

节水稻基农田作物轮作与灌溉模式需水规律研究

肖 新^{1,2}, 赵言文^{2,3}, 胡 锋², 施国庆³

(1. 安徽科技学院植物科学学院, 安徽 凤阳 233100; 2. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095;
3. 河海大学公共管理学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 采取田间试验方法, 研究了南方丘陵典型季节性干旱区节水稻基农田作物轮作与灌溉模式的需水规律和稻田水分利用率。结果表明, 节水稻基农田作物轮作与灌溉模式通过对水稻和油菜等作物产生的生长调控作用和补偿生效应, 使植株蒸腾量、棵间蒸发量及稻田渗漏量大幅降低, 各阶段的腾发量、需水强度和需水模系均发生显著变化, 形成了稻基农田作物轮作与灌溉模式新的需水规律。与常规双季稻模式相比, 节水灌溉双季稻模式、水旱轮作双季稻模式、稻油轮作模式的需水强度分别减少了 0.76、1.15、0.71 mm/d, 渗漏强度分别减少了 0.12、0.16、0.19 mm/d, 水分利用率提高了 30.14%、47.95%、17.81%。

关键词: 节水; 稻田; 作物轮作; 灌溉模式; 需水强度; 需水模系

中图分类号: S274.1; S152.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2008)04-0567-07

许多国内外专家、学者围绕水稻节水生产做大量研究工作, 相继提出控制灌溉、间歇灌溉、水稻旱作等节水理论^[1~8]。农民在实际生产中, 为减少灌溉用水也采用了一些经验性的节水灌溉方法。在总结前人研究成果和农民生产经验的基础上, 结合已有的研究结果, 构建几种以节水灌溉技术为核心、以水稻节水生产为主体的节水稻基农田作物轮作与灌溉模式。已有研究结果表明, 与该区常规稻基农田作物轮作与灌溉模式相比, 节水稻基农田作物轮作与灌溉模式的综合效益较高, 具有较好节水、省肥、省药效应以及控制农业面源污染效应^[9]。在这些成果支持下, 节水稻基农田作物轮作与灌溉模式已在生产实际中得到了广泛的推广与应用。

在气象、土壤、温度等条件相同情况下, 由于不同节水稻基农田作物轮作与灌溉模式采取灌溉管理方式和种植制度的不同, 不仅稻田养分利用水平差异大, 需水规律亦会发生变化, 同时作物产量也将相应发生一定的改变, 进而决定了水分利用率的高低。过量灌溉不仅导致大量有效养分的流失, 宝贵水资源的巨大浪费, 土壤理化性状的恶化, 而且可能带来许多生态环境问题^[10]。对节水稻基农田作物轮作与灌溉模式的需水规律及水分利用率的研究是合理选择节水稻基农田作物轮作与灌溉模式方式、评价节水稻基农田作物轮作与灌溉模式效果的重要依据, 因此针对南方丘陵季节性干旱区不同节水稻基农田作物轮作与灌溉模式的需水规律及相应的水分利用率进行研究, 将为该区水资源的合理高效利用提供重要理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域

田间试验和实地调查研究在江西省余江县的江西省邓家埠水稻原种场进行。该区位于江西省东北部武夷山区向鄱阳湖平原的过渡地段(东经 116°41' ~ 117°09', 北纬 28°04' ~ 28°37'), 是我国中亚热带低丘岗地红壤的典型

收稿日期: 2007-10-12

基金项目: 国家高新技术研究发展计划资助项目(2002AA2Z4331); 安徽省高校省级自然科学基金计划资助项目(KJ200876ZC); 安徽科技学院优秀引进人才基金资助项目(ZRC2008159)

作者简介: 肖 新(1980-), 男, 安徽利辛人, 博士, 主要从事农业生态与恢复生态研究。E-mail: xiaoxin8088@126.com

通讯作者: 赵言文, E-mail: ywzhao@njau.edu.cn

地区。水、光、热资源丰富, 年均气温 16.1~18.9, 10 积温 5 527.6, 年均日照 1 852.4 h, 无霜期 262 d, 年降雨量 1 200~2 000 mm, 但降水年度和季节分布极不均, 降水量的季节变化超前于潜在蒸发量变化 2.16~2.67 月, 一旦春夏雨季结束, 随即进入伏秋高温和蒸发高峰期, 蒸发量明显高于降水量, 常出现季节性干旱^[11~13]。本研究中供试土壤属于河流冲积土发育而成的潴育型水稻土, 土壤主要性状见表 1。

表 1 供试土壤主要性状

Table 1 Major fertility properties of the tested soils

pH	有机质/(g kg ⁻¹)	全氮 /(g kg ⁻¹)	全磷 /(g kg ⁻¹)	全钾 /(g kg ⁻¹)	碱解氮 /(mg kg ⁻¹)	有效磷 /(mg kg ⁻¹)	有效钾 /(mg kg ⁻¹)
5.6	27.31	1.6	1.05	5.89	125.8	12.8	34.9

1.2 稻基农田作物轮茬与灌溉模式简介

常规双季稻模式(CK 模式): 本区常规的稻基农田作物轮茬与灌溉模式, 主要采用早稻与晚稻轮作, 冬季田块休闲, 早稻与晚稻在水分管理上采用常规灌溉。

节水灌溉双季稻模式(T1 模式): 国家“863”项目节水稻基农田作物轮茬与灌溉示范推广模式之一, 主要采用早稻与晚稻轮作, 冬季闲田, 早稻在水分管理上采用间歇灌溉, 晚稻进行控制灌溉。

水旱轮作双季稻模式(T2 模式): 国家“863”项目节水稻基农田作物轮茬与灌溉示范推广模式之一, 主要采用早稻与晚稻轮作, 冬季闲田, 早稻在水分管理上采用间歇灌溉, 晚稻进行覆草旱作。

稻油轮作模式(T3 模式): 国家“863”项目节水稻基农田作物轮茬与灌溉示范推广模式之一, 主要采用稻油轮作, 一季稻在水分管理上采用控制灌溉, 冬季种植油菜。不同模式各生育时期的水分管理情况见表 2。

表 2 水稻不同灌溉模式的土壤水分调节标准

Table 2 Soil water adjustment criteria for different irrigation models for rice

灌溉模式	返青期	分蘖前期	分蘖后期	拔节孕穗期	抽穗扬花期	乳熟期	黄熟期
间歇灌溉	10~20 mm 水层	80%的土壤饱和含水量~20 mm 水层	60%的土壤饱和含水量~晒田	80%的土壤饱和含水量~20 mm 水层	80%的土壤饱和含水量~20 mm 水层	70%的土壤饱和含水量~20 mm 水层	自然落干
控制灌溉	10~20 mm 水层	80%~100%的土壤饱和含水量	60%的土壤饱和含水量~晒田	80%~100%的土壤饱和含水量	80%~100%的土壤饱和含水量	70%~100%的土壤饱和含水量	自然落干
常规灌溉	10~60 mm 水层	10~60 mm 水层	60%的土壤饱和含水量~晒田	10~60 mm 水层	10~60 mm 水层	10~60 mm 水层	自然落干

注: 表中连续 2 个数据分别为适宜水层下限、适宜水层上限。

1.3 试验设计

采用随机区组设计, 4 个处理为 CK 模式(对照模式)、T1 模式、T2 模式、T3 模式, 3 次重复, 共 12 个小区, 小区面积 60 m² 以上, 小区间用塑料薄膜包埂, 单灌单排。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 灌溉水量

灌溉水量用梯形量水堰测定^[14]。

1.4.2 腾发量、渗漏量与径流量

每个试验小区内埋置 3 个高 40 cm、直径 25 cm 的 PVC 筒和 1 个高 50 cm、直径 25 cm 的 PVC 筒, 4 个筒底部均不密封, 其中筒 1 和筒 3 的加盖顶盖, 筒 2 的侧面则打上小孔; 筒 1 的上缘高出土表 10 cm, 筒 2 与筒 3 的上缘与土表齐平, 内置 FDR 水分探头, 探针中部离地表 10 cm, 筒 4 的上缘高出土表 20 cm, 不加盖顶盖。当田面淹水时, 通过测量筒 1 外壁水面的变化即可得出田间水分的总损失量(包括渗漏量和腾发量), 而据其内壁水面高度的变化即可换算出水分的渗漏量。田面不淹水时, 每天测量筒 2(存在渗漏和腾发)和筒 3(只存在渗漏)的土壤含水量计算出水分的渗漏损失和腾发量。当降雨时, 通过测量筒 4 外壁水面的变化即可得出田间水分的渗漏量、腾发量和径流量, 而据其内壁水面高度的变化即可换算出水分的渗漏量和腾发量, 两者之差即为该次降雨的径流量。埋置时尽量使筒内土壤的性状接近于田间原位土壤^[15,16]。

言,其阶段腾发量呈倒“V”变化趋势,阶段腾发量峰值出现在7月,此期是单季中稻的分蘖期,晒田复水后导致此期渗漏量显著升高,在油菜生长期间(1~5月、11月及12月)不存在稻田渗漏。

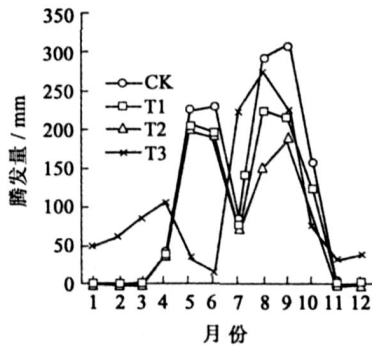


图1 不同节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式的腾发量动态变化

Fig.1 Effect of water-saving rice cultivation patterns on dynamic changes of evapotranspiration

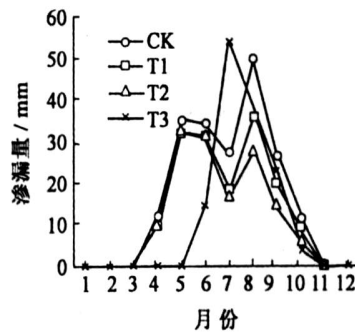


图2 不同节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式的渗漏量动态变化

Fig.2 Effect of water-saving rice cultivation patterns on dynamic changes of water leakage

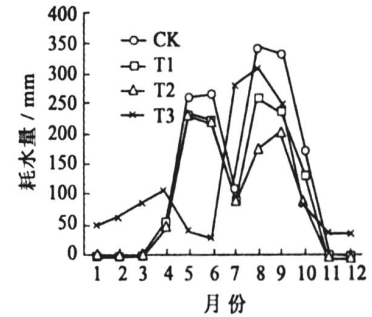


图3 不同节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式的耗水量动态变化

Fig.3 Effect of water-saving rice cultivation patterns on dynamic changes of water demand

2.1.3 阶段耗水量变化

耗水量是由蒸腾蒸发量和渗漏量构成。在本研究中,蒸腾蒸发量占耗水量的比例达87%~90%,蒸腾蒸发量占的比例较大,因此阶段耗水量变化(图3)与阶段蒸腾蒸发量变化趋势是一致的,在此不再累述。

2.1.4 需水模系

从表3可以看出,CK、T1、T2模式的需水模系变化趋势一致,均呈小-大-小-大-小的变化趋势,由于冬季闲田,1月、2月、3月、11月及12月的需水模系较低,其他时期以早稻返青期(4月)与晚稻返青期(7月)较低,CK模式分别达2.88%、5.69%,T1模式分别达3.06%、5.95%,T2模式分别达3.47%、6.75%。就T3模式而言,其需水模系较高值出现在7月、8月、9月,此期是中稻生长旺盛期,其他时期表现较为平稳。

表3 不同节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式的需水模系

%

Table 3 Water requirement coefficients for water-saving rice cultivation patterns

模式	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
CK	1.72	1.75	2.18	2.88	15.09	15.52	5.69	19.77	20.66	10.80	2.03	1.91
T1	2.11	2.15	2.67	3.06	16.54	15.93	5.95	18.60	17.92	10.22	2.49	2.35
T2	2.40	2.44	3.03	3.47	18.76	18.07	6.75	13.98	17.99	7.61	2.83	2.67
T3	4.07	5.00	6.90	8.61	3.05	1.35	18.38	22.38	18.22	6.34	2.75	2.96

2.2 需水强度

从腾发强度来看,节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式的全年平均稻田腾发强度均低于常规稻基农田作物轮茬与灌溉模式,与CK模式相比,T1、T2、T3的腾发强度分别减少了0.76、1.15、0.71 mm/d,以T2模式节水效果最佳,其排列顺序为:CK>T3>T1>T2(图4,图中不同字母表示在0.05水平上差异显著,下同)。从渗漏强度来看,节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式的全年平均稻田渗漏强度均低于常规稻基农田作物轮茬与灌溉模式,与CK模式相比,T1、T2、T3的渗漏强度分别减少了0.12、0.16、0.19 mm/d。以T3模式降低渗漏效果最佳,其排列顺序为:CK>T1>T2>T3(图5)。从图6中可以看出,与CK模式相比,节水稻作的稻田耗水强度均显著降低,以T2模式节水效果最好,与CK模式相比,T2模式的耗水强度降低了1.31 mm/d,其次为T3模式,最后为T1模式。以上结果表明,节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式通过采取节水灌溉与覆草旱作技术有效抑制棵间蒸发与无效蒸腾,有效降低了田间渗漏,从而实现节水减耗的目标。

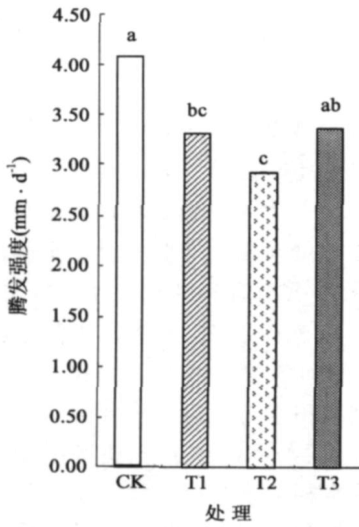


图 4 节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式的蒸发强度

Fig. 4 Water requirement intensity

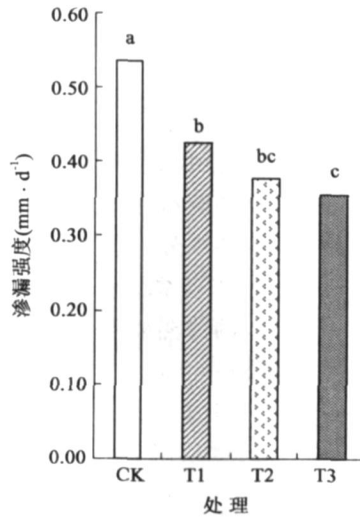


图 5 节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式的渗漏强度

Fig. 5 Water leakage intensity

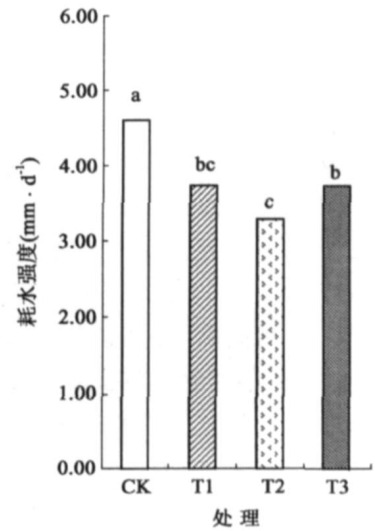


图 6 节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式的耗水强度

Fig. 6 Water consumption intensity

注：图 4~图 6 中不同字母表示在 0.05 水平上的差异显著。

2.3 水分利用率

根据试验研究结果，以水分利用率为主要指标，列出表 4 中各节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式的节水效应。从表 4 中可以看出：节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式的灌溉水量和耗水量均低于对照模式，与 CK 相比，T1、T2、T3 模式分别节约灌溉水量 31.98%、44.91%、34.13%，节约耗水量 20.58%、31.02%、12.50%；节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式的水分利用率为 0.86~1.08 kg/m³，以 T2 模式最高，T3 模式最低，但均高于对照，T1 模式、T2 模式、T3 模式分别比对照提高了 30.14%、47.95%、17.81%。就灌溉水生产率而言，节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式的水分利用率为 2.28~2.34 kg/m³，以 T3 模式最高，T1 模式最低，但也均高于 CK。以上结果表明，采用节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式，能减少稻作系统的灌溉水量和耗水量，充分利用降雨，从而提高系统的灌溉水生产率和水分生产率，节水效应显著。

表 4 不同节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式的节水效应

Table 4 Water-saving effects for 3 types of water-saving rice cultivation patterns

稻作模式	作物	灌溉水量 / (m ³ ·hm ⁻²)	有效降雨 / (m ³ ·hm ⁻²)	耗水量 / (m ³ ·hm ⁻²)	产量 / (kg·hm ⁻²)	水分生产率 / (kg·m ⁻³)	灌溉水生产率 / (kg·m ⁻³)
CK	早稻	2856	3665	6521	5007	0.77	1.75
	晚稻	4653	4272	8892	6253	0.70	1.34
	总值	7509a	7937a	15413a	11260a	0.73c	1.50c
T1	早稻	2334	3439	5721	5358	0.94	2.31
	晚稻	2774	3747	6521	6284	0.96	2.27
	总值	5108b	7186b	12242c	11642a	0.95b	2.28b
T2	早稻	2334	3439	5721	5358	0.94	2.31
	晚稻	1803	3159	4911	6106	1.24	3.39
	总值	4137c	6598d	10632d	11464a	1.08a	2.77a
T3	中稻	4601	4670	9271	9302	1.00	2.02
	油菜	345	3720	4215	2280	0.54	6.61
	总值	4946d	8390a	13486b	11582a	0.86b	2.34b

注：不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

3 结论与讨论

在南方丘陵区,季节性干旱已严重阻碍了该区水稻生产,这已是一个不争的事实,本研究中以水稻节水灌溉技术为主体,构建了3种节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式,初步实现了节水高产目标。与常规双季稻模式相比,节水灌溉双季稻模式通过采用早稻间歇灌溉和晚稻控制灌溉的节水方式,有效地控制了水稻大部分生育阶段的蒸腾和棵间蒸发,田面有限深度水层和无水层水分管理方式,使田间渗漏量大幅度降低,全年蒸腾蒸发量减少了18.61%,渗漏量减少了21.35%;水旱轮作双季稻模式通过采用早稻间歇灌溉和晚稻覆草旱作方式,有效抑制了棵间蒸发,同时晚稻旱作大大降低田间的渗漏强度,全年蒸腾蒸发量减少了28.26%,渗漏量减少了30.17%;稻油轮作节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式通过采用中稻控制灌溉和冬季种植油菜方式,显著降低了田间的渗漏强度,冬季种植油菜有效提高降雨利用率,在一定程度上控制稻田水土流失,全年蒸腾蒸发量减少了17.42%,渗漏量减少了34.38%。总之,通过采用节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式,使有限的水量在作物生长期内的分配更合理,提高了水分利用率,试验研究结果可为该区水稻节水灌溉及灌区水分管理提供理论依据。如何利用不同作物的需水特性,构建更加合理的节水稻基农田作物轮茬与灌溉模式,使其需水规律与该区降雨时空分布规律相吻合,以充分利用降雨,提高降雨利用率,是下一步研究的重点。

参考文献:

- [1] 王笑影,梁文举,闻大中.间歇灌溉对北方水稻生理生态需水的影响[J].应用生态学报,2004,15(10):1911-1915.(WANG Xiao-ying, LIANG Wen-ju, WEN Da-zhong. Effects of intermittent irrigation on ecological and physiological water requirement of rice in north China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(10): 1911 - 1915. (in Chinese))
- [2] 茆智.水稻节水灌溉及其对环境的影响[J].中国工程科学,2002,4(7):8-16.(MAO Zhi. Water saving irrigation for rice and its effect on environment[J]. Engineering Science, 2002, 4(7): 8 - 16. (in Chinese))
- [3] BORRELL A, GARSIDE A, FUKAI S. Improving efficiency of water use for irrigated rice in a semi-arid tropical environment[J]. Field Crop Research, 1997, 52: 231 - 248.
- [4] TRIPATHI R P, KUSHWAHA H S, MISHRA R K. Irrigation requirements of rice under shallow water table conditions[J]. Agricultural Water Management, 1986, 12: 127 - 136.
- [5] 彭世彰,徐俊增,黄乾,等.控制灌溉水稻叶片水平的水分利用效率试验研究[J].农业工程学报,2006,22(11):47-52.(PENG Shi-zhang, XU Jun-zen, HUANG Qian, et al. Experimental study on leaf water use efficiency of paddy rice under controlled irrigation [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(11): 47 - 52. (in Chinese))
- [6] TURNER N C. Plant water relations and irrigation management[J]. Agricultural Water Management, 1990, 17: 59 - 73.
- [7] 石英,冉炜,沈其荣,等.不同施氮水平下旱作水稻土壤无机氮的动态变化及吸氮特征[J].南京农业大学学报,2001,24(2):61-65.(SHI Ying, RAN Wei, SHEN Qi-rong, et al. Dynamics of soil inorganic N in rice crop cultivated on upland condition and N absorption by rice supplied with different N fertilizer rate[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2001, 24(2): 61 - 65. (in Chinese))
- [8] 董斌,崔远来,李远华.水稻灌区节水灌溉的尺度效应[J].水科学进展,2005,16(6):833-839.(DONG Bin, CUI Yuan-lai, LI Yuan-hua. Scale effect of water saving in rice-based irrigation system. Advances in Water Science, 2005, 16(6): 833 - 839. (in Chinese))
- [9] 肖新,赵言文,胡锋,等.南方丘陵典型季节性干旱区节水稻作模式生态系统功能特征研究[J].水土保持学报,2006,22(3):74-78.(XIAO Xing, ZHAO Yan-wen, HU Feng, et al. Study on function of different water-saving rice model ecosystems in southern China seasonal drought hilly region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 22(3): 74 - 78. (in Chinese))
- [10] 刘广明,杨劲松,姜艳,等.节水灌溉条件下水稻需水规律及水分利用效率研究[J].灌溉排水学报,2005,24(6):49-52.(LIU Guang-ming, YANG Jin-song, JIANG Yan, et al. Study of water-demand regulations and water use efficiencies of rice under condition of different water-saving irrigation systems[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2005, 24(6): 49 - 52. (in Chinese))
- [11] 景元书,张斌,王明珠,等.鹰潭小流域季节性降雨径流特征研究[J].水土保持学报,2003,17(5):45-47.(JING Yuan-shu, ZHANG Bin, WANG Ming-zhu, et al. Seasonal rainfall-runoff characteristics at small catchment of Yingtan area[J]. Journal of Soil Water

- Conservation, 2003, 17(5): 45 - 47. (in Chinese))
- [12] 吴大付, 何园球. 江西省余江县生态农业综合评价[J]. 土壤学报, 2004, 41(5): 819 - 822. (WU Da-fu, HE Yuan-qiu. Comprehensive evaluation of the eco-agriculture in Yujiang county, Jiangxi province[J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(5): 819 - 822. (in Chinese))
- [13] 王明珠. 我国南方季节性干旱研究[J]. 农村生态环境, 1997, 13(2): 6 - 10. (WANG Ming-zhu. Study on seasonal drought in southern China[J]. Rural Eco-Environment, 1997, 13(2): 6 - 10. (in Chinese))
- [14] 王 熹, 陶龙兴, 黄效林, 等. 灌溉稻田水稻旱作技术要素及产量形成[J]. 中国农业科学, 2004, 37(4): 502 - 509. (WANG Xi, TAO Ling-lin, HUANG Xiao-lin, et al. Study on non flooding farming technique in paddy field: technique specification and formation of yield components[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(4): 502 - 509. (in Chinese))
- [15] XIAO X, ZHAO YW, HU F. The comparison on the function of different water saving rice cultivation ecosystems in seasonal drought hilly region of southern China[J]. Journal of sustainable agriculture, 2008, 32(4):
- [16] QIN J T, HU F, ZHANG B, et al. Role of straw mulching in non continuously flooded rice cultivation [J]. Agricultural Water Management, 2006, 83: 252 - 260.

Study of water-demand regulations and water use efficiencies for water-saving rice cultivation patterns*

XIAO Xin^{1,2}, ZHAO Yan-wen^{2,3}, HU Feng², SHI Guo-qing³

(1. School of Plant Science, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China;

2. College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

3. College of Public Administration, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : The study of water-demand regulations and water use efficiencies (WUE) under conditions of different water-saving rice cultivation patterns were carried out through the field-scale experiments. The results show that the evapotranspiration of rice or rape reduced by a wide margin, and the water requirement and requirement intensity and coefficient at every stage change greatly with the growth regulation function and the compensation effect on crop of water-saving rice cultivation patterns. Thus, the new water requirement rules of water-saving rice cultivation patterns are formed. Compared with the conventional double cropping rice pattern, the water requirement intensities of the water-saving irrigation pattern of the double cropping rice (WSIPDCR), the flood-drought cultivation pattern of double cropping rice (FDCPDCR), and the water-saving rice cultivation pattern of rice and rape rotation (WSRCPRRR) decrease by 0.76 mm/d, 1.15 mm/d and 0.71 mm/d, respectively; The leakage intensities of WSIPDCR, FDCPDCR, and WSRCPRRR decrease by 0.12 mm/d, 0.16 mm/d and 0.19 mm/d, respectively. The WUE of WSIPDCR, FDCPDCR, and WSRCPRRR increase by 30.14%, 47.95% and 17.81% respectively.

Key words : water-saving; rice cultivation patterns; irrigation pattern; water requirement intensity; water requirement coefficient;

* The study is financially supported by the National High Technology Research and Development Program of China (2002AA2ZA331).