

稻田常用节水灌溉方式对水稻产量和米质影响的研究进展

张宏路 朱安 胡昕 姚磊 方焯琦 夏仕明 刘立军*

(扬州大学/江苏省作物遗传生理重点实验室/农业部长江中下游作物生理生态与栽培重点开放实验室, 江苏 扬州 225009;

* 通讯作者: ljliu@yzu.edu.cn)

摘 要:水稻是我国重要的粮食作物,也是耗水量最大的作物。水分管理方式对水稻产量和品质有重要影响。目前水稻生产中常用的节水灌溉方式有湿润灌溉、干湿交替灌溉和旱种旱管等。本文概述了上述几种节水灌溉方式及其对水稻产量和稻米品质的影响,并提出了未来水稻节水灌溉方面的研究设想,以期水稻高产优质节水栽培提供理论依据。

关键词:水稻;节水灌溉;产量;稻米品质

中图分类号:S511.071 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2018)06-0008-05

水稻是沼泽类作物,水分管理方式对其产量和品质会产生重要影响。我国是水稻主要生产国,种植面积约占全球的23%,稻谷产量占全球的30%以上^[1]。目前,我国稻作生产常用水分管理方式多为淹水灌溉,其用水量约占农业用水量的60%,耗水量巨大,水资源浪费严重。另一方面,我国人口占世界人口总量的22%,而可利用的淡水资源仅占世界总量的8%,人均占有量仅为2 500 m³,约为世界人均可利用水量的四分之一,是13个贫水国家之一^[2]。因此,发展水稻节水栽培,实现稻作可持续发展对我国粮食安全供应和社会稳定具有十分重要的意义。近年来,水稻节水灌溉技术发展较快,出现了湿润灌溉、干湿交替灌溉以及旱种旱管等节水灌溉方式。水分管理方式发生改变必然会引起稻田土壤性状的变化,进而直接或间接导致地下部根系生长发育产生变化,从而影响地上部生长发育、产量和稻米品质形成。本文围绕当前常用的几种稻田节水灌溉方式,以常规淹水灌溉作为对比,探讨前人在不同节水灌溉方式上对水稻产量以及米质影响的研究结果,旨在为发展稻田节水灌溉提供参考。

1 稻田常用节水灌溉方式及其对水稻产量的影响

1.1 湿润灌溉及其对水稻产量的影响

湿润灌溉是一项节水效果显著、简单易懂、可操作性强的稻田灌溉方式。其技术要点是在分蘖期持续建立水层,其他时期则以土壤湿润为标准,满足水稻的生理需水即可。该技术可大幅度减少灌溉用水量,减少能

耗,降低灌溉成本,还可增加产量^[3]。有资料显示,此技术用水量较常规淹灌节水22%~36%^[4]。韦盛敏等^[5-6]通过研究发现,湿润灌溉可适当降低土壤含水量,调节土壤水势和蒸腾速率,提高自然降水的利用率,节水效果显著。可见,湿润灌溉技术在稻田节水方面的贡献较为显著,有较好的应用前景。

王瑞等^[7]以多个粳稻品种为材料研究发现,湿润灌溉可加快水稻返青分蘖,分蘖成穗数提高2.1%~11.6%,产量增加9.1%~18.7%。朱士江等^[8]发现,湿润灌溉较常规淹灌和间歇灌溉增产。但李轲等^[9]研究认为,湿润灌溉条件下水稻产量要低于常规淹灌处理。此外,耿艳秋等^[10]的研究结果显示,在苏打盐碱地湿润灌溉可提高水稻结实率和千粒重,从而达到增产的目的。从上述研究可见,针对湿润灌溉对水稻产量的影响研究较少,并且结论不一,具体原因还有待进一步探讨。

1.2 干湿交替灌溉及其对水稻产量的影响

干湿交替灌溉是一项水稻高产节水灌溉技术,其技术要点有:从秧苗移栽至返青建立2~3 cm浅水层;返青至有效分蘖临界叶龄期进行间隙湿润灌溉;拔节期适当排水搁田,此后田间灌水层2~3 cm,然后自然落干,再灌水,再落干,如此循环;抽穗后45 d田间断

收稿日期:2018-08-20

基金项目:国家自然科学基金(31671614;31371562);第十四批“六大人才高峰”高层次人才项目(NY-105);扬州大学大学生学术科技创新基金(x20170632);扬州大学农学院农学专业本科生创新训练计划项目

水,土壤落干直至收获^[11]。有研究显示,干湿交替灌溉灌水量约 700 mm 左右,较常规淹水灌溉降低 16%~18%,水分利用效率提高 25%~29%^[12-13]。针对该技术的应用情况,Mushtap 等^[14]在湖北漳河灌区的调查研究表明,采用干湿交替灌溉技术并非农户本意,而是缺水条件下的无奈之举,并且好的耕地质量有利于该技术的采用,但耕地规模越大,应用此技术产生的负效应越明显。Kurschner 等^[15]在孟加拉国对干湿交替灌溉技术推广的评估报告中指出,尽管很多农户节水意向明确,对此技术有需求,但实际采用比例却很低。造成这种现象的原因,主要是由于干湿交替灌溉技术管理过程复杂,技术难度相对较高。

Gareth 等^[16]的研究结果表明,干湿交替灌溉可提高水稻有效分蘖数,从而导致产量增加。然而,不同程度的干湿交替对水稻产量的影响也存在差异。刘立军等^[17]的研究结果表明,结实期轻干湿交替灌溉较常规灌溉显著提高了水稻结实率和产量,而在重干湿交替灌溉条件下水稻结实率和产量却表现出明显的降低趋势。徐芬芬等^[18]在探讨干湿交替灌溉的节水增产机理中发现,与田间土壤落干强度较高相比,土壤适度落干后复水对水稻产量的提高具有较好的效用。褚光等^[12]的研究认为,适宜的干湿交替灌溉可以显著提高水稻产量以及水分利用效率。上述这些结果表明,轻度且适宜的干湿交替灌溉可提高水稻产量,而在重度干湿交替灌溉条件下,则会对产量表现出明显的负效应。因此,在实际生产应用时,应掌握好适宜的干湿交替程度,避免因土壤过分落干而导致减产。

1.3 旱种旱管及其对水稻产量的影响

水稻旱种旱管通常是指苗期在干旱条件下生长,生育中期及后期以雨水为主,遇旱时辅以人工灌溉,使水稻在土壤较为湿润状态下正常生长直至开花结实,是一项节约农业用水,提高灌溉效益,增强水稻抗性,管理方式简单轻便的水稻栽培技术^[19]。水稻旱种方式多种多样,主要有裸地旱种、覆膜旱种以及覆草旱种等^[20]。而在实际应用时,其所表现出的弊端也较为明显。已有研究表明,水稻旱种通常存在 3 个问题:一是低温生育期延长,抽穗期推迟,影响成熟,加之旱作不形成水面,易受晚霜危害,既不能提前播种,又不能采用中晚熟高产品种;二是易受干旱的影响,生产不稳定,并且常受稻瘟病的威胁;三是杂草危害严重,产量不高^[21]。并且,杨建昌等^[22-23]研究发现,水稻旱种后,由于物质转运率较高,致使水稻茎鞘物质被过多利用,易发生倒伏。针对旱种在实际应用中存在的不同隐患,人们不

断探索并研究出各种旱种方式以求改进,其中以覆盖旱种技术最为广大研究人员所接受。

关于覆盖旱种水稻产量效应的研究存在较大差异,有的报道增产^[22,24-26],有的报道减产^[27-29]。刘芳等^[20]的研究结果显示,该方式可使水稻分蘖提前,增加分蘖数,但水稻产量要略低于或显著低于常规灌溉田。与上述结果不同,王先华等^[30]通过研究指出,覆盖旱种能使水稻成穗率提高,减少水稻空壳现象发生,并且在水资源短缺的地区,此技术是提高水稻产量和保持生态环境的首选。此外,不同覆盖方式对水稻产量的影响也不相同。邱愈红等^[31]以水稻农学性状和产量变化为基础,探索不同覆盖方式的优缺点,发现覆草旱种的方式最优,不仅大大减少水稻生产中的耗水量,还能在创造经济效益的同时亦可为保护生态环境做出贡献。由此看出,旱种水稻的主要优势在于其可大幅减少稻田耗水量,栽培管理方式轻简,但其对水稻产量和性状的影响方面优缺并存。而随着人们在旱种技术上的探索与改进,适宜的覆盖旱种方式也可作为一种优良可行的水稻栽培技术。

2 稻田常用节水灌溉方式对稻米品质的影响

2.1 湿润灌溉对稻米品质的影响

有研究表明,常规淹水灌溉和湿润灌溉稻米加工品质和外观品质无明显差异^[32]。但吕银斐等^[33]认为,湿润灌溉在一定程度上降低了稻米的外观品质,增大了稻米的垩白粒率和垩白度。占新春等^[34]研究表明,与常规灌溉相比,湿润灌溉使稻米的直链淀粉含量增加,胶稠度提高,总体上改善了稻米的蒸煮食味品质。刘奇华等^[35]研究发现,湿润灌溉下稻米蛋白质含量要显著低于常规灌溉,而米粉 RVA 谱的最高黏度和热浆黏度值则以湿润灌溉最高。李艳红等^[36]的结果也表明,湿润灌溉条件下蛋白质含量要显著低于常规水层灌溉。但邓定武等^[32]认为,湿润灌溉条件下稻米蛋白质含量及蒸煮品质较常规灌溉虽略有下降,但差异不显著。综上所述可以看出,湿润灌溉对稻米品质的影响研究较少,且不同研究者结果并不相同,甚至相互矛盾。因此,湿润灌溉对稻米品质的影响及其内在机制仍需进一步深入研究。

2.2 干湿交替灌溉对稻米品质的影响

有研究表明,干湿交替灌溉可以改善稻米品质^[13,37-38]。但不同强度的干湿交替也会对稻米加工品质带来不同程度的影响。刘立军等^[39]研究表明,轻度干湿交替处

理能够改善稻米加工品质,而重度干湿交替处理则会降低稻米的加工品质。同样,杨建昌等^[40]在盆栽条件下的研究结果也显示,重度干湿交替处理下稻米的出糙率、精米率和整精米率要显著低于轻度干湿交替处理。柯传勇等^[41]的结果也表明,适度的干湿交替灌溉在一定程度上可以提高稻米的精米率和整精米率。

在外观品质方面,有研究指出,与常规淹水灌溉相比,干湿交替灌溉降低了稻米的垩白粒率、垩白大小以及垩白度^[13],这与吕银斐等^[33,41]的研究结果一致。蔡一震等^[42]认为,水分胁迫对稻米垩白粒率与垩白度的影响趋势相近,受灌浆特性的影响,垩白粒率、垩白度都显著提高,这与王成瑗等^[43]的研究结果大致相同。

在蒸煮食味及营养品质方面,干湿交替灌溉较常规灌溉提高了稻米淀粉黏滞谱的最高黏度和崩解值^[13]。此外,稻米蒸煮及营养品质也因不同程度的干湿交替处理而产生变化。唐成等^[44]认为,与常规水层灌溉相比,轻干湿交替灌溉会降低稻米直链淀粉含量,胶稠度略高但差异不显著,重干湿交替灌溉下直链淀粉含量增加,而胶稠度显著降低。而在水氮耦合管理模式,顾俊荣等^[45]认为,轻干湿交替技术与氮肥的耦合管理有效提高了水稻的蒸煮食味品质,穆永红等^[46]的研究也证明了这一点。针对稻米营养品质,有研究指出,干湿交替灌溉提高了稻米清蛋白和谷蛋白的含量,降低了醇溶蛋白含量^[13]。但也有研究认为,结实期常规水层灌溉和干湿交替灌溉对稻米蛋白质含量的影响差异不显著^[39,44]。

而针对卫生品质,较多研究认为,干湿交替灌溉可降低水稻中砷的活化,从而减少水稻对砷的吸收及其在籽粒中的积累^[47-50],但是会增加镉的吸收^[16,51-53]。

综上所述,适宜的干湿交替灌溉可以改善米质。但就蒸煮食味和营养品质而言,不同研究者观点不同,结论尚未统一。在稻米卫生品质上,大多研究表明不可在有镉污染的稻田中采用干湿交替灌溉。

2.3 旱种旱管对稻米品质的影响

徐国伟等^[54]的研究指出,在旱种模式下,稻米糙米率、精米率和整精米率要高于水种模式,但差异不显著。但武立权等^[55]发现,与常规淹水灌溉相比,旱种粳稻的加工品质略有下降。而李克武等^[56]研究认为,水稻的加工品质在覆膜旱种后会有所提高。

旱种旱管条件下,水稻不可避免会发生水分胁迫。有研究表明,干旱对粒形影响不大,但垩白粒率和垩白度显著提高,降低了稻米的外观品质^[57]。与上述结果不同,蒋鹏等^[58]在研究分蘖期干旱对稻米品质的影响中

指出,分蘖期干旱处理的稻米垩白粒率和垩白度要显著低于常规灌溉处理。

有研究表明,旱种粳稻的蒸煮品质要好于常规淹水灌溉^[55]。覆草旱种与常规水种对稻米直链淀粉含量和胶稠度等的影响无明显差异,而覆草旱种和常规水种下稻米的胶稠度要显著高于覆膜旱种^[54]。覆膜旱种条件下稻米直链淀粉含量与常规灌溉相比差异不显著,但胶稠度变小,且糊化温度因品种差异而有所不同,常规粳稻略低,杂交稻略高^[56]。旱管期间,分蘖期干旱处理的稻米直链淀粉含量要显著高于常规灌溉处理^[58]。

有研究指出,稻米籽粒蛋白质含量在常规水种、覆膜和覆草旱种三者之间差异不显著^[54]。但也有研究结果表明,覆膜旱种可使稻米蛋白质含量增加^[56]。张其芳等^[59]认为,旱种能显著提高水稻籽粒中植酸的含量,干旱胁迫对直立密穗型品种粒位间粗蛋白和蛋白组分的影响较大。

对于卫生品质,张丽娜^[53]等针对镉(Cd)污染的土壤进行不同水分管理方式对水稻不同器官镉积累影响的研究发现,旱种条件下水稻糙米中镉含量最高,比常规淹水灌溉增加 166.3%,其认为水稻旱种要考虑土壤环境条件,在重金属污染的土壤上进行水稻节水旱种风险较大。

总体而言,不同研究者就旱种对稻米品质影响的研究结论不一,但适宜的旱种方式可以改善稻米品质,并且在水稻重要生育时期辅以旱作也可达到改善米质的效果。因此,在生产中需根据不同水稻生育时期特性选择适宜的旱种方式,并且要避免在有重金属污染的稻田进行旱作。

3 小结与讨论

水分管理方式对稻米品质的影响是一个较为复杂的过程,不同节水灌溉方式对水稻产量和品质的影响存在差异。针对节水灌溉对水稻产量和品质的研究应从生产实际出发,既要达到高产优质的目的,也应适应种植方式和环境的改变。并且目前大多研究仅注重稻米品质表现层面,往往忽略整个水分管理期间(即成熟之前)与籽粒品质相关理化特性的动态变化过程。因此,未来对水分管理方式影响稻米品质应加强以下几个方面的研究。

3.1 水分管理方式影响稻米品质的分子机理

目前关于不同灌溉方式对稻米品质的影响仍多停留于稻米品质的表现层面,而对水分管理方式影响稻

米品质的内在机理,尤其是水分管理影响稻米品质的内在分子机制缺乏深入研究。加强水分管理对稻米品质的影响及其生理与分子机理研究,对进一步深入理解稻米品质的形成机制与调控具有重要意义。

3.2 适应于水稻机械化轻简化高产优质的节水灌溉技术

目前,我国水稻生产机械化、轻简化(主要指机插秧、直播和抛秧等)发展迅速,这为我国水稻生产节约了大量人力物力成本。然而,机械化轻简化水稻栽培灌溉方式仍多沿用原来的常规水层灌溉,缺乏与之相配套的节水灌溉方式。加强机械化轻简化条件下水稻节水灌溉方式及其对稻米产量和品质影响的研究,对水稻高产优质、水资源高效利用和农业可持续发展具有重要意义。

3.3 节水灌溉对稻田土壤性状的影响及其与产量和品质的关系

针对节水灌溉对水稻产量和品质的影响,已有大量研究且成果显著,而在节水灌溉对稻田土壤性状影响方面的研究相对较少,其与水稻产量和品质的关系研究则更少。因此,需加强不同节水灌溉方式对土壤性状、水稻根系形态生理影响的研究,并探寻其与水稻产量和品质形成的关系,研究结果可为稻田土壤定向调控提供参考。

3.4 加强节水灌溉方式对稻田土壤卫生状况及稻米卫生品质的研究

在水稻卫生品质方面,现有研究涉及较少,且多集中于镉、砷等有害物质的探讨。而在实际农业生产中,稻田农药(如各种除草剂、杀虫剂等)、污水灌溉及其他各种化学药剂的使用较为普遍,这些都会对水稻卫生品质及稻田卫生状况带来不同程度的不利影响。因此,需注重农业生产中化学药剂的使用对稻米品质影响的研究,并致力于探寻能够有效改善水稻卫生品质和稻田卫生状况的节水灌溉方式。

参考文献

- [1] 谢建华. 水稻生产、市场与技术发展情况的思考[C]//中国农业推广研究征文集. 北京:中国农业技术推广协会,2006.
- [2] 舟成. 我国水资源现状与问题研究[J]. 资源节约与环保,2013(10):64-64.
- [3] 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]. 黑龙江大学工程学报,2003,30(1):59-60.
- [4] 钱慕尧. 水稻浅湿灌溉技术的推广[J]. 江苏水利,1996(2):20-22.
- [5] 韦盛敏,李龙,韦日阔. 早稻湿润灌溉与常规耕作比较试验研究[J]. 农业科技通讯,2011(10):50-51.
- [6] 陈国林,王兆骞. 水稻湿润灌溉的节水效应研究[J]. 浙江农业大学学报,1997,23(2):123-127.
- [7] 王瑞,余可信,田东,等. 湿润灌溉下3个粳稻品种的生长特性研究[J]. 现代农业科技,2015(19):71-72.
- [8] 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.
- [9] Li K, Jing Y S, Tang M X, et al. Effects of different irrigation amounts on physiological indexes and water use efficiency of rice at the jointing-booting stage [J]. *Agricultural Science & Technology*, 2017, 18(11): 2014-2018.
- [10] 耿艳秋,金峰,朱明霞,等. 灌浆乳熟期土壤水势对苏打盐渍土水稻产量及生理性状的影响[J]. 中国水稻科学,2014,28(5):534-540.
- [11] 刘立军,杨建昌,王志琴. 水稻全生育期轻干-湿交替灌溉方法:中国,CN 101911905 A[P]. 2010-12-15.
- [12] 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):1 026-1 036.
- [13] 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):4 988 - 4 998.
- [14] Mushtaq S, Dawe D, Lin H, et al. An assessment of the role of ponds in the adoption of water-saving irrigation practices in the Zhanghe Irrigation System, China[J]. *Agr Water Manage*, 2006, 83(1): 100-110.
- [15] Ekkehard K, Henschel C, Hildebrandt T, et al. Water saving in rice production-dissemination, adoption and short term impacts of alternate wetting and drying (AWD) in Bangladesh [J]. Dhaka / Berlin: Humboldt Universität zu Berlin SIE Postgraduate Studies on International Cooperation, 2010.
- [16] Norton G J, Shafaei M, Travis A J, et al. Impact of alternate wetting and drying on rice physiology, grain production, and grain quality[J]. *Field Crop Res*, 2017, 205: 1-13.
- [17] 刘立军,王康君,卞金龙,等. 结实期干湿交替灌溉对籽粒蛋白质含量不同的转基因水稻的生理特性及产量的影响 [J]. 中国水稻科学,2014,28(4):384-390.
- [18] 徐芬芬,曾晓春,石庆华. 干湿交替灌溉方式下水稻节水增产机理研究[J]. 杂交水稻,2009,24(3):72-75.
- [19] 沙美芝,葛化丽. 早稻栽培技术[J]. 现代农业科技,2010(15):77.
- [20] 刘芳,樊小林. 覆盖旱种水稻的农学性状及产量变化[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2005,33(2):63-68.
- [21] 赵其良,肖明贤. 日本东北地区水稻旱种地膜覆盖栽培技术[J]. 辽宁农业科学,1982(3):52-57.
- [22] 杨建昌,王志琴,陈义芳,等. 旱种水稻产量和米质的初步研究[J]. 江苏农业研究,2000,21(3):1-5.
- [23] 杨建昌,王志琴. 旱种水稻生育特性与产量形成的研究[J]. 作物学报,2002, 28(1):11-17.
- [24] 谭长乐,张洪熙,夏广宏,等. 水稻覆膜旱栽特性的研究与探讨[J]. 江苏农业科学,1999(6):6-8.
- [25] 黄义德,张自立,魏凤珍,等. 水稻覆膜旱作的生态生理效应[J]. 应用生态学报,1999,10(3):305-308.
- [26] Singh O P, Mishra B. Effect of different soil-water regimes on yield and nitrogen-use efficiency in rice (*Oryza sativa*) [J]. *Indian J Agr*

- Sci, 1990.
- [27] 吴良欢, 祝增荣, 梁永超, 等. 水稻覆膜旱作节水节肥高产栽培技术[J]. 浙江农业大学学报, 1999, 25(1): 41-42.
- [28] 郑寨生, 吴良欢, 孔向军, 等. 水稻覆膜旱作高产栽培技术研究[J]. 上海农业学报, 2000, 16(3): 55-60.
- [29] 梁永超, 胡锋, 杨茂成, 等. 水稻覆膜旱作高产节水机理研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(1): 26-32.
- [30] 王先华. 覆盖旱种水稻的农学性状及产量变化 [J]. 北京农业, 2015(14): 66.
- [31] 邱愈红. 覆盖旱种水稻的农学性状及产量变化 [J]. 农业与技术, 2015(4): 30.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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, 24 (10): 236-238.
- [35] 刘奇华, 吴修, 陈博聪, 等. 灌溉方式对黄淮稻区优质粳米品质的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(9): 2 583-2 590.
- [36] 李艳红, 唐湘如, 潘圣刚, 等. 分蘖期水氮互作对香稻香气、产量及稻米品质的影响[J]. 华北农学报, 2014, 29(1): 159-164.
- [37] 张荣萍, 马均, 王贺正, 等. 不同灌水方式对水稻结实期一些生理性状和产量的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(3): 486-495.
- [38] Yang J, Zhang J, Wang Z, et al. Activities of enzymes involved in sucrose-to-starch metabolism in rice grains subjected to water stress during filling[J]. *Field Crop Res*, 2003, 81(1): 69-81.
- [39] 刘立军, 李鸿伟, 赵步洪, 等. 结实期干湿交替处理对稻米品质的影响及其生理机制[J]. 中国水稻科学, 2012, 26(1): 77-84.
- [40] 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, 31 (8): 1 052 - 1 057.
- [41] 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.
- [42] 蔡一霞, 朱庆森, 王志琴, 等. 结实期土壤水分对稻米品质的影响 [J]. 作物学报, 2002, 28(5): 601-608.
- [43] 王成媛, 王伯伦, 张文香, 等. 土壤水分胁迫对水稻产量和品质的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(1): 131-137.
- [44] 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.
- [45] 顾俊荣, 季红娟, 韩立宇, 等. 不同水氮管理模式对粳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.
- [46] 慕永红, 孙建勇. 不同施氮比例对水稻产量与品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2000(3): 18-19.
- [47] Xu X Y, Mcgrath S P, Meharg A A, et al. Growing rice aerobically markedly decreases arsenic accumulation [J]. *Environ Sci Technol*, 2008, 42(15): 5574-9.
- [48] Li R Y, Stroud J L, Ma J F, et al. Mitigation of arsenic accumulation in rice with water management and silicon fertilization [J]. *Environ Sci Technol*, 200, 43(10): 3 778.
- [49] Zhao F J, Mcgrath S P, Meharg A A. Arsenic as a food chain contaminant: mechanisms of plant uptake and metabolism and mitigation strategies[J]. *Annu Rev Plant Biol*, 2010, 61(1): 535.
- [50] Norton G J, Pinson S R, Alexander J, et al. Variation in grain arsenic assessed in a diverse panel of rice (*Oryza sativa*) grown in multiple sites[J]. *New Phytol*, 2012, 193(3): 650-64.
- [51] Meharg B, Zhao F J. Arsenic & Rice[M]. *Springer Netherlands*, 2012.
- [52] Hu P, Li Z, Yuan C, et al. Effect of water management on cadmium and arsenic accumulation by rice (*Oryza sativa* L.) with different metal accumulation capacities [J]. *J Soil Sediment*, 2013, 13(5): 916-924.
- [53] 张丽娜. 不同调控措施对土壤-水稻系统中镉行为的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
- [54] 徐国伟, 王朋, 唐成, 等. 旱种方式对水稻产量与品质的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(1): 112-117.
- [55] 武立权. 水分供应与稻米品质及产量性状关系的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2004.
- [56] 李克武, 易杰忠, 董全才. 覆膜旱作稻米品质的初步研究[J]. 中国农学通报, 2000, 16(5): 4-6.
- [57] 王平荣, 邓晓建, 高晓玲, 等. 干旱对稻米品质的影响研究[J]. 中国农学通报, 2004, 20(6): 282-284.
- [58] 蒋鹏, 熊洪, 张林, 等. 分蘖期干旱对不同施氮量和移栽密度下杂交稻产量及稻米品质的影响 [J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2016, 42(5): 465-471.
- [59] 张其芳, 刘奎刚, 苏达, 等. 氮素和水分处理对稻米植酸含量和蛋白组分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 542-550.

Research Progress on Effects of Common Water Saving Irrigation Methods in Paddy Field on Rice Yield and Quality

ZHANG Honglu, ZHU An, HU Xing, YAO Lei, FANG Yeqi, XIA Shiming, LIU Lijun*

(Jiangsu Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation in Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture/Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China; *Corresponding author: ljliu@yzu.edu.cn)

Abstract: Rice is the important food crop in China, and it is also the largest water consumer. Water management has a significant impact on rice yield and quality. At present, water-saving irrigation methods commonly used in rice production include conventional shallow water irrigation, wet irrigation, alternate wetting and drying irrigation, and dry cultivated management. In this paper, the effects of several water-saving irrigation methods on grain yield and quality were summarized, and the research ideas of future water-saving irrigation for rice were put forward, in order to provide a theoretical basis for high-yielding with good-quality and water-saving cultivation of rice.

Key words: rice; water-saving irrigation; grain yield; grain quality