

## 调亏灌溉下春玉米水氮耦合效应试验研究

彭国明<sup>1</sup>, 范永国<sup>2</sup>, 丁丽丽<sup>2</sup>, 张明哲<sup>1</sup>, 王 柏<sup>3</sup>

(1. 安达市水务局, 黑龙江 安达 151400; 2. 安达市万宝山镇农牧业综合服务中心, 黑龙江 安达 151405; 3. 黑龙江省水利科学研究院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘要:**为探讨寒地黑土区节水型高产玉米生产技术,以玉米品种九龙 12 为试验材料,采用正交试验方法,通过春玉米简测试验,在 3 种施氮水平条件下,研究了苗期、拔节期、抽雄期 3 个水分亏缺水平对玉米生长发育指标和产量影响的耦合效应。结果表明:在不同调亏时期,植株经复水灌溉后有不同程度的补偿性生长。施氮量决定不同调亏时期的水分亏缺程度,苗期供应水分过高、氮肥过大会减少植株茎粗;拔节期水分亏缺时,植株茎粗受施氮量的影响较大,水分亏缺程度越重,氮肥施用量就应随之增高。当目标产量大于 13 500 kg·hm<sup>-2</sup> 时,在 95% 的置信区间,苗期、拔节期和抽雄期的水分亏缺阈值分别为田间持水量的 48%~66%、72%~84% 和 66%~81%,施纯氮肥 160 kg·hm<sup>-2</sup>。

**关键词:**春玉米;调亏灌溉;水氮耦合;模拟寻优

**中图分类号:**S513.071

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-2767(2014)01-0011-06

水和肥影响着旱地农业生产与作物生长,既是旱区农业生产的重要物质资源,更是作物高产优质高效的必要因素。在水资源有限的条件下,旱地农业生产的关键是水、肥的合理配合,肥料的增产作用不仅在于肥料本身,更重要的还在于与土壤水分的互作。养分与水分投入的关键时期、合理配比、最佳用量决定着作物增产、节水的效

果。1911 年 Montgomery 等人在 Mabruka 进行了土壤肥力对玉米需水影响的研究<sup>[1]</sup>。Dordas 研究指出与不施肥比较,施用氮肥处理的气孔导度增强、水分利用效率和光合产物积累分别提高了 27%、60% 和 51%<sup>[2]</sup>。自从 Amon 提出水分受到限制的条件下提高水分利用效率、合理施用肥料是旱地植物营养的基本问题后<sup>[3]</sup>，“以水促肥、以肥调水”的旱地农田水肥耦合效应才引起国内外许多专家的重视与关注,相关的研究内容也从水、肥的单项因素作用转向了水肥相互作用的影响关系。目前,国内外科技工作者在分区交替灌溉模式下水肥效应<sup>[4-5]</sup>、调亏灌溉模式下水肥效应<sup>[6-7]</sup>、滴灌模式下水肥效应<sup>[8-9]</sup>和水氮迁移转化

**收稿日期:**2013-08-23

**基金项目:**水利部科技推广计划资助项目(TG1201);国家“十二五”科技支撑计划资助项目(2011BAD25B06)

**第一作者简介:**彭国明(1985-),男,大庆市肇源县人,硕士,助理工程师,从事农业节水技术、水资源可持续利用研究。  
E-mail:wangbail980@163.com。

## Study on Extraction Method of Rice Genomic DNA

MA Wen-dong

(Jiamusi Rice Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi, Heilongjiang 154026)

**Abstract:** In order to study fast and effective extraction method of rice genomic DNA for molecular marker-assisted breeding, taking rice fresh leaves, senescing leaves and rice seeds as experimental materials and CTAB and SDS as methods, DNA purity was tested by UV spectrophotometer and agarose gel electrophoresis, extraction methods and experimental system of rice genomic DNA were optimized and explored. The results showed that quality extracted from fresh leaves was the best followed by seeds and senescing leaves was the last; the difference between CTAB and SDS methods was not very obvious, and  $\beta$ -mercaptoethanol could added into solution to avoid the pollution of phenols oxidation.

**Key words:** rice; genomic DNA; CTAB; SDS; molecular marker-assisted breeding

规律与作物生长影响<sup>[10-11]</sup>等方面进行了大量的试验研究,取得了许多显著的科技成果。该文研究的高效调亏灌溉制度与调亏灌溉条件下水肥优化综合管理对玉米生长及产量的影响,建立玉米适宜调亏灌溉时期和水分调控阈值等调亏指标,形成了量化、可操作的玉米节水、高产的调亏型灌溉技术,能够为寒地黑土区节水型高产玉米生产技术提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验在黑龙江省水利科学研究院综合试验基地(N45°43′09″,E126°36′35″)自动感应式遮雨棚测坑内进行。该基地距哈尔滨市16.5 km,总面积55 hm<sup>2</sup>,多年平均气温3.1℃,无霜期130~140 d,年平均降水量400~650 mm,7~9月份的降雨量占全年的70%,多年平均水面蒸发量796 mm,土壤质地为壤土。土壤基本性质为:速效氮154.4 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷40.1 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾376.8 mg·kg<sup>-1</sup>,pH7.27。1 m土层内的平均田间持水率(占干土重)为28.4%,土壤体积质量为1.22 g·cm<sup>-3</sup>。

### 1.2 材料

供试玉米品种为久龙12,种于内径50 cm,深

度95 cm的测筒内,测筒为圆形有底,与外部无水分交换,测筒土壤表面与田间地面齐平。

### 1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验采用正交设计,设生育期、灌水量和施氮量3个因素,每个因素设3个水平,全生育期以不亏水、不施氮为对照(CK),试验共设10个处理,每个处理重复3次,共计30个测筒(见表1)。A<sub>1</sub>为苗期调亏其它生育期正常灌水;A<sub>2</sub>为拔节期调亏其它生育期正常灌水;A<sub>3</sub>为抽雄期调亏其它生育期正常灌水。水分亏缺程度依据灌水定额占田间持水量的百分比确定,其它生育期正常灌溉(控制土壤相对湿度下限为75%,上限为80%),其它管理措施均一致,轻度亏水(B<sub>1</sub>)控制土壤相对湿度65%~75%,中度胁迫(B<sub>2</sub>)控制土壤相对湿度55%~65%,重度亏水(B<sub>3</sub>)控制土壤相对湿度45%~55%。施用量纯氮分为3个水平,其中,高氮水平(C<sub>1</sub>)240 kg·hm<sup>-2</sup>,中氮水平(C<sub>2</sub>)160 kg·hm<sup>-2</sup>,低氮水平(C<sub>3</sub>)80 kg·hm<sup>-2</sup>。氮肥总量的2/3作为底肥、1/3在拔节期进行追肥。各试验处理施磷酸二铵135 kg·hm<sup>-2</sup>作为底肥,氮肥除施磷酸二铵外,其它的氮肥均使用尿素。

表1 调亏灌溉条件下水氮耦合试验方案

Table 1 Experiment scheme of water-nitrogen coupling under regulated deficit irrigation

序号 No.	处理 Treatments	设计水平 Design level			
		苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	抽雄期 Tasseling stage	纯氮肥 Pure nitrogen
1	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	轻度调亏	正常灌溉	正常灌溉	高肥
2	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	中度调亏	正常灌溉	正常灌溉	中肥
3	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	重度调亏	正常灌溉	正常灌溉	低肥
4	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	正常灌溉	轻度调亏	正常灌溉	中肥
5	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	正常灌溉	中度调亏	正常灌溉	低肥
6	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	正常灌溉	重度调亏	正常灌溉	高肥
7	A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub>	正常灌溉	正常灌溉	轻度调亏	低肥
8	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	正常灌溉	正常灌溉	中度调亏	高肥
9	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	正常灌溉	正常灌溉	重度调亏	中肥
10	CK	正常灌溉	正常灌溉	正常灌溉	无肥

1.3.2 测定项目及方法 株高采用米尺测量,抽穗期前为玉米植株基部至最高叶尖的高度,抽穗期为植株基部至雄穗顶端的高度;茎粗用游标卡尺测量,玉米从根部算起的第1节统一位置的

茎秆粗度。数据统计分析采用Excel和SPSS 17.0软件,建模使用Matlab 7.1软件。试验采用称重法测定土壤含水量,根据水量平衡法计算玉米实际耗水量及灌水量,每隔1 d称重1次,当各

测筒土壤相对含水率低于设计控制下限水平时,用量杯补充加水到设计控制上限水平,记录各测筒每次加水量。

## 2 结果与分析

### 2.1 低氮水分亏缺对株高和茎粗的影响

由图 1、图 2 可知,在低氮肥水平条件下,各处理株高差异变化明显。苗期重度调亏处理株高最大,但大于拔节期中度调亏处理  $A_2B_2C_3$ ,表明低氮肥时,在苗期进行调亏灌溉处理对株高的影响小于拔节期,更小于抽雄期。虽然抽雄期调亏程度低于拔节期,但抽雄期轻度调亏处理  $A_3B_1C_3$  株高大于拔节期中度亏水处理  $A_2B_2C_3$ ,表明低氮肥时,水分供应起到主要作用,在抽雄期进行调亏处理对株高的影响大于拔节期、苗期。

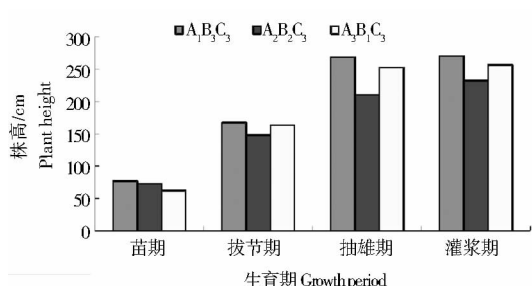


图 1 低氮水分亏缺处理株高的变化

Fig. 1 The plant height change under low nitrogen rate and water deficit

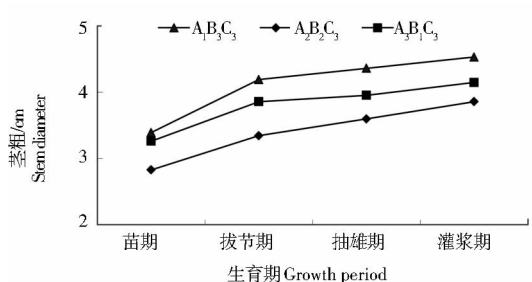


图 2 低氮水分亏缺处理茎粗的变化

Fig. 2 The stem diameter change under low nitrogen rate and water deficit

在低氮肥条件下,处理  $A_1B_3C_3$  的苗期亏水程度大于处理  $A_2B_2C_3$  的拔节期与处理  $A_3B_1C_3$  的抽雄期亏水程度,但苗期重度亏水处理处理的茎粗最大,表明苗期进行亏水在拔节期后复水正常灌溉后,植株茎粗补偿性增长大于在拔节期或抽雄期亏水到复水正常灌溉茎粗的补偿性增长。抽雄期轻度亏水处理  $A_3B_1C_3$  的茎粗大于拔节期中度亏水处理  $A_2B_2C_3$ ,表明抽雄期水分亏缺对植株茎粗影响较小,在低氮肥与拔节期中度亏水耦合时,对茎粗

生长影响较大,低氮肥与苗期重度亏水耦合时,对茎粗生长影响较小。

### 2.2 中氮水分亏缺对株高和茎粗的影响

由图 3、图 4 可知,在中氮肥水平条件下,处理  $A_1B_2C_2$  各生育期株高分别比处理  $A_2B_1C_2$ 、处理  $A_3B_3C_2$  平均高 12 和 6 cm。苗期中度亏水,拔节期复水正常灌溉后的处理  $A_1B_2C_2$  株高的补偿性生长大于苗期正常灌溉、拔节期轻度亏水处理  $A_2B_1C_2$ ,表明在苗期水分亏缺程度可控的重些,在拔节期控的轻些。处理  $A_2B_1C_2$  在拔节期亏水程度低于处理  $A_3B_3C_2$  抽雄期亏水程度,处理  $A_2B_1C_2$  的株高小于处理  $A_3B_3C_2$ ,表明中氮肥时,拔节期水分亏缺对株高生长的影响大于抽雄期水分亏缺。

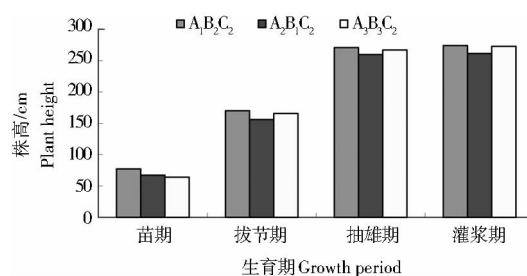


图 3 中氮水分亏缺处理株高的变化

Fig. 3 The plant height change under medium nitrogen rate and water deficit

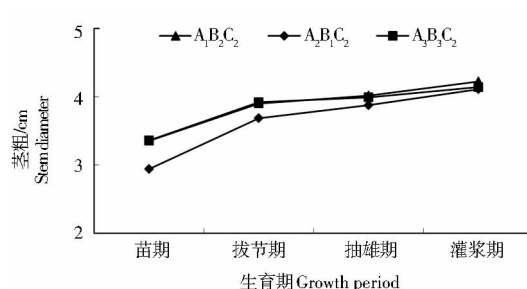


图 4 中氮水分亏缺处理茎粗的变化

Fig. 4 The stem diameter change under medium nitrogen rate and water deficit

在中氮肥条件下,处理  $A_2B_1C_2$  拔节期轻度亏水程度小于处理  $A_1B_2C_2$  苗期中度亏水与处理  $A_3B_3C_2$  抽雄期重度亏水,处理  $A_2B_1C_2$  茎粗最小,处理  $A_2B_1C_2$  茎粗在苗期、拔节期与处理  $A_3B_3C_2$  和处理  $A_2B_1C_2$  的差异较大,到抽雄期处理  $A_2B_1C_2$  复水正常灌溉后的茎粗补偿性增长较大,到灌浆期时与处理  $A_1B_2C_2$  和处理  $A_2B_1C_2$  的差异很小,表明在中氮肥与拔节期轻度亏水耦合时,玉米植株经抽雄期复水后,茎粗可快速增长,同时拔

节期水分亏缺对茎粗生长的影响较大。

### 2.3 高氮水分亏缺对株高和茎粗的影响

由图 5、图 6 可以看出,在高氮肥条件下,拔节期重度亏水处理  $A_2B_3C_1$  的株高大于苗期轻度亏水处理  $A_1B_1C_1$  与拔节期中度亏水处理  $A_3B_2C_1$ ,可能由于在不同生育期进行水分调控时,拔节期重度亏水,后期复水正常灌溉与结合高施氮量可以使株高得到较大的补偿性增长;处理  $A_1B_1C_1$  在苗期和拔节期株高小于处理  $A_3B_2C_1$ ,在后期这 2 个处理株高差异逐渐减小,表明苗期轻度调亏在后期复水正常灌溉时株高得到了一定程度的补偿。

在高氮肥条件下,苗期轻度亏水处理  $A_1B_1C_1$  的茎粗最小,与处理  $A_2B_3C_1$ 、处理  $A_3B_2C_1$  的差异较大,表明高氮肥时,苗期轻度亏水不利于茎粗的生长。拔节期重度亏水处理  $A_2B_3C_1$  茎粗大于抽

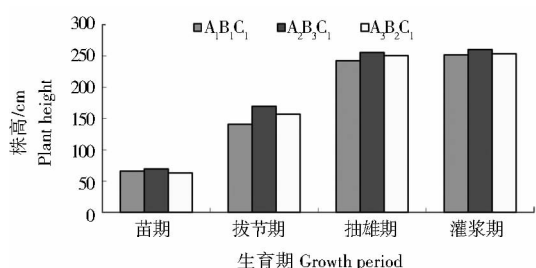


图 5 高氮水分亏缺处理株高的变化

Fig. 5 The plant height change under high nitrogen rate and water deficit

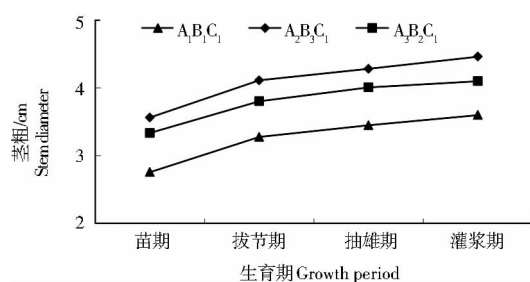


图 6 高氮水分亏缺处理茎粗的变化

Fig. 6 The stem diameter change under high nitrogen rate and water deficit

雄期中度亏水处理  $A_3B_2C_1$ ,表明在高氮肥与拔节期重度亏水耦合时,玉米植株经抽雄期复水后,茎粗可快速增长,同时拔节期水分亏缺对茎粗生长没有显著影响。

### 2.4 产量模型的建立与检验

用 SPSS 建立回归方程,将显著性大于 0.05 的自变量代入模型,从模型中剔除显著性小于 0.01 的自变量。 $Y$  为 3 次重复的平均产量, $X_1$  为苗期土壤相对含水率(占田间持水量的百分比), $X_2$  为拔节期土壤相对含水率(占田间持水量的百分比), $X_3$  为抽雄期土壤相对含水率(占田间持水量的百分比), $X_4$  为每公顷的施纯氮量。

$$Y = 4\,085.538X_2 + 3\,179.228X_3 - 2\,232.333X_1X_2 + 647.345X_2X_4 + 5\,796.294X_1^2 + 3\,668.708$$

回归方程相关系数  $R^2 = 0.988$ ,表明方程拟合度较高(见表 2)。

表 2 回归模型方差分析

Table 2 The variance analysis of regression model

模型 Model	平方和 Square sum	自由度 Freedom	均方差 Mean square deviation	统计量 F Statistics F	检验值 P Check value P
回归 Regression	6008599.177	5	1201719.835	49.823	0.004
残差 Residual	72359.712	3	24119.904		
总计 Total	6080958.889	8			

$F = 49.823$ ,  $P = 0.004$ ,显著性水平小于 0.05,可以认为所建立的回归方程有效。

对方程回归系数进行显著性检验(见表 3)。

按  $\alpha = 0.05$  显著性水平,自变量  $X_1$ 、 $X_4$ 、 $X_1X_3$ 、 $X_1X_4$ 、 $X_2X_3$ 、 $X_3X_4$ 、 $X_2^2$ 、 $X_3^2$ 、 $X_4^2$  与因变量不存在显著的线性关系,所以在检验时剔除。

### 2.5 玉米水氮互作效应模式寻优

通过 Matlab 软件分析,采用频率分析法对试

验所得的数学模型寻优,将编码制在试验范围内划分出(-1.0、-0.5、0、0.5、1.0)5 个水平,总共可构成 625 个处理组合。当单株产量为 272 g、密度 99 500 株· $hm^{-2}$ ,产量可达到 13 500  $kg \cdot hm^{-2}$  以上,因此,选定玉米目标产量为 13 500  $kg \cdot hm^{-2}$  时进行频率分析,其中产量高于 13 500  $kg \cdot hm^{-2}$  的方案有 41 个,得到玉米苗期、拔节期、抽雄期调亏灌溉与氮肥耦合的模拟方程寻优结果。

表 3 回归系数分析  
Table 3 The analysis of regression coefficient

模型 Model	非标准化系数 Non-standardized coefficient		标准化回归系数 Standardization regression coefficient	检验值 $t$ Check value $t$	检验值 $P$ Check value $P$
	$B$	标准误差 Standard error			
常数项 Constant	3668.708	738.417		4.968	0.016
$X_2$	4085.538	481.443	2.547	8.486	0.003
$X_3$	3179.228	271.274	1.982	11.720	0.001
$X_1X_2$	-2232.333	356.335	-1.458	-6.265	0.008
$X_2X_4$	647.345	94.096	0.533	6.880	0.006
$X_1^2$	5796.294	544.807	3.073	10.639	0.002

表 4 优化方案中各变量取值的频率分布  
Table 4 Frequency distribution of each variable value in optimization scheme

编码水平 Coding level	$X_1$		$X_2$		$X_3$		$X_4$	
	次数 Times	频率/% Frequency	次数 Times	频率/% Frequency	次数 Times	频率/% Frequency	次数 Times	频率/% Frequency
-1.0	30	73.17	0	0	0	0	0	0
-0.5	2	4.88	0	0	5	12.20	0	0
0	0	0	0	0	5	12.20	41	100
0.5	0	0	13	31.70	11	26.82	0	0
1.0	9	21.95	28	68.30	20	48.78	0	0
加权均数 Weighted averagee	-0.5366		0.8415		0.5610		0	
标准误 Standard error	0.1300		0.0368		0.0823		0	
95%置信区间 95%Confidence interval	-0.7913~-0.2819		0.7694~0.9136		0.3997~0.7222		0	
最佳调亏下限 Optimum lower limit	48%~56%		72%~74%		66%~71%		160 kg·hm <sup>-2</sup>	
最佳调亏上限 Optimum upper limit	58%~66%		82%~84%		76%~81%		160 kg·hm <sup>-2</sup>	

通过表 4 可以看出,当目标产量为 13 500 kg·hm<sup>-2</sup>以上时,在 95%的置信区间,优化调亏灌溉组合为苗期水分亏缺下限阈值取田间持水量的 48%~56%,上限为 58%~66%,拔节期水分亏缺下限阈值取田间持水量的 72%~74%,上限为 82%~84%,抽雄期水分亏缺下限阈值取田间持水量的 66%~71%,上限为 76%~81%,氮肥 160 kg·hm<sup>-2</sup>。

3 结论与讨论

在相同调亏时期,氮肥处理对各生理指标影响不同,低氮肥时,苗期水分亏缺对株高的影响小于拔节期,更小于抽雄期;中氮肥时,拔节期水分亏缺对株高生长的影响大于抽雄期水分亏缺;拔节期重度亏水,后期复水正常灌溉与结合高施氮量可以使株高得到较大的补偿性增长。

施氮量决定不同调亏时期的水分亏缺程度,

苗期供应水分过高或氮肥过大均会减少植株茎粗;拔节期水分亏缺时,植株茎粗受施氮量的影响较大,为了避免茎粗受到不利影响,水分亏缺程度越重,氮肥施用量就应该随之更高;抽雄期水分亏缺时,不同施氮量对茎粗差异性变化没有明显影响。

各生育阶段的调亏灌溉上下限阈值和氮肥耦合影响玉米产量,当目标产量为  $13\ 500\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  以上时,在 95% 的置信区间,得到调亏灌溉条件下玉米高产、高效、节水的水氮优化管理模式:苗期水分亏缺下限阈值取田间持水量的 48%~56%、上限为 58%~66%,拔节期水分亏缺下限阈值取田间持水量的 72%~74%、上限为 82%~84%,抽雄期水分亏缺下限阈值取田间持水量的 66%~71%、上限为 76%~81%,纯施氮量为  $160\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

#### 参考文献:

- [1] 谢伟,黄璜,沈建凯. 植物水肥耦合研究进展[J]. 作物研究, 2007, 21(5): 541.
- [2] Dordas C A, Sioulas C. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions[J]. Industrial Crops and Products, 2008, 27: 75-85.
- [3] Arnon I. Physiological principles of dry land crop production[C]//In: Gupta US. Physiological aspects of dryland farming. New York: Universal Press, 1975: 3-124.
- [4] 刘小刚,张富仓,杨启良,等. 控制性分根区灌溉对玉米根区水氮迁移和利用的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 62-67.
- [5] 王海红,束良佐,周秀杰,等. 局部根区水分胁迫下氮对玉米生长的影响[J]. 核农学报, 2011, 25(1): 0149-0154.
- [6] 韦彩会,李伏生,许春辉,等. 调亏灌溉及施肥对玉米干物质积累和相关生理性状的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(4): 76-83.
- [7] 刘小刚,张富仓,杨启良,等. 玉米叶绿素、脯氨酸、根系活力对调亏灌溉和氮肥处理的响应[J]. 华北农学报, 2009, 24(4): 106-111.
- [8] 李久生,张建君,饶敏杰. 滴灌施肥灌溉的水氮运移数学模拟及试验验证[J]. 水利学报, 2005, 36(8): 932-938.
- [9] 李昊儒,梅旭荣,郝卫平,等. 不同灌溉施肥制度对土壤水分变化及夏玉米产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(4): 72-74.
- [10] 王西娜,王朝辉,李生秀. 施氮量对夏季玉米产量及土壤水氮动态的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 197-204.
- [11] 温利利,刘文智,李淑文,等. 水肥耦合对夏玉米生物学特性和产量的影响[J]. 河北农业大学学报, 2012, 35(3): 14-19.

## Study on Water-nitrogen Coupling Effect of Spring Maize under Regulated Deficit Irrigation

PENG Guo-ming<sup>1</sup>, FAN Yong-guo<sup>2</sup>, DING Li-li<sup>2</sup>, ZHANG Ming-zhe<sup>1</sup>, WANG Bai<sup>3</sup>

(1. Anda Water Affairs Bureau, Anda, Heilongjiang 151400; 2. The Comprehensive Serving Center of Agriculture and Animal Husbandry of Wanbaoshan Town of Anda City, Anda, Heilongjiang 151405; 3. Heilongjiang Water Conservancy Institute, Harbin, Heilongjiang 150080)

**Abstract:** In order to explore the production technology of water-saving and high yield for cold area, taking maize variety of Jiulong 12 as test material, through orthogonal test, water-nitrogen coupling effects of three levels of water deficit including seeding stage, jointing stage and tasseling stage on growth indexes and yield were studied under three levels of nitrogen fertilizer by pot experiments of spring maize. The results showed that the height of maize had different compensatory growth after re-watering under different periods of regulated deficit irrigation. The degree of water deficit was determined by nitrogen rate. The stem diameter decreased with high water and nitrogen at seedling stage. When the target yield was above  $13\ 500\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  and the confidence interval was 95%, the threshold value of water deficit in seeding stage, jointing stage and tasseling stage were 48%~66%, 72%~84% and 66%~81% respectively than field capacity, and nitrogen rate was  $160\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ .

**Key words:** spring maize; regulated deficit irrigation; water-nitrogen coupling; simulating optimization