

# 几种灌溉方式和施氮量对水稻产量影响的研究述评

崔婷婷<sup>1</sup> 李王成<sup>1,2,3\*</sup> 夏婷<sup>4</sup> 吴艳<sup>5</sup>

(<sup>1</sup> 宁夏大学土木与水利工程学院, 银川 750021; <sup>2</sup> 宁夏节水灌溉与水资源调控工程技术研究中心, 银川 750021; <sup>3</sup> 旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心, 银川 750021; <sup>4</sup> 北方民族大学生物科学与工程学院, 银川 750021; <sup>5</sup> 中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司青铜峡铝业分公司质检站, 宁夏 青铜峡 751603; 第一作者: 771085369@qq.com;

\* 通讯作者: liwangcheng@126.com)

**摘 要:** 针对不同灌溉方式和施氮量对水稻产量影响研究结论不统一的问题, 本文在查阅国内外研究文献的基础上, 比较分析了传统淹水灌溉、Y 型灌溉和滴灌及施氮量对水稻产量影响的研究成果。结论表明, Y 型灌水方式比传统淹灌节水 32% 以上, 滴灌比传统淹灌节水 60% 以上; 水稻产量随着施氮量的增加均有显著提高, 但过量施氮反而会使产量降低; 不同的种植条件, 获得最佳产量的水氮比不同, 合理的水氮比应结合种植环境进行试验确定。

**关键词:** 灌溉方式; 施氮量; 水稻; 产量

**中图分类号:** S511.048 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2016)04-0031-04

水稻生长发育过程中水和肥是相互影响、相互制约的因子<sup>[1]</sup>。目前水资源日渐紧缺, 因为不合理施肥造成的污染面积越来越大。因此, 减少灌溉用水量、提高肥料利用率, 实现水稻最佳经济产量已成为大家研究和关注的重点。但关于施氮水平在不同灌溉方式下对水稻品质及产量影响的研究较少。本文通过查阅文献, 旨在探讨何种灌溉方式以及多少施氮量才能达到水稻最佳经济产量。

## 1 国内外研究进展

### 1.1 Y 型灌溉方式的发展现状

Y 型灌溉方式即“湿润灌溉+浅水灌溉+干湿交替灌溉”。自上世纪 70 年代末开始推广, 至今已经有 40 多年的时间, 这种灌溉模式在短短几十年间已经取得了显著成功。但不同地域推广技术略有不同, 广西推广“薄、浅、湿、晒”的灌溉方式, 推广面积累计达 178.2 万  $\text{hm}^2$ , 可使水稻增产 7.72%, 每  $\text{hm}^2$  年平均减少耗水量 1 069  $\text{m}^3$  (早、晚稻合计)<sup>[2]</sup>; 而北方主要推广“湿、浅”灌溉方式。

### 1.2 国内外膜下滴灌的发展现状

由新疆生产建设兵团形成和发展起来的膜下滴灌技术, 将滴灌与地膜覆盖结合在一起, 充分发挥了滴灌的节水、节肥功能, 可以做到小水勤灌, 可以较为精确地控制灌水量, 降低无效的株间蒸发、地面径流、地下渗漏, 可以减少水的浪费<sup>[3]</sup>。但是滴灌技术在国内应用较少, 经查阅文献, 膜下滴灌技术应用主要集中在新疆地区, 截止到 2011 年, 新疆膜下滴灌推广面积超过了 100 万  $\text{hm}^2$ <sup>[4]</sup>。

### 1.3 水氮互作的发展现状

合理利用灌溉方式与施氮量对于农田灌溉技术的发展而言具有重要意义<sup>[5-6]</sup>。国外研究多数集中在土壤物理化学性质与作物产量之间的联系<sup>[7-9]</sup>。国内就灌水方式或施氮量单一因素对水稻产量的影响做了大量研究, 但是在不同灌水方式以及水氮互作条件下, 关于施氮水平与水稻品质及产量形成的关系研究较少。

## 2 灌溉方式与施氮量结合对水稻产量的影响

灌溉方式、用水量、施氮量均对水稻的结实率、千粒重、有效穗数、叶面积指数、每穗粒数、干物质积累等生理指标产生影响<sup>[10-15]</sup>, 分析这些因素与指标间的相互关系, 探明他们对水稻产量的影响, 找出最佳水氮互作方式, 对提高水稻产量有积极意义。

通过查阅文献, 笔者对 Y 型灌溉和淹灌、淹灌和滴灌进行对比, 分析不同灌溉方式和施氮量对水稻生理指标及产量的影响, 其研究结果归纳如表 1~表 4。

结合表 1、表 2 进行分析: (1) 在同等施氮量条件下, Y 型灌溉方式不仅可以有效控制无效分蘖数, 还可以提高有效穗数、有效分蘖数、结实率、干物质积累量、每穗粒数、叶面积指数和千粒重。(2) 与淹灌相比, Y 型灌溉方式节水 1.1%~47.0% (大部分学者认为在 32.0% 以上)<sup>[10-11, 16-17, 19, 20]</sup>、增产 1.1%~35.0% (大部分学者认为

收稿日期: 2016-02-20

基金项目: 国家自然科学基金(51169021, 51569022)

表 1 Y 型灌水方式与淹灌相比对水稻各项指标影响

文章编号	地点	有效分蘖数	有效穗数	每穗粒数	结实率	千粒重	干物质积累	根系发展情况	叶面积指数	节水	产量表现
① <sup>16</sup>	成都	-	增加 2.18%	增加 4.85%	增加 1.00%	增加 1.68%	高	-	大	47%	增产 6.78%
② <sup>10</sup>	成都	-	增加 9.15%	增加 5.79%	增加 4.66%	增加 2.92%	利于干物质积累	促进	-	35%	增产 13.35%
④ <sup>17</sup>	射阳	-	增加 3.70%	基本一致	增加 3.10%	增加 2.20%	-	-	-	32%	增产 9.31%
⑤ <sup>18</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	增产 7.72%
⑦ <sup>11</sup>	温江	-	-	-	-	-	-	-	大,但相差不大	-	高
⑧ <sup>19</sup>	-	提高	提高	增加 3.17%	增加 3.38%	-	-	促进	-	11.0%~39.6%	增产 1.10%~35.00%

表 2 随着施氮量的增加 Y 型灌溉方式对水稻各项生理指标的影响

文章编号	地点	千粒重 (g)	有效穗数 (万穗/hm <sup>2</sup> )	每穗粒数 (粒)	结实率 (%)	分蘖数	干物质积累量	成穗率 (%)	叶面积指数	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
① <sup>16</sup>	成都	30.8	219.3	201.85	84.91	有效控制 无效分蘖	高	增加 6.41	0~180 kg/hm <sup>2</sup> 增, 180~270 kg/hm <sup>2</sup> 减	9 140,增产 6.7%

表 3 滴灌对水稻各项指标的影响(与淹灌相比)

文章编号	地点	分蘖数	有效分蘖数	有效穗数	每穗粒数	结实率	千粒重	节水	产量
① <sup>20</sup>	新疆	-	-	低	低	低	低	62%	低
② <sup>4</sup>	石河子	-	-	降低 17.8%	增加 31.7%	增加 5.3%	与淹灌基 本持平	65%	8 725 kg/hm <sup>2</sup> ,增产 15.4%
③ <sup>21</sup>	-	-	-	-	-	-	-	60%以上	12 045 kg/hm <sup>2</sup>
④ <sup>22</sup>	新疆	基本一致	-	-	-	-	-	-	7 500~9 700 kg/hm <sup>2</sup>
⑤ <sup>23</sup>	银川	-	-	-	-	-	-	-	8 554.4~9 384.4 kg/hm <sup>2</sup>
⑥ <sup>24</sup>	-	-	可有效控制	-	-	-	-	60%以上	10 934~12 045 kg/hm <sup>2</sup>

表 4 随着施氮量的增加滴灌对水稻各项生理指标的影响

文章编号	地点	有效穗数 (万穗/hm <sup>2</sup> )	每穗粒数 (g)	结实率	千粒重 (g)	干物质积累量	根系发展	叶面积指数	产量
① <sup>22</sup>	新疆	显著促进	显著促进	-	显著促进	先增加后减小	-	-	先增加后减小
② <sup>25</sup>	新疆	先增加后降低	先增加后降低	先增加后降低	先增加后降低	先增加后降低 显著高于淹灌	促进	先增加后降低	先增加后降低

在 6.0%~13.0%之间)。施用适量氮肥可以有效提高有效穗数、每穗粒数、结实率和产量<sup>[27-28]</sup>,比淹灌增产 6.0%~8.0%<sup>[16,18]</sup>。(3)随着施氮量的增加,有效穗数呈增加趋势,对千粒重影响不显著,每穗粒数、产量、结实率均先增后减。因此,在适量施氮情况下,Y 型灌溉方式比淹水灌溉更节水,更有助于获得高产。

结合表 3、表 4 分析,不同学者做的试验具有不同的结论。王志军等<sup>[20]</sup>认为,采用膜下滴灌,水稻的有效分蘖数、有效穗数、每穗粒数、结实率、千粒重、干物质积累都低于淹灌;而陈林等<sup>[4]</sup>认为,滴灌条件下水稻的每穗粒数与结实率不同程度的高于传统淹灌,分别增加 31.7%、5.3%,且增产 15.4%。随着膜下滴灌技术的提高以及与机械化结合,膜下滴灌水稻平均产量为 10 934 kg/hm<sup>2</sup>,最高点产量达 12 045 kg/hm<sup>2</sup>。可见,膜

下滴灌实现高产甚至超高产也不是不可能的。滴灌可以有效控制分蘖数,并且干物质积累量较高,与淹灌相比节水 60.0%以上<sup>[4,20-21,24]</sup>。对膜下滴灌水稻增施氮肥可以发现,随着施氮量的增加,水稻的有效穗数、每穗粒数、结实率、千粒重、干物质积累呈先增后减的趋势,对分蘖数和有效分蘖数以及根的发育均起到促进作用<sup>[29]</sup>,叶面积指数也得到有效提高,适宜的施氮量可以提高水稻产量,甚至可达到 12 045 kg/hm<sup>2</sup> 的高产<sup>[21]</sup>。

对于水稻达到高产时对应的施氮量不同学者有不同的观点。何进宇等<sup>[23]</sup>认为,施氮量为 282 kg/hm<sup>2</sup> 时水稻可以达到最高产量;朱齐超等<sup>[23]</sup>认为,270 kg/hm<sup>2</sup> 施氮量具有最高生物学产量和经济学产量;孙永健等<sup>[16]</sup>认为,180 kg/hm<sup>2</sup> 施氮量的水氮运筹模式下产量最高;侯云鹏等<sup>[37]</sup>认为,最佳经济产量氮肥用量在 193~220

kg/hm<sup>2</sup>。据统计,我国稻田单季水稻氮肥用量比世界平均水平高 75%左右,过量的施用氮肥不仅造成氮肥污染,还会导致作物减产。综上所述,施氮量在 180~270 kg/hm<sup>2</sup> 之间水稻可以达到最佳经济产量。

关于 Y 型灌溉与滴灌两种灌溉方式的研究比较少,二者并无交叉,但可以通过上述 Y 型灌溉方式与淹灌比较、滴灌与淹灌比较的结果进行总结,可以得到以下结论:(1)Y 型灌溉和膜下滴灌都可有效控制分蘖数,干物质积累量均高于淹灌;(2)与传统淹灌相比, Y 型灌溉节水 11.0%~47.0%<sup>[10-11,16-19]</sup>,滴灌节水 60.0%<sup>[4,20-21,24]</sup>以上;(3)在有效分蘖数、有效穗数、每穗粒数、结实率、千粒重方面 Y 型灌水方式优于膜下滴灌,因此水稻产量方面 Y 型灌溉要高于膜下滴灌。

### 3 结论与讨论

经过上述分析,水稻膜下滴灌技术节水、高产、高效,通过膜下滴灌进行滴水施肥不仅促进水稻根系的生长还减少了肥料随水流失,降低了因水肥渗漏而造成的地下水污染,使用膜下滴灌技术不仅可以获得较高产量,而且还可以节约肥料,降低成本。该技术在干旱缺水的地区具有广阔的应用前景。而降水丰沛、水资源丰富的地区更适合应用 Y 型灌溉方式。Y 型灌溉与膜下滴灌相比,成本较低,操作更加方便,产量也相对较高。

目前,无论是 Y 型灌溉方式还是膜下滴灌方式仍有以下问题亟待解决:(1)虽然 Y 型灌溉技术可以节约水资源,但是用水量不确定,相应的灌溉制度不明确,需要做进一步的研究。(2)二者在用水量与施氮量的配合上仍存在很大问题,没有明确给出滴肥量、滴肥次数、滴肥时间与灌水制度之间的耦合关系。(3)两种灌溉方式均能起到控制分蘖数的作用,但如何通过水、肥精确调控分蘖数,确保一定的产量,这些仍需要大量试验验证。

### 参考文献

- [1] 张自常,李鸿伟,曹转勤,等.施氮量和灌溉方式的交互作用对水稻产量和品质影响[J].作物学报,2013,39(1):84-92.
- [2] 王永新.浅谈节水灌溉技术[A].《建筑科技与管理》组委会.建筑科技与管理学术交流会议论文集[C],2014:99-101.
- [3] 周春生,史海滨.节水灌溉技术研究综述[J].内蒙古农业大学学报,2009,30(4):314-320.
- [4] 陈林,程莲,李丽,等.水稻膜下滴灌技术的增产效果与经济效益分析[J].中国稻米,2013,19(1):41-43.
- [5] 汪秀志,钱永德,吕艳东,等.施氮和密度对寒地水稻分蘖状况及产量的影响[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2011,37(1):69-76.
- [6] 刘建.优质水稻高产高效栽培技术[M].北京:中国农业科学技术出版社,2009:96-98.
- [7] Wright R J, Boyer D G, Winant W M, et al. The influence of soil factors on yield differences among landscape positions in an appalachian cornfield[J]. *Soil Sci*, 1990, 149(6): 375-382.
- [8] Blanco-Canqui H, Lal R, Post W M, et al. Changes in long-term no-till corn growth and yield under different rates of stover mulch[J]. *Agro J*, 2006, 98(4): 1 128-1 136.
- [9] Jagadamma S, Lal R, Hoeft R G, et al. Nitrogen fertilization and cropping system impacts on soil properties and their relationship to crop yield in the central Corn Belt, USA [J]. *Soil Tillage Res*, 2008, 98(2): 120-129.
- [10] 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.
- [11] 张荣萍,马均.不同灌水方式对水稻齐穗期功能叶性状的影响[J].西昌学院学报:自然科学版,2008,22(3):31-34.
- [12] 张耀鸿,张亚丽,黄启为,等.不同氮肥水平下水稻产量以及氮素吸收、利用的基因型差异比较[J].植物营养与肥料学报,2006,12(5):616-621.
- [13] 杨京平,姜宁,陈杰.施氮水平对两种水稻产量影响的动态模拟及施肥优化分析[J].应用生态学报,2003,14(10):1 654-1 660.
- [14] 潘圣刚,曹凑贵,蔡明历,等.不同灌溉模式下氮肥水平对水稻氮素利用效率、产量及其品质的影响 [J].植物营养与肥料学报,2009,15(2):283-289.
- [15] 潘圣刚,黄胜奇,汪金平,等.不同灌溉模式下氮肥水平对水稻生物学特性及水分利用效率的影响 [J].干旱区研究,2012,29(1):161-166.
- [16] 孙永健,孙园园,李旭毅,等.不同灌水方式和施氮量对水稻群体质量和产量形成的影响[J].杂交水稻,2010,25(S1):408-416.
- [17] 倪同坤,戴柏元,王卫军,等.水稻控制灌溉技术在苏北沿海垦区的应用[J].江苏农业科学,2008(3):52-53.
- [18] 逢焕成.我国节水灌溉技术现状与发展趋势分析[J].中国土壤与肥料,2006(5):1-6.
- [19] 姚林,郑华斌,刘建霞,等.中国水稻节水灌溉技术的现状及发展趋势[J].生态学杂志,2014,33(5):1 381-1 387.
- [20] 王志军,谢宗铭,田又升,等.膜下滴灌和淹灌两种栽培模式下水稻光合生理特性的研究 [J].中国水稻科学,2015,29(2):150-158.
- [21] 陈林,郭庆人.膜下滴灌水稻栽培技术的形成与发展[J].作物研究,2012,26(5):587-588.
- [22] 朱齐超,危常州,李美宁,等.氮肥运筹对膜下滴灌水稻生长和产量的影响[J].中国水稻科学,2013,27(4):440-446.
- [23] 何进宇,田军仓.膜下滴灌旱作水稻水肥耦合模型及组合方案优化[J].农业工程学报,2015,31(13):77-82.
- [24] 郭庆人,陈林.水稻膜下滴灌栽培技术在我国发展的优势及前景分析[J].中国稻米,2012,18(4):36-39.
- [25] 朱齐超.膜下滴灌水稻养分积累规律及生理响应[D].石河子:石



- 河子大学, 2013.
- [26] 黄文江, 王纪华, 赵春江, 等. 水稻旱作条件下渗透调节物质和激素含量的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1):61-64.
- [27] 潘圣刚, 曹凑贵, 蔡明历, 等. 不同灌溉模式下氮肥水平对水稻氮素利用效率、产量及其品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2):283-289.
- [28] 曾勇军, 石庆华, 潘晓华, 等. 施氮量对高产早稻氮素利用特征及产量形成的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(8):1 409-1 416.
- [29] 李丽, 陈林, 张婷婷, 等. 膜下滴灌对水稻根系形态及生理性状的影响[J]. 排水机械工程学报, 2015, 33(6):536-540.
- [30] 侯云鹏, 韩立国, 孔丽丽, 等. 不同施氮水平下水稻的养分吸收、转运及土壤氮素平衡 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4):836-845.

## Review of Several Irrigation Methods and Nitrogen Rate on Rice Yield

CUI Tingting<sup>1</sup>, LI Wangcheng<sup>1,2,3</sup>, XIA Ting<sup>4</sup>, WU Yan<sup>5</sup>

(<sup>1</sup> College of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; <sup>2</sup> Ningxia Research Center of Technology on Water-saving Irrigation and Water Resources Regulation, Yinchuan 750021, China; <sup>3</sup> Engineering Research Center for Efficient Utilization of Water Resources in Modern Agriculture in Arid Regions, Yinchuan 750021, China; <sup>4</sup> College of Bioscience and Bioengineering, Beifang University of Nationalities, Yinchuan 750021, China; <sup>5</sup> Quality Inspection Station of Qingtongxia Branch Company, State Power Investment Corporation Ningxia Qingtongxia Energy Aluminum Group Co. Ltd., Qingtongxia, Ningxia 751603, China; 1st author: 771085369@qq.com; \*Corresponding author: liwangcheng@126.com)

**Abstract:** In view of the fact that the conclusion of the impact of different irrigation methods and nitrogen rate on rice yield is inconsistent, the authors analyzed the impact of three different methods of irrigation, including traditional flooding irrigation, Y-irrigation and drip irrigation, and nitrogen rate on rice yield in this paper, on the basis of consulting the domestic research literature. The results showed that Y-irrigation saves more than 32% water than traditional flooding irrigation, and drip irrigation saves more than 60% water than traditional flooding irrigation. The yield significantly increases with the increase of nitrogen rate, but it will decrease with too much nitrogen fertilizer. What's more, water and nitrogen ratio for getting optimal yield will be different in different planting conditions, so the reasonable water and nitrogen ratio should be determined by the experiment under different planting conditions.

**Key words:** irrigation methods; nitrogen rate; rice; yield

(上接第 30 页)

- [5] Septiningsih EM, Pamplona A M, D L Sanchez, et al. Development of submergence-tolerant rice cultivars: the *Sub1* locus and beyond[J]. *Ann Bot*, 2009, 103(2): 151-160.
- [6] 李绍清, 李阳生. 乳熟期淹水对两系杂交水稻源库特性的影响[J]. 杂交水稻, 2000, 15(2):38-40.
- [7] 刘明, 李岩, 郭贵华, 等. 长江下游不同类型水稻分蘖期耐淹能力比较[J]. 应用生态学报, 2015, 26(5):1 373-1 381.
- [8] 王斌, 周永进, 许有尊, 等. 不同淹水时间对分蘖期中稻生育动态及产量的影响[J]. 中国稻米, 2014, 20(1):68-72.
- [9] 周永进, 王斌, 许有尊, 等. 孕穗期淹水胁迫对早稻生长发育及产量的影响[J]. 中国稻米, 2013, 19(4):86-90.
- [10] 潘澜, 薛晔, 薛立. 植物淹水胁迫形态学研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(7):11-15.
- [11] Das K K, Panda D, Sarkar R K et al. Submergence tolerance in relation to variable floodwater conditions in rice [J]. *Environ Exp Bot*, 2009, 66(3):425-434.
- [12] 潘澜, 薛立. 植物淹水胁迫的生理学机制研究进展[J]. 生态学报, 2012, 31(10):2 662-2 672.

## Effects of Waterflooding on Yield of Rice Submergence Tolerance Gene *Sub1A* Introgression Line at Different Growth Stage

DU Yanxiu, SUN Hongzheng, ZHANG Jing, LI Junzhou, PENG Ting, ZHAO Quanzhi

(College of Agronomy, Henan Agricultural University/Collaborative Innovation Center of Henan Grain Crops, Zhengzhou 450002, China; \*Corresponding author: qzzhaoh@126.com)

**Abstract:** IR64 and *Sub1A* gene introgression line were waterflooding at seedling stage, tillering stage and heading stage, the effective tiller number, grain number per panicle, seed setting rate, thousand seed weight and single plant yield were measured to evaluate the reduction of rice yield loss by *Sub1A* gene. The results showed that the average single plant yield of *Sub1A* gene introgression line and IR64 submerged reached 39.11 g and 24.92 g at seedling stage, 10.31 g and 0.48 g at tillering stage, 24.35 g and 23.36 g at heading stage, respectively. The effective tiller number, grain number per panicle, seed setting rate, thousand seed weight and yield of *Sub1A* gene introgression line were all significantly higher than IR64 when waterflooding at seedling stage and tillering stage.

**Key words:** rice; *Sub1A* introgression line; submergence; yield