

张春晓,俞双恩,王 嫔. 旱涝交替对水稻生理生长及水分利用效率的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(4):121-125 .
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.04.031

旱涝交替对水稻生理生长及水分利用效率的影响

张春晓,俞双恩,王 嫔

(河海大学南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室/河海大学水利水电学院,江苏南京 210098)

摘要:为了解水稻对旱涝交替的响应机制,采用测坑试验设计研究旱涝交替胁迫条件下稻田水位对水稻生理生长与水分利用规律及水稻群体质量的影响,并对水稻株高动态变化、需水量动态规律、水分利用效率进行了数值计算和理论分析。结果表明:水稻分蘖期、拔节孕穗期及抽穗开花期受涝可促进株高增长,受旱则抑制株高增长;旱涝交替胁迫过程均不同程度地降低水稻需水量,在分蘖期尤为显著;先旱后涝处理的水分利用效率整体低于先涝后旱处理,拔节孕穗期先旱后涝处理的水分利用效率最低。研究结论可为合理制定灌溉方案和提高水稻产量提供有效、有力的科学依据。

关键词:水稻;旱涝交替;需水量;水分利用效率;株高

中图分类号:S511.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)04-0121-04

目前关于水稻的节水灌溉方式研究主要集中于单一干旱胁迫和单一受涝胁迫,而在实际生产中,农田经常处于干湿交替的环境中。研究结果表明,水稻对轻度干旱胁迫和受涝胁迫具有较强的适应性^[1-2],旱涝交替胁迫条件下水稻生理生长指标的变化规律以及水稻水分利用效率具有重要意义和价值^[3-5],可以为合理制定灌溉方案和提高水稻产量提供有效的科学依据。本研究采用测坑试验设计,探讨农田水位调控对水稻株高动态变化、需水量规律及水分利用效率的影响,并进行统计分析对比。

1 材料与方法

试验于2012年、2013年的5—10月在河海大学江宁校区南方地区高效灌排与农业水土环境教育部的试验区进行。该地区属于亚热带季风气候,多年平均气温为15.7℃,多年

平均无霜期为224 d,多年平均降水量为1 072.9 mm,年平均日照总时间为2 017.2 h。土壤类型为黏壤土,土壤密度、总孔隙度、pH值、全氮含量、速效氮含量、全磷含量、速效磷含量分别为1.46 g/cm³、44.97%、6.97、0.90 g/kg、27.65 mg/kg、0.32 g/kg、12.50 mg/kg。土壤田间持水率为25.28%,土壤有机质质量分数为2.40%。

供试水稻品种:武运粳23号,早熟晚粳稻,全生育期158 d左右。试验区共有32个固定式蒸渗测坑(28个有底,4个无底),测坑分为2组,每组16个,东西向布置,测坑的规格为长×宽×深=2.5 m×2.0 m×2.0 m。试验区地上设有电动调节雨棚,地下设有廊道和设备间。地下设备间的水柱与测坑连通,每个水柱对应1个测坑,通过调节水柱水位实现测坑水位自动控制。2012、2013年水稻试验各生育阶段划分见表1。

表1 旱涝交替胁迫水稻主要生育期划分及控水起止日期

月-日

生育期	2012 年		2013 年	
	起止日期	控水起止日期	起止日期	控水起止日期
分蘖期	06-23—07-23	07-08—07-23	07-08—08-08	07-24—08-08
拔节孕穗期	07-24—08-18	08-02—08-18	08-09—08-31	08-14—08-31
抽穗开花期	08-19—09-07	08-20—09-07	09-01—09-17	09-01—09-17
乳熟期	09-08—09-22	09-08—09-22	09-18—10-01	09-18—10-01

2012年分别在水稻的分蘖期、拔节孕穗期、抽穗开花期、乳熟期,采用先涝后旱处理方式,对照按节水灌溉(控制灌溉技术)要求进行水位管理。分蘖期分别取稻田水位120(5 d)、120 mm(8 d)作为受涝控制指标值,取-500 mm作为受旱控制指标值,-300~20 mm作为非控水期水位指标值;拔节孕穗期、抽穗开花期、乳熟期分别取稻田水位200(5 d)、200 mm(8 d)作为受涝控制指标值,取-500 mm作为受旱控制指标值,-300~30 mm作为非控水期水位指标值。每个处

理设2个重复,对照设4个重复。2013年参照2012年的试验方案,采用先涝后旱、先旱后涝2种处理方式,分蘖期先涝后旱处理取稻田水位120(7 d)、-500 mm作为受涝、受旱控制指标值,先旱后涝处理取稻田水位-500 mm作为受旱控制指标值,取120(5 d)、120 mm(7 d)作为受涝控制指标值;拔节孕穗期、抽穗开花期、乳熟期先涝后旱处理均取稻田水位200(7 d)、-700 mm作为受涝、受旱控制指标值,先旱后涝处理取稻田水位-700 mm作为受旱控制指标值,取200(5 d)、200 mm(7 d)作为受涝控制指标值,具体设计见表2、表3。

2 结果与分析

2.1 旱涝交替胁迫下水稻株高的动态分析

由表4可见:2012、2013年各处理最终株高均高于对照,

收稿日期:2015-09-06

基金项目:国家自然科学基金(编号:51479063)。

作者简介:张春晓(1991—),女,河南新乡人,硕士研究生,主要从事农业水土资源规划与管理研究。E-mail:253106684@qq.com。

表 2 2012 年试验水位设计

处理编号	不同时期水位(mm)					
	返青期	分蘖期	拔节孕穗期	抽穗开花期	乳熟期	黄熟期
1	10~30	120(5 d)/20~-500	-300~-30	-300~-30	-300~-30	-700~-0
2	10~30	120(8 d)/20~-500	-300~-30	-300~-30	-300~-30	-700~-0
3	10~30	-300~-20	200(5 d)/30~-500	-300~-30	-300~-30	-700~-0
4	10~30	-300~-20	200(8 d)/30~-500	-300~-30	-300~-30	-700~-0
5	10~30	-300~-20	-300~-30	200(5 d)/30~-500	-300~-30	-700~-0
6	10~30	-300~-20	-300~-30	200(8 d)/30~-500	-300~-30	-700~-0
7	10~30	-300~-20	-300~-30	-300~-30	200(5 d)/30~-50	-700~-0
8	10~30	-300~-20	-300~-30	-300~-30	200(8 d)/30~-500	-700~-0
9	10~30	120(5 d)/20~-500	200(5 d)/30~-500	-300~-30	-300~-30	-700~-0
10	10~30	-300~-20	200(5 d)/30~-500	200(5 d)/30~-500	-300~-30	-700~-0
11	10~30	-300~-20	-300~-30	200(5 d)/30~-500	200(5 d)/30~-500	-700~-0
12	10~30	120(5 d)/20~-500	-300~-30	200(5 d)/30~-500	-300~-30	-700~-0
13	10~30	-300~-20	200(5 d)/30~-500	-300~-30	200(5 d)/30~-500	-700~-0
14	10~30	120(5 d)/20~-500	-300~-30	-300~-30	200(5 d)/30~-500	-700~-0
CK	10~30	-300~-20	-300~-30	-300~-30	-300~-30	-700~-0

注:(1)“120 mm(5 d)/20 mm~-500 mm”表示先涝后旱处理,其中 120 mm 表示受涝的初始淹水深度,5 d 为淹水历时,淹水期间不排水、不灌水,淹水结束后排水至适宜水层上限(20 mm);20~-500 mm 表示受旱试验标准,田间水位由适宜水层上限自然降落到下限(-500 mm),受旱期间不排水、不灌水,受旱后按对照标准进行灌排水。其余表示类推(2)“0~-500 mm/120 mm(5 d)”表示先旱后涝处理。(3)对照为控制灌溉模式,田间有水层时渗漏量按 2 mm/d 控制,无水层时渗漏量为 0。表 3 同。

表 3 2013 年试验水位设计

处理编号	水位(mm)					
	返青期	分蘖期	拔节孕穗期	抽穗开花期	乳熟期	黄熟期
1	10~30	120(7 d)/20~-500	-300~-30	-300~-30	-300~-30	-700~-0
2	10~30	0~-500/120(5 d)	-300~-30	-300~-30	-300~-30	-700~-0
3	10~30	0~-500/120(7 d)	-300~-30	-300~-30	-300~-30	-700~-0
4	10~30	-300~-20	200(7 d)/30~-700	-300~-30	-300~-30	-700~-0
5	10~30	-300~-20	0~-700/200(5 d)	-300~-30	-300~-30	-700~-0
6	10~30	-300~-20	0~-700/200(7 d)	-300~-30	-300~-30	-700~-0
7	10~30	-300~-20	-300~-30	200(7 d)/30~-700	-300~-30	-700~-0
8	10~30	-300~-20	-300~-30	0~-700/200(5 d)	-300~-30	-700~-0
9	10~30	-300~-20	-300~-30	0~-700/200(7 d)	-300~-30	-700~-0
10	10~30	-300~-20	-300~-30	-300~-30	200(7 d)/30~-700	-700~-0
11	10~30	-300~-20	-300~-30	-300~-30	0~-700/200(5 d)	-700~-0
12	10~30	-300~-20	-300~-30	-300~-30	0~-700/200(7 d)	-700~-0
CK	10~30	-300~-20	-300~-30	-300~-30	-300~-30	-700~-0

2 年平均株高分别比对照高 2.64%、2.57%;拔节孕穗期旱涝交替胁迫对株高的影响最大,其次为分蘖期、抽穗开花期,乳熟期对株高的影响不大;受涝时间较长处理的株高高于受涝时间较短的处理。由此可见,水稻分蘖期、拔节孕穗期、抽穗开花期旱涝交替胁迫均会促进水稻株高的增长,且受涝时间越长,促进效果越显著。

以 2013 年旱涝交替胁迫条件下分蘖期、拔节孕穗期 2 个生育期为例,对水稻株高、日增长量变化动态进行分析,结果见图 1、图 2。

(1)分蘖期株高动态及日增长量变化分析。由图 1 可知,分蘖初期各处理株高及日增长量基本相同。控水后,处理 1 受涝期间的株高日增长量明显高于对照;受旱阶段后,株高日增量大幅度减小,低于对照。处理 2、处理 3 受旱期间,株高日增长量明显低于对照;复水后,株高增长速度显著增加,且高于对照;处理 3 的受涝时间长于处理 2,处理 2 控水结束

表 4 各生育期旱涝交替胁迫水稻株高对比

2012 年		2013 年	
处理编号	株高(cm)	处理编号	株高(cm)
1	104.0	1	96.6
2	105.5	2	92.5
3	104.2	3	95.6
4	108.2	4	98.5
5	103.8	5	93.0
6	104.6	6	96.4
7	103.3	7	92.3
8	103.2	8	92.8
9	110.0	9	93.6
10	108.3	10	91.6
11	104.4	11	91.7
12	108.5	12	91.6
13	105.1	CK	91.5
14	106.9		
CK	103.0		

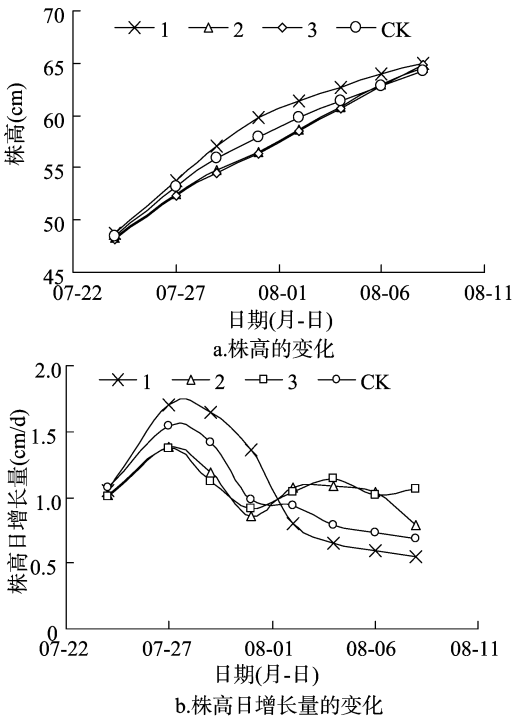


图1 分蘖期旱涝交替胁迫水稻株高及日增长量的动态变化

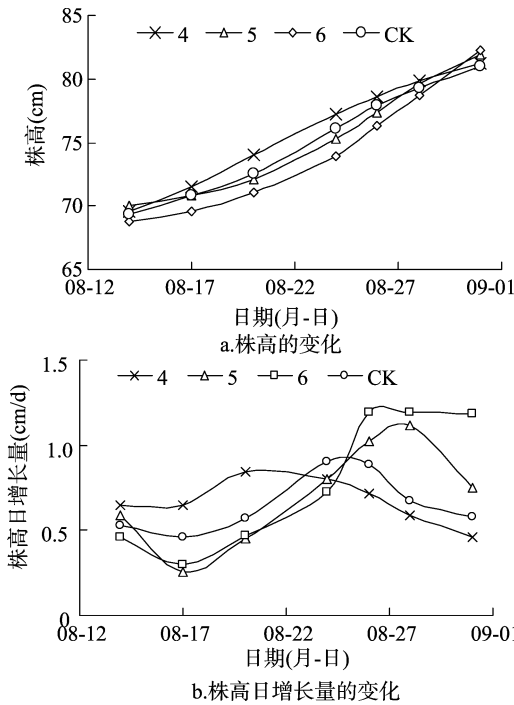


图2 拔节孕穗期旱涝交替胁迫水稻株高及日增长量的动态变化

后,株高日增长量有所下降,接近对照,而处理3 则继续快速增长。控水结束后,株高由大到小依次为处理1>处理3>处理2>CK。由此可知,分蘖期旱涝交替过程中,受涝能促进水稻株高生长,且受涝时间越长,促进效果越显著,受旱则抑制株高增长。因此可知,先涝后旱处理比先旱后涝处理更有利于水稻株高的增长。

(2)拔节孕穗期株高动态及日增长量变化分析。由图2 可知,拔节孕穗期控水处理未开始之前,各处理株高基本相同。控水开始后,处理4 受涝期间的株高日增长量高于对照;进入受旱阶段后,株高日增量大幅减小,低于对照。处理5、处理6 受旱期间,株高日增长量明显低于对照;复水后,株高增长速度显著增加,高于对照;处理6 的受涝时间长于处理5,处理5 控水结束后,株高日增长量有所下降,接近对照,而处理6 则继续快速增长。控水结束后,株高由大到小依次为处理6>处理5>处理4>CK。由此可知,拔节孕穗期旱涝交替过程中受涝有利于株高的增长,且受涝时间越长,株高越高,受旱则不利于株高的增长;拔节孕穗期旱涝交替胁迫能促进水稻株高生长,在该生育阶段进行适当的水位调控可以达到控制植株旺长的目的。

2.2 旱涝交替胁迫下水稻全生育期的需水规律

由表5、图3 可知:单生育期先涝后旱处理水稻全生育期总需水量的大小为:乳熟期(处理10)>拔节孕穗期(处理4)>分蘖期(处理1)>抽穗开花期(处理7);受涝5 d 的先旱后涝处理的大小为:抽穗开花期(处理8)>拔节孕穗期(处理5)>乳熟期(处理11)>分蘖期(处理2);受涝时间为7 d 的先旱后涝处理的大小为:拔节孕穗期(处理6)>抽穗开花期(处理9)>乳熟期(处理12)>分蘖期(处理3)。

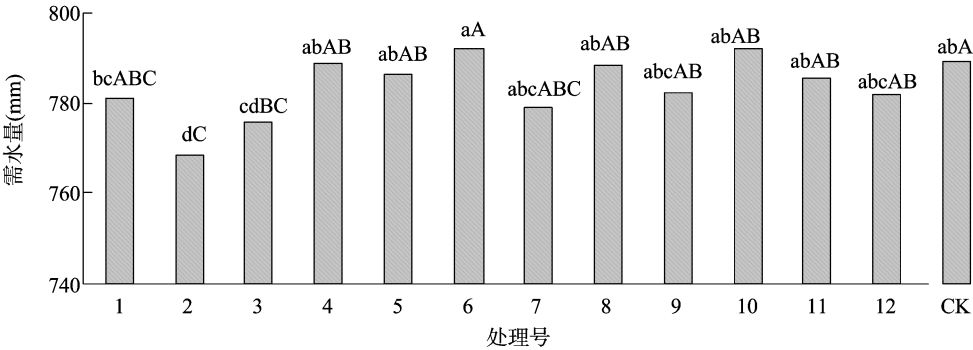
处理1的总需水量与对照的差异达显著水平,为对照的98.92%;处理2、处理3的总需水量与对照的差异达极显著

表5 2013 年旱涝交替胁迫各处理水稻全生育期需水量

处理 编号	各生育阶段需水量(mm)						总需水量 (mm)
	返青期	分蘖期	拔节 孕穗期	抽穗 开花期	乳熟期	黄熟期	
1	47.0	159.3	227.8	183.3	97.3	65.4	780.1
2	49.8	154.7	222.2	178.9	95.6	66.3	767.5
3	46.8	152.6	226.8	181.2	99.0	68.8	775.2
4	43.8	162.3	234.4	187.8	102.0	57.7	788.0
5	44.5	168.5	232.2	185.2	94.9	60.3	785.6
6	45.8	160.8	235.3	182.6	105.6	61.1	791.2
7	46.2	159.8	237.9	178.6	92.3	63.4	778.2
8	44.9	165.0	238.1	181.9	97.8	59.9	787.6
9	47.1	169.3	231.0	177.8	94.0	62.3	781.5
10	44.0	163.7	229.8	181.9	108.4	56.5	791.4
11	44.6	168.0	239.3	180.7	92.5	59.8	784.9
12	46.4	169.9	231.2	182.3	91.0	60.5	781.3
CK	45.9	167.2	235.6	181.7	99.3	58.9	788.6

水平,为所有处理中的最小值,分别为对照的97.32%、98.30%。其他各处理的总需水量与对照的差异均未达显著水平。处理4、处理5 的总需水量低于对照,分别为对照的99.92%、99.62%;处理6 的总需水量略高于对照,为对照的100.33%。处理7、处理8、处理9 的总需水量低于对照,分别为对照的98.68%、99.87%、99.10%。处理10 的总需水量为所有处理中的最大值,略高于对照,为对照的100.36%;处理11、处理12 的总需水量低于对照,分别为对照的99.53%、99.07%。

由此可知:先涝后旱处理对水稻全生育期的需水量影响不显著,分蘖期、拔节孕穗期、抽穗开花期先涝后旱处理会降低总需水量,乳熟期先涝后旱处理则会导致总需水量略有增加。水稻全生育期的总需水量对分蘖期旱涝交替胁迫最为敏



不同处理间的小写字母表示差异显著 ($P<0.05$) ; 不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)

图3 2013年旱涝交替胁迫各处理水稻全生育期需水量

感,分蘖期先旱后涝处理会显著降低总需水量;拔节孕穗期、抽穗开花期、乳熟期先旱后涝处理对总需水量的影响不显著;分蘖期、拔节孕穗期先旱后涝处理的受涝时间越长,总需水量越大;抽穗开花期、乳熟期先旱后涝处理的受涝时间越长,总需水量越小。

2.3 旱涝交替胁迫下水稻水分利用效率(WUE)

水分利用效率能够表示作物利用水分的经济程度,水分利用效率越高,植株的节水能力越强。水分利用效率大,表明作物消耗单位数量的水分所能固定的二氧化碳的数量多,有利于作物在水分逆境下保持一定的产量。

由表 6 可知,各处理的理论产量、水分利用效率均低于对照。各生育期先涝后旱处理的水分利用效率由大到小依次为分蘖期(处理 1) > 拔节孕穗期(处理 4) > 乳熟期(处理 10) > 抽穗开花期(处理 7);受涝 5 d 的先旱后涝处理的水分利用效率由大到小依次为分蘖期(处理 2) > 乳熟期(处理 11) > 抽穗开花期(处理 8) > 拔节孕穗期(处理 5);受涝时间为 7 d 的先旱后涝处理的水分利用效率由大到小依次为抽穗开花期(处理 9) > 分蘖期(处理 3) > 乳熟期(处理 12) > 拔节孕穗期(处理 6)。

表 6 2013 年旱涝交替胁迫条件下各处理产量与水分利用效率

处理编号	理论产量 (kg/hm ²)	耗水量 (mm)	WUE [kg/(hm ² ·mm)]
1	8 876.58	780.1	11.38
2	8 864.27	767.5	11.55
3	8 146.99	775.2	10.51
4	8 872.95	788.0	11.26
5	7 711.09	785.6	9.82
6	7 633.46	791.2	9.65
7	8 062.38	778.2	10.36
8	7 876.43	787.6	10.00
9	8 245.52	781.5	10.55
10	8 380.00	791.4	10.59
11	8 118.10	784.9	10.34
12	7 681.24	781.3	9.83
CK	9 669.00	788.6	12.26

由此可知,分蘖期先旱后涝处理会降低水分利用效率,且受涝时间越长,对产量的影响越大,水分利用效率越低。拔节孕穗期旱涝交替胁迫会造成严重的减产,导致水分利用效率大幅降低;先旱后涝处理造成的减产最为严重,受涝时间对产

量的影响不大。抽穗开花期先旱后涝处理会显著降低水分利用效率,但是随着受涝时间的延长,水分利用效率有所升高。乳熟期先涝后旱处理的水分利用效率高于先旱后涝处理,并且水分利用效率因受涝时间的延长而降低。

3 结论

分蘖期、拔节孕穗期、抽穗开花期旱涝交替胁迫条件下的水稻最终株高有所增加,2 年平均最终株高增加 2.61%,且受涝时间越长,株高越高。拔节孕穗期进行适当的水位调控可以控制植株旺长,达到优化株型的目的。

旱涝交替胁迫过程均不同程度地降低水稻需水量,分蘖期旱涝交替会显著降低全生育期的需水量,且先旱后涝处理影响大于先涝后旱处理,受涝时间越短,需水量越小;拔节孕穗期、抽穗开花期及乳熟期受涝均有利于日需水量的增加,受旱则会降低(乳熟期无显著影响)。各生育期日需水量与对照的差异随着水分胁迫时间的延长而增加。

水稻 4 个主要生育期旱涝交替胁迫会降低水分利用效率,先旱后涝处理的水分利用效率整体低于先涝后旱处理。拔节孕穗期先旱后涝处理的水分利用效率最低,拔节孕穗期、乳熟期先涝后旱处理的水分利用效率高于先旱后涝处理。

参考文献:

[1] 陶敏之,俞双恩,叶兴成. 农田水位调控对水稻根系活力和产量的影响[J]. 中国农村水利水电,2014(10):73-75,83.
[2] 郭相平,甄博,陆红飞. 水稻旱涝交替胁迫叠加效应研究进展[J]. 水利水电科技进展,2013(2):83-86.
[3] 王君,俞双恩,丁继辉,等. 水稻不同生育阶段稻田水位调控对产量因子及产量的影响[J]. 河海大学学报:自然科学版,2012(6):664-669.
[4] 俞双恩,彭世彰,王士恒,等. 控制灌溉条件下水稻的群体特征[J]. 灌溉排水,1997(2):22-25.
[5] 俞双恩,万启旺,王宏,等. 灌溉排水与高产、优质、高效农业[J]. 水利水电科技进展,1995(6):36-39,46.
[6] 朱士江,孙爱华,张忠学. 三江平原不同灌溉模式水稻需水规律及水分利用效率试验研究[J]. 节水灌溉,2009(11):12-14.
[7] 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):49-52,55.
[8] 郭相平,袁静,郭枫,等. 旱涝快速转换对分蘖后期水稻生理特性的影响[J]. 河海大学学报:自然科学版,2008,36(4):516-519.

崔月峰,孙国才,卢铁钢. 施氮量及氮肥运筹对超级粳稻生长发育和氮素利用特性的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(4):125-128.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.04.032

施氮量及氮肥运筹对超级粳稻生长发育和氮素利用特性的影响

崔月峰, 孙国才, 卢铁钢

(辽宁省铁岭市农业科学院, 辽宁铁岭 112616)

摘要:以超级粳稻沈农 265 为试材,设置不同施氮量和基肥与穗粒肥比例以研究该品种的产量及氮肥利用特性变化。结果表明:基肥(BTF)与穗粒肥(EGF)比为 8:2 或 7:3 时,产量随施氮量的增加而增加;基肥与穗粒肥比为 6:4 时,中氮水平更有利于产量提高;同一基肥与穗粒肥比例下,随施氮量的增加,总吸氮量增加,氮素生理利用率和收获指数降低。在中低氮处理下,穗粒肥比例越高越有利于产量、总吸氮量和氮素回收率增加,而高氮处理下基肥:穗粒肥为 7:3 时更为有利;同一施氮量下,穗粒肥比例越高氮素生理利用率和收获指数越低。高施氮量(255 kg/hm²)、基肥与穗粒肥比为 7:3 处理增加了生育后期叶、茎、穗干物质积累量,由于较高的有效穗数和每穗实粒数,使产量达最高,为 9 581.5 kg/hm²,较其他处理增加 2.4%~20.1%,并提高氮素利用率,高产高效。

关键词:施氮;水稻;产量;氮肥利用

中图分类号:S511.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)04-0125-04

水稻是我国第一大粮食作物^[1]。施氮是水稻生长和产量形成的最重要调控手段之一,前人研究表明,施氮量和施氮方法对水稻的群体构建、物质生产和转运、产量形成以及氮肥利用率均有重要影响^[2-6]。而近年来,随着高产耐肥水稻品种的培育和推广,氮肥施用量逐年增加,在促进水稻单产大幅度上升的同时,盲目施用氮肥造成氮肥利用率降低、水稻生产成本增加和环境污染加重等问题^[7-8]。因此,确定水稻合理的氮肥运筹模式,增加产量和经济效益、提高氮肥利用率、控制农业面源污染是一个值得深入研究的课题。沈农 265 是“中国超级稻育种”项目实施以来育成的第一个粳型超级稻品种,株型理想,穗型直立,生理优势强,具有较强的抗病、抗逆和广适性,产量潜力巨大。为充分发挥该品种的优良特性,研究了其高产高效的施氮量及基肥、穗粒肥比例,形成可量

化的氮肥高效运筹技术,以期生产上提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2013 年在辽宁省铁岭市农业科学院内水稻试验田进行。供试土壤为棕壤土,耕层 0~20 cm 土层营养指标含量见表 1。供试品种为沈阳农业大学选育的超级粳稻沈农 265,主茎 15 片叶,生育期约 155 d。

1.2 试验设计

采用随机区组设计,4 个氮素(纯氮)水平处理,即对照:0 kg/hm²;低氮:165 kg/hm²;中氮:210 kg/hm²;高氮:255 kg/hm²;3 个基肥(BTF)与穗粒肥(EGF)不同比例处理,即 8:2、7:3、6:4。所有处理均施用 12% 过磷酸钙 875 kg/hm² 和 52% 硫酸钾 202 kg/hm²,全部过磷酸钙做基肥一次施用,硫酸钾做基肥和穗肥(倒 4 叶)各施 50%;氮肥统一用 46% 的尿素,分基肥、穗肥(移栽后 10 d)、穗肥(倒 4 叶)、粒肥(倒 2 叶)4 次施用,基肥中 60% 作基肥、40% 作穗肥,穗粒肥中 60% 作穗肥、40% 作粒肥。插秧规格 30 cm × 13.3 cm,每穴 3 苗,重复 3 次,共计 30 个小区,每小区长 4.2 m,宽 3 m,小区面积 12.6 m²。4 月 18 日播种,5 月 28 日移栽。各小区单独打埂,单灌单排,除草、病虫害防治等栽培措施同一般生产田。

学报,2003,22(2):21-25.

[13]贾宏伟,李小梅. 水稻节水灌溉研究的几个问题[C]//中国农业工程学会·现代节水高效农业与生态灌区建设(上),2010:851-856.

[14]俞双恩,缪子梅,邢文刚,等. 以农田水位作为水稻灌排指标的研究进展[J]. 灌溉排水学报,2010,29(2):134-136.

[15]彭世彰,朱成立. 作物节水灌溉需水规律研究[J]. 节水灌溉,2003(2):5-8,46.

收稿日期:2015-08-18

基金项目:国家现代农业产业技术体系项目(编号:CARS-01-37);辽宁省科学技术计划项目(编号:2014201004);国家现代农业产业技术体系辽宁水稻创新团队建设项目(编号:辽农科[2013]271号)。

作者简介:崔月峰(1984—),男,山西大同人,硕士,农艺师,主要从事水稻育种和栽培研究。E-mail:snecy552@126.com。

通信作者:卢铁钢,研究员,主要从事水稻育种和栽培研究。E-mail:lutg3308@sina.com。

[9]郭以明,郭相平,樊峻江,等. 蓄水控灌模式对水稻产量和水分生产效率的影响[J]. 灌溉排水学报,2010,29(3):61-63,73.

[10]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]. 生态学报,2014,33(5):1381-1387.

[11]杨生龙,王兴盛,强爱玲,等. 不同灌溉方式对水稻产量及产量构成因子的影响[J]. 中国稻米,2010,16(1):49-51.

[12]彭世彰,朱成立. 节水灌溉的作物需水量试验研究[J]. 灌溉排