

# 水稻无土栽培及叶片水氮含量测量研究

孙俊<sup>1,2</sup>, 吴静菲<sup>2</sup>, 羊一清<sup>1</sup>, 芦兵<sup>2</sup>

(1. 江苏大学江苏省现代农业装备与技术重点实验室, 江苏镇江 212013; 2. 江苏大学电气信息工程学院, 江苏镇江 212013)

**摘要** [目的] 研究不同水分、氮肥处理下水稻叶片含水率、水稻叶片氮含量的变化特征。[方法] 对水稻进行无土栽培, 按施水量和施氮量进行交叉培育实验, 在各个生育期, 采用 Bran + Luebbe AA3 流动分析仪测定叶片含氮量, 采用烘干称重法测量含水率。[结果] 交叉试验可以培育出不同含水率含氮率的水稻样本, 阐明了在各生育期水稻含水、含氮量随施水、氮肥量变化而变化的情况。[结论] 试验为水稻叶片含氮率、含水率的无损检测研究提供了实验样本。

**关键词** 水稻; 水分; 氮肥; 交叉实验

**中图分类号** Q945.17 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)35-17414-02

## Research on Soilless Cultivation of Paddy Rice and Measurement of Moisture and Nitrogen Contents in Leaves

SUN Jun et al (Jiangsu Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013)

**Abstract** [Objective] The study aimed to discuss the variation characteristics of moisture and nitrogen contents in the leaves of paddy rice under different water and nitrogen fertilizer treatments. [Method] The paddy rice was made for the soilless cultivation and the cross breeding experiment was conducted according to the application quantum of water and the application quantum of nitrogen. The nitrogen content in leaves were measured by using Bran + Luebbe AA3 flow analyzer and the moisture content in leaves was measured by using the method of drying and weighing. [Result] The paddy rice samples with the different contents of moisture and nitrogen were bred by cross experiment. The situation that the contents of moisture and nitrogen in the paddy rice varied with the quantum change of applying water and nitrogen fertilizer during each growth period was illustrated. [Conclusion] This research provided the test samples for lossless detection research of the rate of moisture and nitrogen in the leaves of paddy rice.

**Key words** Paddy rice; Water; Nitrogen; Cross experiment

水稻是我国的主要粮食作物之一, 在我国农业和国民经济中起着重要的作用。在生产中, 水分和氮肥是影响水稻生长最主要的限制因子。水稻氮素营养的丰缺直接影响水稻的生长发育, 对品质、产量会产生不利的影响, 并且水分的亏缺也直接影响水稻的生理生化过程和形态结构, 从而影响水稻的生长、产量和品质。

精细农业要求精确施肥和灌溉, 及时了解水稻的含水量和含氮状况, 采取有效的补救措施。采用无土栽培方法, 利用交叉试验培育出不同含水含氮的水稻试验样本, 为研究水稻水氮含量的无损检测方法提高了样本条件。

## 1 材料与方法

**1.1 材料** 为了人工控制水稻根系环境, 获取不同营养条件控制下的水稻样本, 将水稻栽培在有营养液的沙缸中, 营养液可以代替天然土壤向水稻提供水分、养分、氧气, 使作物能够生长并完成其整个生命周期。水稻营养液的配方中, 大量元素与微量元素标准配方采用国际水稻所配方<sup>[1]</sup>。营养液的水源采用江苏大学的自来水, 各种盐类都是购买的纯度极高化学试剂, 根据配方要求, 将化学试剂按纯品称重, 微量元素根据配方制成储备液, 以备用。试验以水分、氮素胁迫下的水稻样本为研究对象, 样本培育实验采用无土栽培技术, 以获取纯正的缺水、正常水分、过量水分、缺氮、正常氮量、过量氮量下的水稻样本。

水稻栽培试验于 2007 年 8 月在江苏大学智能化控制温室内进行, 品种为武育粳 18 号, 供试对象为来自镇江市郊农

田的水稻幼苗。先用自来水将植株的根部充分清洗, 去除根部的泥土和醋糟, 再用沙子定植于水缸内, 每缸种植 4 丛, 平均每丛 2.5 株水稻, 每缸水稻的株行距为 0.12 m × 0.17 m。

不同水分、氮素条件下的水稻种植采取正交试验, 共设 9 个不同水分、不同氮素处理水平, 即  $N_1W_1$  (严重缺氮、缺水)、 $N_2W_1$  (氮肥适量、严重缺水)、 $N_3W_1$  (氮肥过量、严重缺水)、 $N_1W_2$  (严重缺氮、水分适量)、 $N_2W_2$  (氮肥适量、水分适量)、 $N_3W_2$  (氮肥过量、水分适量)、 $N_1W_3$  (严重缺氮、水分过量)、 $N_2W_3$  (氮肥适量、水分过量)、 $N_3W_3$  (氮肥过量、水分过量), 且每缸为 1 个处理水平, 8 次重复。

其中,  $W_1$  (严重缺水) 相当于田间持水量的 60%;  $W_2$  (适量水) 相当于田间正常持水量;  $W_3$  (过量水) 在水稻的整个生长期都采取水层管理;  $N_1$  (严重缺氮) 在保证其他营养元素含量正常的情况下, 减少氮元素含量 75% (即  $NH_4NO_3$  的施用量为正常水平的 1/4 倍);  $N_2$  (氮正常) 表示  $NH_4NO_3$  的施用量为正常水平, 其他营养元素的含量正常;  $N_3$  (过量氮) 在保证其他营养元素含量正常的情况下, 增加氮元素含量 50% (即  $NH_4NO_3$  的施用量为正常水平的 3/2 倍)。

## 1.2 方法

**1.2.1 叶片氮量测定方法。** 采用 Bran + Luebbe AA3 流动分析仪测定叶片含氮量, 其是有机含氮物质在浓硫酸及催化剂的作用下, 经过强烈消化分解, 氮被转化为氨, 在碱性条件下, 氨被次氯酸钠氧化为氯化铵, 进而与水杨酸钠反应产生了靛蓝染料, 在 600 nm 比色测定总氮含量。将烘干的叶片粉碎, 保证样品成分更为均匀, 然后将粉碎后的样品通过 100 目的筛孔, 通不过筛孔的样品再次粉碎, 直至全部样品通过。称取 0.1 g 样品放入消化管中, 精确至 0.000 1 g, 加入浓硫酸 5.0 ml, 将消化管置于消化器上消化, 250 °C 下消化 2 h, 加入过氧化氢  $H_2O_2$  后, 370 °C 下消化 1 h, 直至溶液呈无色透明。

**基金项目** 江苏大学大学生科研立项 (08A152); 江苏大学教改项目 (JGYB2009095)。

**作者简介** 孙俊 (1978 - ), 男, 江苏泰兴人, 博士, 副教授, 从事农业工程研究。

**收稿日期** 2009-09-14

配置标准溶液。称取 0.471 5 g 的  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  溶于 100 ml 水配成储备液。试验中,采用 5 个水平的标准溶液浓度,具体方法依据 Bran + Luebbe AA3 流动分析仪使用说明书<sup>[2]</sup>。配置实验所需试剂为 Brij 35 溶液(聚乙氧基月桂醚)、次氯酸钠溶液、氯化钠/硫酸溶液、水杨酸钠/亚硝基铁氰化钠溶液、缓冲溶液、进样器清洗液,具体方法依据 Bran + Luebbe AA3 流动分析仪使用说明书<sup>[2]</sup>。

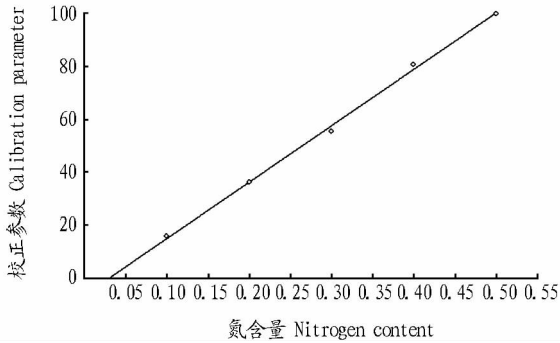


图1 标准液校正

Fig. 1 Calibration of standard solution

采用 AA3 流动分析仪运行工作标准液和样品液测全氮。分析仪增益取 10,灯设置 2.36 V,对应 1 000 mV 的反射能量。实验得到 5 个标准溶液对应的相关直线如图 1 所示,相关系数达到 0.999 0。校正系数  $a = -2.904 9\text{E}-2$ ,  $b = 8.146 5$

E-6,如样品液浓度超出工作标准液的浓度范围,则应重新制作工作标准液。总氮含量的计算:

$$\text{总氮}(\%) = \frac{c}{m \times (1 - w)} \times 100 \quad (1)$$

式中,  $c$  为样品液总氮的仪器观测值(mg);  $m$  为试料的重量(mg);  $w$  为试样的水分含量;以 2 次测定的平均值作为测定结果,结果精确至 0.01%。

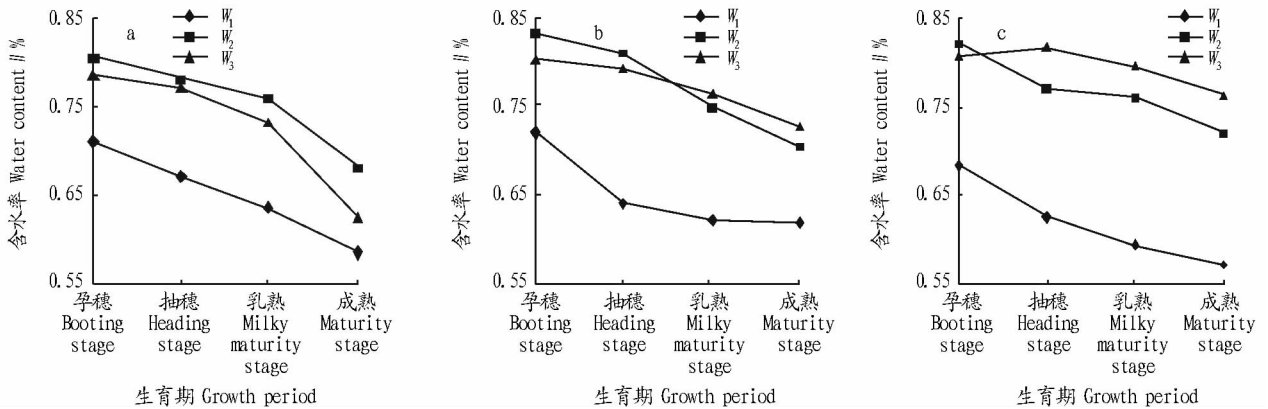
**1.2.2 叶片水分含量测定方法。**采用烘干称重法,即取每种处理 12 片水稻植株的第 1 完全展开叶,分别称其鲜重,用烘干箱 105 ℃ 杀青 30 min,80 ℃ 以下烘 8 h 左右至恒重(烘干后,前后 2 次称重,重量不变)。称干重,得到叶片含水率:

$$\text{叶片含水率}(\%) = \frac{\text{鲜重} - \text{干重}}{\text{鲜重}} \times 100\% \quad (2)$$

## 2 结果与分析

选用无土栽培的方法进行缺水、缺氮的水稻样本培育,以国际水稻所配方作为营养液配方,培育了不同水分和氮素条件下的纯正样本,并在室外和室内进行了水稻的光谱采集。为了给光谱定量分析提供依据,对不同水分和氮素条件下水稻叶片的营养成分和水分含量进行了分析和测定。

**2.1 不同水分、氮素处理下水稻叶片含水率的变化特征** 图 2 是在不同的氮素处理下,水稻叶片的含水率在 4 个主要生育期(孕穗期、抽穗期、乳熟期、成熟期)随时间变化的曲线。



注:a 为  $N_1$  (严重缺氮)处理下;b 为  $N_2$  (适量氮)处理下;c 为  $N_3$  (过量氮)处理下。

Note:a, under the conditions of severe poor nitrogen ( $N_1$ ); b, under the conditions of appropriate nitrogen ( $N_2$ ); c, under the conditions of excessive nitrogen.

图2 不同氮素处理下水稻叶片含水率随生育进程的变化

Fig. 2 Changes of moisture content in rice leaves with the reproductive process under the conditions of different nitrogen

由图 2 可见,水稻在孕穗期后,叶片逐渐衰老,水稻叶片的含水率随时间变化呈下降趋势。但不同氮素处理下,叶片含水率的变化规律并不相同。 $N_1$  (严重缺氮)处理下, $W_2$  (正常水分)的水稻叶片含水率最高, $W_1$  (缺水)和  $W_3$  (过量水)处理的水稻由于同时受到水分和氮素的胁迫,对营养液的吸收效果不好,但  $W_3$  (过量水)处理下的水稻含水率明显高于  $W_1$  (严重缺水)处理下水稻的含水率。 $N_2$  (适量氮肥)处理下,乳熟期前, $W_3$  (过量水)处理下的含水率高于  $W_2$  (适量水)处理下的水稻含水率,在乳熟期后, $W_2$  (适量水)处理下的水稻含水率高于  $W_3$  (过量水)处理下的含水率; $N_3$  (过量氮)处理下,在抽穗期前, $W_2$  (适量水)处理下的水稻含水率高于  $W_3$  (过量水)处理下的水稻含水率,水稻在抽穗期后,由

于充足的水分和养分,水稻呈现贪青晚熟的现象, $W_3$  (过量水)处理的水稻叶片含水率高于  $W_2$  (适量水)处理下的水稻含水率。

**2.2 不同水分、氮素处理下水稻叶片氮含量的变化特征** 图 3 是在不同的水分处理下,水稻叶片的氮含量在 4 个主要生育期(孕穗期、抽穗期、乳熟期、成熟期)随时间变化的曲线图。由图 3 可见, $W_1$  (严重缺水)处理下,在抽穗期及抽穗期之前, $N_2$  (适量水)处理下的水稻含氮量比  $N_3$  下的水稻含氮量要低,在乳熟期及之后  $N_2$  (适量水)处理下的水稻含氮量比  $N_3$  (过量氮)处理下的水稻含氮量高,这可能由于在严重缺水情况下,过量施氮导致水稻不仅不能吸收,而且还

(下转第 17418 页)

表4 不同施肥处理对氮素利用率的影响

Table 4 The effects of different treatments on nitrogen use efficiency

处理 Treatment	总吸氮量 kg Total nitrogen intake	氮收获指数 Nitrogen harvest index	氮肥农学利用率 kg/kg Agronomic efficiency of nitrogen fertilizer	氮素回收率 % Nitrogen recovery rate
CK	117.47	0.69	-	-
农民习惯施肥	184.96	0.64	11.33	37.53
平衡施肥-1	207.87	0.64	14.50	50.26
平衡施肥-2	205.83	0.64	13.91	49.13
平衡施肥-1	200.77	0.66	13.47	46.32

3 结论与讨论

在该试验条件下,不施肥处理水稻产量较低,而所有施肥处理均有显著的增产效果,表明试验地土壤肥力水平较低,特别是氮素肥力水平较低,土壤的供氮能力较弱,而试验所选择田块为中等肥力水平。因此,在沿巢湖流域城岗地区水稻氮肥施用,盲目地减少施肥量会导致土壤肥力的下降,进而影响到水稻产量的提高,这与我国确保粮食生产稳定发展的政策相背离,氮肥施肥量维持在 180 kg/hm<sup>2</sup> 是较为理想的。

在水稻氮肥的施用,有研究认为基肥和分蘖肥比例低于 80%,穗肥比例大于 20% 产量较高<sup>[4-5]</sup>,而该试验结果表

明,基肥、分蘖肥、穗肥比例为 50%:30%:20% 处理的产量高于 40%:30%:30% 处理。穗肥比例高,产量并不高。原因可能是不同肥力水平的土壤上,水稻对肥料氮素的依存力不同,高肥力土壤供氮能力较强,较低的基肥和分蘖肥水平即能满足水稻前期生长发育对养分的需求,而中低肥力水平土壤供氮能力较弱,前期肥力不足,影响水稻的分蘖成穗,故应加大基肥和分蘖肥的比例。

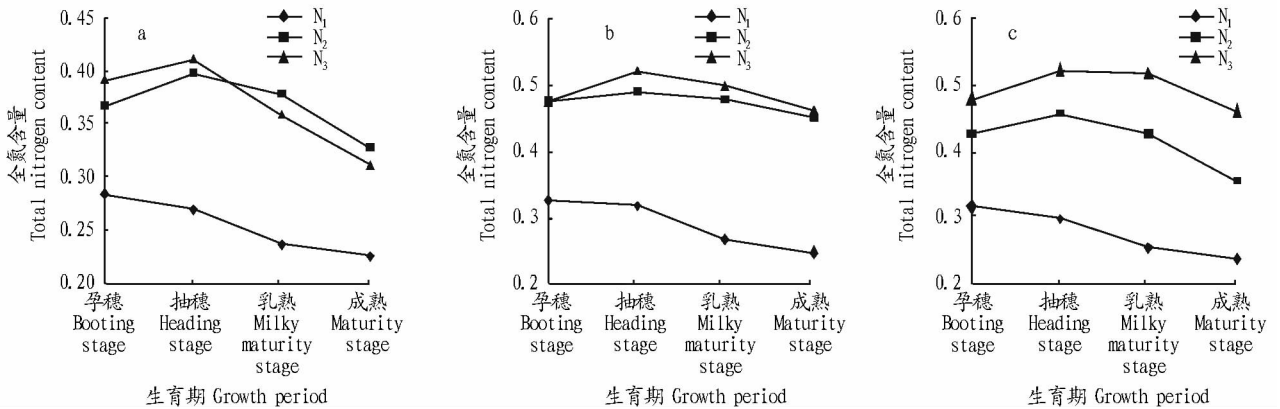
参考文献

[1] 朱兆良,文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1992.  
 [2] 吴建富,朱俊英,张美良,等. 长期施肥对水稻产量及其生理特性的影响[J]. 中国土壤与肥料,2007(1):48-50.  
 [3] 刘立军,徐伟,桑大志,等. 实地氮肥管理提高水稻氮肥利用效率[J]. 作物学报,2006,32(7):987-994.  
 [4] 吴文革,张四海,赵决建,等. 氮肥运筹模式对双季稻北缘水稻氮素吸收利用及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(5):757-764.  
 [5] 刘代银,菊仙,任万军,等. 氮肥运筹对免耕高留茬抛秧稻氮素吸收、运转和籽粒品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(3):514-521.  
 [6] 郭恒东,张贵龙,刘学文,等. 水稻优质高产高效施肥技术探讨[J]. 内蒙古农业科技,2005(22):296-297.  
 [7] 李慧,王恩举,杨国福. 水稻氮肥高效施用技术的探讨[J]. 现代农业科技,2008(10):111-112.  
 [8] 陈立荣,张冬民,叶守民. 马铃薯、水稻复种高产、高效栽培技术[J]. 内蒙古农业科技,2006(4):78.

(上接第 17415 页)

影响水稻的正常生长。而在 W<sub>2</sub> (适量水) 和 W<sub>3</sub> (过量水) 处理下,在各生育期上,N<sub>3</sub> (过量氮) 处理下的水稻含氮量高于

同期 N<sub>2</sub> (氮正常) 处理载下的水稻含氮量,N<sub>2</sub> (氮正常) 处理下的水稻含氮量高于同期 N<sub>1</sub> (严得缺氮) 处理下的水稻含氮量。



注: a 为 W<sub>1</sub> (严重缺水) 处理下; b 为 W<sub>2</sub> (适量水) 处理下; c 为 W<sub>3</sub> (过量水) 处理下。

Note: a, under the conditions of severe poor nitrogen (N<sub>1</sub>); b, under the conditions of appropriate nitrogen (N<sub>2</sub>); c, under the conditions of excessive nitrogen.

图3 不同水分处理下水稻叶片氮含量随生育进程的变化

Fig.3 Changes of nitrogen content in rice leaves with the reproductive process under the conditions of different water

3 结论与讨论

(1) 无土栽培水稻与有土栽培水稻在光照、温度要求一致外,许多操作方面有所差异。有土栽培需要有机肥料,基质有污染,但无土栽培采用岩棉或沙子为基质,采用营养液栽培。由于泥土中本身带有水分、氮素等营养成分,若采用有土栽培就难以精确控制水氮的含量,而为了精确培养各种含水、含氮水稻,所以应采用无土栽培的方法培育水稻。

(2) 通过不同水分、氮素条件下的水稻正交培育试验,可培育出各个主要生育期(如孕穗期、抽穗期、乳熟期、成熟期)

下的各种含水含氮的水稻样本。

(3) 试验结果表明,水稻随着生育期的推进,叶片含水率呈总体下降趋势,但在不同的氮营养环境下,叶片含水率变化规律稍有差异。在不同的水分环境下,叶片氮含量变化规律也稍有差异。

参考文献

[1] 南京农业大学. 作物的养分吸收动力学参数的测定[EB/OL]. <http://jpkc.njau.edu.cn/PlantNutrition>.  
 [2] 德国 Bran + Luebbe 公司. 连续流动化学分析仪说明书[Z]. 2007.