^[80]通过设置淹水翻耕、淹水覆盖、淹水无秸秆、干湿交替翻耕、干湿交替覆盖、干湿交替无秸秆 6 个处理的研究发现,干湿交替灌溉-覆盖还田条件下水稻产量最优。杨士红等^[84]研究表明,控制灌溉-秸秆还田互作管理,水稻增产 7.14% ,水分利用率提升 $1.34 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。赵宏亮等^[82]研究发现,在秸秆还田条件下,间歇灌溉和控制灌溉(水层保持 30 mm) 既能够提高水分利用率,又可在一定程度上保证水稻产量。在稻米品质方面,周龙艳等^[83]通过研究发现,干湿交替灌溉与秸秆还田相结合可显著改善稻米加工品质和外观品质,但对营养品质的影响并不明显。

在稻田温室气体排放方面,成臣等^[85]通过研究指出,与持续淹水灌溉相比,南方双季稻区,秸秆还田-间歇灌溉联合栽培方式可以减少温室气体的排放。江峰^[86]指出,在秸秆还田与前期增施氮肥的条件下,干湿交替灌溉的稻田温室气体排

放显著减少。

4 存在问题与展望

当前在水稻秸秆还田技术、不同灌溉方式对水稻的生长发育、产量及品质等方面进行了大量的研究,且所取得的研究结果也不尽一致,究其原因主要是由于所处地区、水稻品种自身特性、灌溉方式、秸秆还田方式及还田量等因素造成的,这些成果的取得对水稻的秸秆利用与水资源的高效利用起到了积极的促进作用。但同时存在着研究所用水稻品种较少,不能克服水稻自身特性对研究结果的影响,因此应在开展科学研究时适当增加水稻品种数量,使研究成果更具有普遍性、代表性;加强对秸秆还田和灌溉方式对稻田温室气体排放的研究,探明温室气体的排放规律,为我国减少温室气体排放、应对气候变化提供理论支撑;加强水稻秸秆还田技术、灌溉方式二者相结合的相关研究,探明秸秆还田与不同灌溉方式互作对水稻生长发育、产量及品质形成、温室气体排放的影响规律,寻求二者的最佳组合方式,尤其是在我国水稻秸秆年产生量逐渐增加以及气候变化下水资源日益紧缺的新背景下,在今后的工作中,应更进一步加强该方面的研究,以期为提高我国水稻秸秆综合利用率,高效利用有限的水资源,促进水稻的可持续发展提供技术与理论依据。

参考文献:

- [1] 朱德峰,程式华,张玉屏,等.全球水稻生产现状与制约因素分析[J].中国农业科学,2010,43(3):474-479.
- [2] 杨红旗,郝仰坤.中国水稻生产制约因素及发展对策[J].中国农学通报,2011,27(8):351-354.
- [3] 高静,朱捷,黄益国,等.农作物秸秆还田研究进展[J].作物研究,2019,33(6):597-602.
- [4] 孙妮娜,王晓燕,李洪文,等.东北稻区不同秸秆还田模式机具作业效果研究[J].农业机械学报,2018,49(S1):68-74,154.
- [5] 欧阳家风,刘峙嵘,邹翔.水稻秸秆在土壤-水体系统中的腐解性能[J].江苏农业学报,2018,34(3):546-551.
- [6] 侯召仿.还田水稻秸秆腐解规律及养分释放特性的研究[C]//中国农学会耕作制度分会.中国农学会耕作制度分会2018年度学术年会论文摘要集.中国农学会耕作制度分会:中国农学会耕作制度分会,2018.
- [7] 张慧芳.免耕与秸秆还田对水稻养分吸收及土壤磷素富集的影响[D].杭州:浙江大学,2018.
- [8] 范呈根.稻草不同还田方式对水稻产量、养分吸收特性和土壤肥力的影响[D].南昌:江西农业大学,2017.
- [9] 黄秀芬.秸秆还田对水稻产量和土壤理化性状的影响[J].南方农业,2016,10(6):252,254.
- [10] 金婷.稻麦秸秆全量还田对土壤性状和水稻产量的影响[D].扬州:扬州大学,2018.
- [11] 胡星.秸秆全量还田与有机无机肥配施对水稻产量形成的影响[D].扬州:扬州大学,2008.
- [12] 颜双双.秸秆还田对寒地稻田甲烷排放及产甲烷菌的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2016.
- [13] 马煜春,周伟,刘翠英,等.秸秆腐熟剂对秸秆还田稻田

- CH₄和N₂O排放的影响[J].生态与农村环境学报,2017,33(2):159-165.
- [14] 顾春梅,赵黎明.国内外寒地水稻节水灌溉技术研究进展[J].北方水稻,2012,42(4):70-72.
- [15] 郭长义.水稻灌溉节水途径的研究[J].黑龙江科技信息,2016(15):220.
- [16] 梁燕菲,张潇潇,李伏生.“薄浅湿晒”灌溉稻田土壤微生物量碳、氮和酶活性研究[J].植物营养与肥料学报,2013,19(6):1403-1410.
- [17] 周义成,田雨春,陈宝忠,等.水稻“浅、晒、浅湿”灌溉技术[J].内蒙古民族大学学报,2008(2):84-85.
- [18] 丁勇,陈志亮,朱存圣,等.水稻“浅晒深湿”灌溉技术增产节水效果及原因[J].安徽农学通报,2000(6):42-43.
- [19] 茆智.水稻节水灌溉及其对环境的影响[J].中国工程科学,2002(7):8-16.
- [20] 刘广明,杨劲松,姜艳,等.基于控制灌溉理论的水稻优化灌溉制度研究[J].农业工程学报,2005(5):29-33.
- [21] 隋阳辉,高继平,刘彩虹,等.东北冷凉地区秸秆还田方式对水稻光合、干物质积累及氮素吸收的影响[J].作物杂志,2018(5):137-143.
- [22] 裴鹏刚,张均华,朱练峰,等.秸秆还田耦合施氮水平对水稻光合特性、氮素吸收及产量形成的影响[J].中国水稻科学,2015,29(3):282-290.
- [23] 韩新忠,朱利群,杨敏芳,等.不同小麦秸秆还田量对水稻生长、土壤微生物生物量及酶活性的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(11):2192-2199.
- [24] 张洪熙,赵步洪,杜永林,等.小麦秸秆还田条件下轻简栽培水稻的生长特性[J].中国水稻科学,2008(6):603-609.
- [25] 郝建华,丁艳锋,王强盛,等.麦秸还田对水稻群体质量和土壤特性的影响[J].南京农业大学学报,2010,33(3):13-18.
- [26] 徐国伟.种植方式、秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量与品质的影响及其生理的研究[D].扬州:扬州大学,2007.
- [27] 梁继旺,吴良章.水稻秸秆还田对土壤性状和水稻产量的影响[J].农业与技术,2019,39(5):116-117.
- [28] 季陆鹰,葛胜,郭静,等.不同麦秸秆还田量对机插水稻生长发育和产量的影响[J].安徽农业科学,2013,41(5):1982-1984.
- [29] 徐国伟,翟志华,陈珂,等.不同秸秆还田量对直播水稻生长特性的影响[J].广东农业科学,2015,42(16):1-6.
- [30] 张磊,戴志刚,鲁明星,等.秸秆还田方式对水稻产量及养分吸收的影响[J].湖北农业科学,2017,56(1):51-55.
- [31] 殷世伟,吴子帅,张安存,等.麦秸还田埋深对水稻产量和品质的影响[J].中国稻米,2014,20(1):73-75.
- [32] 杨滨娟,黄国勤,徐宁,等.秸秆还田配施不同比例化肥对晚稻产量及土壤养分的影响[J].生态学报,2014,34(13):3779-3787.
- [33] 王丹丹,曹凌贵.耕作措施与秸秆还田方式对土壤活性有机碳库及水稻产量的影响[J].安徽农业科学,2018,46(32):123-127.
- [34] 杨力,刘洪进,李长亚,等.秸秆还田对稻田土壤培肥和水稻产量的影响[J].金陵科技学院学报,2014,30(2):75-79.
- [35] 李晓峰.秸秆全量还田与氮肥运筹对机插优质食味梗稻产量、养分吸收及品质的影响[D].扬州:扬州大学,2017.
- [36] 徐国伟,吴长付,刘辉,等.秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量及品质的影响[J].中国农学通报,2006(10):209-215.
- [37] 刘世平,聂新涛,戴其根,等.免耕套种与秸秆还田对水稻生长和稻米品质的影响[J].中国水稻科学,2007(1):71-76.
- [38] 马义虎.有机肥对水稻根系生长和养分吸收及稻田温室气体排放的影响[D].扬州:扬州大学,2013.
- [39] 商庆银,杨秀霞,成臣,等.秸秆还田条件下不同水分管理对双季稻田综合温室效应的影响[J].中国水稻科学,2015,29(2):181-190.
- [40] 强学彩,袁红莉,高旺盛.秸秆还田量对土壤CO₂释放和土壤微生物量的影响[J].应用生态学报,2004(3):469-472.
- [41] Naser H M, Nagata O, Tamura S, et al. Methane emissions from five paddy fields with different amounts of rice straw application in central Hokkaido, Japan[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2007(53):95-101.
- [42] Li C S, Salas W, De Angelo B, et al. Assessing alternatives for mitigating net greenhouse gas emissions and increasing yields from rice production in China over the next twenty years [J]. Journal of Environmental Quality, 2006(35):1554-1565.
- [43] Wassmann R, Neue H U, Lantin R S, et al. Characterization of methane emissions from rice fields in Asia. II. Differences among irrigation, rainfed, and deepwater rice[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2000(58):13-22.
- [44] Wang M-X. Methane Emission from Rice Fields in China[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [45] Huang Y, Sass R L, Fisher F M. Model estimates of methane emission from irrigated rice cultivation of China[J]. Global Change Biology, 1998(4):247-268.
- [46] Yan X Y, Yagi K, Akiyama H, et al. Statistical analysis of the major variables controlling methane emission from rice fields [J]. Global Change Biology, 2005(11):1131-1141.
- [47] 郝帅帅. 秸秆还田对稻麦产量和农田温室气体排放的影响[D].扬州:扬州大学,2017.
- [48] 李成芳,寇志奎,张枝盛,等.秸秆还田对免耕稻田温室气体排放及土壤有机碳固定的影响[J].农业环境科学学报,2011,30(11):2362-2367.
- [49] 逯非,王效科,韩冰,等.稻田秸秆还田:土壤固碳与甲烷增排[J].应用生态学报,2010,21(1):99-108.
- [50] 刘田.施加作物秸秆对棕红壤几种温室气体排放的影响[D].武汉:华中农业大学,2013.
- [51] 李珂.灌水对水稻主要生育期生理生态及水分利用率的影响[D].南京:南京信息工程大学,2017.
- [52] 林贤青,朱德峰,李春寿,等.水稻不同灌溉方式下的高产生理特性[J].中国水稻科学,2005(4):328-332.
- [53] 徐芬芬,曾晓春,石庆华,等.不同灌溉方式对水稻生长与产量的影响[J].江西农业大学学报,2005(5):653-658.
- [54] 朱士江,孙爱华,张忠学,等.不同节水灌溉模式对水稻分蘖、株高及产量的影响[J].节水灌溉,2013(12):16-19.
- [55] 杨生龙,王兴盛,强爱玲,等.不同灌溉方式对水稻产量及产量构成因子的影响[J].中国稻米,2010,16(1):49-51.
- [56] 王成才,李福欣.水稻湿润灌溉技术及其节水增产机理的分析[J].黑龙江水专学报,2003(1):59-60.
- [57] 王瑞,余可信,田东,等.湿润灌溉下3个梗稻品种的生长特性研究[J].现代农业科技,2015(19):71-72,74.
- [58] 李珂,景元书,谭孟祥,等.不同灌水量对拔节孕穗期水稻生理及水分利用率的影响(英文)[J]. Agricultural Science & Technology, 2017,18(11):2014-2018,2025.
- [59] Lampayan R M, Rejesus R M, Singleton G R, et al. Adoption and economics of alternate wetting and drying water management for irrigated lowland rice[J]. Field Crops Research, 2015, 170:95-108.
- [60] Ye Y, Liang X, Chen Y, et al. Alternate wetting and dr-

- ying irrigation and controlled-release nitrogen fertilizer in late-season rice. Effects on dry matter accumulation, yield, water and nitrogen use[J]. Field Crops Research, 2013, 144(6):212-224.
- [61] Liu L, Chen T, Wang Z, et al. Combination of site-specific nitrogen management and alternate wetting and drying irrigation increases grain yield and nitrogen and water use efficiency in super rice[J]. Field Crops Research, 2013, 154(3):226-235.
- [62] Yao F, Huang J, Cui K, et al. Agronomic performance of high-yielding rice variety grown under alternate wetting and drying irrigation[J]. Field Crop Research, 2012, 126: 16-22.
- [63] Bouman B A M, Tuong T P. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice[J]. Agricultural Water Management, 2001, 49(1):11-30.
- [64] Belder P, Spiertz J H J, Bouman B A M, et al. Nitrogen economy and water productivity of lowland rice under water-saving irrigation[J]. Field Crop Research, 2005, 93(2-3):169-185.
- [65] Fengxian Yao, Jianliang Huang, Kehui Cui, et al. Agronomic performance of high-yielding rice variety grown under alternate wetting and drying irrigation[J]. Field Crops Research, 2011, 126.
- [66] 褚光, 展明飞, 朱宽宇, 等. 干湿交替灌溉对水稻产量与水分利用效率的影响[J]. 作物学报, 2016, 42(7): 1026-1036.
- [67] 孟宪峰. 论水稻节水控制灌溉技术[J]. 农民致富之友, 2019(5):40.
- [68] 占新春, 张培江, 吴爽, 等. 不同灌溉方式对杂交粳稻皖早优1号产量和稻米品质的影响[J]. 中国农学通报, 2008(10):236-238.
- [69] 郑星东, 康健. 不同灌溉处理对水稻产量及水分利用效率的影响[J]. 吉林水利, 2013(5):8-10.
- [70] 张自常, 李鸿伟, 陈婷婷, 等. 畦沟灌溉和干湿交替灌溉对水稻产量与品质的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(24): 4988-4998.
- [71] 杨建昌, 袁莉民, 唐成, 等. 结实期干湿交替灌溉对稻米品质及籽粒中一些酶活性的影响[J]. 作物学报, 2005(8): 1052-1057.
- [72] 柯传勇. 不同水分处理对水稻生长、产量及品质的影响[D]. 武汉:华中农业大学, 2010.
- [73] 唐成. 结实期干—湿交替灌溉对稻米品质的影响及其机理的研究[D]. 扬州:扬州大学, 2007.
- [74] 顾俊荣, 季红娟, 韩立宇, 等. 不同水氮管理模式对梗稻籽粒结实和主要品质性状的影响[J]. 中国稻米, 2015, 21(4):44-48.
- [75] 邓定武, 谭正之, 龙兴汉, 等. 灌溉对杂交水稻产量及稻米品质的影响[J]. 作物研究, 1990(2):7-9.
- [76] 吕银斐, 任艳芳, 刘冬, 等. 不同水分管理方式对水稻生长、产量及品质的影响[J]. 天津农业科学, 2016, 22(1): 106-110.
- [77] 张西超, 叶旭红, 韩冰, 等. 灌溉方式对设施土壤温室气体排放的影响[J]. 环境科学研究, 2016, 29(10):1487-1496.
- [78] 王晓萌, 孙羽, 王麒, 等. 稻田温室气体排放与减排研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2018(7):149-154.
- [79] 彭世彰, 李道西, 缴锡云, 等. 节水灌溉模式下稻田甲烷排放的季节变化[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2006(5):546-550.
- [80] 张武益, 朱利群, 王伟, 等. 不同灌溉方式和秸秆还田对水稻生长的影响[J]. 作物杂志, 2014(2):113-118.
- [81] 王伟, 朱利群, 王文博, 等. 秸秆还田地不同水氮条件对水稻产量及土壤肥力的影响[J]. 水土保持通报, 2015, 35(4):43-48.
- [82] 赵宏亮, 王麒, 孙羽, 等. 秸秆还田下灌溉方式对水稻产量及水分利用率的影响[J]. 核农学报, 2018, 32(5): 959-969.
- [83] 周龙艳. 秸秆还田与灌溉模式对超级梗稻产量、养分吸收及稻米品质的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2016.
- [84] 杨士红, 沙世伟, 何秋艳, 等. 节水灌溉水稻生长及产量对秸秆还田的响应[J]. 中国农村水利水电, 2015(8):20-23.
- [85] 成臣, 杨秀霞, 汪建军, 等. 秸秆还田条件下灌溉方式对双季稻产量及农田温室气体排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(1):186-195.
- [86] 江峰. 秸秆还田与灌溉模式对超级梗稻产量形成、及温室气体排放的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2014.

Current Situation and Prospect of the Research on the Effects of Irrigation Modes on the Growth and Development of Rice Under Straw Return

ZHAO Xue-han¹, WANG Qi², ZENG Xian-nan², SONG Qiu-lai², SUN Jian¹

(1. Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Crop Tillage and Cultivation Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: On the basis of a large number of research results at home and abroad, this paper summarized the current research status of straw returning to the field, irrigation methods and their combined effects on the growth and development, yield, quality and other aspects of rice, analyzed the existing problems, and presented the corresponding countermeasures, looked forward to the future research direction and trend of the influences of irrigation modes on the rice growth and development under straw returning, which provided theory evidence to the correlative study from now on.

Keywords: straw returning; irrigation methods; rice