

DOI: 10.5846/stxb201303030335

田亚芹,冯利平,邹海平,张祖建,朱化敏,苗宇新.不同水分和氮素处理对寒地水稻生育及产量的影响.生态学报,2014,34(23):6864-6871.

Tian Y Q, Feng L P, Zou H P, Zhang Z J, Zhu H M, Miao Y X. Effects of water and nitrogen on growth, development and yield of rice in cold area of Northeast China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(23): 6864-6871.

不同水分和氮素处理对寒地水稻生育及产量的影响

田亚芹^{1,2}, 冯利平^{1,*}, 邹海平¹, 张祖建³, 朱化敏⁴, 苗宇新¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 河北省气象服务中心, 石家庄 050021;

3. 扬州大学农学院, 扬州 225009; 4. 黑龙江省农垦总局建三江分局农业科学研究所, 建三江 156300)

摘要:为了探讨不同水分和氮素处理对寒地水稻生长发育及产量的影响,以水稻品种空育 131、龙粳 21 为试验材料,于 2010—2011 年度在黑龙江建三江进行水分、氮素处理大田试验,水分为雨养、间歇灌溉、水层灌溉 3 个水平,氮素为不施氮、常规施氮 ($112\text{—}135\text{ kg/hm}^2$)、高氮 ($142\text{—}173\text{ kg/hm}^2$) 3 个水平。结果表明:与水层灌溉相比,雨养水稻生育期缩短 1—5 d,生长指标明显降低,产量显著降低,间歇灌溉水稻生育期、生长指标与其相似,产量差异不显著。与常规施氮相比,不施氮生育期缩短 2—5 d,高氮条件下延长 2—4 d;施氮量增加,生长指标增大,产量显著增加;低氮条件下,水分不足的限制作用明显,高氮能一定程度弥补水分的限制,促进水稻生长。增加施氮量及灌溉水平可以显著提高有效穗数、每穗粒数。在试验条件下,水氮互作效应不显著。间歇灌溉及高氮管理具有较好的增产效应及资源利用率,研究可为寒地水稻生产进行水氮科学管理、实现高产高效提供理论依据。

关键词:水分和氮素;生长发育;产量;黑龙江省

Effects of water and nitrogen on growth, development and yield of rice in cold area of Northeast China

TIAN Yaqin^{1,2}, FENG Liping^{1,*}, ZOU Haiping¹, ZHANG Zujian³, ZHU Huamin⁴, MIAO Yuxin¹

1 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2 The Meteorological Service Center of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China

3 College of Agronomy, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China

4 Jiansanjiang Institute of Agricultural Research, General Bureau of State Farm, Jiansanjiang 156300, China

Abstract: To understand the effects of water and nitrogen (N) fertilizer on growth, development and yield of rice, experiments with three irrigation treatments (rainfed, intermittent, continued flooding) and three N applications (0 kg/hm^2 , $112\text{—}135\text{ kg/hm}^2$, $142\text{—}173\text{ kg/hm}^2$) were implemented in a randomized complete block design at Jiansanjiang experimental station in Heilongjiang province from 2010 to 2011. The results showed that crop development stages of panicle initiation, flowing and mature under rainfed treatment were 1—5 days shorter, and growth index and yield were significantly decreased, while that for intermittent irrigation were not significant, compared to continued flooding irrigation. Compared to conventional N application ($112\text{—}135\text{ kg/hm}^2$), crop development stages of panicle initiation, flowing and mature were 2—5 days shorter for treatment without N, but those stages were prolonged 2—4 days at high N application. Crop yield and growth index were increased significantly with N dose. Under low nitrogen input, water stress was obvious, while high nitrogen input could compensate crop growth due to loss by water stress. Effective panicle number and grain number per panicle were significantly increased with N and water supply. Intermittent irrigation and high N application showed a

基金项目:国家科技支撑计划课题(2012BAD20B04);国家自然科学基金(30771249)

收稿日期:2013-03-03; 网络出版日期:2014-03-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fenglp@cau.edu.cn

potential to achieve high yield and high resource use efficiency. This study could provide a theoretical basis for irrigation and fertilization of rice in cold area.

Key Words: water and nitrogen; growth and development; yield; Heilongjiang Province

寒地水稻区是指北纬 43° 以北的黑龙江省全省以及吉林省北部部分县市的水稻种植区。黑龙江省是国家重要的商品稻谷产地之一,2011 年黑龙江水稻种植面积超过 340 万 hm^2 , 稻谷产量达到 2062.0 万 t, 成为全国稻谷产量第二大省^[1]。

水分、氮素是影响水稻生长发育及产量的重要因素。我国水稻节水灌溉主要模式归纳为浅、湿、晒结合, 间歇淹水, 半旱栽培和蓄雨等 4 类^[2]。吕艳东等^[3]在寒地稻作区进行水稻全生育期间歇控水盆栽试验, 认为间歇控水引起品种有效穗数降低, 穗粒数增多, 结实率提高, 千粒重增加。王秋菊^[4]研究表明适当控水灌溉可以增加水稻根系长度、数量、根体积, 干物重及增强水稻根系活力。有些学者^[5-7]在进行氮素对寒地水稻的影响研究中认为, 中国水稻生产氮肥施用量较高而利用率较低。我国寒地稻作条件和日本相似, 水稻产量两地相差不大, 但寒地氮肥用量过高, 施肥时期不合理, 致使氮肥偏生产力低。

目前在我国南方稻作区进行过较多的水氮及其耦合对水稻生长及产量的影响研究^[8-11], 而在寒地水稻区多为单一因素的影响研究^[3-7], 而关于不同水分和氮素处理对中国东北寒地水稻生育及产量影响的研究尚未见报道。本文通过两年不同水氮处理的大田试验研究水分和氮素对中国东北地区寒地水稻生育及产量的影响, 以期为该地水稻田水肥科学管理, 实现水稻生产高产高效提供理论依据。

1 材料与方法

试验设在黑龙江省富锦市建三江 (47.28° N, 132.63° E, 海拔 64.8 m), 当地无霜期 110—130 d, 活动积温 2300—2500 °C, 日照时数 2200—2400 h; 夏季短温度低, 冬季长而寒冷, 一年一熟, 属高寒稻作区^[1]。

1.1 试验设计

试验于 2010—2011 年 5—9 月在建三江科研所进行, 两年供试品种均为空育 131 (11 叶) 和龙粳 21 (12 叶)。设灌溉方式、施氮量二因素试验, 随机区

组设计, 3 次重复, 小区面积 40 m^2 。试验地土壤为粘壤土, 有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为 3.20%、145 mg/kg 、30.0 mg/kg 和 106.8 mg/kg , pH 值为 6.0, 土壤容重为 1.25 g/cm^3 。

2010 年灌溉处理设雨养 (W0, 只在返青期及施肥期进行必要的适量灌溉)、间歇灌溉 (W1, 土壤水势保持在 -10 — -25 kPa)、水层灌溉 (W2, 土壤水势为 0 kPa)。施氮处理设常规水平 (F1, 施纯氮总量为 112.5 kg/hm^2 , 分别作基肥: 分蘖肥: 穗肥施氮比例为 4:2:4)、高氮水平 (F2, 施纯氮总量为 142.5 kg/hm^2 , 分别作基肥: 分蘖肥: 穗肥施氮比例为 3:3:4)。2011 年灌溉处理设置同 2010 年。施氮处理设不施氮 (F0)、常规水平 (F1, 施纯氮总量为 135 kg/hm^2 , 分别作基肥: 分蘖肥: 穗肥施氮比例为 4:2:4)、高氮水平 (F2, 施纯氮总量为 172.5 kg/hm^2 , 分别作基肥: 分蘖肥: 穗肥施氮比例为 3:3:4)。两年试验均施用磷肥 (P_2O_5) 纯量 45 kg/hm^2 , 作基肥一次性施入; 钾肥 (K_2O) 纯量 120 kg/hm^2 , 分基肥和穗肥两次施入, 比例 1:1。

寒地水稻大田生长期主要集中在 5 月至 9 月上旬。在塑料大棚中采用早育秧, 4 月中上旬播种, 4 月下旬出苗, 5 月中下旬整地打浆, 使用机械打匀打深, 小区之间以田埂和水渠隔开, 每个小区能够单独灌溉。在 5 月下旬 3—3.5 叶龄移栽, 移栽密度 28—31 穴/ m^2 , 4—5 株/穴。病虫害防治及除草等栽培管理同当地大田水稻生产。

1.2 测定项目与方法

调查记载水稻发育期。

各器官干物重与叶面积系数 (LAI) 的测定: 在苗期、幼穗分化期、抽穗期、抽穗后 20d 和成熟期测定茎、叶、穗各器官的干物重。方法是将取回的植株样品洗净后剪去根系, 按茎叶穗分开置于烘箱中, 105 °C 杀青半小时后, 调至 75 °C 烘干至恒重, 称重。叶面积系数测定采用比叶重法, 选取其中 10 个平均大小的单茎, 对上三叶测定最大叶宽后, 剪取中间 3 cm 长叶片片段, 单独烘干称重, 求算比叶重, 最后根据

样品总叶重和比叶重计算出样本叶面积。

在抽穗期和成熟期将干物重样本粉碎,测定样品植株茎、叶、穗各器官含氮量,采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮定氮法^[12]。

进行产量测定与考种。在成熟期,于测产区域中割取 1 m^2 样本,3 个重复,分别脱粒计产,并测定有效穗数、每穗粒数、千粒重、结实率等。

采用真空表式土壤负压计测定土壤水势,埋深 15 cm ,每隔 2—3 d 读 1 次数。

1.3 数据处理与计算方法

计算水稻吸氮量和氮肥吸收利用率,其公式分别为:

$$\text{器官吸氮量} = \text{器官含氮量} \times \text{器官干物重}$$

$$\text{氮肥吸收利用率}(\%) = (\text{施氮区地上部吸氮量} - \text{不施氮区地上部吸氮量}) / \text{施氮量} \times 100\%$$

通过 Excel 2007 进行试验数据处理,运用 SPSS17.0 软件方差分析方法(LSD)对不同水管理理和施氮量处理进行生物量及产量的显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同水分和氮素处理对水稻发育期的影响

龙粳 21 的总生育期比空育 131 长 5—8 d,其中龙粳 21 在移栽-穗分化时期比空育 131 长 6 d,而在灌浆期比空育 131 短 2 d。同一水分处理下,不施

氮处理水稻生育期比常规施氮(F1)缩短 2—5 d,而高氮下水稻生育期延长 2—4 d,间歇灌溉与水层灌溉同一氮素水平下的水稻生育期相同,而雨养处理能够使水稻生育期缩短 1—5 d(表 1)。

2010 年试验结果不同处理生育期表现与此相似。两年试验表现出雨养处理下生育期缩短,低氮处理生育期缩短。

2.2 不同水分和氮素处理对水稻叶面积指数的影响

两年试验中,两品种叶面积指数(LAI)在分蘖盛期后迅速增加,在抽穗期前后达到最大,此后逐渐下降(图 1)。

两年中在水稻抽穗期两品种氮素处理间叶面积指数有显著差异,空育 131、龙粳 21 高氮处理的 LAI 分别显著高出常规施氮处理 15%、16%,常规施氮处理 LAI 显著高出不施氮处理 20%、31%。间歇灌溉与水层灌溉之间差异不显著,空育 131 间歇灌溉、水层灌溉显著高出雨养处理 11%、13%;龙粳 21 间歇灌溉、水层灌溉显著高出雨养处理 26%、18%。

在 F0 处理条件下,在水稻抽穗期空育 131、龙粳 21 间歇灌溉 LAI 比雨养条件下分别高出 30%、36%,而在高氮 F2 条件下比雨养下仅高出 2%、8%。可见,在低氮条件下,水分不足的限制作用明显,而高氮则能一定程度地弥补水分的限制,促进叶片的生长。

2.3 不同水分和氮素处理对水稻地上部总干物重影响

地上部干物质总重随发育进程不断增加,在水稻营养生长阶段茎重、叶重不断增加,地上部干物质总重增加迅速,在生殖生长阶段茎重、叶重开始降低,穗重增加,总干物重增加减缓,地上部总干物重在成熟期达到最大值(图 2)。

水稻成熟期干物重雨养与水层灌溉、雨养与间歇灌溉之间差异显著,间歇灌溉与水层灌溉之间差异不显著,比雨养处理高出 12%左右。

水分处理相同时,随着施氮量的增加地上部总干物重显著增加。在雨养条件下,这种趋势在水稻生长早期即开始出现。在不施氮条件下,雨养处理与水层灌溉相比,茎重最大值降低 20%左右,叶重最大值降低 43%左右,在成熟期叶重降低 57%。在高氮条件下,雨养处理比水层灌溉茎重降低仅为 8%—11%,叶重降低 2%—6%,同样在不施氮情况下,间

表 1 2011 年不同品种各处理水稻关键生育期(月-日)

Table 1 The growth stage of rice under treatments of water and nitrogen interaction of 2011 (Month-day)

品种 Variety	处理 Treatments	幼穗分化期 Panicle initiation	齐穗期 Heading	成熟期 Maturity
空育 131	W0F0	06-23	07-17	09-06
Kongyu131	W0F1	06-24	07-20	09-08
	W0F2	06-26	07-21	09-10
	W1F0	06-24	07-18	09-07
	W2F1	06-28	07-24	09-13
	W2F2	07-01	07-27	09-17
龙粳 21	W0F0	06-30	07-23	09-12
Longjing21	W0F1	07-01	07-25	09-14
	W0F2	07-05	07-30	09-16
	W1F0	07-01	07-25	09-14
	W2F1	07-04	07-30	09-17
	W2F2	07-07	08-2	09-19

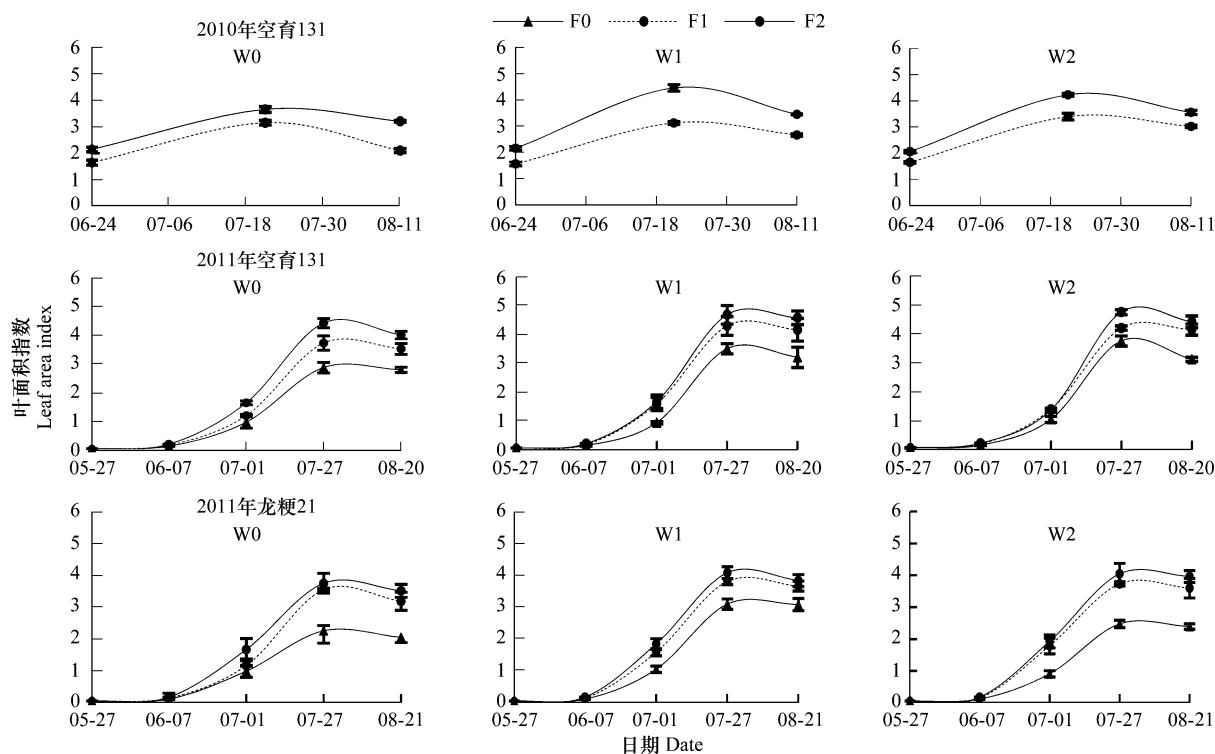


图1 不同处理两品种叶面积指数 (LAI) 的动态变化 (2010—2011)

Fig.1 Dynamics of leaf area index for the two varieties under treatments of water and nitrogen interaction (2010—2011, Research Institute)

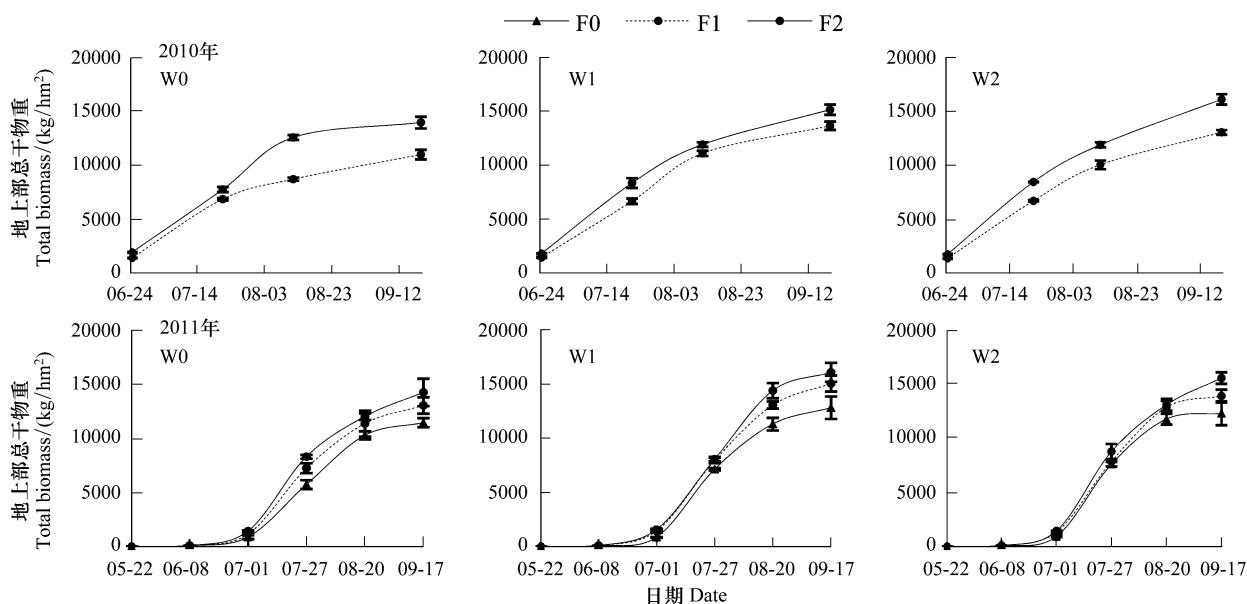


图2 不同处理空育131品种地上部总干物质积累动态 (2010—2011)

Fig.2 Dynamics of aboveground dry matter weight for the two varieties under treatments of water and nitrogen interaction (2010—2011)

歇灌溉与水层灌溉分别比雨养条件下穗重高 17%、14%;在高氮条件下,水层灌溉、间歇灌溉、雨养处理之间的穗重相差较小,说明当地水稻生产中氮肥作用大于水分,增加施氮量可以在一定程度上减缓水

分胁迫对水稻的影响。

2.4 不同水分和氮素处理对水稻产量及产量构成因素影响

不同水分处理和氮素对水稻生长发育及生理活

动所产生的各种影响,最终会影响到水稻产量形成。 较不施氮分别提高了 50%、38%、36%、30%、46%、由表 2 可见,施氮量对水稻产量影响达极显著水平。 66%。 相同水分条件下,空育 131 和龙粳 21 高氮产量分别

表 2 不同处理两品种水稻产量构成因素(2010—2011)

Table 2 Yield components of the two varieties under treatments of water and nitrogen interaction

年份 Years	品种 Variety	处理 Treatments		有效穗数 Panicles number/ (10 ⁴ /hm ²)	每穗粒数 Grains per panicle	千粒重/g 1000-grain weight	结实率/% Filled grain rate	产量 Yield/ (kg/hm ²)
2010	空育 131	W0	F1	503.6±16.9a	51.5±0.9a	26.57±0.09a	92.6±0.2a	6024.3±309.5a
			F2	608.5±23.7b	58.9±0.2b	25.39±0.06b	88.2±2.2a	7354.1±82.2b
		W1	F1	551.5±16.5a	58.4±1.5b	26.58±0.22b	90.9±1.1a	7778.3±115.8a
			F2	654.4±2.3b	60.0±0.6b	25.69±0.12b	90.0±0.6a	8333.9±98.4b
		W2	F1	567.9±11.6a	60.2±2.0b	27.10±0.02b	90.6±0.2a	7796.8±235.3a
			F2	625.4±17.5b	62.2±2.2b	26.72±0.02b	90.8±0.6a	8592.7±158.2b
	龙粳 21	W0	F1	351.4±12.2a	84.9±2.0a	26.49±0.08a	90.3±0.7a	6460.0±347.7a
			F2	447.1±22.0b	93.1±3.4a	26.22±0.19a	90.0±0.7a	9191.3±612.2b
		W1	F1	430.7±10.0a	93.9±1.3a	26.93±0.27a	91.5±0.9a	8469.3±632.1b
			F2	445.2±6.3a	103.0±4.3a	25.71±0.20b	89.0±0.1a	9774.5±152.1b
		W2	F1	427.9±12.0a	96.9±2.9a	26.98±0.24a	89.3±2.2a	9104.9±342.6b
			F2	466.2±14.2a	95.3±0.7a	26.53±0.15a	89.4±0.8a	9637.0±245.7b
2011	空育 131	W0	F0	465.0±21.5a	49.4±0.9a	28.41±0.30a	—	5642.5±410.7a
			F1	599.4±47.4b	56.0±3.4ab	27.99±0.20a	—	7399.2±506.4b
			F2	617.1±9.2b	62.6±2.2b	27.89±0.32a	—	8454.7±134.7b
		W1	F0	520.1±21.0a	54.4±1.7a	28.44±0.12a	—	6565.2±24.8a
			F1	644.2±33.9b	57.0±3.3a	27.8±0.19b	—	8496.5±625.1b
			F2	700.5±30.8b	57.6±3.5a	27.5±0.19b	—	9055.0±273.0b
		W2	F0	582.1±24.1a	51.6±1.0a	28.69±0.4a	—	7003.3±340.8a
			F1	616.6±17.2ab	57.4±2.9a	28.08±0.09a	—	8257.7±283.5b
			F2	675.2±26.9b	59.6±3.1a	28.05±0.22a	—	9547.2±153.3c
	龙粳 21	W0	F0	343.5±20.1a	68.9±6.3a	29.05±0.22a	—	5709.0±126.1a
			F1	404.8±23.2ab	70.1±3.0ab	28.52±0.30a	—	7188.7±400.6b
			F2	423.2±14.1b	81.2±6.1b	28.36±0.24a	—	7443.6±290.6b
		W1	F0	355.7±11.1a	67.1±2.6a	29.63±0.12a	—	5805.3±472.3a
			F1	463.1±21.5b	79.7±3.1ab	28.36±0.20b	—	7923.7±238.6b
			F2	426.3±20.1b	88.5±5.8b	28.12±0.13b	—	8469.8±178.3b
		W2	F0	322.0±14.1a	58.1±2.9a	29.30±0.03a	—	5775.0±63.2a
			F1	407.9±3.1b	76.6±5.0b	29.3±0.45a	—	8515.6±683.2b
			F2	426.3±17.1b	84.2±3.5b	29.12±0.11a	—	9607.5±297.2b

同一品种,同一列数据后相同小写字母表示在 $P=0.05$ 水平上差异不显著;W: 水分条件 F: 肥料处理;同一列数据中字母不同者表示在相应水分条件下 $P=0.05$ 水平上差异显著;—: 未观测

水分处理对水稻产量影响显著,均表现出两品种水层灌溉与间歇灌溉之间产量差异不显著,水层灌溉、间歇灌溉与雨养处理间差异显著。空育 131 水层灌溉较雨养产量显著提高 23%、12%,龙粳 21 显著提高 20%、12%。由此可见,空育 131、龙粳 21 品种在水层灌溉和高氮处理下均具较大增产潜力。

双因子方差分析表明,两年度两品种产量的水氮互作效应均不显著。

由表 2 可见,水稻有效穗数、每穗粒数、千粒重,随着施氮量的增加而增加。增加施氮量可以显著地提高水稻有效穗数、每穗粒数、千粒重。

在施氮水平一致的条件下,雨养处理水稻有效

穗数、每穗粒数显著降低。有效穗数、水层灌溉处理与间歇灌溉处理之间差异不显著,水层灌溉、间歇灌溉与雨养处理之间有显著性差异。

两年度两品种有效穗数、每穗粒数、千粒重水氮互作效应均不显著。

2010、2011 年度空育 131 有效穗数比龙粳 21 有效穗数分别高 36.7%、50.3%;而龙粳 21 的每穗粒数比空育 131 分别高 61.5%、33%,说明空育 131 分蘖力强,有效穗数多,而龙粳 21 相比于空育 131 分蘖力弱,每穗粒数多。

2.5 不同水分和氮素处理对水稻氮素利用效率的影响

由表 3 可见在水分条件一致时,随着施氮量的增加,两品种茎、叶、穗吸氮量、氮肥吸收利用率显著增加。空育 131(除成熟期叶氮素积累量)水分处理间有显著差异,而水氮交互作用(除抽穗期叶氮素积累量)不显著;氮肥吸收利用率在间歇灌溉与水层处理条件下无显著差异,二者分别显著高出雨养处理 63%、50%。

表 3 不同水分和氮素处理对水稻植株氮素积累量及氮肥利用率的影响

Table 3 Effects of water and N condition on nitrogen accumulation and nitrogen recovery efficiency of cold rice

品种 Variety	处理 Treatments		抽穗期吸氮量/(kg/hm ²) N uptake at heading stage			成熟期吸氮量/(kg/hm ²) N uptake at maturity stage			氮肥吸收 利用率/% Nitrogen recovery efficiency
			茎 Stem	叶 Leaf	穗 Spike	茎 Stem	叶 Leaf	穗 Spike	
空育 131 Kongyu131	W0	F1	39.2±1.1a	37.8±1.3a	14.0±0.2a	22.5±1.6a	10.3±0.4a	66.7±4.2a	20.9±4.5a
		F2	44.7±1.4b	45.1±1.3b	18.1±0.6b	32.2±0.7b	14.6±1.7a	89.1±5.4b	42.1±4.1b
	W1	F1	43.1±2.5a	38.9±0.8a	18.9±0.4a	33.1±0.7a	12.7±0.1a	86.4±6.6a	43.5±1.5a
		F2	53.8±3.8a	57.6±1.3b	23.1±1.1b	37.8±0.8b	15.6±0.3b	107.1±1.9b	59.3±1.1b
	W2	F1	41.1±0.5a	42.7±0.8a	17.5±0.3a	27.8±0.7a	11.1±0.6a	80.2±5.2a	38.3±4.7a
		F2	54.6±0.4b	54.1±0.7b	22.8±0.2b	35.3±2.0b	15.0±0.4b	104.5±3.1b	55.4±3.8b
	显著性	W	0.013	0.000	0.000	0.000	0.124	0.004	0.000
		F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	W×F		0.179	0.000	0.580	0.155	0.680	0.929	0.754
	龙粳 21 Longjing21	W0	F1	43.4±1.2a	45.4±1.7a	17.6±0.3a	31.3±0.5a	12.4±0.4a	78.4±3.3a
F2			60.5±1.2b	59.2±2.5b	24.6±0.9b	36.8±2.7a	16.7±0.8b	117.3±2.0b	42.4±3.1b
W1		F1	56.1±1.8a	53.5±1.1a	23.5±0.9a	29.3±0.6a	13.6±0.4a	103.9±2.7a	33.9±7.4a
		F2	58.0±1.6a	62.3±1.2b	23.7±1.3a	37.8±1.9b	17.6±1.1b	112.8±2.4a	40.6±6.1a
W2		F1	56.5±2.6a	58.0±0.5a	20.9±1.2a	31.8±0.5a	13.1±0.4a	104.8±4.1a	31.7±1.3a
		F2	60.8±1.4a	65.0±1.3b	22.4±0.9a	37.7±1.5b	16.3±0.3b	117.8±1.2a	43.2±3.2b
显著性		W	0.005	0.000	0.059	0.912	0.259	0.001	0.107
		F	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000
W×F		0.002	0.100	0.009	0.923	0.701	0.000	0.089	

龙粳 21 抽穗期茎、叶吸氮量及成熟期穗吸氮量水分处理间有显著差异,氮肥吸收利用率在间歇灌溉与水层处理条件下无显著差异,二者分别显著高出雨养处理 24%、31%。穗吸氮量在抽穗期和成熟期均有显著互作效应。

3 讨论与结论

水氮是水稻生长的主要限制因子,寒地水稻区多为井灌区,并多采用水层灌溉方式,消耗地下水多。本文通过对 2010—2011 年水氮处理对水稻生

长状况及产量的影响分析,认为间歇灌溉及高氮管理(142—173 kg/hm²)具有较好的增产效应及氮素利用率。周明耀^[8]在南方稻作区研究认为间歇灌溉及适当氮素水平(202 kg/hm²)时产量及氮素利用率均较高,二者结果较为一致。

不同水氮处理条件下,雨养水稻氮素利用率显著降低,水层处理水分利用率显著降低,所以间歇灌溉能够使水稻产量不降低的情况下增加水稻氮素利用效率。这与前人研究结果一致^[13-15]。王绍华^[10]研究也表明施氮量增加,水稻吸氮量增多,氮素利用

率和产谷效率下降;水分胁迫增加,增强了氮肥降低水稻氮素利用率的效应。有研究表明^[4,16]间歇灌溉处理使水稻蹲苗稳长,促进根系良好发育和对水分、养分的吸收,为水稻生长提供了有利条件,而缺水与缺氮使根分布浅,易早衰,对水稻的生长发育起到胁迫作用。因此雨养水稻的生长指标较之水层灌溉显著降低。本文得出,在低施氮条件下,水分不足的限制作用明显,而高施氮则能一定程度上弥补水分的限制,促进水稻的生长。当地水稻生产中氮肥作用大于水分,增加施氮量可以弥补水分限制对水稻的影响。

本研究表明,增加施氮量能显著地提高水稻有效穗数、每穗粒数,而水层灌溉处理与间歇灌溉处理之间二者差异均不显著,雨养水稻有效穗数显著降低,这造成了不同处理间的产量差异。这与 Sun Yongjian^[9]研究结果部分相似,本研究比较两品种产量构成因素可知,空育 131 分蘖力强,有效穗数多,而龙粳 21 相比于空育 131 分蘖力弱,每穗粒数多。

与以往寒地水稻研究中水分、氮素单因素研究相比^[17-18],本文通过大田试验研究品种、水分、氮素及水氮互作对水稻生育期、叶面积、地上部干物重及水稻产量的影响,可深入了解水稻生产中水肥多因素互相制约、互相影响的问题。深入探讨水氮互作效应及合理的水肥管理措施,为生产管理提供理论依据。也有研究表明^[19],在南方常规施氮量(240 kg/hm²)下干湿交替灌溉对水稻产量无显著差异,但在高氮(300 kg/hm²)条件下干湿交替灌溉显著提高了水稻产量,其原因是由于干湿交替使得叶片光合速率和叶绿素含量下降较少,结实率和粒重增加明显超过光合作用下降造成的产量损失,产量明显提高。寒地水稻区由于土壤肥力较高,当地的施肥水平在 150 kg/hm²,对于进一步提高施氮水平,间歇灌溉的产量是否与南方水稻有一致的变化,还有待研究。

References:

- [1] Jiao J, Li Y Y. The noticeable question on increasing rice area in Heilongjiang. North Rice, 2012, (3): 1-8.
- [2] Mao Z. Water saving irrigation for rice and its effect on environment. Engineering Science, 2002, 4(7): 8-16.
- [3] Lü Y D, Zheng G P, Guo X H, Yin D W, Ma D R, Xu J Z, Chen W F. Effects of lower limit soil water potential on rice yield in cold region. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(2): 45-52.
- [4] Wang Q J, Li M X, Zhao H L, Chi L Y. Study of the effect of control irrigation on the growth of rice root. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(8): 206-208.
- [5] Peng S B, Huang J L, Zhong X H, Yang J C, Wang G H, Zou Y B, Zhang F S, Zhu Q S, Buresh R, Witt C. Research strategy in improving fertilizer nitrogen use efficiency of irrigated rice in China. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(9): 1095-1103.
- [6] Peng X L, Liu Y Y, Luo S G, Fan L C, Sheng D H. Nitrogen application situation and effects of nitrogen management on cost and output of paddy field in cold area of northeast China. Journal of Northeast Agricultural University, 2007, 38(4): 467-472.
- [7] Fan L C, Peng X L, Liu Y Y, Song T X. Study on the site-specific nitrogen management of rice in cold area of Northeastern China. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(9): 1761-1766.
- [8] Zhou M Y, Zhao R L, Gu Y F, Zhang F X, Xu H P. Effects of water and nitrogen coupling on growth and physiological characteristics of overground part of rice. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(8): 38-43.
- [9] Sun Y J, Ma J, Sun Y Y, Xu H, Yang Z Y, Liu S J, Jia X W, Zheng H Z. The effects of different water and nitrogen managements on yield and nitrogen use efficiency in hybrid rice of China. Field Crops Research, 2012, 127: 85-98.
- [10] Wang S H, Cao W X, Ding Y F, Tian Y C, Jiang D. Interactions of water management and nitrogen fertilizer on nitrogen absorption and utilization in rice. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(4): 497-501.
- [11] Sun Y J, Sun Y Y, Li X Y, Guo X, Ma J. Relationship of activities of key enzymes involved in nitrogen metabolism with nitrogen utilization in rice under water-nitrogen interaction. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(11): 2055-2063.
- [12] Wang X K. The Principle and Technology of Plant Physiology and Biochemistry Experiment. Beijing: Higher Education Press, 2006: 195-198.
- [13] Tao H B, Brueck H, Dittert K, Kreye C, Lin S, Sattelmacher B. Growth and yield formation of rice (*Oryza sativa* L.) in the water-saving ground cover rice production system (GCRPS). Field Crops Research, 2006, 95(1): 1-12.
- [14] Bueno C S, Bucourt M, Kobayashi N, Inubushi K, Lafarge T. Water productivity of contrasting rice genotypes grown under water-saving conditions in the tropics and investigation of morphological traits for adaptation. Agricultural Water Management, 2010, 98(2): 241-250.
- [15] Fan X L, Zhang, J, Wu P. Water and nitrogen use efficiency of lowland rice in ground covering rice production system in south China. Journal of Plant Nutrition, 2002, 25(9): 1855-1862.
- [16] Cheng J P, Cao C G, Cai M L, Wang J P, Yuan B Z, Wang J Z,

- Zheng C J. Effects of different irrigation modes on biological characteristics and water use efficiency of paddy rice. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10): 1859-1865.
- [17] Liu K, Zhang H, Zhan S F, Wang Z Q, Yang J C. Effects of soil moisture and irrigation patterns during grain filling on grain yield and quality of rice and their physiological mechanism. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(2): 268-276.
- [18] Peng X L, Liu Y Y, Luo S G, Fan L C, Song T X, Guo Y W. Effects of the site-specific nitrogen management on yield and dry matter accumulation of rice in cold areas of Northeastern China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(11): 2286-2293.
- [19] Liu L J, Xue Y G, Sun X L, Wang Z Q, Yang J C. Effects of water management methods on grain yield and fertilizer-nitrogen use efficiency in rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 2009, 23(3): 282-288.
- 参考文献:**
- [1] 矫江, 李禹尧. 黑龙江省水稻面积快速增加应注意的问题. *北方水稻*, 2012, (3): 1-8.
- [2] 茆智. 水稻节水灌溉及其对环境的影响. *中国工程科学*, 2002, 4(7): 8-16.
- [3] 吕艳东, 郑桂萍, 郭晓红, 殷大伟, 马殿荣, 徐正进, 陈温福. 土壤水势下限对寒地水稻产量的影响. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(2): 45-52.
- [4] 王秋菊, 李明贤, 赵宏亮, 迟力勇. 控水灌溉对水稻根系生长影响的试验研究. *中国农学通报*, 2008, 24(8): 206-208.
- [5] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 杨建昌, 王光火, 邹应斌, 张福锁, 朱庆森, Buresh R, Witt C. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略. *中国农业科学*, 2002, 35(9): 1095-1103.
- [6] 彭显龙, 刘元英, 罗盛国, 范立春, 盛大海. 寒地稻田施氮状况与氮素调控对水稻投入和产出的影响. *东北农业大学学报*, 2007, 38(4): 467-472.
- [7] 范立春, 彭显龙, 刘元英, 宋添星. 寒地水稻实地氮肥管理的研究与应用. *中国农业科学*, 2005, 38(9): 1761-1766.
- [8] 周明耀, 赵瑞龙, 顾玉芬, 张凤翔, 徐华平. 水肥耦合对水稻地上部分生长与生理性状的影响. *农业工程学报*, 2006, 22(8): 38-43.
- [10] 王绍华, 曹卫星, 丁艳锋, 田永超, 姜东. 水氮互作对水稻氮吸收与利用的影响. *中国农业科学*, 2004, 37(4): 497-501.
- [11] 孙永健, 孙园园, 李旭毅, 郭翔, 马均. 水氮互作下水稻氮代谢关键酶活性与氮素利用的关系. *作物学报*, 2009, 35(11): 2055-2063.
- [12] 王学奎. *植物生理生化实验原理和技术*. 北京: 高等教育出版社, 2006: 195-198.
- [16] 程建平, 曹凑贵, 蔡明历, 汪金平, 原保忠, 王建漳, 郑传举. 不同灌溉方式对水稻生物学特性与水分利用效率的影响. *应用生态学报*, 2006, 17(10): 1859-1865.
- [17] 刘凯, 张耗, 张慎凤, 王志琴, 杨建昌. 结实期土壤水分和灌溉方式对水稻产量与品质的影响及其生理原因. *作物学报*, 2008, 34(2): 268-276.
- [18] 彭显龙, 刘元英, 罗盛国, 范立春, 宋添星, 郭艳文. 实地氮肥管理对寒地水稻干物质积累和产量的影响. *中国农业科学*, 2006, 39(11): 2286-2293.
- [19] 刘立军, 薛亚光, 孙小淋, 王志琴, 杨建昌. 水分管理方式对水稻产量和氮肥利用率的影响. *中国水稻科学*, 2009, 23(3): 282-288.