

土层厚度与灌溉方式对寒地水稻节水生长及产量的影响

卢程悦¹, 曹志富², 张万锋³, 辛海霞⁴, 杨树青^{1*}

(1. 内蒙古农业大学, 呼和浩特 010018; 2. 乌兰浩特市农科局, 内蒙古 乌兰浩特 137400;
3. 内蒙古师范大学, 呼和浩特 010018; 4. 科右前旗农牧业科学技术发展中心, 内蒙古 乌兰浩特 137708)

摘要:【目的】探究不同土层厚度与灌溉方式对寒地水稻生长的影响。【方法】于2020年在兴安盟乌兰浩特市科右前旗袁隆平水稻试验基地开展水稻田间试验, 试验设置15~20 cm (H1)、20~25 cm (H2)和25~30 cm (H3) 3种土层厚度, 设置控制灌溉(K)、常规灌溉(CK) 2种灌溉方式, 共计6个处理, 探究不同土层厚度与灌溉方式对寒地水稻生长的影响。【结果】K处理下的水稻株高相比CK矮, 根长、茎粗、每穴有效穗数、千粒质量及产量相比CK均有不同程度的增加, H2和H3土层厚度下的水稻产量相比H1增加30.49%~32.91%和63.74%~76.33%, K处理下的总灌水量相比CK减少55.04%~56.84%, K处理下的灌溉水生产率相比CK增加1.55~1.86倍, H2和H3土层厚度下的水稻灌溉水生产率相比H1增加35.61%~38.62%和73.07%~94.14%。【结论】25~30 cm土层厚度下采用控制灌溉的水稻节水增产效果最优, 适宜当地水稻种植, 研究结果可为寒地水稻种植提供理论依据与技术参考。

关键词: 土层厚度; 灌溉方式; 寒地水稻; 控制灌溉; 产量

中图分类号: S27

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2023373

OSID:



卢程悦, 曹志富, 张万锋, 等. 土层厚度与灌溉方式对寒地水稻节水生长及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2024, 43(3): 27-32.

LU Chengyue, CAO Zhifu, ZHANG Wanfeng, et al. Effects of soil thickness and water-saving irrigation method on growth and yield of rice in cold region[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2024, 43(3): 27-32.

0 引言

【研究意义】中国是最大的水稻生产和消费国, 水稻种植面积占全球种植面积的20%^[1]。为缓解水资源危机和实现农业现代化, 推广节水灌溉已成为世界各国农业发展的必然趋势, 对推进节水型灌区及节水型社会建设具有重要意义。【研究进展】以往研究基于多种节水灌溉技术开展了水稻生长和产量对比试验^[2-4], 介绍了每种节水灌溉技术的灌溉制度及适用范围^[5-7]。控制灌溉下的水稻有效分蘖数、有效穗数、结实率、千粒质量、产量^[8-12]、根系干质量、根体积、根长、根系活力^[3]、茎粗、茎壁厚及茎秆截面积^[13]均显著高于常规灌溉, 在减少无效耗水量、提高水分利用效率的同时可以达到节水增产的效果^[8-12], 同时, 控制灌溉在一定程度上抑制了水稻株高增长^[13], 且不同水稻品种下的规律相似^[14]。控制灌溉更有利于保持黑土供氮能力, 维持土壤氮库稳定^[15]。研究表明, 不同土层厚度对作物生殖生长具有显著影响^[16], 土层越厚, 土壤水分越充足, 越有利于保证土壤供水能

力^[17]。【切入点】目前, 不同土层厚度与灌溉方式对寒地薄土层水稻的生长及产量的影响尚不明晰。【拟解决的关键问题】鉴于此, 本研究旨在探究不同土层厚度与灌溉方式对寒地水稻生长的影响, 提出优化的水稻种植土层厚度及灌溉方式, 为寒地水稻种植提供理论依据与技术参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于乌兰浩特市科右前旗(45°55'—46°18' N, 121°50'—122°20' E), 属温带大陆性半干旱季风气候, 年平均气温为4.2℃, 年平均日照时间为2 300 h, 年平均降水量为314.8 mm, 7—8月降水量占全年降水量的54%~58%。灌区内年平均蒸发量为1 830.4 mm, 年平均风速为2.87 m/s, 最大冻土深度为2.49 m。当地土层较薄, 上层土壤为砂壤土, 下层为砂砾石(图1), 土壤平均体积质量为1.49 g/cm³, 田间持水率为25.59%, 土壤有机质量为15.08 g/kg, 速效氮量为0.974 g/kg, 速效磷量为0.54 g/kg, 速效钾量为14.12 g/kg。水稻生育期见表1。

1.2 试验设计

试验于2020年4月在兴安盟乌兰浩特市科右前旗袁隆平水稻试验基地开展, 设置土层厚度和灌溉方式2个因素, 依据试验区地质情况选取当地固有的不

收稿日期: 2023-08-15 修回日期: 2023-12-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(52069023, 52179037)

作者简介: 卢程悦(1996-), 女, 硕士研究生, 主要从事农业水土资源利用与水土环境调控研究。E-mail: 2367465061@qq.com

通信作者: 杨树青(1966-), 女, 博士, 主要从事农业水土资源利用与水土环境调控研究。E-mail: nmndysq@126.com

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

同土层厚度区,采用梅花点法对每个小区选取障碍层以上的土层进行厚度测量,共计 3 个土层厚度,分别为 15~20 cm(H1)、20~25 cm(H2)和 25~30 cm(H3),每个土层厚度分别设置控制灌溉(K)和当地常规灌溉(CK)2种灌溉方式,共计 6 个处理,每个处理设置 3 个重复,共计 18 个小区,每个小区规格为 4 m×6.7 m。各小区的土埂宽 50 cm,垂直高出地面 30 cm,各

处理间埋设深度为 20 cm 的两布一膜复合土工膜(布 400 g/m²,膜厚 0.08 mm),以阻断各小区之间的水分流动。试验设计见表 2。参考孟翔燕等^[11]的水稻试验结论和郭相平等^[12]制定的控制灌溉下限标准设定控制灌溉制度,CK 执行水尺水深为 0 时灌 3 cm 浅层水的灌溉制度,K 执行含水率达到各生育期田间持水率下限时灌薄层水的节水灌溉制度,具体设置见表 3。

表 1 水稻各生育期

Tab.1 Growth stage of rice

生育期	返青期	分蘖期	拔节孕穗期	抽穗扬花期	乳熟期	黄熟期	合计
天数/d	8	30	29	23	12	6	108
日期	0530—0606	0607—0706	0707—0804	0805—0827	0828—0908	0909—0914	

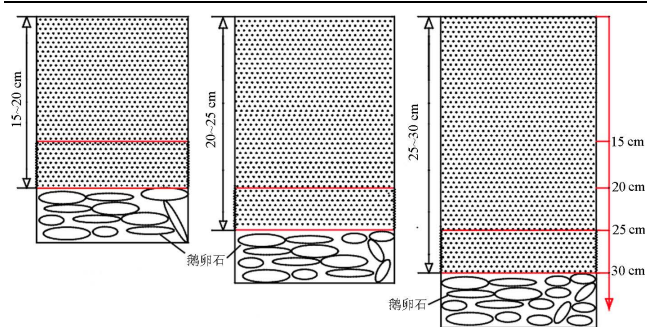


图 1 土层厚度示意

Fig.1 Soil thickness map

从斗渠采用水泵抽水灌溉,通过 PE 管道输水,各支管首端安装控制阀,利用四通从输水支管接分管供水各小区灌溉并在输水支管安装控制阀及水表,实现每个小区单独灌溉和水量的计量。水稻品种为东农

417,各处理统一灌水耙地、施肥及插秧,机械插秧行距与穴距分别为 30 cm 与 10 cm,每穴 3~5 棵苗。施肥统一标准为底肥施用 480 kg/hm² 混合肥,返青期肥施 112.5 kg/hm² 硫酸铵氮肥,分蘖期肥施 112.5 kg/hm² 氮肥,穗期肥施 37.5 kg/hm² 氮肥和 15 kg/hm² 钾肥。

表 2 试验设计

Tab.2 Test design sheet

编号	处理	灌溉方式	土层厚度/cm
1	KH1	控制灌溉	15~20
2	KH2		20~25
3	KH3		25~30
4	CKH1	常规灌溉	15~20
5	CKH2		20~25
6	CKH3		25~30

表 3 寒地水稻的不同灌溉制度

Tab.3 Soil moisture standard of root layer in rice growing stage

处理	返青期	分蘖期			拔节孕穗期		抽穗扬花期	乳熟期	黄熟期
		前期	中期	末期晒田	前期	后期			
控制灌溉/mm	10~30	90%~100%	80%~100%	70%~100%	80%~100%	90%~100%	90%~100%	80%~100%	落干~自然
常规灌溉/mm	0~30	0~30	0~30	70%~100%	0~30	0~30	0~30	0~30	0~30

注 表中 mm 表示土层厚度,“%”指含水率占土壤饱和含水率的百分数。

1.3 观测项目

1) 土壤指标

采用环刀法分层测定 0~30 cm 土壤体积质量及田间持水率,采用便携式土壤墒情监测设备(TDR)监测各小区土壤水分,每天采集一次数据,降水和灌溉排水前后分别加测一次。

2) 作物指标

插秧结束后 5 d 观测株高,分蘖高峰期—抽穗期每隔 3 d 加测一次,抽穗前株高为土面至每丛最高叶尖的高度,抽穗后株高为土面至最高穗顶(不连芒)的高度。各处理在水稻成熟期选 5 穴水稻植株用量尺和游标卡尺分别测根长及茎粗。收割前,在每个小区选取 10 穴稻株称质量,同时测量每穴有效穗数。

3) 产量回归模型

本研究采用多元线性回归模型分析产量与其他指标的关系。基于 SPSS 探究多个自变量 X_1, X_2, X_3, \dots ,

X_i 与因变量 Y 的关系,先检验并剔除有严重共线性($VIF < 10$)的自变量,即自变量间不存在多重共线性后进行多元线性回归,其次仅保留对产量有显著影响的类别因子^[18]。以产量(Y)为因变量,以土层厚度(D)、灌水量(L)、株高(H)及千粒质量(G)为自变量。

2 结果与分析

2.1 不同土层厚度与灌溉方式对寒地水稻生长的影响

由图 2 可知,K 灌溉方式下的水稻成熟期株高较 CK 降低 10.59%~17.53%,根长较 CK 增长 13.33%~25%,茎粗较 CK 增加 18.12%~36.94%。与 H1 土层厚度相比,H2 土层厚度下的株高提高 11.11%~19.75%,H3 土层厚度下的株高提高 4.94%~5.56%,H2 根长增加 41.67%~50%,H3 根长增加 100%~108%,H2 茎粗增加 15.79%~34.23%,H3

茎粗增加 31.91%~49.55%。土层厚度对水稻株高、根长和茎粗有显著影响；控制灌溉下土层厚度为 25~30 cm (KH3 处理) 的根长和茎粗最大。

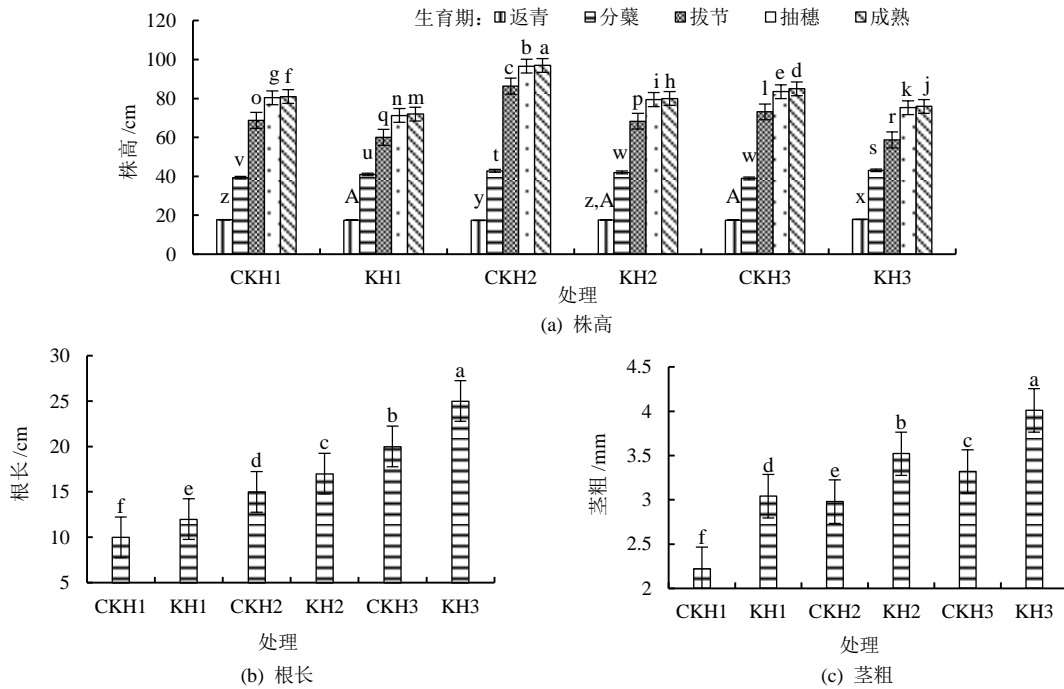


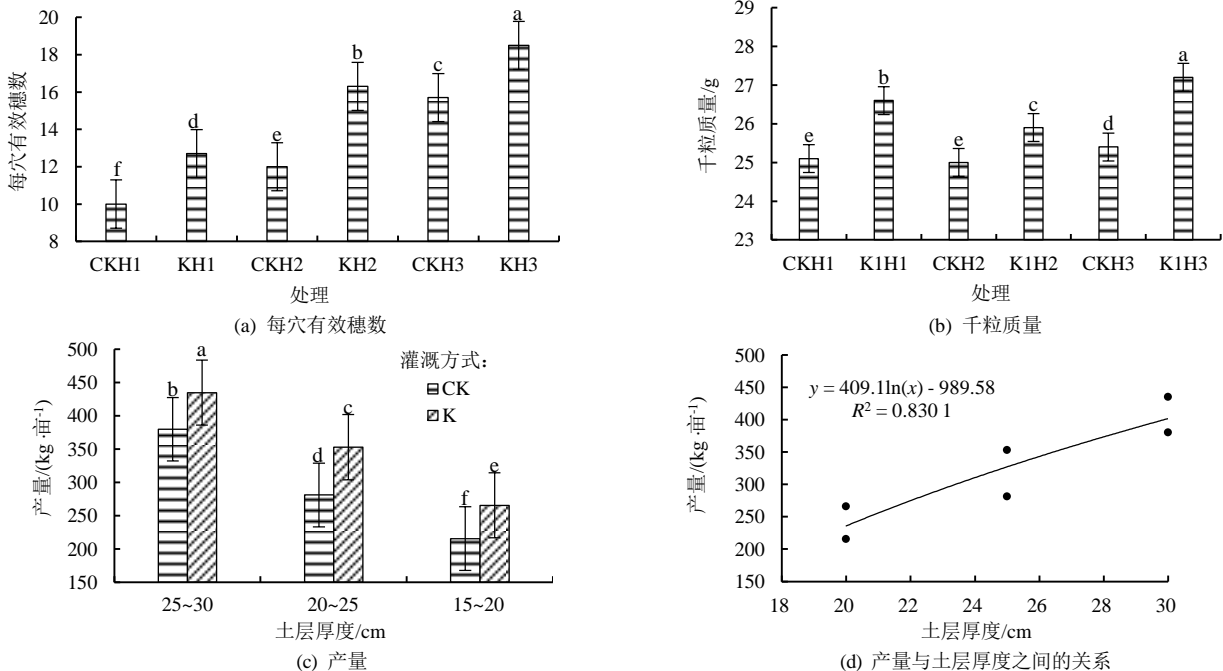
图 2 各处理下的水稻生长指标

Fig.2 Growth indexes of rice under each treatment

2.2 不同土层厚度与灌溉方式对寒地水稻产量的影响

由图 3 可知, K 灌溉方式下的每穴有效穗数较 CK 增加 17.83%~35.83%, 千粒质量较 CK 增加 3.6%~7.09%, 产量较 CK 增加 14.45%~25.53%。与 H1 土层厚度相比, H2 土层厚度下的每穴有效穗数增加 20%~28.35%, H3 增加 45.67%~57%, H2 千粒质量增加-2.63%~-0.4%, H3 增加 1.2%~2.23%, H2 产量增加 30.49%~32.91%, H3 增加 63.74%~76.33%。控制灌溉下土层厚度为 25~30 cm (KH3) 处理的每穴有效穗数和水稻产量最高。水稻产量与土层厚度呈正

相关, 与灌水量呈负相关, 与千粒质量呈正相关, 与株高呈负相关。土层厚度 (D)、灌水量 (L) 及株高 (H) 的显著性检验结果达到了极显著水平, 千粒质量 (G) 达到了显著水平, 产量与土层厚度 (D)、灌水量 (L)、株高 (H)、千粒质量 (G) 之间的回归模型为: $Y = -227.545 + 17.357D - 0.028L + 9.74G - 1.179H$, 基于该模型的产量模拟值与实测值之间的 $R^2 = 0.9935$ 。在灌水量调控与土层厚度相互作用下, KH3 处理下的产量最高。



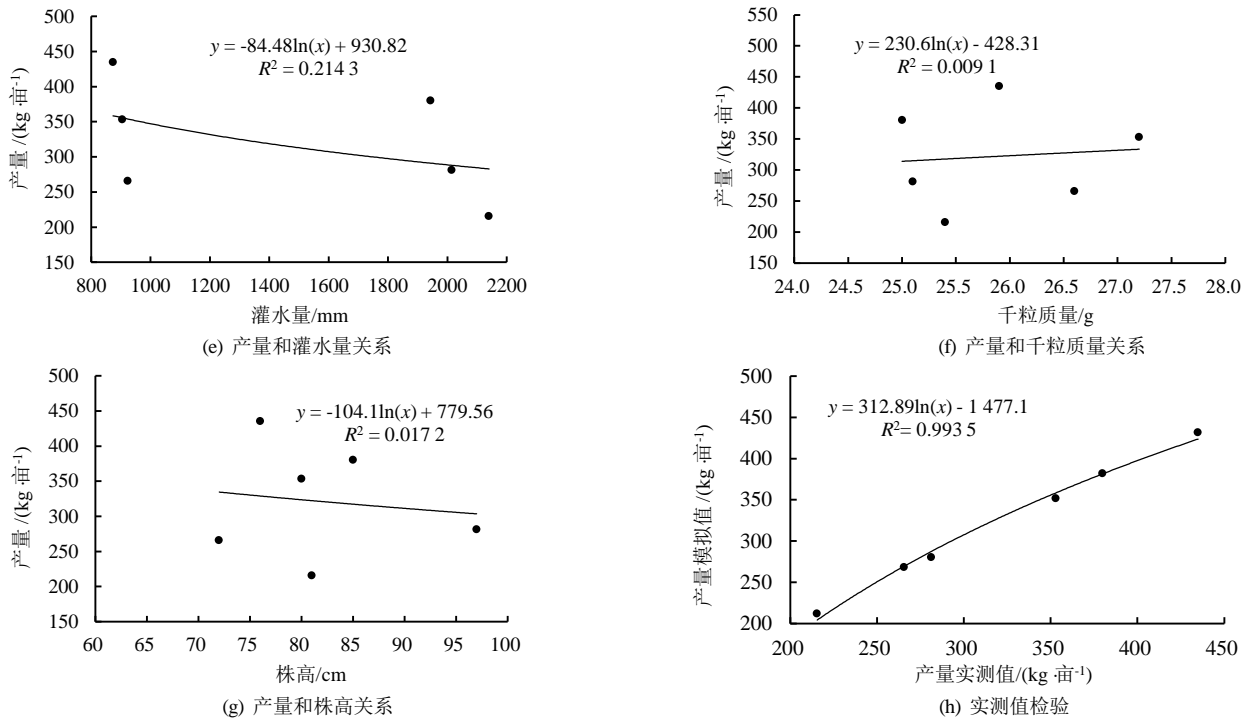


图 3 各处理下的指标及关系

Fig.3 Indicators and relationships under each treatment

2.3 不同土层厚度与灌溉方式下的水稻节水效果分析

由图 4 可知, K 灌溉方式下的总灌水量较 CK 减少 55.04%~56.84%, 灌溉水分生产率较 CK 增加 1.55~1.86 倍, K 灌溉方式下的 H1、H2 和 H3 土层厚度的灌水次数分别为 23、22 次和 17 次, CK 下的 H1、H2 和

H3 土层厚度的灌水次数分别为 25、20 次和 19 次。与 H1 土层厚度相比, H2 土层厚度下的灌水量减少 1.99%~5.87%, H3 土层厚度减少 5.39%~9.17%, H2 土层厚度下的灌溉水分生产率增加 35.61%~38.62%, H3 土层厚度增加 73.07%~94.14%。

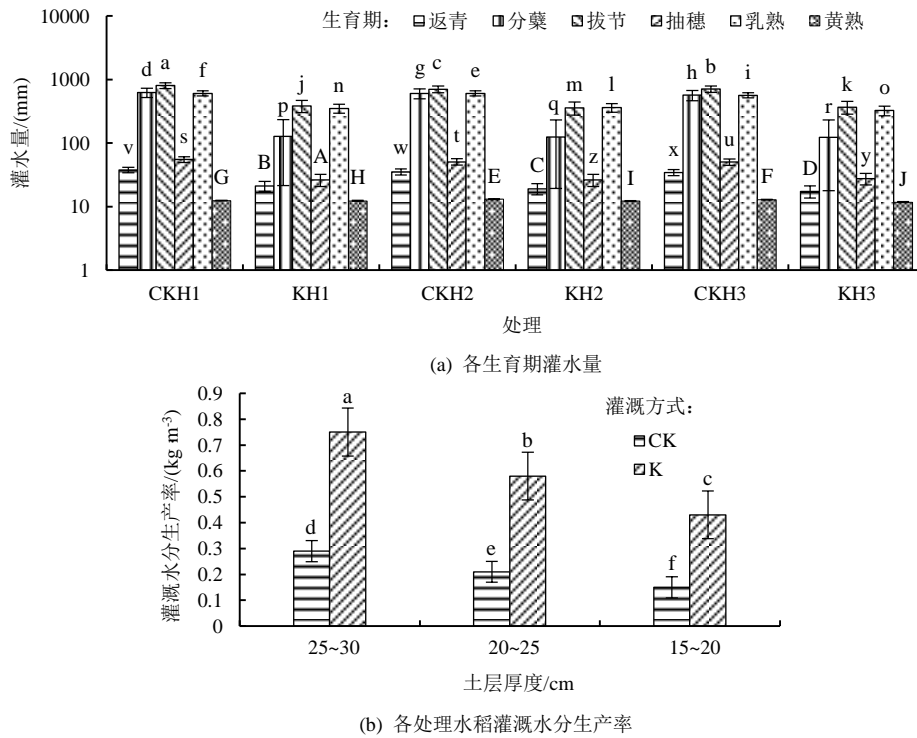


图 4 各生育期灌水量的水分生产率

Fig.4 Water productivity of different irrigation volumes in each growth period

3 讨论

控制灌溉减少了稻田土壤储水量, 抑制水稻株高

的生长, 从而导致水稻株高较常规灌溉条件下矮, 进而导致茎粗增加^[11,18-20]。薄土层对水稻的生长趋势无影响, 但会影响株高及茎粗的生长。由于控制灌溉有

加强田间透气性的潜力,使水稻根可以深入土层,充分吸收水分和养分,因此控制灌溉下的水稻根长较常规灌溉长,这与前人研究结果一致^[8]。薄土层对水稻根系生长有抑制作用,影响根系吸收深层土壤养分,因此土层越厚,根长越长。

研究表明,采用控制灌溉技术可减少无效分蘖、提高有效穗数^[10],这与本研究结论一致。土层越厚,有效穗数越多,这是由于拔节孕穗期的分蘖数量达到峰值,此生育期水稻需要充足的水分供给,薄土层会影响根吸收水分,因此土层越厚有效穗数越多。千粒质量是影响水稻产量的重要因素之一,也是最能直观表现水稻品质的指标。本研究表明,控制灌溉可显著提高千粒质量,这与前人研究结果一致^[10]。薄土层对水稻千粒质量的影响较小。控制灌溉是在水稻生长发育过程中适度进行水分胁迫的节水灌溉方式,有节水增产的效果,这与前人研究结论一致^[9-10,20],但针对不同薄土层厚度采用控制灌溉对水稻产量的相关研究仍不完善。不同土层厚度与控制灌溉对产量有显著影响;土层越厚,产量越大。前人提出采用土壤水分控制下限灌溉方式可以达到节水增产及提高灌溉水利用效率的目的^[21-22],本研究在此基础上探究不同土层下的控制灌溉对水稻节水和灌溉水利用效率的影响。土层越厚,灌水量越小,灌水次数越少,土层越薄节水效果越好,但灌溉水分生产率越低。土层厚度对水稻根系的走势、密度和体积有很大影响,针对这一影响,后续建议开展不同土层厚度及灌溉制度下水稻根系与抗倒伏能力的相关研究。

4 结论

1)相比常规灌溉,控制灌溉下的水稻株高更矮,根长、茎粗、每穴有效穗数、千粒质量及产量有不同程度的增加。

2) 25~30 cm 土层厚度下采用控制灌溉的水稻节水增产效果最优。

(本人声明本文无实际或潜在利益冲突)

参考文献:

- CAO Wen, DUAN Chunfeng, YANG Taiming, et al. Higher heat stress increases the negative impact on rice production in South China: A new perspective on agricultural weather index insurance[J]. *Atmosphere*, 2022, 13(11): 1 768.
- ZHAO Ling, ZHAO Chunfang, ZHOU Lihui, et al. Analysis on rice production in China[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2016, 17(1): 78-80, 105.
- YANG Jianchang, LIU Kai, WANG Zhiqin, et al. Water-saving and high-yielding irrigation for lowland rice by controlling limiting values of soil water potential[J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2007, 49(10): 1 445-1 454.
- 刘江彪, 潘国君, 郭桂萍, 等. 节水灌溉与常规灌溉对水稻生育动态及产量的影响[J]. *黑龙江农业科学*, 2018(9): 18-22.
- LIU Jiangbiao, PAN Guojun, ZHENG Guiping, et al. Effects of conventional irrigation and water-saving irrigation on growth dynamics and yield of rice[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2018(9): 18-22.
- 李永松, 陈基旺, 袁帅, 等. 节水灌溉对水稻产量和根系的影响研究进展[J]. *作物研究*, 2020, 34(2): 176-182.
- LI Yongsong, CHEN Jiwang, YUAN Shuai, et al. Research progress on effect of water-saving irrigation on yield and roots of rice[J]. *Crop Research*, 2020, 34(2): 176-182.
- 顾希, 刘昆, 高捷, 等. 节水灌溉技术及其对水稻产量影响的研究进展[J]. *杂交水稻*, 2022, 37(2): 7-13.
- GU Xi, LIU Kun, GAO Jie, et al. Research advances of water-saving irrigation methods and their influences on rice yield[J]. *Hybrid Rice*, 2022, 37(2): 7-13.
- 杨谦, 李京咏, 戴林秀, 等. 灌溉方式对水稻产量、品质与抗倒性影响的研究进展[J]. *中国稻米*, 2023, 29(5): 13-16.
- YANG Qian, LI Jingyong, DAI Linxiu, et al. Research progress on the effects of irrigation methods on rice yield, quality and lodging resistance[J]. *China Rice*, 2023, 29(5): 13-16.
- 张超, 郑恩楠, 邓聪. 控制灌溉水稻荧光参数变化、根系特征及产量效应分析[J]. *吉林水利*, 2020(11): 1-7.
- ZHANG Chao, ZHENG Ennan, DENG Cong. Analysis on variation in fluorescence parameters, root characteristics and yield effects for rice under control irrigation[J]. *Jilin Water Resources*, 2020(11): 1-7.
- 文孝荣, 赵志强, 王奉斌, 等. 控制灌溉对南疆水稻品种生长及产量的影响[J]. *中国稻米*, 2019, 25(3): 108-111.
- WEN Xiaorong, ZHAO Zhiqiang, WANG Fengbin, et al. Effects of controlled irrigation on growth and yield of rice varieties in southern Xinjiang[J]. *China Rice*, 2019, 25(3): 108-111.
- 刘艳, 孙文涛, 隗英华. 控水对水稻生长发育及产量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(4): 53-55.
- 孟翔燕, 周凌云, 张忠学, 等. 不同灌溉模式对水稻生长、水分和辐射利用效率的影响[J]. *农业机械学报*, 2019, 50(11): 285-292.
- MENG Xiangyan, ZHOU Lingyun, ZHANG Zhongxue, et al. Effects of different irrigation patterns on growth, water and radiation use efficiency of rice[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2019, 50(11): 285-292.
- 郭相平, 王甫, 王振昌, 等. 不同灌溉模式对水稻抽穗后叶绿素荧光特征及产量的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2017, 36(3): 1-6.
- GUO Xiangping, WANG Fu, WANG Zhenchang, et al. Effects of irrigation modes on yield and chlorophyll fluorescence characteristics after heading stage of rice[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2017, 36(3): 1-6.
- 侯鹏飞. 辽宁中部地区水稻调亏灌溉增产试验研究[J]. *东北水利水电*, 2020, 38(11): 57-59, 72.
- HOU Pengfei. Experimental study on rice yield increase by regulated deficit irrigation in middle area of Liaoning Province[J]. *Water Resources & Hydropower of Northeast China*, 2020, 38(11): 57-59, 72.
- 孙艳玲, 刘迪, 王柏, 等. 寒区第一积温区水稻品种筛选及灌溉模式研究[J]. *水利科学与寒区工程*, 2019, 2(6): 1-6.
- SUN Yanling, LIU Di, WANG Bai, et al. Research of selecting rice varieties and irrigation mode in the first accumulated temperature area of cold region[J]. *Hydro Science and Cold Zone Engineering*, 2019, 2(6): 1-6.
- 张忠学, 宋健, 齐智娟, 等. 控制灌溉氮肥减施对土壤氮素分布及氮素利用率的影响[J]. *东北农业大学学报*, 2022, 53(3): 42-49, 60.
- ZHANG Zhongxue, SONG Jian, QI Zhijuan, et al. Effects of reducing nitrogen fertilizer application on soil nitrogen distribution and nitrogen use efficiency under water-saving irrigation[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2022, 53(3): 42-49, 60.
- 杨小琴. 千根草生长繁殖和生理代谢对汀步缝隙土层厚度的适应策

- 略[D]. 南充: 西华师范大学, 2022.
- YANG Xiaoqin. Strategies for adapting the growth, reproduction and physiological metabolism of *Euphorbia thymifolia* to soil thickness in stepping stone gaps[D]. Nanchong: China West Normal University, 2022.
- [17] 周玉锋. 土层厚度对刺槐旱季水分状况和生长的影响[J]. 林业建设, 2023(3): 32-35.
- ZHOU Yufeng. Effect of soil thickness on moisture status and growth of locust in dry season[J]. Forestry Construction, 2023(3): 32-35.
- [18] 田午子, 孙泽, 孙润, 等. 基于 SPSS 多元线性回归对城市用水量的分析[J]. 华北科技学院学报, 2019, 16(2): 114-117.
- TIAN Wuzi, SUN Ze, SUN Run, et al. Analysis of urban water consumption based on SPSS multiple linear regression[J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2019, 16(2): 114-117.
- [19] 郭相平, 黄双双, 王振昌, 等. 不同灌溉模式对水稻抗倒伏能力影响的试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(5): 1-5.
- GUO Xiangping, HUANG Shuangshuang, WANG Zhenchang, et al. Impact of different irrigation methods on resistance of rice against bending and breaking[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(5): 1-5.
- [20] 孟凡香, 李天霄. 不同灌水模式对东北寒区水稻生长指标及产量的影响[J]. 水利科技与经济, 2017, 23(5): 17-19.
- [21] 吴汉, 柯健, 何海兵, 等. 不同间歇时间灌溉对水稻产量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(1): 37-44.
- WU Han, KE Jian, HE Haibing, et al. Experimental study on the effects of different intermittent irrigations on yield and water use efficiency of rice[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(1): 37-44.
- [22] 俞双恩, 李偲, 高世凯, 等. 水稻控制灌排模式的节水高产减排控污效果[J]. 农业工程学报, 2018, 34(7): 128-136.
- YU Shuang'en, LI Si, GAO Shikai, et al. Effect of controlled irrigation and drainage on water saving, nitrogen and phosphorus loss reduction with high yield in paddy field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(7): 128-136.

Effects of soil thickness and water-saving irrigation method on growth and yield of rice in cold region

LU Chengyue¹, CAO Zhifu², ZHANG Wanfeng³, XIN Haixia⁴, YANG Shuqing^{1*}

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China; 2. Ulanhot Agricultural Science Bureau, Ulanhot 137400, China; 3. Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010018, China; 4. Keyou Front Banner Agricultural Science and Technology Development Center, Ulanhot 137708, China)

Abstract: **【Objective】** This paper is to explore the effect of different soil thickness and irrigation methods on rice growth in cold region. **【Method】** In 2020, a rice water-saving experiment was carried out in Yuan Longping Rice test Base, Keyou Front Banner, Ulanhot City, Xingan League. The experiment consisted of three soil thickness treatments: 15-20 cm (H1), 20-25 cm (H2) and 25-30 cm (H3), and two irrigation treatments: controlled irrigation (K) and conventional irrigation (CK). In each treatment, we measured the growth and yield of the rice. **【Result】** The plant height in the K treatment was lower than that in the CK. Compared to CK, the K treatment increased root length, stem diameter, effective panicle number per hole, thousand grain weight and the rice yield. Compared to H1, H2 and H3 increased rice yield by 30.49%-32.91% and 63.74%-76.33%, respectively. Compared to CK, the K treatment reduced total irrigation amount by 55.04%-56.84%, and increased irrigation water productivity by 1.55 to 1.86 times. Compared to H1, H2 and H3 increased the irrigation water productivity by 35.61% to 38.62% and 73.07% to 94.14%, respectively. **【Conclusion】** Irrespective of the irrigation methods, varying soil thicknesses exerted distinct effects on plant height, root length, stem thickness, effective panicle count per hole, and rice yield. Implementing controlled irrigation alongside a soil thickness of 25-30 cm significantly enhanced rice growth, improved water use efficiency, and boosted rice yield. These findings offer valuable guidelines for rice cultivation in cold regions.

Key words: soil layer thickness; irrigation method; rice in cold area; controlled irrigation; yield

责任编辑: 韩 洋