

## 不同氮肥施用量对再生稻若干生理特性的影响

姜照伟<sup>1</sup>, 林文雄<sup>2</sup>, 李义珍<sup>1</sup>, 卓传营<sup>3</sup>, 杨惠杰<sup>1</sup>, 谢华安<sup>1</sup>

(1. 福建省农业科学院稻麦研究所, 福建 福州 350019; 2. 福建农林大学作物科学学院, 福建 福州 350002;  
3. 尤溪县农业局, 福建 尤溪 365100)

**摘要:** 探讨不同氮肥施用量对再生稻若干生理特性的影响, 结果表明, 随着促芽促苗氮肥施用量 (57.5~287.5 kg · hm<sup>-2</sup>) 的提高, 功能叶的硝酸还原酶活性、叶绿素含量和净光合速率提高; 适量的促芽促苗氮肥, 可提高功能叶中抗氧化酶类的活性, 减轻水稻衰老过程中活性氧对细胞膜的伤害, 维护叶片光合机能; 同时, 提高伤流量, 从而保持了根系高而持久的活力。

**关键词:** 再生稻; 氮肥; 生理特性

中图分类号: S 143.14

文献标识码: A

### Effects of nitrogen fertilizer rates on some physiological characteristics of ratoon rice

JIANG Zhao-wei<sup>1</sup>, LIN Wen-xiong<sup>2</sup>, LI Yi-zhen<sup>1</sup>, ZHUO Chuan-ying<sup>3</sup>, YANG Hui-jie<sup>1</sup>, XIE Hua-an<sup>1</sup>

(1. Institute of Rice and Wheat, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350019, China;

2. College of Crop Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China;

3. Agricultural Bureau of Youxi County, Youxi, Fujian 365100, China)

**Abstract:** The effects of N fertilizer rates on some physiological characteristics of ratoon rice were studied. The results showed that the activity of nitrate reductase (NR), chlorophyll contents and net photosynthetic rate in the leaves of ratoon rice increased as nitrogen application rate (57.5~287.5 kg · hm<sup>-2</sup>) was enhanced. The biochemical analysis indicated that the optimum nitrogen application rate also increased the activities of cell defense enzymes, thereby reduced membrane detriment by active oxygen species produced in the process of senescence, consequently, protected photosynthetic function of green leaves in rice and enhanced root activity, in turn delayed senescence and increased yield.

**Key words:** Ratoon rice; Nitrogen fertilizer; Physiological characteristics

作物光合特性、细胞保护酶系统、根系活力的基础生理生态在中稻等作物上已有较多的研究<sup>[1~5]</sup>。其它作物的同类研究也有大量报道<sup>[6~9]</sup>。但对水稻氮素增产效应的生理生化机制的研究较少, 而对再生稻氮素增产效应的生理生化机制研究仅见于根系生理学研究<sup>[2,6~8]</sup>。本试验研究不同氮肥施用量对再生稻功能叶硝酸还原酶、细胞保护酶等重要酶类活性、叶绿素含量、光合速率和根系活力的影响, 讨论这些特性对干物质积累和产量的作用, 以为再生稻营养调控提供科学依据。

### 1 材料与方法

试验于2000年在福建省尤溪县西城镇进行。试

验地为灰泥田, 土壤基本理化性状为: 有机质 30.6 g · kg<sup>-1</sup>、全氮 1.5 g · kg<sup>-1</sup>、碱解氮 135 mg · kg<sup>-1</sup>、速效磷 29 mg · kg<sup>-1</sup>、速效钾 81 mg · kg<sup>-1</sup>。供试水稻为三系杂交组合汕优明 86。头季于3月8日播种, 4月18日移栽, 7月12日齐穗, 8月13日成熟。再生季于9月8日齐穗, 10月11日成熟。头季每公顷施氮(N) 225 kg、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 150 kg、钾(K<sub>2</sub>O) 225 kg, 按基肥: 分蘖肥: 穗肥为 6:3:1 分施。再生季只施氮肥(尿素), 于头季齐穗后 20 d 施计划施氮量的 80% 作促芽肥, 头季收割后 2 d 施计划施氮量的 20% 作促苗肥。试验设 6 种氮肥(N) 施用量处理: N<sub>0</sub> (不施氮)、N<sub>1</sub> (57.5 kg · hm<sup>-2</sup>)、N<sub>2</sub> (115.0 kg · hm<sup>-2</sup>)、N<sub>3</sub> (172.5 kg · hm<sup>-2</sup>)、N<sub>4</sub> (230.0

收稿日期: 2005-02-01

作者简介: 姜照伟 (1973-), 男, 硕士, 主要从事水稻生理生态研究。

基金项目: 福建省重大科技专项子专题 (2004NZ01-4)。

$\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )、 $N_5$ (287.5  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。随机区组排列, 3次重复, 小区面积18.2  $\text{m}^2$ , 区间筑田埂, 头季收割留桩40 cm, 栽植密度30丛· $\text{m}^{-2}$ 。

净光合速率用便携式光合作用测定仪测定(BAU型, 中国农业大学生产), 叶绿素含量用日产SPAD-502型叶绿素计测定, 以SPAD值表示。剑叶硝酸还原酶(NR)活性测定: 参照文献[9]的方法进行。细胞膜保护酶系的活性测定: 过氧化氢酶(CAT)参照文献[10]的碘量法进行; 超氧化物歧化酶(SOD)参照文献[11]的方法略作修改; 过氧化物酶(POD)参照文献[12]的方法略作修改; 抗坏血酸过氧化物酶(ASP)根据文献[13]的方法进行; 蛋白质含量根据文献[9]的方法进行。伤流量的测定: 在头季齐穗期、成熟期和再生季齐穗期、

成熟期, 上午7:00至8:00每个处理各测定10株的伤流量。

## 2 结果与分析

### 2.1 细胞保护酶的活性变化

为分析促芽促苗氮肥对延缓衰老、促进再生稻生育的生理生化机制, 测定了剑叶中4种抗氧化酶类——超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)和抗坏血酸过氧化物酶(ASP)的含量变化动态, 结果列于表1。由表1看出, 无论是头季稻还是再生季稻, 都是随着衰老进程, 剑叶细胞SOD和CAT的活性逐渐降低, 而POD和ASP的活性逐渐提高, 4类抗氧化酶的活性此消彼长, 共负清除氧自由基, 延缓叶片衰老的使命。

表1 不同促芽促苗氮肥水平对水稻剑叶细胞保护酶活性的影响

Table 1 Effects of different N application rates on cell defense enzyme activities in rice flag leaf

处理	SOD( $\text{unit} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ )				CAT( $\text{mg} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ )				POD( $\Delta\text{OD} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ )				ASP( $\text{unit} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ )			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
$N_0$	3.39	2.04	2.37	1.33	1.79	1.69	1.85	1.06	6.50	9.83	3.43	6.58	142.61	260.65	197.77	411.69
$N_1$	3.39	2.40	2.09	1.51	1.79	1.71	2.10	1.17	6.50	12.80	3.29	6.49	142.61	199.05	175.77	320.97
$N_2$	3.39	2.07	1.85	1.38	1.79	1.67	1.80	0.94	6.50	11.63	3.08	6.01	142.61	147.81	75.81	392.78
$N_3$	3.39	1.83	1.42	1.48	1.79	1.43	1.66	0.78	6.50	10.60	3.17	7.05	142.61	149.32	132.50	377.44
$N_4$	3.39	2.07	1.91	1.70	1.79	1.74	2.11	1.22	6.50	17.49	4.19	7.84	142.61	233.54	124.66	447.33
$N_5$	3.39	1.89	1.21	0.80	1.79	1.59	1.29	0.51	6.50	17.27	3.00	5.77	142.61	196.74	86.42	272.96

注: a—头季齐穗期, b—头季成熟期, c—再生季齐穗期, d—再生季成熟期。

不同促芽促苗氮肥水平对4类抗氧化酶类的影响, 在头季成熟期和再生季齐穗期, 随着施氮水平的提高, 4类抗氧化酶活性有升有降。值得注意的是, 在再生季成熟期, 除高氮( $N_5$ )处理外, 施氮可提高4类抗氧化酶活性, 各处理均以 $N_4$ 处理的酶活性最高。表明适量施氮可有效延缓叶片衰老, 提高光合机能。

### 2.2 硝酸还原酶的活性变化

水稻从土壤吸收的硝态氮, 必须还原为铵态氮后才能用来合成氨基酸。因此, 催化硝化作用的硝酸还原酶(NR)活性直接影响到稻株体内氮素的积累。表2显示, 剑叶中的硝酸还原酶活性随叶片衰老而降低, 在成熟期几近衰竭。在头季齐穗后20 d和头季收割后2 d, 施促芽氮肥和促苗氮肥, 至再生季齐穗期可见到再生稻剑叶中的硝酸还原酶活性明显增强, 并随施氮水平的提高而提高,  $r=0.9925^*$ 。

这应是再生稻促芽促苗氮肥吸收量与施氮量呈极显著正相关的生理生化机制<sup>[14]</sup>。

表2 不同促芽促苗氮肥水平对剑叶硝酸还原酶活性的影响

Table 2 Effects of different N application rates on nitrate reductase activity in flag leaf

处理	(单位: $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ )			
	头季齐穗期	头季成熟期	再生季齐穗期	再生季成熟期
$N_0$	0.55	*	0.93	*
$N_1$	0.55	0.06	0.99	*
$N_2$	0.55	0.09	1.16	*
$N_3$	0.55	0.09	1.27	0.04
$N_4$	0.55	0.17	1.45	0.06
$N_5$	0.55	0.11	1.51	*

注: \*表示未测出。

### 2.3 光合机能的变化

表3显示,无论头季稻还是再生季稻,冠层二叶的叶绿素相对含量(SPAD值)都随促芽促苗氮肥水平的提高而提高。剑叶的叶绿素相对含量与施氮量呈极显著正相关,倒2叶的叶绿素相对含量与施氮量呈显著至极显著正相关。

光合速率与叶绿素含量密切相关,在再生季二者呈极显著正相关。因而,随着施氮水平的提高,叶绿素含量提高,光合速率也提高。可见,施促芽促苗氮肥显著增加干物质的积累<sup>[15]</sup>,与其光合速率提高有关。

表3 不同促芽促苗氮肥水平对水稻叶片叶绿素含量和净光合速率的影响

Table 3 Effects of different N application rates on chlorophyll contents and net photosynthetic rate in rice leaves

处理	剑叶叶绿素含量(SPAD值)			倒2叶叶绿素含量(SPAD值)			剑叶净光合速率( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ )		
	b	c	d	b	c	d	b	c	d
N <sub>0</sub>	35.3	37.4	20.7	33.3	34.9	18.1	17.8	24.2	17.5
N <sub>1</sub>	36.2	37.7	22.1	35.9	35.6	19.1	21.1	24.3	17.7
N <sub>2</sub>	36.8	40.8	26.1	36.0	39.8	20.2	21.2	28.4	21.4
N <sub>3</sub>	37.4	43.3	27.3	36.7	39.1	20.8	21.3	29.8	21.5
N <sub>4</sub>	38.9	43.5	27.2	36.7	40.7	21.4	21.4	30.0	21.5
N <sub>5</sub>	39.7	44.6	28.8	37.0	42.6	23.0	21.4	29.5	21.7
与施氮量的相关性	0.9896**	0.9633**	0.9459**	0.8487*	0.9505**	0.9897**	0.7125	0.8814*	0.8557*
与剑叶叶绿素含量的相关性				0.8098	0.9401**	0.9473**	0.6744	0.9625**	0.9693**

注: b—头季成熟期, c—再生季齐穗期, d—再生季成熟期;  $r_{0.05}=0.811$ ,  $r_{0.01}=0.917$ 。

### 2.4 根系活力的变化

再生稻依赖头季稻残留的根系吸收水分与养分,合成氨基酸和根源激素。因此,保持根系高而持久的活力,对于再生稻的生长发育至关重要。测定根系活力有多种方法,其中伤流量是一种简捷而又能综合反映根系总体机能的指标。为此,系统地测定了不同促芽促苗氮肥施用量的伤流量,结果表明(表4):伤流量在头季齐穗期达高峰;随着籽粒成熟,伤流量大幅下降;再生分蘖萌发后,伤流量有所回升,至再生季齐穗期达到小高峰,随后又逐渐降低。

伤流量与促芽促苗氮肥施用量呈抛物线型关系。以头季成熟期和再生季齐穗期的伤流量与施氮量的相关最密切,  $r=0.8829^* \sim 0.8891^*$ 。在各施氮水平处理中,以N:230.0 kg·hm<sup>-2</sup>的N<sub>4</sub>处理的伤流量最高,即根系活力最高,头季成熟期的伤流量保持在103.5 g·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>,仅比头季齐穗期降低19%,再生季齐穗期的伤流量回升到111.0 g·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>,再生季成熟期的伤流量逐渐下降到45.9 g·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>。由于N<sub>4</sub>处理的根系活力最高,因而N<sub>4</sub>处理的吸氮量、光合速率、干物质积累和产量也高居各处理首位<sup>[14,15]</sup>。

表4 不同促芽促苗氮肥水平对水稻伤流量的影响

Table 4 Effects of different N application rates on bleeding rate in rice

处理	伤流量( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )			
	头季齐穗期	头季成熟期	再生季齐穗期	再生季成熟期
N <sub>0</sub>	127.9	71.1	87.3	37.2
N <sub>1</sub>	127.5	67.2	88.8	38.1
N <sub>2</sub>	127.8	87.9	100.2	42.3
N <sub>3</sub>	128.1	100.2	109.5	40.2
N <sub>4</sub>	127.5	103.5	111.0	45.9
N <sub>5</sub>	128.2	92.4	98.7	38.4
与施氮量的相关性	0.4552	0.8829*	0.8891*	0.6990

### 3 小结与讨论

随着促芽促苗氮肥施用量的提高,剑叶中催化硝态氮还原反应的硝酸还原酶活性相应提高。为硝态氮还原为铵态氮,进一步合成为氨基酸提供了酶促条件,显著增加水稻对氮素的吸收积累量。冠层功能叶片的叶绿素含量也增加;单位叶面积净光合

速率也相应提高。加上氮肥扩大了叶面积, 为提高净光合生产量和干物质积累量创造了生理学基础。

施用适量的促芽促苗氮肥, 剑叶中的抗氧化酶类——超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、过氧化物酶 (POD) 和抗坏血酸过氧化物酶 (ASP) 的活性都有显著提高, 有效地清除了水稻在衰老过程或逆境胁迫下所产生的大量的活性氧 ( $O_2^-$ 、 $H_2O_2$ 、 $\cdot OH$ ), 避免对细胞膜、叶绿体膜的过氧化伤害, 维护叶片的光合机能。

再生稻依赖头季残留的根系吸收水分与养分, 合成氨基酸和根源激素, 因而, 再生稻产量与头季成熟期及再生季齐穗期的根系活力呈极显著正相关<sup>[7,8]</sup>。适量施用促芽促苗氮肥, 显著提高了反映根系综合活力的伤流量。以  $N_4$  处理 ( $N: 230.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 的伤流量最高, 即根系活力最高, 特别是头季成熟期和再生季齐穗期, 保持了根系持久的活力。从而确保水分、养分的吸收和氨基酸及根源激素的合成。施氮量过高, 过剩的氮素会消耗大量的光合作用产生的碳水化合物用于蛋白质合成, 从而减少了碳水化合物的积累和向根系的供应, 使根系活力下降。这也是再生稻净光合生产量、干物质积累量乃至稻谷产量与促芽促苗氮肥施用量呈抛物线型相关的生理生化机制。

#### 参考文献:

- [1] 刘贞琦. 水稻叶绿素含量及其与光合速率关系的研究 [J]. 作物学报, 1984, 10 (1): 57—62.

- [2] 刘富贵, 王学栋, 吴跃进, 等. 再生稻根系栽培生理初探 [J]. 安徽农业科学, 1990 (2): 105—109.
- [3] 林文雄, 柯庆明, 王松良, 等. 不同生态条件下杂交水稻生育后期的保护酶系统 [J]. 福建农业大学学报, 1996, 25 (1): 1—6.
- [4] 曹树青, 翟虎渠, 钮中一, 等. 不同产量潜力水稻品种的剑叶光合特性研究 [J]. 南京农业大学学报, 2000, 23 (3): 1—4.
- [5] 曹树青, 翟虎渠, 杨图南, 等. 水稻种质资源光合速率及光合功能期的研究 [J]. 中国水稻科学, 2001, 15 (1): 29—34.
- [6] 李义珍, 黄育民, 陈子聪, 等. 再生稻丰产技术研究 [J]. 福建省农科院学报, 1991, 6 (1): 1—12.
- [7] 林文, 李义珍, 姜照伟, 等. 再生稻根系形态和机能的品种间差异及与产量的关联性 [J]. 福建农业学报, 2000, 16 (1): 1—4.
- [8] 林文, 张上守, 姜照伟, 等. 再生稻产量与根系机能的相关性 [J]. 福建稻麦科技, 2001, 19 (4): 9—11.
- [9] 文树基. 基础生物化学实验指导 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1990. 50—52, 91—96.
- [10] 西北农业大学植物生理生化教研组. 植物生理学实验指导 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1986. 92—93.
- [11] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. 植物生理学实验 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1990. 242—248.
- [12] 华东师范大学生物系植物生理教研组. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1980. 143—144.
- [13] 沈文魁, 徐朗莱, 叶茂炳, 等. 抗坏血酸过氧化物酶活性测定探讨 [J]. 植物生理学通讯, 1996, 32 (3): 203—205.
- [14] 姜照伟, 林文雄, 李义珍, 等. 不同氮肥施用量对再生稻氮素吸收和分配的影响 [J]. 福建农业学报, 2003, 18 (1): 50—55.
- [15] 姜照伟, 林文雄, 李义珍, 等. 不同氮肥施用量对再生稻干物质积累运转的影响 [J]. 福建农业学报, 2004, 19 (2): 103—107.

(责任编辑: 杨小萍)